

SZTRÓKAY KÁLMÁN

AZ EMBER ÉS A FÖLD

167 KÉPPEL



ATHENAEUM

A rajzokat *Nemes Tihamér*,
az ábrákat *Flórián Endre*
készítette

A védőborítékot
Repcze János tervezte

TARTALOM

ELSŐ RÉSZ: A FÖLD MINT ÉGITEST.		Oldal
Nagy a Föld — kicsi a Föld		7
A Föld alakja és nagysága.....		9
Még pontosabban a Föld alakja.....		21
A Föld tömege.....		26
A Föld forgása		29
MÁSODIK RÉSZ: A FÖLD ARCA.		
Tájékozódás a Földön		39
A térképezés		49
Terep és térkép.....		56
A földrajz		63
A Föld felfedezése		66
HARMADIK RÉSZ: A FÖLD FIZIKÁJA.		
A Föld anyaga		75
Hőmérséklet és nyomás a Föld belsejében.....		84
A nehézségérő		90
A földrengések		99
A tűzhányók		120
A földmágnesség.....		129
A levegő elektromossága.....		132
NEGYEDIK RÉSZ: A FÖLDI LÉGKÖR.		
A levegő fizikája.....		135
A Nap süt		146
Fúj a szél		154
A felhők világa		167
Az időjárás.....		177

ÖTÖDIK RÉSZ: A FÖLD BELSEJE.	Oldal
A természet ráér	193
A Föld korszakai	201
A kőzetek	208
A földkéreg alakulásai	230
Az óceánok.....	243

HATODIK RÉSZ: AZ ÉLET A FÖLDÖN.

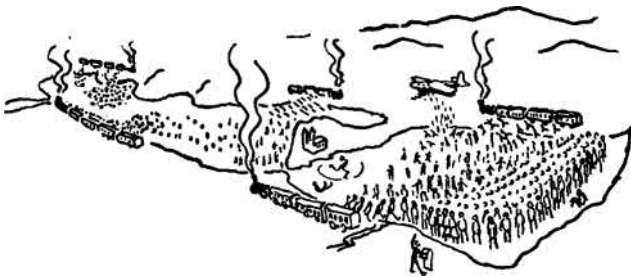
A kővé lett élet.....	249
Az élet eredete	257
A földtörténeti ókor	267
A középkor.....	284
Az új kor	298
Az ősember	312
Az eszes ember	316

ELSŐ RÉSZ

A FÖLD, MINT ÉGITEST

Nagy a Föld — kicsi a Föld

A Földhöz képest elenyésző apróság az ember s eleve le kell mondanunk arról, hogy el tudjuk képzelni a kettő arányát. Körülbelül kétezermillió ember él jelenleg az egész Föld kerektségén s habár erről a kétmilliárdról sem igen lehet megközelítő szemléletes képünk sem, induljunk ki abból, hogy összegyűjtöttük ezt a beláthatatlan ember-sokaságot egy helyre. Nem is kell hozzá nagyon nagy hely,



a Balaton jegére felállíthatnánk az egész emberiséget egy tömegben s nem is lennének túlságosan szorosan. Mikor együtt van valamennyi, rakjuk őket élve vagy halva egy halomba. Kijelölünk a sík földön egy kétszáz méter átmérőjű kört s a Balaton jegéről odahordjuk őket erre a területre. A kétmilliárd emberből csinált kupac körülbelül ötven méter magas lesz. Ez a hekatomba kényelmesen elférne a Vérmező közepén s nem lenne magasabb a Várnál. Egy lépéssel tovább számolva ennek az emberdombnak az anyaga

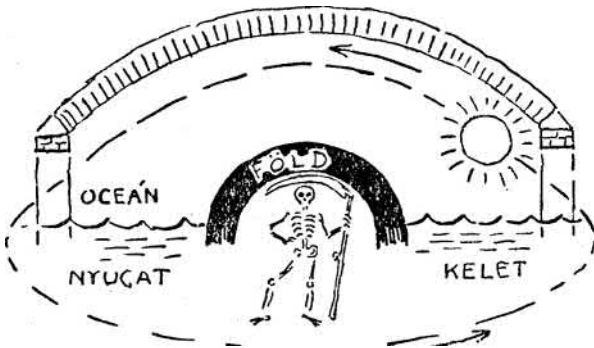
egy négyezerbilliomodrésze az egész Földének, más szóval az egész emberiség testi tömege a Föld tömegének 0.000000,000000,000025 %-a.

Sokféleképpen próbálhatunk számolni, hogy érzékeltessük az ember és a Föld arányát, de mindenképen olyan nagy számokkal kell dolgoznunk, amilyeneknél már teljesen csődöt mond a képzeletünk. Nem tehetünk mást, mint szépen meghunyászkodunk, hogy bizony elképzelhetetlenül jelentéktelen porszemek vagyunk a Földnek. Végképp azonban az a tudat, hogy ha maga a Föld anyánk kezdi összehasonlítani magát a mindenséggel, ő is ugyanígy jár. Bármilyen nagynak és jelentékenynek képzeletben magát, az összehasonlítás első fokánál kiderül, hogy ő is milyen kicsi. Ha csak a Napot vesszük, 1.297,000 Földet lehet elhelyezni a Nap térfogatába s micsoda számokat kapnánk, ha például azt kezdenénk számíttgatni, hogy hány Földet kellene egymás végtébe rakni, hogy elérjünk a legközelebbi állócsillagig í Bizony, a mi óriási földgolyónk olyan elenyésző semmiség a mindenségben, hogy már a Neptunról sem látni semmit sem belőle. Ha lennének csillagászok e távoli bolygósomszédunkon, a legkitűnőbb távcsöveikkel sem tudnák meglátni a Nap közelében keringő apró Földet s legfeljebb úgy szerezhetnek tudomást a létezéséről, hogy a többi bolygó mozgásának kis rendellenességeiből következtetnek arra, hogy valaminek kell lennie a Jupiteren belül is a naprendszerben.

Ez a két irányba való összehasonlítás nem pusztán matematikai játék. Elképzelhetetlen számokat kaptunk s ezekből mindössze annyit érzünk ki, hogy végtelenül kicsiny apróság az ember a mindenséghez viszonyítva. És ebből le kell vonnunk azt a következtetést, hogy semmi esetre sem a mi kedvünkért van a világ. Ennek a felismerése azonban nagyon hasznos volt, hiszen igazi természettudományról csak attól kezdve lehetett szó, amikor az ember tisztába jött a maga helyzetével a természetben, lemondott arról, hogy pusztán saját, túlbecsült eszével próbálja megmagyarázni az egész világot, mint ahogyan a régi filozófusok akarták, hanem beletörődött abba, hogy szépen szerényen meg kell figyelni a természetet, fáradhatatlanul gyűjteni az adatokat s akkor apránként kivilágosodik előttünk a mindenség rendje.

A Föld alakja és nagysága

Mikor meg akarunk ismerkedni a Földdel, első kérdésünk az, hogy milyen az alakja, mekkora? Tulajdonképpen már 2500 évvel ezelőtt tudták, hogy a Föld gömbalakú, bár ez a megállapítás nem terjedt el egész általánosságban, sőt sokszor feledésbe is merült. A legrégebbi időkben pusztán a látszat alapján ítélték meg a Föld alakját, természetesen abból indulva ki, hogy a Föld a világ közepe. Egészen kezdetlegesen egyszerű lapos korongnak képzelték a Földet, nem is igen keresve, hogy milyen a széle ennek a korongnak s még kevésbé kutatva azt, hogy mi van a korong szélein túl. A kaldeusok aztán már valamivel jobban kezdték megközelíteni az igazat. Alul üres, felfordított félgömbalakúnak gondolták a Földet, az alsó üreg a mélységek, a sötétség és a halál tanyája volt s azt mondták, hogy az üreg hatalmas, boltozatos mennyezetén terül el a látható szárazföld, melyet minden oldalról egy hatalmas folyó, az óceán vesz körül és ez olyan nagy, hogy halandó nem



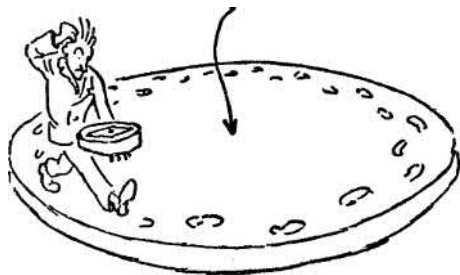
is juthat át rajta. Továbbmenve az volt az elképzelésük, hogy a rettenetesen széles óceán túlsó partját magas falak szegélyezik, ezeken nyugszik az égbolt, melyen nappal a Nap vándorol végig keletről nyugatra, éjjel pedig a csillagok ragyognak rajta. Még azt is tudni vélték, hogy a boltozat keleti és nyugati pontján alul egy-egy félköralakú nyílás van, a keletin reggel kibújik a Nap, végigsétál az égen, a nyugati nyíláson bebújik, éjjel pedig szép csöndben folytatja odalenn az útját, hogy reggelre elérjen a keleti kapuig.

Kezdetben a görögök is hasonlóan képzeltek el a Földet, de már a Krisztus előtti hatodik században rájött *Anaximandrosz* arra a gondolatra, hogy Földünk a világűrben szabadon lebegő gömb s *Pithagorasz* már próbálta be is bizonyítani. *Arisztotelész* is elfogadta a tételt, s az ő nyomán aztán a késő középkorban már megtámadhatatlan igazságnak tekintették, hogy a Föld gömbalakú és szabadon lebeg a világűrben, mégpedig a mindenség középpontjában. Főképpen azért, mert Aquinoi Szent Tamás után az egyháznak sem volt már kifogása *Arisztotelész* világszemlélete ellen.

Habár minden mai iskolásgyermek tudja, hogy a Föld gömbalakú, nem könnyű ezt be is bizonyítani. Tulajdonképpen pusztán pénzkérdés lenne, ha valaki önmaga is meg akarna győződni a Föld gömbalakjáról. Ha megelégszik felületes bizonyítékokkal is, akkor béreljen repülőgépet és induljon el rajta kelet felé, aztán nyugat felé, észak felé, dél felé, közben vigyázzon, hogy a pilóta valóban betartsa a kitűzött irányokat s akkor végül csakugyan az lesz az impressziója, hogy a Föld gömbalakú, akármerre indulunk el rajta, visszakerülünk kiinduló pontunkra, útközben állandóan megtartva az eredeti irányt. Ez azonban valóban csak impresszió lesz, ha komoly bizonyítékokat akarunk, akkor fel kell szerelnünk magunkat pontos mérőeszközökkel s minden irányban bejárva a Földet állandóan mérnünk különféle adatokat, megtett utakat, csillagok látszólagos helyét, helyi időmeghatározásokat kell végeznünk s akkor néhány évi munkával célt érhetünk. Mivel mindezeket a méréseket már számtalanszor elvégezték a tudósok százai, mégis egyszerűbb elhinni az egészet.

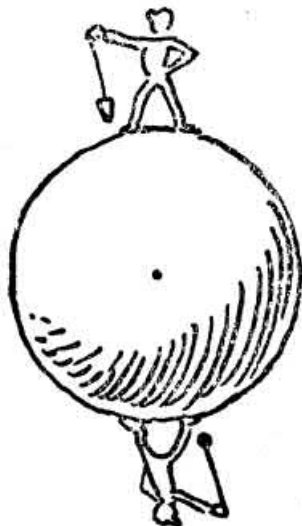
Nem árt azonban, ha kicsit közelebbről is megvizsgáljuk azokat a bizonyítékokat, amelyek a Föld gömbvolta mellett szólnak, látszólag és valóságosan. Egyik-másik, egyszerűnek látszó bizonyítékról könnyen kiderül, hogy gyenge lábon áll s rájövünk arra, hogy sokszor a nyilvánvalónak látszó dolgokban sem árt az elővigyázatosság. A Föld gömbalakjára legtöbbet emlegetett bizonyíték az, hogy ha megindulunk valahol egy bizonyos irányban, végül visszajutunk kiinduló pontunkra, mint ahogyan az imént odavezettük a repülőgépen való utazásnál. Igen ám, de hogyan tudjuk betartani útközben az irányt? Természetesen az

iránytű segítségével, mondja mindenki. Az iránytű egyik vége a Föld mágneses északi sarka felé mutat bárhol legyünk is, de tegyük fel, hogy a Föld mégsem gömbalakú, hanem

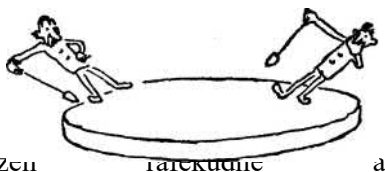


mint régen sokszor gondolták, lapos korong. Nyilvánvaló, hogy ennek a lapos korongnak egyik pontja lesz a mágneses északi sark és az iránytű egyik vége mindenütt efelé a pont felé mutat. A sík korongon hajózva, vagy repülve az iránytű iránymutatása szerint »ugyanabban az irányban«, így is visszajutunk kiinduló pontunkra. Ez azonban korongalakú sík Földön csak akkor lenne így, ha az iránytű szerint pontosan kelet vagy nyugat felé indulnánk el. Ha egyenesen északnak megyünk, a mágneses sarkra érve felmondja a szolgálatot iránytűnk, mert pontosan függőlegesen lefelé áll a hegye. Ha pedig valamilyen közbeeső irányt változtatunk, például északkeletet, akkor csigavonalban közeledünk a mágneses sark felé, egyre közelebb kerülve hozzá, de elméletileg soha el nem érve. Ezek a lehetőségek azonban közvetve mégis bizonyítékul szolgálnak a Föld gömbalakjára, hiszen kellő elővigyázatossággal mégis használni lehet az iránytűt s a hajósokkal sohasem történik meg, hogy elkeverednek, ha mindenkor úgy nézik az iránytűt, hogy egy gömbalakú Földön járnak.

Sokkal többet bizonyít az iránytűnél a függőőn. Tapasztalatból tudjuk hogy a függőőn mindig függőlegesen lefele mutat és ez a függőleges irány merőlegesen áll a vízszintes irányra. Természetesen senki sem járhatja be saját-maga az egész Földet függőőnjával, megfigyelni, hogy helyes-e a tapasztalat, de tudjuk azt, hogy mindenütt a földkerekségén használják a függőőnt az építészek, tehát



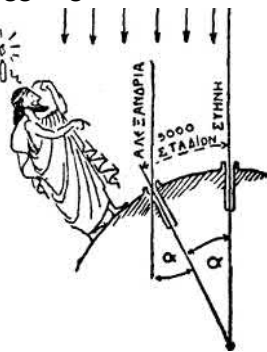
a korong sziere felé,
annál ferdebben állna, sőt igen
nagy távolságban a középpont-
tól szinte egésze a
földre.



bizonyos, hogy így kell lennie a do-
lognak. Ha már most a Föld nem
gömbalakú lenne, hanem korong, egé-
szén különösen viselkednék a függőón.
Ennek megértésére gondoljuk meg,
hogy a függőón tulajdonképpen a
Föld tömege vonzásának irányát kö-
vetve áll a függőleges irányba, tehát
a Föld tömegközéppontja felé mutat.
Ha a Föld nem gömbalakú lenne, ha-
nem például korong, akkor a függőón
mindenünnen a korong súlypontja felé
mutatna. Közvetlenül a súlypont fölött
valóban függőlegesen állna a Föld fe-
lületére, de mennél messzebb me-
gyünk

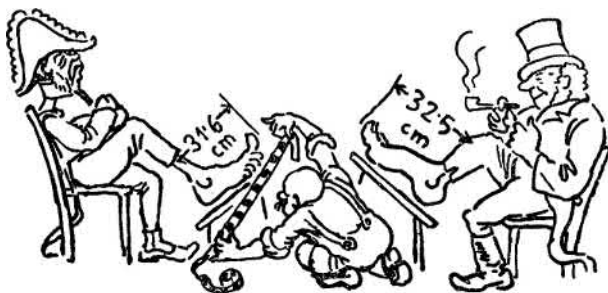
Az északi félgömb lakói hamarosan észrevették, hogy
ha pontosan déli irányban haladnak, a sarkcsillag egyre
alacsonyabbra látszik az égen. Könnyű meg is állapítani,
hogy mennyivel. Nagyjában minden 1100 küöméteres útnál
tíz fokkal látszik lejjebb s ha végül elérünk az egyenlítőhöz,
a sarkcsillag éppen a látóhatár szélén látszik. Ez a tény
azonban csak gömbalakú Földön figyelhető meg. A sark-
csillag lehet végtelenül nagy messzeségben, de lehet esetleg
közelebb is, tehát amikor következtetni akarunk a meg-
figyelt adatokból, mindkét lehetőséget vegyük tekintetbe.
Tegyük fel, hogy a Föld sík korong lenne. Az első lehető-
ségnél, vagyis mikor a sarkcsillag mérhetetlen messzeségben
van, akármerre megyünk is a Föld felszínén, mindenütt
ugyanabban a magasságban, mondjuk a fejünk felett látnánk.
Ha nem lenne végtelen messzeségben, akkor az 1100 kilo-
méteres útdarabok után valóban mindig valamivel ala-
acsonyabban látnánk, de mennél messzebb jutnánk kiinduló
pontunktól, annál inkább kisebbedne a szögműkülönbtség két
egymásután következő pontnál, vagy más szóval annál
kevésbé lenne elég 1100 kilométert menni, hogy tíz fokkal

alacsonyabban lássuk a sarkcsillagot. A tíz fok szögkülönbség =1100 km-nyi út csak gömbalakú Föld esetében képzelhető el. Az égitestek látszólagos magasságának méréséből eljuthatunk ahhoz, hogy meghatározzuk a Föld méreteit is. Legelőször *Eratoszthenész* görög tudósnak jutott ez eszébe, aki Kr. e. 276—196 közt élt. Abból a megfigyelésből indult ki, hogy az Alexandriától jóval délebbre eső Syenében, a mai Asszuánban, a nyári napforduló időpontjában, azaz június 21-ikén, a Nap képét pontosan délben látni lehet egy nagyon mély kút víztükrében. Ez nyilván azt jelenti, hogy ebben az időpontban itt a Nap pontosan a zenitben van delelésekor. Alexandriában ugyanekkor a Nap valamivel a zenittől délre van s *Eratoszthenész* meg is mérte, hogy mekkora szöggel. Akkor erre a célra az egyetlen szögmérő műszer a gnomon volt, egyszerű függőlegesen felállított pálca s árnyékának hosszúságából tudták kiszámítani fokmértékben a Nap magasságát. A kitűnő eszű görög geográfus megmérte, hogy a nyári napfordulókor Alexandriában a Nap 7.> fokkal van a zenittől dél felé s mint rajzunkról látható, ez a szög megfelel annak a szögnek, melynek szarai a Föld középpontjából Alexandriáig, illetve Syeneig mutatnak.



Eratoszthenész megmérte a két város távolságát is egymástól s azt kerekén 5000 stadionnak találta. A hét és fél fok körülbelül ötvened-része a kör egész területének, tehát azt következtette, hogy a gömbalakúnak tekintett Föld egész kerülete 50-szer 5.000 stadion. Ezt a számértéket nem lehet pontosan átszámítani mai méterekre vagy kilométerekre, mert nem tudjuk pontosan, hogy mennyi volt a régi görög stadion hosszúsága méterben. A görögök 6000 lábnak vették a stadiont, de nyoma sincs annak, hogy mekkorának vették a lábat. Hiszen még Európában is többféle láb mértéket használtak s elég jelentékeny az eltérés az egyes lábak között. Egy bécsi láb például 31.6 cm, az angol láb pedig 32.5 cm. Hogy a görög láb mekkora volt, nem tudjuk s így csak annyi bizonyos, hogy egy stadion 185 és

157 méter között lehetett. Első esetben *Eratoszthenesz* mérése a Föld kerületére 46.600 km-t ad, a másodikban 39.700-at. A valóságos érték körülbelül kerek 40.000 km, tehát ha a stadion tulajdonképpeni hosszúsága 185 m volt, akkor *Eratoszthenesz* eredményének hibája 16%. Még ez is nagyon szép eredmény első próbálkozásra, különösen ha



tekintetbe vesszük, hogy mennyi pontatlanság volt a megmért adatokban. A gnomonnal való mérés eléggé bizonytalan magában is, de azonfelül nem volt egészen megbízható az az adat sem, hogy Syeneben pontosan a zenitben volt a Nap, azután az sem egészen igaz, hogy Syene pontosan délre fekszik Alexandriától, végül pedig nem volt pontos a két város távolságára felvett kerek 5000 stadion sem.

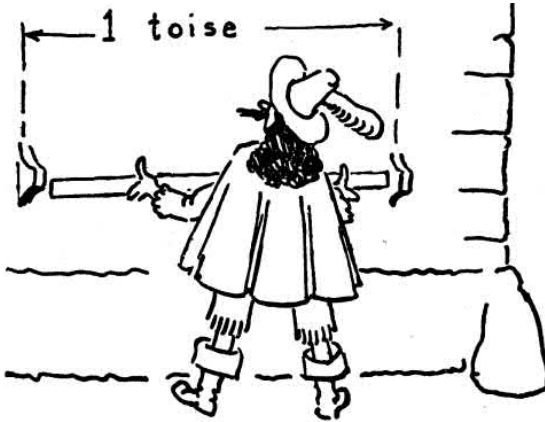
Csodálatosképpen az egész ókorban és középkorban mindössze két esetről tudunk, hogy megismételték *Eratoszthenesz* mérését, habár a későbbi eszközökkel jóval pontosabb eredményt lehetett volna kapni. Az első *Posidonius* földmérése volt, körülbelül másfél századdal *Eratoszthenesz* után, amelynek eredménye jóval alatta maradt a valóságnak. A második kísérletet 827-ben Kr. u. Mezopotámiában végezték el *Al Mamun* kalifa rendeletére. Ennek a mérésnek az eredményét nem tudjuk elbírálni, mert semmi adatunk sincs arra, hogy az ott használt arab mérőföld milyen hosszú.

Eratoszthenesz módszere nemcsak helyes volt, hanem egyetlen is, amivel a Föld méreteit meg lehet állapítani a Föld felszínén végzett mérések alapján. Választani kell két pontot, amely éppen az észak-dél irányban fekszik, meg kell mérni a kettőnek egymástól való távolságát és egy-szóval mondván földrajzi szélességük különbségét. Ezt fo-

kokban kapjuk a szögmérésekből, tehát kiszámíthatjuk, hogy a Föld felszínén milyen hosszú egy fok s ebből, hogy milyen hosszú a Föld egész kerülete észak-déli irányban. A földmérésnek ezt a módját rendszerint fokmérésnek is nevezik. Lényegében két mérés szerepel benne: az egyik *szögmérés*, megállapítani a két hely földrajzi szélességének különbségét, ami egyszerűen úgy történik, hogy megméri mindkét helyen ugyanannak a csillagnak a látóhatár fölötti magasságát delelésekor, a másik *hosszúságmérés*, felmérése a két hely közti útnak. Mindkét mérésnél meglehetősen sok hibaforrás lép fel, különösen a hosszúságmérésnél. A csillagászati szögmérésnek már régen nagy volt a pontossága, a távcső felfedezése után könnyű volt fokozni, de a hosszúságméréssel sok baj volt minden fokmérésnél. Az újabb idők első fokmérését *Fernel*, francia orvos végezte 1527-ben a Paristól Amiensig vezető országút mentén. A két város földrajzi szélességének különbsége csaknem pontosan 1° , s a kettőt összekötő út nyílegyenes és pontosan észak-déli irányban halad. *Fernel* nagyon eredeti módszert használt a távolság megmérésére. Végigment kocsijával a két város között s megszámolta a kocsikerék fordulatszámát. Aztán a lehető legpontosabban megmérte a kocsi kerekének kerületét s ebből számította ki a megtett út hosszúságát, még azt is tekintetbe véve, hogy az út nem végig vízszintes, hanem kisebb-nagyobb emelkedéseken vezet keresztül.

A 17. és 18. század nagyobb szabású fokméréseit is a franciák végezték el. A szögmérés ekkor már elérte a kellő pontosságot, de annál nagyobb baj volt a hosszúsággal, melynek egysége akkor a *toise* volt. Ez a *toise* körülbelül 195 cm hosszú volt, de ez a »körülbelül« nemcsak azt jelenti, hogy ma ennyinek tudjuk a *toise* egykori hosszúságát, hanem azt is, hogy annak idejében is csak körülbelül tudták, hogy mekkora ez a mértékegység. A párisi Grand Chatelet falába volt befalazva egy vasrúd, melyből két íog alít ki. Azt a mérőrudat nevezték egy *toise* hosszúnak, amely éppen beleillett a két fog közé. Képzeltük, hogy milyen pontatlanok voltak a *toise*-rudak, hiszen a szabadban lévő vasrúd ki volt tevé az időjárás ingadozásainak, nagy hőmérsékletkülönbségeknek, rozsdásodásnak. Ha már most valahol meg akartak mérni bizonyos távolságot, legalább

két ilyen toise-rudat kellett használni s egymás végtébe fektetni ismételten. Az ilyen mérés valóban nem lehet pontos. Roppant bizonytalan a következő mérőrúd odaillesztése az előző végéhez, nehéz betartani a szigorú egyenes irányt s az igazán gondos mérés, nagy távolságoknál, rendkívül sokáig tartó munka.



Így aztán sokat jelentett a munka egyszerűsítésében, mikor 1615-ben a holland *Snellius* kitalálta a háromszögelés módszerét. Ennek az a lényege, hogy elég igen nagy pontossággal lemérni egy bizonyos rövid távolságot s akkor pusztán szögmérésekkel meg lehet állapítani igen nagy távolságokat is a trigonometria képleteivel számolva. A szögmérés sokkal könnyebb és pontosabb, mint a hosszúságmérés és ezért *Snellius* módszere jelentékenyen megkönnyítette a fokmérések lebonyolítását. Csak egy aránylag rövid távolságot kell lemérni a lehető legpontosabban s e távolság végpontjairól szögeket mérni, egymásután kijelölve a terepen egy-egy következő háromszög csúcspontjait. Ezeket a csúcspontokat természetesen úgy kell kiválasztani, hogy messzire láthatók legyenek, tehát hegycsúcsokon. Nemcsak fokméréseknél, hanem mindenféle földmérésnél, térképezésnél így mérik a távolságokat s térképeinken mindenütt meg is találjuk ezeket a háromszögelési pontokat, a *punctum trigonometricum*-okat. *Snellius* az ő első háromszögeléseinél

még nagyon kezdetleges szögmérő műszerekkel dolgozott, de már *Picard*, aki 1669—70-ben újból megmérte a Páris-Amiens egy fokát, távcsővel és fonalkereszttel felszerelt teodolittal mérte a szögeket.

A csillagászati megfigyelések tökéletesedésével párhuzamosan újabb probléma merült fel a földi fokmérésekben. A távcső általánosságban azt mutatta, hogy a többi égitest is valóban gömbalakú, de a Föld két legnagyobb bolygótestvéréről, a Jupiterről és a Szaturnuszról szinte első látásra meg lehetett állapítani, hogy nem pontos gömbalakúak, hanem sarkaikon határozott lapultságot észlelhetünk, vagyis ezek a bolygók nem gömb-, hanem elipszoidalakúak. Természetesen mindjárt arra kellett gondolni, hogy vajjon a Föld alakja nem ugyanilyen elipszoid-e. A fokméréseknek el kell tudniok dönteni ezt a kérdést, hiszen nyilvánvaló, hogy ha a Föld nem pontos gömb, hanem a sarkain be van lapalva, egy foknyi földrajzi szélességkülönbségnek a sarkok felé egyre hosszabb távolság felel meg a Föld felszínén. Nem elég tehát akárhol végezni a fokmérést, mert ha északabbra történik a mérés, nagyobb értéket kapunk a Föld nagyságára, mintha délibb vidéken végzik a fokmérést. Más szóval, a fokmérés feladata kibővült, nem csupán a Föld méreteinek megállapítása lett a cél, hanem lapultságának kimutatása és a lapultság mértékének megállapítása is.

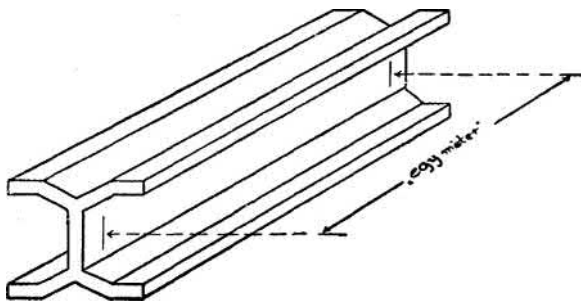
Az első kísérlet, melynek az volt a célja, hogy kiderítse, valóban van-e lapultsága a Földnek, nagy meglepetésre éppen az ellenkező eredménnyel járt, mint amit mindenki várt. 1680-tól 1718-ig egész sor fokmérést végeztek Franciaországban, északon és délen s a mérések feldolgozásakor azt találták, hogy a délebbi fokok hosszabbak, nem az északibbak. A franciák szentül meg voltak győződve arról, hogy a mérések kifogástalanok voltak s inkább azt a következtetést vonták le, hogy a Föld sarkai felé megnyúlt, tehát tojásdadalakú, azaz a forgástengelye nem rövidebb, hanem hosszabb bármelyik más átmérőjénél. A franciákkal szemben az angol tudósok fizikai érvekre támaszkodva amellet kardoskodtak, hogy a mérésekben van a hiba, mert minden forgásban levő gömb a centrifugális erő hatása alatt okvetlenül a sarkain lapul be, de egyébként is minden addigi mérés azt bizonyította, hogy a nehézségerő a sarkok felé valóban növekszik. *Newton* híres

tömegvonzástörvénye szerint a Föld vonzása valamely testre fordítva arányos a Föld középpontjától való távolsággal. Ez a távolság a belapult sarkokon kisebb, mint az egyenlítőn s a különbséget még növeli a Föld forgásából származó centrifugális erő, mely részben csökkenti a tömegvonzást és éppen az egyenlítőn a legnagyobb s a sarkokon a legkisebb. A nehézségerőt könnyű megmérni a Föld bármelyik pontján, nem kell egyéb hozzá, mint egy változatlan hosszúságú inga s megfigyelni annak lengésidejét a Föld különböző pontjain. Az inga ugyanis annál gyorsabban leng, mennél nagyobb a ráható nehézségerő, A franciák is végeztek már a Picard-féle fokmérések idején ilyen ingaméréseket, egyrészt otthon, Franciaországban, másrészt Délamerika egyenlítői vidékén, Cayenneben s kiderült, hogy az egyenlítőnél valóban nagyobb a nehézségerő, tehát a földgömbnek lapultnak kell lennie a sarkokon.

A későbbi fokmérések, különösen az a kettő, amelyet a francia tudományos akadémia rendezett 1735—1744-ben, expedíciókat küldve Lappföldre és Peruba, a lapultság szószólói javára döntötték el a tudományos vitát, sőt amikor újra számolták a Picard-féle mérések adatait, kiderült, hogy egyszerűen valami számolási hiba miatt adódott az ellenkező eredmény. A Lappföldön és Peruban végzett fokméréseknek más szempontból is nagy jelentőségük volt. A munka megkezdése előtt ugyanis végre megpróbálták pontosan és tudományos szigorúsággal meghatározni a toise valóságos hosszúságát. Készítettek egy ősmértéket, amelyet aztán jól védett helyen tettek el s ez a minta adta meg a toise elfogadott hosszúságát 13° Réaumur hőmérsékleten. A két expedíció mérőrúdjait ezzel a mintával hasonlították össze az indulás előtt s akarták a visszaérkezés után is összehasonlítani, hogy nem változott-e meg a hosszú idő alatt a mérésre használt rudak hosszúsága. Sajnos azonban, a Lappföldön használt rúdnak ezt az utólagos összehasonlítását nem lehetett megcsinálni, mert az útközben vízbe esett s mire kihalászták, erősen megrozsdásodott.

A franciák egyébként hiába próbálták elfogadtatni általánosan a toiset mértékegységként és ennek legfőbbképpen az volt az oka, hogy túlságosan önkényesen választott egység volt. A francia forradalom idején vetődött fel az a gon-

dolat, hogy kellene valami olyan hosszúságegységet kitá-
lálni, amelyet minden nemzet elfogadhatna, mert az alapja
valamilyen »nemzetközi« hosszúság, illetve magából a termé-
szetből adódik. Azt találták legjobbnak, ha magának a Föld-
nek a méreteit veszik ebben alapul, elvégre mindnyájan itt
élünk a Földön s mindannyiunknak ugyanannyi közünk van
hozzá. Így aztán a Konvent 1795 április 7-iki ülésén elhatá-
rozták az új mértékegység a *méter* lesz s ez legyen a földi dél-
kör negyedhosszúságának egytízmilliomod része. A negyed
délkör úgy értendő, hogy a sarkot és az egyenlítőt összekötő
legrövidebb távolság. Ennek a határozatnak csak az volt a
hibája, hogy az addigi fokmérések alapján még nem lehetett
tudni a földi délkör valóságos hosszúságát, hiszen a mérések
pontossága még sok kívánni valót hagyott hátra. Ezért aztán
újabb expedíciókat szerveztek a fokmérések pontosságának
fokozására, de mégsem várták meg ezeknek az eredményét,
hanem 1799-ben megegyeztek egy méteregységben az addigi
megközelítő adatok alapján s ezt az egységet *legális méternek*
nevezték el. Két finom vonást véstek egy platinarúdra,



amelyet a párisi állami levéltárban helyeztek el s kimondták,
hogy a két vonásnak 0° -on mért távolsága a méter. Ma már
nem ezt a legális métert ismerjük el hosszúságegységnek,
hanem a modern fokmérések alapján 1889-ben kijavított
»nemzetközi métert«, mely egy hajszálnyival rövidebb
amannál.

Természetesen a nemzetközi méter sem teljesíti azt az
eredeti feltételt, hogy a Föld délkörnegyede pont 10,000.000
méter, azaz 10.000 kilométer legyen, de nyilván nem is olyan
nagyon fontos, hogy kerek számmal lehessen kifejezni a Föld

kerületének egynegyedét. A párisi *Bureau des Longitudes* pincéjében őrzött ősméter 0.09 milliméterrel rövidebb, mint amennyinek tervezték, de ez is elég jól sikerült pontosságnak mondható.

Amióta tudjuk, hogy a Föld nem szabályos gömb, hanem sarkain belapult elipszoid, nem elég egy adat a nagyságának jellemzésére. Gömbnél elég, ha megadjuk az átmérőjét vagy sugarát, az ilyen elipszoidnál, amely úgy keletkezik, hogy az elipszist kisebbik tengelye körül megforgatjuk, meg kell adnunk a nagy tengelyét és a kis tengelyét, amiből természetesen adódik a lapultság mértéke is. A nagytengely a Földnél az egyenlítő átmérője, a kistengely a Föld északi és déli sarkát összekötő egyenes. A lapultság mértékéül a nagy- és kistengely különbségének a nagytengelyhez való arányát szokás nevezni. A Föld lapultsága ekképpen kifejezve 1: 297, s ez tehát prózára lefordítva azt jelenti, hogy a Föld tengelye az egyenlítő átmérőjénél ennek egy-kétszázkilencvenhetedrészével rövidebb. A geográfiában ma az amerikai *Hayford* által 1906-ban kiszámított értékeket fogadják el, amelyek a következők:

Fél nagytengely (az egyenlítő sugara) $a = 6,378.388$ m

Fél kistengely (a forgástengely fele) $b = 6,356.911$ m

A lapultság $\pm = 1:297$

Ugyanakkora felületű gömb sugara $r = 6,371.228$ m

Ugyanakkora térfogatú gömb sugara $r = 6,371.221$ m

Az egyenlítő hosszúsága 40,076.592 m

A délkörök hosszúsága 40,009.152 m

Érdemes még megjegyezni, hogy az egész Föld felszíne 510 millió négyzetkilométer.

Általában nemigen van szükség arra, hogy tekintetbe vegyük a Föld lapultságát, amely eléggé jelentéktelen. Ha azt mondjuk, hogy a Föld 6371 km sugarú gömb, nem követünk el vele végzetes hibát. A lapultság olyan kicsi, hogy szinte nem is lehetne ábrázolni. Ha például *egy* három méter átmérőjű földgömböt képzelünk el, annak a kistengelye kerek egy centiméterrel lenne rövidebb mint az egyenlítőjének átmérője, tehát nincs az a jószemű ember, aki észrevenné. Ugyancsak elhanyagolhatjuk a fokok valóságos hosszúságának különbségeit, habár a fokméréseknél éppen ezek külön-

böző volta bizonyította be a Föld lapultságát. A meridiánon mérve egy-egy fok hosszúsága átlagban 111.1 km, pontosan az egyenlítő azonban csak 110.56, a sarkokon pedig 111.68 km. Ha a szélső értékek helyett a közepeset mondjuk, nem követünk el nagyobb hibát, mintha a Budapest—Hatvan távolságnál ötszáz lépést tévedünk.

Még pontosabban a Föld alakja

A közönséges halandónak már az is majdnem mindegy, hogy gömbalakú-e a Föld vagy lapult elipszoid, a tudósok viszont soha sincsenek véglegesen megelégedve valaminek a pontosságával. De azonkívül nem szeretik az üres geometriai megállapításokat, hanem igyekeznek azoknak fizikai tartalmat adni. A természetben csak fizikai erők vannak, amelyek kialakítanak valamit s az ember aztán próbál képet szerkeszteni hozzá, kitalál mindenféle alakzatot, felületet s keresi, melyikhez hasonlít legjobban a valóság. Hiszen csak jusson eszünkbe, hogy a Föld felszínén hegyek, völgyek, tengerek vannak s ha a legmagasabb hegység is eltörpül a nagy Föld méreteihez képest, mégis messze vagyunk attól, hogy a Földet sima gömbnek vagy elipszoidnak vehessük. A Föld alakját a nehézségerő szabta meg, még abban az időben, amikor a Föld anyaga izzón cseppfolyós volt és engedelmeskedett a legkisebb vonzásokülönbségeknek is. Persze azóta sok minden történt a Föld felszínével, amióta lehűlt, megfagyott, de nem azokról az apró ráncokról van szó, amelyek csak a parányi ember számára tűnnek óriás hegyláncoknak.

A Földnek azt a valódi alakját, amelyet a nehézségerő szabott meg, *geoidnak* nevezik. Ha nem lennének szárazföldek, hanem az egész Földet egyenletes mélységű tengerek borítanák, a víz felülete mindenütt szigorúan vízszintes volna, ami azt jelenti, hogy a víz felülete mindenütt merőlegesen állna be a helyi nehézségerő irányára, vagyis a függőleges irányra. Ez a geoid alak nem pontosan elipszoid, habár nagyon hasonlít hozzá, az eltérés azonban legfeljebb 100 métert tesz ki, ami a Föld hatalmas méreteihez képest egészen elenyésző. A geoid felületét úgy tudjuk elképzelni, ha a tengerek felszínét meghosszabbítjuk a szárazföldek alatt. Fizikai meghatározás szerint a geoid úgynevezett *nívófelület*, vagyis olyan,

amely minden pontjában merőleges az ottani nehézségerő irányára, vagy, mivel ezt a meghatározást már ismerjük, minden pontjában »vízszintes«.

Olyan egyszerűen hangzik ez, hogy az ember azt hinné, mi sem könnyebb, mint akárhol a geoidot megállapítani, hiszen elvben elég felfüggeszteni a függőönt s megszerkeszteni rá egy merőleges síkot, vagy még egyszerűbben: vizet önteni egy nagy tálba s annak vízszintes felülete azon a ponton a nívófelület. A valóságban azonban sokkal nagyobb gonddal kell eljárnunk, mert a nehézségerő iránya nem csupán az egész Föld vonzása és a centrifugális erő összetevődéséből áll elő, hanem jelentékeny szerepük van a közelben levő nem-szabályos nagyobb tömegeknek, hegyeknek vagy földalatti sűrűbb tömegeknek, habár ezek a szabálytalanságok az egész Föld hatásához képest kicsinyeknek látszanak is. Annyira azonban nem kicsinyek, hogy pontos méréseknél elhanyagolhatók legyenek.

Minden földmérésnél csillagászati megfigyeléseket kell végezni, legtöbbször csillagoknak a látóhatártól számított magasságát, természetesen szögmértékben, A látóhatár, a horizont pedig éppen az a sík, amelyet a megfigyelés helyén a függőön mutatta függőleges irányra merőlegesen képzelünk el. Ahorizon síkjának kijelölése többféleképpen történhetik a csillagmagasságok mérésénél. Legegyszerűbb, illetve legkönnyebben elképzelhető, ha például lflganyt öntünk egy tálba. A cseppfolyós higany nyilván szigorúan vízszintesen helyezkedik el, a felülete tükrözik s egy csillag látszólagos magasságát úgy mérhetjük meg, ha megmérjük a csillag igazi és a higanyfelületről visszatükröző képe közt bezárt szöget. Ez a szög kétszerese a csillagmagasságnak. A legegyszerűbb s a tengerészeknél lépten-nyomon használt csillagászati műszer, a szextáns így használatos. A higanyhorizonban azonban nem lehet tökéletesen megbízni, ha a közelben például egy nagyobb hegy van. Egy hegy lábánál állva tekintetbe kell vennünk, hogy a hegy hatalmas tömege is yonzó erővel hat a függőön gömbjére s a szigorúan vett függőleges iránytól kicsit maga felé húzza. Ennek az a következménye, hogy a függőön nem mutat pontosan a Föld középpontja fölé, vagyis nem áll merőlegesen az elméleti látóhatárra, tehát a mesterséges higanyhorizon is lejt egy kicsit a hegytől a sík föld

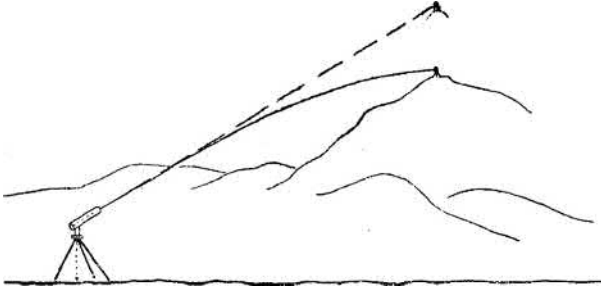
felé. Ugyanígy csal a vízszinteség megállapítására szolgáló közismert libella is.

Hegyek lábánál tehát a esillagmagasságok mérését korrigálni kell, azáltal, hogy kiszámítjuk a hegy vonzását s megállapítjuk, mennyivel téríti el ez a vonzás a függőönt helyes irányából. De a síkságokon is előfordul, hogy a föld alatt itt-ott sűrűbb tömegek, eltemetett hegyek vannak s ezek vonzása is megváltoztathatja a függőön beállítását. A geoid képzelt felületét a függőön helyzete árulja el és nyilvánvaló, hogy ez a felület nem lehet olyan sima, mint egy kopasz golyó. Hegyek alatt a meghosszabbított tengerfelszínhez képest a geoid kicsit kidudorodik, síkságokon peclig esetleg hepehupás lesz a mélységekben rejlő szabálytalan tömegeloszlás következtében. A mindennapi élet, vagy akár a komoly földrajztudomány szempontjából jelentéktelenek ezek a helyi eltérések, de nagyon szigorúan tekintetbe kell venni őket, ha pontos fokméréseket végzünk. A fokmérésnél egyrészt megmérjük két kijelölt pont egymástól való távolságát a Föld felszínén, másrészt megállapítjuk a két hely szögtávolságát, ami, ha mindkettő ugyanannak a meridiánnak a mentén fekszik, azaz éppen az észak-déli irányban, annyit jelent, hogy csillagászati megfigyelésekkel megmérjük mindkettő földrajzi szélességét. A földrajzi szélesség éppen az a szög, amivel az északi sark látszik a látóhatár fölött, tehát a földrajzi szélességek meghatározása annyi, mint esillagmagasságok mérése. A csillagmagasságok mérésénél pedig a valóságos horizont, a függőön megfigyelt helyzetét, a libellák állását kell tekintetbe vennünk s mint láttuk, itt aztán a helyi gravitációs eltérések megtéveszthetnek. Tegyük fel, hogy a fokmérést két olyan pont között végezzük, amelyek közül az északi sík földön van, a déli pedig egy nagy hegység lábánál. Ezen az állomáson mérve a sarkmagasságot, olyan horizont használunk, amely észak felé lejt, aminek az a hatása, hogy a mért sarkmagasság nagyobb lesz a kelleténél. Akármilyen pontos volt is a műszerek leolvasása, a déli állomás földrajzi szélessége számára a helyesnél nagyobb értéket kapunk s ennek az a következménye, hogy a két pont közti szögtávolság kisebbnek adódik, a földi fókosszúság számára pedig a helyes értéknél nagyobbat kapunk.

Mindez azonban nem azt jelenti, hogy egyáltalán nem lehet pontos értékeket kapnunk a Föld felmérésében, hanem

csak azt, hogy a legnagyobb körültekintésre van szükség a mérések feldolgozásában. A csillagászati méréseket ki kell egészíteni gravitációs mérésekkel, a mérő állomásokon meg kell mérni a nehézségerő nagyságát és irányát s a helyi eltérések számbavételével szabad csak feldolgozni adatainkat. Ne szalasszuk el itt az alkalmat arra, hogy még egy példát hozzunk fel, mennyire nehéz munkájuk van a tudósoknak s mi mindenre kell gondolniok, ha valóban szívükön fekszik eredményeik pontossága. A Föld felmérésére külön tudomány alakult ki, a *geodézia*. Két részét szokás megkülönböztetni, az alsó és felső geodéziát. Az alsó geodézia kisebb felületek felmérésével, egyes vidékek, országok térképezésével foglalkozik, a felső pedig egybefoglalja ezeket az eredményeket, fokméréseket végez, nagy kiterjedésű területek, földrészek felmérésével foglalkozik, s végeredményben igyekszik meghatározni a Föld valóságos alakját minden részletében is. Ebben a munkájában alapjában véve óriási kiterjedésű háromszögeléseket végez. Kitűz mindenféle trigonometriai pontokat, megméri azok helyzetét, alaptávolságokat határoz meg s ezekből kiinduló háromszögek hálózatával borítja be az egész Földet. Egy-egy háromszögelési pont helyének megállapításában azonban nem csupán a pont földrajzi szélessége és hosszúsága fontos, hanem a tengerszint feletti magasság is, tehát ennek a meghatározása is a geodéziába tartozik. Most jön aztán a bonyodalom. A trigonometriai pontok sok kilométernyi távolságban vannak egymástól és természetesen különböző tengerszint feletti magasságban. A szögmérések úgy történnek, hogy a mérnök feláll egy trigonometriai pontra teodolitjával, s onnan ráirányítja a távcsövét a legközelebbi trigonometriai pontok egyikére, leolvassa az irányt, aztán sorra veszi a másik pontot, annak az irányát is leolvassa s így megkapja a két irány által bezárt szöget. Azaz megkapná, ha . . . A fénysugár azonban csak akkor halad valóban egyenes irányban, ha az a közeg, amelyen átmegy, egyenletes sűrűségű. Ebben az esetben a levegőnek kellene egyenletes sűrűségűnek lenni a két-két trigonometriai pont közt, ez azonban csak a legritkább esetekben várható, mert az kellene hozzá, hogy a két pont között ne legyen hőmérséklet- és nyomáskülönbség, mivel a levegő sűrűsége függ a hőmérséklettől és a nyomástól. Ha például a két pont különböző

magasságban fekszik, ami hegyvidékeken különösen valószínű, a légnyomás mindkét helyen más, a két pont közti úton pedig jelentékeny hőmérsékletkülönbségek is lehetnek s ezek hatására a fénysugár bizony megtörik, elhajlik s az útja nem egyenes, hanem görbe lesz. Egy-egy mérésnél



talán észre sem lehet venni a különbséget, de nagy kiterjedésű háromszögeléseknél szinte ellenőrizhetetlenül összegeződhetnek az apró eltérések, hibák.

A megfigyelések és mérések hibái természetesen csak akkor veszedelmesek, ha nem törődünk velük. Kiküszöbölni nem lehet őket, akármilyen tökéletesek is műszereink, az imént említett példa azt mutatja, hogy a természetben magában is annyi hibaforrás lehet, ami ellen semmitsem tehetünk. Hibátlan mérésekről tehát nem lehet szó, de tudatosan vigyázhatunk a hibákra, számba vehetjük őket s kiegyenlíthetjük az eltéréseket. Ezért jár minden mérés hosszadalmas számolással együtt, s ezért nem lehet elégszer megismételni minden mérést, hogy a végeredményből lehetőség szerint eltűnjenek az apró hibák.

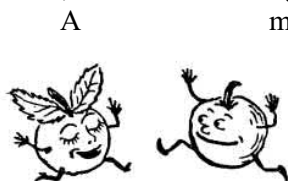
A kuriózum kedvéért megemlítjük azt a pár évtized előtt felvetődött elméletet, hogy a Föld tulajdonképpen tetraéder alakú. A tetraéder tudvalevően egy szögletes test, négy csúcsa van s négy oldallapja szabályos háromszög. Első hallásra örülségnek látszik, hogy valaki ilyen különös alakot tulajdonítson a Földnek, de nem is arról van szó, hogy a Földet valóban négy ilyen szabályos sík háromszög határolja. A furcsa elméletnek van azért némi alapja. A Föld legmagasabb helyei nyilván a szárazföldek hatalmas hegyláncai, legmélyebb helyei pedig az óceánok fenekéi. Ha már

most a Földbe beleképzelünk egy tetraédert a megfelelő helyzetben, valóban az derül ki, hogy a viszonylag legmagasabb pontok a tetraéder élei táján vannak, a mély tengerfenékek pedig a sík lapok mentén. Ha így van is, nem jelent semmit sem, mert semmiféle olyan fizikai törvény nincs, aminek alapján megérthetnénk, hogy egy összezsugorodásban levő égitest tetraéder alakot akarjon felvenni.

A Föld tömege

A Föld geometriai méreteit ismerjük már, de ha igazában meg akarjuk ismerni nagyságát, beszélnünk kell a tömegéről is. Itt a Földön általában mérleggel szoktuk mérni a testek tömegét, de arról szó sem lehet, hogy ezt a szabadon lebegő gömböt akárcsak képzeletben feltegyünk egy óriási mérlegre s úgy mérjük meg. A Föld tömegét nem tudjuk megmérni, csak kiszámítani, azt is azonban csak akkor, ha már megmértük geometriai méreteit.

A kiszámításra a Newton-féle általános nehézkedés törvénye ad lehetőséget. E törvény szerint a világegyetemben mindenütt minden anyag vonz minden anyagi testet s ez a vonzás arányos a testek *tömegével*. (És fordítva arányos kölcsönös távolságuk négyzetével.) Ez a vonzás az oka annak is, hogy ha eleresztünk valamit itt a Földön, az leesik. Egyébként a függőön is azért áll be függőleges irányba, mert a nehezeke igyekszik a lehető legmélyebb helyzetet elfoglalni. Valamely erő nagyságát úgy mérik meg a fizikusok, hogy megméri az általa okozott gyorsulást. A Föld felé szabadon eső testek másodpercenként 9.8 méternyi gyorsulással esnek, bár tudjuk, hogy ez a gyorsulás a Föld különböző pontjain valamivel különbözik az átlagtól, részben a Föld lapultsága miatt, részben a centrifugális erő következményeként.



A matematikusok megállapították, hogy egy gömbalakú testvonzása valamely rajta kívülre eső pontra ugyanakkora, mint ha a gömb egész tömegét annak középpontjába képzelnénk egyesítve. Első megközelítésben bátran vehetjük gömbalakúnak a Földet — sugara 6.371 km, — s itt a felszínén meg-

nyilvánuló nehézségerőt olyan vonzásnak tekinthetjük, melyet a Föld középpontjába összesűrített egész tömege gyakorol az onnan 6.371 km távolságban levő testekre. Most már csak azt kell tudnunk, hogy mekkora ennek a tömegvonzásnak az egysége, vagyis milyen erővel vonzza egymást két egy grammnyi tömeg egy centiméter távolságból? Ezt természetesen meg kell valahogyan mérni. Sokféleképpen próbálták a fizikusok megmérni ezt az erőt, a legpontosabban *Eötvös* Lórándnak sikerült híres torziós ingájával. A mi számunkra nem fontosak a részletek, megelégedhetünk a végeredménnyel. Eszerint két egy grammos tömeg egy centiméternyi távolságból való vonzása akkora, amekkora nyomást gyakorol egy ezredgrammnyi súly egy-tizenötmilliomod része. Ez az erő elképzelhetetlenül kicsiny, próbáljunk tehát valamivel nagyobb tömegeket venni. Két tízdekás alma 10 cm távolságból 1/150.000 milligrammnyi erővel vonzza egymást, két hetven kilogramos felnőtt ember egy méter távolságból 0.03 milligrammnyival, két 25.000 tonnás gőzös egy kilométerre egymástól körülbelül 4 grammnyival.

Képzeljünk egy egy szemléletesebb módját annak, hogy hogyan lehet megmérni a Föld súlyát. Elhelyezünk egy 1.000 kg-os, vagyis egytonnás gömböt valamilyen állványon s a középpontjától pontosan egy méternyire eléje függesztünk egy olyan függőönt, melynek egy gramm a súlya. Kellően érzékeny berendezés mellett megmérhetjük, hogy a függőön mennyivel hajlik az egytonnás gömb felé s ebből kiszámíthatjuk, mekkora a gömb vonzó ereje. Eredményül azt kapjuk, hogy körülbelül 1/150 milliomod gram súlyával egyenlő. (Könnyű átszámítani ezt az adatot a fenti gram-centiméter alapon megadottra, 1 tonna = 1 millió gram.) Ha a függőön egygrammos golyócskája szintén egy méternyi távolságban lenne a Föld középpontjától, ahová egyesítve képzeljük a Föld egész tömegét, nyilván 150 milliószorta nyomna többet mint rendesen, mert hiszen 150 milliószorta erősebben vonzza a Föld, mint az egytonnás gömb. A Föld középpontja azonban nem egyméternyire, hanem 6,371.000 méternyire van a kis golyótól, s mivel a vonzás a távolság négyzetével fogy, tehát a Föld vonzóereje csak 6,371.000²-része annak az erőnek, amellyel egy méter távolságból hatna, Mivel ilyen körülmények között 150 milliószor olyan

nehéznek tűnnék fel a Föld, mint az egytonnás gömb, a valóságban 150,000.000 X 6,371.000 X 6,371.000-szer egytonna a tömege. Végezzük el a szorzást: körülbelül 6 trillió tonnát kapunk. Ha még nagyobb számot akarunk, mondhatjuk, hogy 6 kvadrillió gram. Nehogy túlságosan büszkék legyünk Földünk hatalmas tömegére, jegyezzük meg, hogy a Nap tömege ennél 333.000-szer nagyobb.

Ismerve földgolyónk átmérőjét és tömegét, kiszámíthatunk egy érdekes adatot, a Föld közepes sűrűségét. A Föld térfogata az ismert geometriai képlettel kiszámítva 1,083.260 köbkilométer. Egy köbkilométer egymillió köbméter, tehát a 6 trilliót el kell osztanunk 1,083.260,000.000-val, hogy megkapjuk a sűrűségét. Az osztás eredménye 5.52, ami azt jelenti, hogy a Föld anyaga 5.52-szer sűrűbb a víznél. Ez az eredmény eléggé meglepő, ha tudjuk, hogy a szemünk előtt levő kőzetek fajsúlya jóval kevesebb. A gránitos kőzetek fajsúlya 2.7, a bazaltosoké 3—3.3, az üledékes kőzeteké, amilyen az anyag, homokkő, mészkő, 2.5—2.8, a sós tegervízé pedig 1.2. Kétségtelen tehát, hogy a Föld belsejében 5.5-nél jelentősebben sűrűbb agyagoknak kell lenni.

Rögtön felmerül az a kérdés, hogy hogyan növekedik a sűrűség lefelé, a Föld középpontja felé. Régebben úgy képzeltek, hogy a sűrűségnek egyenletesen, illetve fokozatosan kell növekednie a mélységekkel, még pedig azért, mert a nyomás is fokozatosan növekszik. Képleteket is szerkesztettek, különféle feltevések alapján, hogy milyen törvény szerint növekszik a sűrűség lefelé, de aztán az újabb kutatások és megfontolások kiderítették, hogy nem lehet szó egyenletéről. Egyelőre csak nagyjában említjük meg, hogy mai tudásunk szerint a sűrűség ugrásszerűen változik a Föld belsejében s annak idején úgy helyezkedtek el az anyagok, hogy a nagyobb fajsúlyúak legmélyebbre kerültek. Úgy képzelhetjük el, amint azt a nehézfémek kohósításakor látjuk az olvasztó kemencékben. Itt is legalul helyezkedik el a legnehezebb szénfém, felette rétegződik a fémszulfid-oxidtömeg, legfelül van pedig a legkönnyebb, a szilikátos salakréteg. Bizonyos, hogy a Földben is ehhez hasonló elrendeződés van. Legfelül találjuk a Föld fémanyagát, mely főképen vasból és nikkeltől van és közepes sűrűsége körülbelül 8. Ennek a fémmagnak a sugarát 3.500 km-re becsülik. Fölötte van az

oxid-szulfidzóna, melynek vastagsága 1.700—1.900 km, sűrűsége 5 körül van. Azután következik a salakréteg, könnyű szilikátokból, vastagsága 1.200 km, sűrűsége 3.5—2.7. Ennek a salaknak a tetején fekszik a szó szoros értelmében vett földkéreg, mely mindössze 50 km vastag.

Az ember szempontjából ez az elenyészően vékony legfelső réteg a legfontosabb, hiszen minden szerves élet itt játszódik le. E vékonyka réteg azért éppen elég munkát ad a geológusoknak. Az ötven kilométeres vastagság körülbelül annyit jelent, mint tojáson a kemény héj, tehát a nagy Földnek valójában csak egy igen elenyésző kis részéhez van közvetlen köze az embernek, s amint látjuk majd ebben a könyvben, mégis rengeteg megismerni való van a Földnek számunkra hozzáférhető papiros vékony kérgében és kérgén.

A Föld forgása

A régiek nemcsak azt gondolták, hogy a Föld van a világ közepén, hanem az égitestek látszólagos mozgását is úgy magyarázták, hogy az egész mindenség engedelmesen forog a Föld körül. Mihelyt azonban kezdték megsejteni, hogy milyen végtelen a világegyetem, milyen messze vannak az égitestek, a Nap, Hold s az állócsillagok, gyanút fogtak, hogy ami napi mozgást látunk az égen, az a valóságban csak látszat s az az igazság, hogy a Föld forog saját tengelye körül, természetesen ellenkező irányban, nyugattól kelet felé. Minket a Föld forgása most annyiban érdekel főképen, hogy alapja az időszámításunknak. Érthető, hogy kezdettől fogva az is volt. Az ember egész életét a nappalok és éjszakák szabályos váltakozása irányítja s a világosság és sötétség állandóan ismétlődő szakaszai adták az időmérés első egységét, a napot. A magyar nyelv ugyanazt a szót használja az égitest Napra és a Nap járása által megszabott időtartamra, a legtöbb nyelv azonban megkülönbözteti a kettőt, a Nap németül *Sonne*, franciául *Soleil*, angolul *Sun*, a nap németül *Tag*, franciául *jour*, angolul *day*

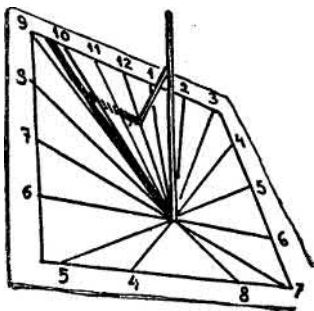
Ha valamilyen mennyiséget mérni akarunk, ma már első gondolatunk erre a célra megfelelő *egységet* választani és magától értetődőnek tartjuk, hogy a választott egységnek állandónak kell lennie és mindenkor ellenőrizni kell tudni az

állandóságot. A Nap napi járása alapján választott »egy nap« időegység azonban nem elégíti ki ezeket a feltételeket. Eltekintve attól, hogy a nappalok és éjszakák tartama tág határok közt ingadozik tél és nyár között, a valóságos nap hosszúsága sem ugyanakkora állandóan. Az egyiptomiam, görögök, rómaiak napkeltétől számították a napokat a következő napkeltéig s mondanunk sem kell, hogy az ő napjaik meglehetősen egyenlőtlenek voltak. Tavasszal tudvalevően egyre hosszabbodnak a nappalok, egyre korábban kel a Nap, tehát minden következő nap rövidebb lesz, viszont ősszel rövidülnek a nappalok, mindennap később kel a Nap, minden következő nap hosszabb az előzőnél. Pontosabb lesz a nap hosszúsága, ha déltől délig, vagy éjfélről éjfélig számítjuk. Habár könnyebb a delet megfigyelni, mint az éjfélt, a mindennapi élet számára jobbnak látszott éjféltől számítani a napokat, hogy ne fényes nappal, munka közben változzék a dátum, hanem alvás alatt, éjszaka. A csillagászok ezzel szemben mindig az ellenkezőt csinálták, déltől délig számolták a napokat, ami érthető is, hiszen ők éjszaka dolgoznak s számukra kényelmesebb, ha egyfolytában végzett megfigyeléseiket nem kell két nap munkájaként számon tartani. Csak 1925-ben határozták el végre, hogy ők is átveszik a polgári dátumbeosztást és éjfélkor kezdik a napot.

Arra azonban, hogy a Nap járása nem ad megfelelő egységet az időszámításra, már a Krisztus előtti második századba rájött a görögök egyik legnagyobb csillagásza, *Hipparchosz*, mikor észrevette, hogy a Napnak a csillagok között megtett évi útja nem egyenletes. Ebből ugyanis azonnal következett, hogy a napok sem lehetnek pontosan egyenlők. És már ő bevezette a valóságos nap helyett a középnapot, elképzelvén egy olyan Napot, amely egész éven át egyenletes mozgással halad a csillagok között, tehát két-két delelésé között egész éven át mindenkor ugyanannyi idő telik el. Természetesen mindenkiben felmerülhet az a kérdés, hogyan tudta *Hipparchosz* megállapítani a látszólagos napok egyenlőtlenségét? Nyilván egyetlen lehetőség van erre, össze kell hasonlítani a napok tartamát egy éven át valamilyen pontosan járó óra segítségével. Óra azonban az ő idejében még nem volt olyan értelemben, hogy egészen kis időközöket is

pontosan lehessen mérni vele. De ha mesterségesen nem is tudtak akkor pontosan járó órát készíteni, a természet adott egy pontos órát; amelynek hibátlanul egyenletes járásáról *Hipparchosz* is szentül meg volt győződve s ez az óra az állócsillagok égboltja. Bebizonyítani természetesen nem tudta, hogy az állócsillagok valóban örökké egyenletesen végzik napi mozgásukat, de akkor nem is lett volna szükség ilyen bizonyításra, hiszen a régiek a csillagok mozgását eleve úgy vették, hogy az egyenletes körmozgás, mely örök törvények szerint tökéletes harmóniában megy. Mi tudjuk, hogy a csillagos égbolt napi mozgása csak tükörképe a Föld napi forgásának s nyomósabb okokat tudunk felhozni e mozgás egyenletességére, mint a görög filozófusok. Nem vitás azonban, hogy *Hipparchosznak* joga volt a csillagok napi mozgását egyenletesnek tekinteni s ennek segítségével megállapítani, hogy a »Nap-óra« egyenlőtlenül jár.

Ha a csillagos ég napi forgását tökéletesen egyenletesnek tekintjük, akkor ezt választhatjuk megbízható időegységnek. Bármely csillag két egymást követő delelése, vagy akár kelte, akár nyugta között mindenkor pontosan ugyanannyi idő telik el s ezt az időtartamot *csillagnapnak* nevezzük, ellentétben a Nap-nappal.



A csillagnap valamivel rövidebb a Nap-napnál, aminek az az oka, hogy a Nap saját szakállára is mozog a csillagokhoz képest még pedig ellenkező irányban a napi égboltmozgással. Ez a külön mozgás megint csak tükörképe a Földnek a Nap körül való keringésnek. Eredménye az, hogy a Nap mintha szembemenne az égen a csillagok napi mozgásának, mialatt a Nap 365-ször látszik körülmenni az égen keletről nyugatra, a csillagok azalatt 366-szor fordultak meg. (Pontosabban 366.2422 csillagnap egyenlő 365.2422 Nap-nappal.) Ha a középnapot osztjuk be 24 órára, mint könnyen kiszámíthatjuk, a csillagnap tartama 23 óra 56 perc 4másodperc. A középnap és a valódi Nap-nap között évszakok szerint változik az eltérés, a legnagyobb különbség 16 percre rúg. A csillagászati vonatkozások minket ebben a

könyvben tovább nem érdekelnek, de érdemes még pár szót szólni a 24 órás beosztásról.

A huszonnégyes beosztás eredete a babiloniak tizenkettes számrendszerében gyökerezik. Az egyiptomiak a nappalt is, az éjszakát is 12—12 órára osztották be, a valóban világos nappalt és a sötét éjszakát véve alapnak. Ez a beosztás nyilván nagyon egyenlőtlen volt, télen a rövidebb nappalokat ugyanúgy 12 órára osztották, mint a nyári hosszúakat, tehát még a nappali és éjszakai órák sem voltak egyformák ugyanazon a napon, kivéve a tavaszi és őszi napéjegyenlőség napját. Ezeket a változó órákat *temporál-óráknak* nevezzük s minden hibájuk ellenére a görögök és rómaiak is ezt a beosztást használták. A középkor is átvette s egészen a 14-ik századig Európában is temporál-órákban mérték az időt, hiszen akkor még amúgy is látástól-vakulásig volt a munkaidő. Nagyon lassan tértek át a napnak egyenlő tartamú órákra való beosztására, vagyis a 24 egyenlő hosszú órára. A régi rendszerből aztán csak annyi maradt meg, hogy kétszer 12 órát számláltunk s ezt a már értelmetlenné vált számlálást szinte mindmáig sem tudtuk elhagyni. Hiába rendelték el már az egész világon a huszonnégyórás időszámítást, amíg óráink számlapján tizenkétórás a beosztás, nagyon nehéz hozzászokni.

Az órákra való beosztás azonban így is, úgy is inkább csak elméleti maradt a kerekés órák feltalálásáig, 14-ik század elejéig. Addig főképen napórákat használtak, amelyeknek természetesen nagy hibájuk volt, hogy csak napsütés alatt mutatták az időt s akkor is a valódi Nap-időt. Rövidebb időtartamok mérésére víziórákat vagy homokórákat használtak. Ezek alapelve az volt, hogy egyenlő időközökben körülbelül egyenlő mennyiségű víz vagy homok folyik ki a lyukon. Az első kerekés órák nem sokkal maradtak hátra pontatlanságban a homokóra mögött. Kezdetben ugyanis nem ingát alkalmaztak az óra járásának egyenetlenségé tetelére, hanem mérleghez hasonlító, ide-oda billegő pálcika szaggatta meg a kerekék járását. Ennek a billegőnek azonban nem lehetett egyenetlen a járása, túlságosan érzékeny volt minden súrlódásváltozásra, súlyponteltolódásra. Az ingát csak azután kezdték alkalmazni órák szabályozására, mikor *Galilei* felfedezte, hogy az inga lengésideje csak a hosszú-

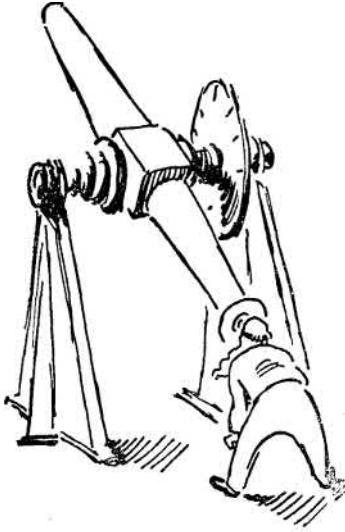
ságától függ, már tudniillik ugyanazon a helyen. Közben azonban, 1500 körül *Henlein*, nürnbergi mechanikus már készített egy zsebórát, a maihoz hasonló billegővel.

A mai csillagászati órákról azt mondhatjuk, hogy elérték a tökéletesség legmagasabb fokát, ámbár ez még mindig nem jelenti azt, hogy óráinkkal ellenőrizhessük, nincs-e szabálytalanság a Föld forgásában. Minden csillagászati órát állandóan ellenőrizni kell s nem lehet hosszabb időre magára hagyni, bármilyen pontosnak bizonyult is addig. A csillagászok nem is kívánják meg óráiktól, hogy tökéletesen pontosan mutassák az időt, megelégszenek azzal, hogy ha a járásuk legalább egyenletes, vagyis ha napról-napra minél pontosabban ugyanannyival sietnek vagy késnek. Az órák ellenőrzése azonban csak csillagászati időmeghatározással történhetik, tehát egyetlen óra sem alkalmas annak eldöntésére, hogy a Földnek valóban egyenletes-e a forgása. Már pedig a csillagászok nem egészen hisznek a Föld örökké egyenletes forgásában. Vannak például a Hold mozgásában olyan eltérések, amelyeket a leggondosabb elméleti számításokkal sem lehet megmagyarázni, hanem csak azzal, hogy időegységünk, azaz a Föld forgás-ideje hosszabb időtartam, évszázadok alatt változik, igaz, hogy rendkívül kis értékben. Hogy így van-e, azt csak olyan órákkal lehetne eldönteni, amelyek a Föld forgásánál is szabályosabban járnak s erről meg vagyunk győződve. Pár évvel ezelőtt aztán valóban sikerült olyan órákat kitalálni, amelyekben a legszigorúbb csillagász is megbízhat.

Ezek az újfajta órák a kvarcórák, melyekben a szabályozást a kristályban szabályosan elrendeződött atomok rezgése végzi. A részletek már nem tartoznak ide, számunkra elég tudni, hogy a kvarcórák függetlenül minden nehézségerőtől valóban örök megbízhatósággal végzik a maguk meghatározott rezgését, csak ugyanazon a hőmérsékleten kell őket tartani, amit elég könnyen elérhetünk. Amihez hasonló azelőtt sohasem sikerült, lehetett több olyan órát csinálni, amelyek minden utólagos szabályozás, beavatkozás nélkül is éveken át olyan egyformán járnak, hogy legfeljebb egy ezredrész másodperc eltérés van köztük. A kvarcórák felállítása óta ugyan még nem telt el két évtized sem s ezért a megfigyelésekből egyelőre nem lehet biztos adatokat

kapni arra, hogy a Föld forgásában van-e rendszeres lassúbodás, vagy nincs, de annyit máris megállapítottak, hogy a Föld forgásában vannak apró zökkenők. Így például 1934 júniusában négy ezredmásodperccel rövidebb volt egy nap, mint májusban s ugyancsak ilyen hirtelen, de átmeneti változás mutatkozott 1935 januárjában is.

Az előzőekben háromféle időről volt szó, csillagidőről, közönséges Nap-időről és kö-



zépnap-időről, s aszerint, hogy minek a két delelése közt le-telt időt vesszük egy napnak. Csillagidőről beszélünk akkor, amikor a csillagoknak, a csillagos égboltnak egy teljes körül-forgásának idejét tekintjük, valóságos Nap-időről, ha a Nap két delelése¹ közti időt vesszük, végül közép-időről, ha az egyenletesen mozgónak képzelt közép-Napra vonatkoztatjuk időszámításunkat. Mind a három fajta időnél égitesteknek a meridiánon való átvonulását kell megfigyelni. A meridián a megfigyelő ponton átmenő észak-dél irány, ami az

egész Földön meghosszabbítva egy nagy kört jelent az északi és déli sarkon keresztül. Ezt a kört, a meridiánt, kivetíthetjük az égboltra s a csillagászok azt figyelik meg, mikor halad át a kiszemelt égitest ezen az égre vetített, természetesen láthatatlan körön. Nyilvánvaló mármint, hogy minden időmeghatározás helyi időt ad, hiszen amikor egy csillag a mi meridiánunkon megy át, a tőlünk keletre fekvő helyeken már átment az ottani meridiánokon, a nyugatra eső helyeken még nem ment át. Ugyanannyi idő csak az azonos meridiánon fekvő helyeken lehet, A Föld egyenlítői kerületét 360 fokra osztva könnyen adódik, hogy a nap 24 órájából 15° hosszúságkülönbségre esik egy óra különbség a helyi időben. Tehát a Földnek 15 fokos elfordulása jelent egy órányi időt, egy foknyi 4 percet. Magyarország elég kis terület, de azért Debrecen és

Sopron között körülbelül öt fok hosszúságkülönbség van, tehát Debrecenben húsz perccel előbb van dél, mint Sopronban. Régente valóban mindenütt helyi időben számoltak s akkor harangoztak delet, amikor a Nap delelt, de manapság elképzelhetetlen lenne, hogy minden városnak, minden falunak külön időt engedélyezzünk. Gondoljunk csak a vasutakra, Képtelenség lenne menetrendet szerkeszteni, ha minden állomáson másképp járnának az órák s az utasok belebolondulnának, hogy útközben állandóan előre vagy hátra kellene igazgatni órájukat, A Sopronból elinduló utas Győrött már négy perccel előre igazítaná óráját, Budapestre érkezve még hat perccel s visszafelé természetesen ugyanannyival hátra. Ezért egyeztek meg a civilizált országok a múlt század nyolcvanas éveiben az úgynevezett *zónaidő* bevezetésében, amelynek lényege az, hogy általában minden 15° hosszúságkülönbségre egy-egy órával ugrik az idő, s ezeken a zónákon belül nincs különbség az órák járásában. Természetesen nem lehet ragaszkodni a hosszúságfokokhoz, hanem egy-egy országon belül tekintik érvényesnek a zónaidőt. Minálunk a középeurópainak nevezett zónaidő járja, amely a Greenwich-től keletre számított 15° -os meridián helyi ideje. Ehhez a zónához tartoznak Ausztria, Németország, Svájc, Olaszország és a Skandináv államok. A greenwichi időt nyugateurópai időnek nevezik, ebben számol Anglia, Franciaország, Belgium, Spanyolország. Hollandia viszont nem csatlakozott a nyugateurópai zónához, hanem az amsterdami helyi időben számol. Nagy kiterjedésű országokban, mint Oroszországban, vagy az Egyesült Államokban nem lehet egyetlen zónával rendezni az egységes időszámítást, úgyhogy Amerikában például öt zónaidő van, a 75° , 90° , 105° , 120° és 135° hosszúságok helyi idejei. így tehát aki Newyorkból a Csendes-óceán partjáiig utazik, útközben négyszer igazítja vissza egy-egy órával az óráját. A zónaidőszámításnak megvan az az előnye, hogy legalább egy-két ország területén egységes az idő. Természetesen elhatározhatnák, hogy megállapodnak az egész földre érvényes egyetlen időben, például a greenwichi meridiánra vonatkoztatott helyiidőben, mint ahogyan a csillagászok valóban ilyen »világidőt« használnak. A polgári életben azonban túlságosan zavarossá válna az időszámítás, mert

hiszen az órák minden kapcsolatot elvesztenének a helyi idő vél. Így például az amerikaiaknak hozzá kellene szokniok, hogy a Nap 12 órákor kel fel, s 18 órákor van dél.

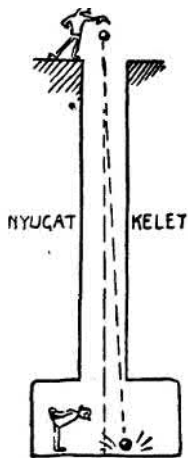
Ha mondjuk, Greenwichől elindul valaki kelet felé, minden 15 foknyi hosszúságkülönbség elérésekor egy órával előre igazítja óráját. Nyilvánvaló, hogy ha körülment a Földön és visszaérkezett Greenwichbe, 24-szer egy órát, vagyis egy teljes napot nyert, vagyis például a saját időszámítása szerint vasárnap érkezik meg, ott pedig azt mondják, hogy már hétfő van. Ha nyugat felé indul el, ugyanígy veszít egy napot. A Föld gömbvoltának ezt az érdekes következményét először 1520-ban élte át Magellan a Föld első körülvetorlázása alkalmával. A tengerészeket nagyon meg is zavarta a dolog s alig akarták elhinni, hogy mire visszaérkeztek nyugat felé megkezdett földkörüli útjukból Spanyolországba, elvesztettek egy teljes napot. Az ilyen zavarok elkerülésére aztán megállapodtak abban, hogy a Greenwichől számított keleti hosszúság 180° -án áthaladó délkör legyen a tengerészeti dátumhatár. Ha kelet felől halad át ezen a délvonalon a hajós, egy napot kihagy a naptárából, ha nyugat felől lépi túl, kétszer számítja azt a napot, amelyet naptára mutat. Ezt a 180° -os délvonalat ezért vasárnap-hétfő-vonalnak is nevezik.

Amint észrevehettük, az egész időszámításnál nem fontos, mozdulatlanak tekintjük-e a Földet, vagy pedig elfogadjuk Kopernikus rendszerét. Minden érvényes akkor is, ha a látszólagos égi mozgásokat valóságosnak vesszük. A csillagászat eredményei azonban mégis fontosak voltak egész kultúránk kialakulásában. Nemcsak azért, mert felfedeztük valóságos helyünket a mindenségben, hanem azért is, mert a csillagászat adta meg a biztonságot a fizikai kutatás számára is, kiderítvén, hogy az egész világegyetemben ugyanazok a természeti törvények érvényesek, amelyeket itt a Földön megismerhetünk. Sokkal nehezebb lett volna a természeti törvények felismerése, ha mondjuk a Vénuszhoz hasonlóan, a földi légkörben is átlátszatlan felhőburok takarná el a csillagos eget szemünk elől. Nem tudnánk semmit sem a többi égitestről s még azt sem értenénk, miért változik nagyjában egészen szabályosan a nappal és az éjszaka, a világosság és a sötétség. Érdekes felvetni azt a kérdést,

hogy ilyen körülmények között rájött volna-e az ember a Föld forgására? Rájöhetett volna, pedig semmiféle égi jelenséget nem figyelhetett volna meg.

Valóban vannak olyan fizikai bizonyítékok a Föld forgására, amelyekhez nincs szükség csillagászati megfigyelésekre. Ilyen például a híres *Foucault-éle* ingakísérlet. Ha elindítunk egy ingát, — lehetőleg hosszúnak és nehéznek kell lennie — a tehetetlenség törvénye szerint állandóan ugyanabban a síkban kell lengenie. Képzeljük el az ingát éppen az északi sark fölött. Az inga lengene, megtartaná eredeti lengéssíkját, de alatta elfordul a Föld s az inga síkja 24 óra alatt egy teljes forgást látszana végezni kelet-nyugat irányban. Mivel a fizikusok tudnák, hogy a térhez viszonyítva az inga lengéssíkjának ugyanannak kell maradnia, azt kellene következtetniök, hogy a Föld forog az inga alatt. Az egyenlítőn természetesen nem következhet be ez a jelenség, a közbeeső szélességeken pedig annyiban nyilvánul meg, hogy az inga lengéssíkja fordul ugyan, de egy nap alatt nem végez el egy teljes fordulást.

Van még egy fizikai bizonyíték is a Föld forgására, amihez ugyancsak nincs szükség csillagászati megfigyelésekre. Ha egy mély aknába leejtünk valamilyen nehéz testet, azt várnök, hogy az pontosan függőlegesen esik le. így is lenne, ha a Föld nem forogna. A forgás következtében azonban a leeső test valamivel keletebbre fog leérni a függőleges iránytól, mert a mélyebben fekvő pont forgássebessége kisebb, mint a magasabban levőé, a szabadon eső test pedig tehetetlensége folytán megtartja a felső pont nagyobb oldalsebességét. Természetesen nem lehet feltűnően nagy ez az úgynevezett keleteltérés, de aránylag könnyen hető és megmérhető. Freiburgban *Reich* 158.5 ejtett kónél azt találta, hogy az 2.83 cm-rel leges iránytól. 10.000 méter magasságból egyenlítőn csaknem másfél méterrel esnek a leges iránytól s ez a keleti eltérés a földrajzi szélességtől függően kisebbedik a sarkok felé.



E két jelenség alapján a fizikusok akkor is rájöhettek volna a Föld forgására, ha a csillagos eget állandóan felhők takarnák el szemük elől. Persze ezt könnyű mondani, de nem szabad megfélekednünk arról, hogy ezeket a bizonyító kísérleteket akkor találták ki, mikor már tudták, hogy a Föld forog. Egészen más dolog a már felismert tényeket természeti jelenségekkel bebizonyítani, vagyis olyan tüne-

MÁSODIK RÉSZ

A F Ö L D ARCA

Tájékozódás a Földön



Az ember a Föld, felületén él s mivel ez a felület az ő méreteihez képest szinte végtelenül nagy kiterjedésű, közvetlen, személyes tapasztalatok alapján csak elenyészően kis területen tud tájékozódni. Embere válogatja, ki mekkora vidéket járt be életében és ismert meg, de ha csak a saját tapasztalatainkra támaszkodunk, bizonyos, hogy még kis környezetben is nagyokat tévedhetünk. Aki például felment valaha a Gellérthegyre s onnan nézte Pestet, bizonyára egészen furcsa meglepetések érték, amikor kereste a kiemelkedőbb épületeket, a fontosabb útvonalakat s rá kellett jönnie arra, hogy meglehetősen hiányos képe van arról a városról, amelyről azt hitte, jobban ismeri a tenyerénél. A Földön való tájékozódáshoz két adatra van szükség, az irányra és a távolságra. Az irány természetesen »toronyirányt« jelent, amit azonban csak síkságon lehet megbízhatóan megállapítani, akkor, ha valóban akadálytalanul el látunk a cél végpontjáig. Hegyek között vagy erdőben, sőt síkon, de kanyargós utakon nagyon hamar elvesztjük az irányt, s még egyébként jól ismert terepen is el-eltéved a turista is, mihelyt letér ismeretlen útra. Nem állunk jobban a távolsággal sem. Van ugyan közvetlen mértékünk a távolságokra, a lépés, — ha valóban számláljuk a megtett

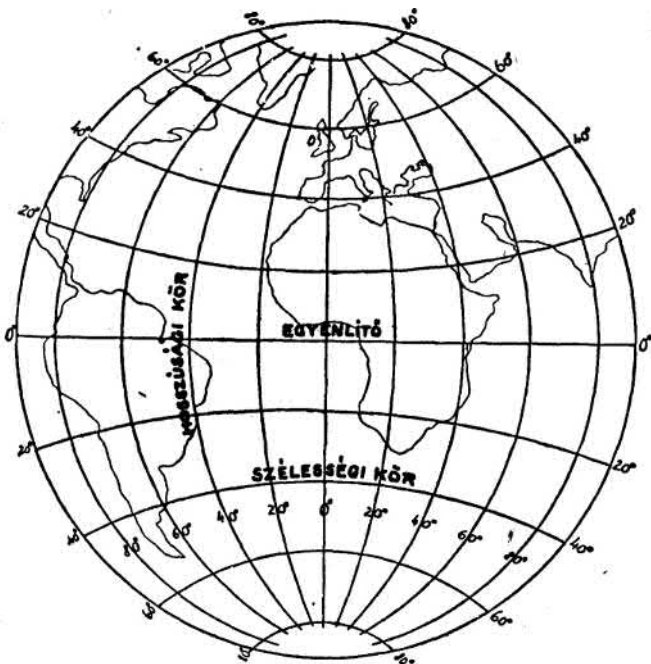
lépéseket — de még akkor is nagyokat tévedhetünk, hiszen távolságnak csak akkor van értelme, ha egyenes irányban mérjük, márpedig mehetünk tízezer lépést is és visszaérkezünk kiindulópontunkra, ha nem tartottuk be az irányt.



De bárhogyan is ismerjen valaki egy vidéket, szinte lehetetlen feladat elé kerül, ha valaki másnak kell megmondania, hogyan érhet el bizonyos célhoz. Még városban is nehéz értelmesen elmagyarázni, hogyan jut el a Beák-térről a Keletihez, pedig egyenes utcákról van szó. »Ott

az utca, induljon el rajta, aztán jobbra a negyedik utcán bemegegy, amíg egy térre érkezik, azon vágjon át keresztbe, ott jobbra megy egy szűk utcába s a harmadik keresztbemenő széles úton, villamos is jár rajta, balra fordul s megy addig, amíg egy nagy téren lát egy szobrot, amögött van a Keleti.« A szárazföldön való tájékozódás azonban gyerekjáték a tengeren valóhoz képest, ahol nincs semmi támaszpont, semmi jellegzetes irány, kivéve a Napot, Holdat és a csillagokat az égen és nincs mód a távolság közvetlen méréséhez. Csodálattal kell lennünk a régi nagy felfedezők iránt, akik egyáltalán neki mertek vágni a végtelen óceánnak, otthagya az ismert és biztonságot nyújtó partvidékeket. Ha megnézünk egy glóbust, a földgolyó kicsinyített mását, egymást derékszögben keresztező körök hálózatát látjuk rajta. Nagyjában mindenki tudja is, hogy mit jelentenek ezek a körök, a földrajzi hosszúságok és szélességek hálózatát. Magától értetődik, hogy a Földön való tájékozódás rendszerének megszerkesztésében a két sarknak fontos szerepe van. Az északi és déli sarkot a Földön keresztül összekötő egyenes nyilván az a tengely, amely körül a Föld napi forgását végzi. Természetesen nem szabad valami valóságos géptengelyre gondolni, amely golyóscsapágyaként forog s amelyet netán folyton olajozni is kell. A magasba felrúgott futball-labda is forog valamilyen »tengely« körül. A föld északi és déli sarkában futnak össze a *hosszúsági körök*, melyeket már előbb is *meridiánoknak* nevezünk, s ezek a Föld minden pontján észak-déli irányban

haladnak. Rájuk merőlegesen fekszenek a *szélességi körök*, ezek közül a legnagyobb az *egyenlítő* köre. Ellentétben a meridiánokkal a szélességi körök nem találkoznak össze egy-egy pontban, hanem párhuzamosak egymással s valamennyi a kelet-nyugat irányt jelenti minden ponton. Az egyenlítő két egyenlő félgömbre osztja az egész Földet, északi és déli félgömbre.



Mind a meridiánokat, mind a szélességi köröket megszámozták s ezekkel a számokkal fejezzük ki a Föld valamely pontjának helyét. Magától adódik, hogy mi a számozás alapja. Körökről van szó s a köröket tudvalevően fokbeosztással szokás ellátni, egy teljes kört 360° -ra osztva. A fokokat aztán még tovább osztjuk, minden fokot 60 percre, minden percet 60 másodpercre, tehát egy fokban 3600 másodperc van. A fok, perc, másodperc szögmérték, nem távolságmérték, s már tudjuk, hogy egy foknyi valószínű távolság a Föld felszínén átlagban 110 kilométer. Egy másodpercnek tehát 31 m felel meg, amiből az követ-

kezik, hogy ha a Földön 3 m pontossággal akarunk egy helyet meghatározni, tizedmásodpercnyi pontossággal kell tudnunk szöveget mérni.

Egy pont helyét a Földön úgy határozhatjuk meg, hogy megadjuk, melyik szélességi és hosszúsági kör találkozáspontjában van. Előbb azonban meg kell állapodnunk abban, hogy milyen kezdőpontoktól számítjuk a hosszúsági és szélességi köröket. A szélességi köröknél magától adódik, hogy az egyenlítőt vegyük kiindulásul, ámbár ugyanolyan magátólértetődő lenne, ha a sarkokat vennénk. Nagyon régi konvenció, hogy az egyenlítőtől északra és délre számoljuk a szélességi fokokat s északi és déli szélességekről beszélünk. A hosszúsági köröknél már nem adódik magától értetődő, kiváltságosnak látszó kezdőpont. Geometriai szempontból valamennyi hosszúsági kör egyforma, mindegyik átmegy a két földi sarkon, tehát teljesen a mi tetszésünkre van bízva, hogy melyiket választjuk ki kezdő körnek. Régebben a Ferro nevű kis szigeten áthaladó délkört választották zérusmeridiánnak. Ez a Ferro a Kanári-szigetek hez tartozik, 278 négyzetkilométer területű kis sziget, melynek vulkáni talaján kitűnő szőlő, gabona és déligyümölcs terem. Régente ezt a kis szigetet gondolták a világ legnyugatibb pontjának s azért esett rá a választás. A választás nem volt valami szerencsés, mert a jelentéktelen kis szigeten nem volt jól felszerelt csillagvizsgáló intézet, amelyen pontosan meg lehetett volna állapítani annak a bizonyos kezdő délkörnek a helyzetét, úgyhogy mikor 1634-ben a Parisba összehívott geográfus kongresszus ki akarta tűzni pontosan ennek a ferrói délkörnek a helyzetét, meg kellett elégednie azzal a »határozattal«, hogy Ferro kereken 20 foknyira van Paristól. A valóságban $20^{\circ}39'9''$ ez a hosszúságkülönbség. Újabban aztán csaknem általánosan elfogadták kezdő meridiánnak a híres greenwichi csillagda főkupoláján áthaladó meridiánt, amely Ferrótól keletre $17^{\circ}39'51''$ -re van, Paristól nyugatra pedig $2^{\circ}20'14'4''$ -re, De azért még a mai térképeken is vegyesen találunk Ferrótól és Greenwich-től számított hosszúságokat, hiszen például az osztrák-magyar katonai térképeken is Ferrótól számították a hosszúságokat és csak a magyar térképészeti intézet tért át a greenwichire. Minden ország, különösen a tengerparti, sokat hajózők közül,

jobban szerette volna saját fővárosától számítani a földrajzi hosszúságokat, ha pedig valamivel szerényebb volt, hát akkor inkább a semleges Ferrót választotta, hogy ne kelljen folyton az angol meridiánt emlegetnie.

Szilárd szárazföldön mi sem könnyebb mint nagy pontossággal meghatározni álláspontunk földrajzi szélességét. Természetesen csillagászati műszerek kellene hozzá. Lényegében meg kell mérni az északi sark látszólagos magasságát a látóhatár fölött. Most azonban az *égbolt* sarkáról van szó, vagyis az égboltnak arról a pontjáról, amely a földi forgástengely meghosszabbításába esik. így már nehezebbnek látszik a szélességmeghatározás, hiszen egy láthatatlan égi pontnak a látóhatár fölött való magasságát kell megmérni hozzá. Könnyű lenne, ha az égbolt megfelelő pontján valóban volna egy csillag, de még a Sarkcsillagnak nevezett csillag is körülbelül egy foknyira van a valóságos sarktól. A csillagászok azonban kifogyhatatlanok a leleményességben, amikor mérésről van szó s mindig kitalálják a módját, hogy például láthatatlan pontokat vegyenek kezdőpontnak. Az égbolt látszólagos napi forgásában minden csillag teljes kört ír le az égen egy csillagnap alatt, tehát kétszer megy át a meridiánon, egyszer a sark fölött, egyszer a sark alatt. Az északi sark közelében lévő csillagoknál látjuk a két átmenetet, bár dél felé haladva a csillagok napi útjának egyre nagyobb része esik a látóhatár alá, tehát az alsó delelésüket nem látjuk. Ha megfigyeljük valamelyik sarkköri csillag magasságát felső és alsó delelése pillanatában, nyilvánvaló, hogy a két magasságból egyszerűen kiszámíthatjuk a sark, a forgás középpontjának magasságát a látóhatár fölött. A számításnál természetesen sok mindenre gondol a csillagász, például arra, hogy a csillagról jövő fénysugár különböző mértékben törik meg a levegőn való áthaladása közben a felső és az alsó delelésnél. A fénytörés következtében a csillagot valamivel magasabban látjuk, mint amekkora a valóságos magassága s ez az eltérés elég sok mindentől függ, hőmérséklettől, légnomástól, tehát az egyszerűnek látszó mérés feldolgozása aztán annál bonyolultabb. Megkönnyíti valamivel a számolásokat, ha olyan csillagot választunk, amely felső delelésekor lehetőleg pontosan a fejünk felett, a zenitben halad át a meridiánon,

mert a fénytörés ebben az esetben a legkisebb. A csillagvizsgálók nagyszerű műszereivel a sarkmagasságokat és ezzel a földrajzi szélességet egyszázad másodpercnyi pontossággal lehet meghatározni, ami azt jelenti, hogy a műszer helyét körülbelül 30 cm-nyi pontossággal jelölhetik ki a Föld felületén. El kell ismerni, hogy ez a pontosság a Föld méreteihez viszonyítva fantasztikusan nagy. Ha kitekintünk az utcára, egy-kétszáz lépésnyi távolságról nem tudjuk megállapítani a különbséget abban, ha ott egy ember egy lábnnyira idébb vagy odább áll, a csillagász viszont meg tudja mérni, hogy annak az embernek a »földrajzi szélessége« a két helyzetben 1/100 másodpercnivel különbözik.

Ismeretlen vidéken járó kutató vagy a szabad tengeren járó hajós azonban nem állíthat fel minden percben nagy gondossággal egy hatalmas meridiánkört, amelynek távcsövén a másodpercek kis törtrészeit is meg tudja mérni s kénytelen megelégedni sokkal kisebb pontossággal is. A felfedező úton járó geográfus legfeljebb egy hordozható teodolittal dolgozhat, amellyel 2—3 szögmásodpercnyi pontosság a legnagyobb. A tengerész viszont még ezt a műszert sem használhatja, mert az ingó-mozgó hajón nem tudja szilárdan felállítani. Hajón való csillagászati megfigyelésre egyedül a már említett kézi szextánst lehet használni. A szélesség meghatározására a tengerész rendszerint a Nap magasságát méri meg pont délben. A Nap látszólagos magassága természetesen változik az évszakokkal, — tudjuk, hogy télen jóval alacsonyabban jár a Nap az égen, mint nyáron — de a csillagászati évkönyvekből minden időpontra kiolvashatja a tengerész a Nap akkori magasságát, illetve az évkönyv adatai szerint közvetlenül a Napnak a sarktól való távolságát. A szextánssal megmérve a Nap látszólagos magasságát a látóhatár fölött, igen egyszerű számítással adódik a szélesség: 180°-ból le kell vonni azt a napmagasságot és az évkönyvből kivett Nap—sark-távolságok A szextánssal való mérés legnagyobb pontossága néhány tized *szögperc*, ami néhány tized tengeri mérföldnek felel meg. A tengeri mérföld ugyanis egy percnyi szélességkülönbségnek felel meg, kereken 1862 méternek. Nyílt tengeren 100 méternyi pontosságnál nem is kell több.

Sokkal nehezebb feladat a földrajzi hosszúságkülönbségek mérése. A nehézségek főforrása lényegében az, hogy nincs olyan kiváltságos kezdőpont, mint a szélességnél a sark. Csillagászati szempontból alapjában véve roppant egyszerű két hely hosszúságkülönbségének meghatározása. A hosszúságkülönbség ugyanis azonos a két pont helyi idejének különbségével. Adódik, ha mindkét helyen megfigyeljük például egy csillag delelésének időpontját pontosan összeigazított órák segítségével. Ennek természetesen az a feltétele, hogy olyan csillagot válasszunk, amely közben nem változtatja helyét az égen, tehát a Nap, a Hold vagy a bolygók nem alkalmasak, másrészt biztosítani kell, hogy a két megfigyelőhelyen lévő órák valóban ugyanazt az időt mutassák. Egy másik módszer szerint meg kell figyelni valamilyen égi tűneménynek a bekövetkeztét a két helyen helyi idő szerint. Ilyen tűnemények vannak, csak sajnos, elég ritkák. Legjobban megfelelnek a célnak például a Jupiter holdjainak fogyatkozásai, amelyeket már kis távcsővel is kényelmesen meg lehet figyelni. Habár a holdak nem pillanatnyilag tűnnek el a Jupiter árnyékában, nagyjában egy percnyi pontossággal megy a megfigyelés. A csillagászati évkönyvek közlik a fogyatkozások kezdetének időpontját greenwichi időben, tehát a nyílt óceánon járó hajó megfigyelőjének a helyi időpontból könnyű kiszámítania a hosszúságkülönbséget.

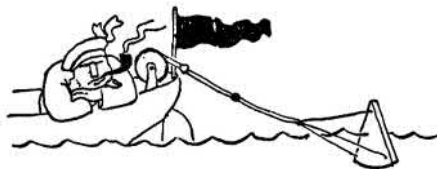
A Jupiterholdnak fogyatkozásai azonban elég ritkák, havonta legjobb esetben kettő-három fordul elő s ezért a tengerész inkább másféle égi tűneményt használ a hosszúságméréshez, így például igen jól fel tudja használni a Hold mozgását. A Hold ugyanis elég gyorsan változtatja helyét a csillagok között s ha »tűneménynek« vesszük a Holdnak pillanatnyi távolságát valamelyik állócsillagtól, állandóan vannak olyan égi tűnemények, amelyekből hosszúságkülönbségeket lehet meghatározni. A Hold oly gyorsan jár a csillagok között, hogy óránként saját átmérőjének megfelelő utat tesz meg s valamelyik csillagtól való távolságát a szextánszal elég nagy pontossággal meg lehet mérni. Az évkönyvek közlik greenwichi időre a Holdnak a fényesebb csillagoktól való távolságát napról-napra, tehát megvan a mód arra, hogy a helyi időben megmért távolságból kiszámítsuk a hosszúságkülönbséget.

Mindezeknél a méréseknél a lényeges pont a helyi idő meghatározása, amit mindenütt égitesteknek a meridiánon való áthaladásával állapíthatunk meg. A hajósoknak azonban szüksége van a greenwichi pontos időre is és ezt igyekszik lehető legmegbízhatóbban magával vinni. Minden hajón van egy jó kronométer, amely greenwichi időben jár, de mivel hosszabb úton nem igen lehetne megbízni a legtökéletesebb kronométer járásában sem, a hajókronométer járását állandóan ellenőrizni kell helyi időmegerőhatározásokkal. A rádió elterjedése óta aztán megszabadult a tengerész legnagyobb gondjától, mert a Föld minden nagyobb országa szinte óráról-órára leadja rádióan a pontos időt. Nem arról a pontos időről van szó, melyet műsor közben mondanak be a speakerek, hanem a bonyolult morzejelekkel adott időjelekről, amelyek lehetővé teszik, hogy századmásodpercnyi pontossággal tudja minden hajós az egész vüágon, hogy mennyi a greenwichi világidő.

A csillagászati megfigyelések segítségével való helymeghatározásnak van azonban egy feltétele: derült időnek kell lenni, hogy láthassuk a Napot, Holdat, a csillagokat, már pedig szép idő nincs mindig. Hosszabban tartó esős, borult időjárás lehetetlenné tesz minden csillagászati munkát, de a tengerészeknek, vagy felfedező kutatóknak ilyen időszakokban is kell tájékozódni. A hajózás művészetének lényeges része tehát az útirány és a megtett út állandó számontartása. Amikor sikerül megfigyeléseket végezni s megállapítani a hajó pontos helyét, azt bejelölik a térképbe s attól kezdve az irány és sebesség állandó mérésével jegyzik fel a megtett utat, amíg a legközelebbi megfigyelés segítségével ismét nem ellenőrizhetik a hajó helyét. A menetirányt, az úgynevezett kurzust iránytűvel figyelik, illetve tűzik ki. Ez aránylag egyszerű lenne, ha a mágnesű mindenütt a Földön pontosan észak-dél irányba állana be, de ez nincs így, hiszen a Föld mágneses sarkai nem esnek egybe a földrajzi sarkokkal. Az eltérést, az úgynevezett deklinációt azonban meglehetősen pontosan ismerjük a Föld minden helyére s a hajós számításba is veheti iránytűjének leolvasásakor. Nagyon északra, a sarkok közelében egyre bizonytalanabb lesz így is a mágnesű mutatása, részben nem is állapították meg pontosabban errefelé a mágneses deklinációkat, részben igen nagyok a helyi és idő-

béli változások is a mágneses vonzásban. A hatalmas hadihajókon sem igen lehet használni az iránytűt, mert a hajó vastömegei erősen megzavarják a mágneses teret s ezért nagyjelentősége volt a hajózás számára a pörgettyűs iránymutató (a giroszkóp) felfedezésének. Elektromos motorral hajtanak egy elég nagytömegű pörgettyűt, igen nagy fordulatszámmal, olyan felfüggesztésben, hogy minden irányban szabadon tud mozogni. Ha valamilyen külső erő arra törekszik, hogy egy ilyen forgó pörgettyű tengelyét beállítsa bizonyos irányba, a szerkezet engedelmeskedik az erőnek. A fizika törvényei szerint a Föld napi forgásának olyan hatása van a pörgettyűre, hogy annak forgástengelyét párhuzamosan állítja be a Föld forgástengelyével. A pörgettyű tengelye tehát a földforgás hatására észak-dél irányt mutat s ezt az irányt szigorúan betartja, amíg csak forgásban van. A pörgettyű eképpen nemcsak meghízható iránytű, hanem bizonyíték is a Föld forgására.

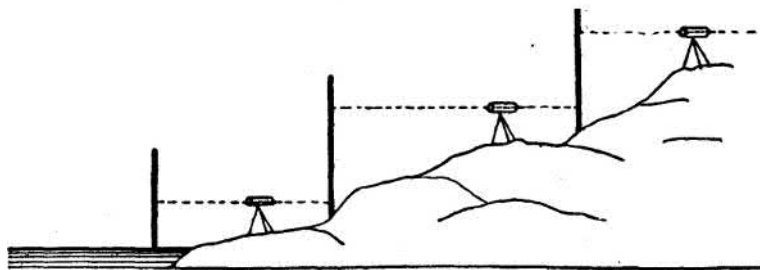
A hajó sebességének megmérése egyszerű eszköze van a tengerészeknek, a *log*. Legismertebb alakja egy hosszú fonálra erősített háromszög alakú deszkadarab, amelyet a hajó faráról bedobnak a tengerbe, a fonalat utána eresztik s megállapítják, hogy bizonyos idő alatt milyen messzire marad el a deszka. A fonalon megfelelő távolságokban csomók vannak, ezeket kell megszámolni s ahány csomó szalad le egy perc alatt, annyi tengeri mérföld a hajó sebessége. Ezért beszélnek egy-



más közt úgy a tengerészek, hogy ennyi és ennyi csomó sebességgel haladtak, mintha olyan nagy titok lenne, hogy egy csomó annyi mint egy tengeri mérföld. A loggal való mérés természetesen csak akkor lehet pontos, ha a tenger vizét állónak lehet venni. Ahol áramlatok vannak, ott a log csak az áramláshoz viszonyított hajósebességet adja. Nyílt tengeren szerencsére nagyon lassúak a tengeráramok s nem hamisítják meg jelentékeny mértékben a log-méréseket, olyan helyeken pedig, ahol számottevő az áramlás sebessége, ott tudják is

irányukat, sebességük nagyságát és számításba veszik a hajósebesség meghatározásában.

A Földön való tájékozódás, illetve helymeghatározás tulajdonképpen nem teljes a szélesség és hosszúság adatával. A tengeren nincs szükség még egy adatra, de a szárazföldön, különösen a hegyes vidékeken nagyon fontos még a hely tengerszintfeletti magassága is. A geodéziában többféle magasságmérő eljárást használnak, de legtökéletesebb a szintezés, melynél valamilyen megállapított magasságból kiindulva, a földi pontok magasságát függőlegesen felállított mérőlécek és vízszintesen álló távcső segítségével mérik meg. Nagyobb területek magassági felmérése tehát nagyon aprólékos és hosszadalmas munka. A méréshez szükséges alappont a tengerszint, legalább is elméletileg, de a tenger szintje korántsem állandó, hiszen elég jelentékeny határok között változik a szél, a dagály és apály, valamint a tengeráramlások hatására. Ezért mindenütt a tengerparton valahol kijelölnek egy pontot s azt veszik átlagos tengerszintnek. Magyarországon az Adriai-tenger szintje fölött mérjük a magasságot és ezt a szintet a trieszti Sartorio-mólón megjelzett 0-pont képviseli. Természetesen nem indulhatunk ki minden magasságmérésnél a trieszti mólóról s ezért hazánkban is megállapítottak egy szintezési alappontot, ez a Nadap község mellett levő *ős jegy*, melynek a trieszti 0-pont felett 173.83850 m a magassága.



Sokszor fordul elő azonban, hogy nincs idő körülményes szintezésre s mégis akarjuk ismerni a tengerszint feletti magasságot, legalább megközelítően. Különösen fontos ez a repülésnél, ahol a pilóta sokszor szinte pillanatról-pillanatra tudni akarja, milyen magasságban van, például ködben, felhők felett vagy éjszaka. Ilyen gyors magasságmérésekre egyetlen,

de kitűnő eszköz a barométer, a légnyomásmérő. A légnyomás normálisan 760 mm magas higanyoszloppal tart egyensúlyt a , tenger szintjén, de ha felvisszük a barométert egy magas hegyre, ott alacsonyabb lesz a nyomás, megrövidül a higanyoszlop. A légkör alsóbb rétegeiben átlagosan tíz méterenként csökken egy-egy milliméterrel a légnyomás, de mivel feljebb egyre ritkább a levegő, a nyomáscsökkenés nem egyenletes, de megvan rá a képlet, melynek segítségével pontosan kiszámíthatjuk. A légnyomásmérővel való magasságmeghatározás azonban sohasem lehet megbízható, mert legtöbbször nincs mód arra, hogy egyszerre mérjük a légnyomást lenn és fenn, már pedig tudjuk, hogy a légnyomás elég gyorsan változik napközben is, azonkívül a hőmérséklettől is függ.

A térképezés

Már az egyiptomiaknál megtaláljuk a nyomát annak, hogy rajzban ábrázoljuk a Föld felszínét, különösen érezték ennek szükségességét a hajósok, még akkor is, mikor főképpen a partok mentén jártak, de ha megnézünk egy régi térképet, elcsodálkozunk, hogy milyen képtelen torzításokkal vannak tele. Ez egyébként magától értetődik, hiszen a pontos térképezés eszközei szinte alig több mint száz esztendeje állnak a geográfusok rendelkezésére. Régebben csakugyan inkább csak emlékezetből rajzoltak térképeket, mérések nélkül s csak később gondoltak arra, hogy előbb elméletileg kell megalapozni a térképezés tudományát.

A térkép sík papiroslap, a Föld viszont gömbfelület, tehát a térképezésnek olyan célja van, amely tulajdonképpen megvalósíthatatlan, mert a gömbfelületet nem lehet síkra lefejteni. Hű képet a Földről csak gömbön rajzolhatunk meg s ezért egyetlen igazán hű térkép csak a glóbus lehet, a Föld kicsinyített mása. Sajnos, azonban a Föld túlságosan nagy ahhoz, hogy részletesen lehessen ábrázolni a felületét olyan kis glóbuson, amely még befér szobánkba, nem szólva arról, hogy a térképtől azt kívánjuk, hogy mindig magunkkal vihesük. Jó nagy glóbus az, melynek átmérője egy méter s ezen 1 cm-nyi távolság a valóságban 128 kilométernek felel meg, vagyis egész Budapestre a szó szoros értelmében egy gombostűfej nagyságú terület jut.

A gyakorlatban jóval kisebb léptékű térképre van szükség, hogy a részleteket is ábrázolni lehessen s a különböző célokra különböző mértékekben készítik a térképeket. A terep felvételénél természetesen kisebb mértéket használnak s nagyobb, átnézeti térképeknél nagyobbat. A mérték minden térképen rajta van ilyen arányok alakjában: 1:10.000, 1: 25.000, 1: 75.000, 1: 200.000, 1:1.000.000 és így tovább s ezek az arányok azt jelentik, hogy a térképen 1 cm a valóságban rendre 100, 250, 750, 2000, 10.000 m. Aki nem szokott hozzá nagyon a térképolvasáshoz, azt kicsit zavarja, hogy a nagyobb mértékarány tulajdonképpen erősebb kisebbítést jelent, de ezt a zavart eloszlatja az, ha megfordítjuk a léptéket s 10.000-es, 25.000-es, 75.000-es, egymillióstól beszélünk. Ekkor a szám közvetlenül jelenti, hogy hányszoros nagyítást kell alkalmaznunk a térképre, ha a valóságot akarjuk. Mi, amikor kezünkbe vesszünk egy térképet, arról következtetünk a valóságra, a térképkészítő viszont a valóságról megy át a térképre, mi tehát nagyítjuk a térképet, a térképező pedig kicsinyíti a valóságot.

Országok térképének elkészítése nyilván nem lehet egyéni feladat, hanem állami. Gondolhatnánk azt is, hogy tiszta tudományos szempontból is fel kellene mérni a földet, de az államok régebben nem sokat törődtek a tudományokkal. Hogy mégis aránylag régóta állami kezdeményezésből folytak a földmérések, térképezések, annak két, egészen más természetű oka van. Pontos és jó térképre két szempontból van szüksége az államnak, a *hadsereg* és az *adó* szempontjából. Ennek köszönhető, hogy már a 18. században mindenfelé hozzákezdtek a komoly térképezéshez, habár a két állami cél között lényeges különbség van. A fiskusnak egészen másra volt szüksége, mint a katonáknak. Az adókiivetés, behajtás, nyilvántartás csak annyit kívánt meg, hogy a telkek alaprajzai pontosak legyenek s ezért kataszteri térképeket nem is lehet igazi térképeknek tekinteni, hiszen az adóhivatal, telekkönyvet nem érdeklí más, mint a telkek határa és területe, azzal nem sokat törődik, hogy mi van rajtuk. A katonákat viszont minden részlet érdeklí s egyáltalán nem törődnek azzal, hogy ki a gazdája a földnek. A katonai és a kataszteri felmérés és térképezés éppen ezért csaknem teljesen függetlenül megy mindenütt. Annyira, hogy még a mértékben is alapvető különb-

ség van a kettő között. A katonai térképeken mindenütt a méterrendszer uralkodik, a kataszteri felvételeken pedig szinte még ma is ölekben mérnek. Nálunk például a régi bécsi ölt vettek alapul, egy hüvelyk a térképen egyenlő volt 40 öllel a valóságban, ami 1: 2880 léptéket jelent. Csak 1928-ban rendelték el, hogy a jövőben a kataszteri térképek léptéke 1:2000 legyen, városokban 1:1000. A monarchia idejéből ránkmaradt a katonai térképezés mértékéül az 1: 25.000 *felvételi* mérték, az 1: 75.000-es *részletes* és az 1: 200.000-es *általános* térkép mértéke. Újabban kezdünk áttérni az 50.000-es mértékre, amely pótolja a 25.000-est és a 75.000-est és már kezd középeurópai szabvánnyá lenni.

Térjünk vissza a térképezés problémáira. Abból kell kiindulnunk, hogy a földgömről sík lapon egyáltalán nem lehet hű képet rajzolni, tehát csak megközelítő hűségről lehet szó. Az igazi teljes hűség azt követelné, hogy a térképen a *terület* és *távolság* a mértékarány szerint, az *irány* pedig tökéletesen megfeleljen a valóságnak. Bárhogyan próbáljuk a gömböt síkon ábrázolni, ezt a három követelményt egyszerre nem tudjuk teljesíteni. A matematikusok be tudják bizonyítani, hogy ha két követelményt sikerült teljesíteni, a harmadik magától adódik, de sajnos) semilyen ábrázolás sem képes, egynél több feltételt teljesíteni. A térkép lehet szögtartó, vagyis a térképen minden két vonalnak egymással bezárt szöge ugyanakkora, mint a valóságban, lehet területtartó, ha a Földön bárhol kijelölt egyenlő területek a térképen is egyenlők, tekintet nélkül alakjuk hasonlóságára, végül lehet távolságtartó, ha a Földgömbön mért egyenlő távolságok a térképen is egyenlők, tekintet nélkül irányukra.

A térképszerkesztésnek tehát rögtön kezdetben meg kell alkudnia s kiválasztani a három lehetőség közül azt, amelyik a legfontosabb a cél szempontjából. Ezután arra kell törekednie, hogy olyan térképhálózatot eszeljen ki, amely a kiválasztott követelményt teljesen fedi, a másik kettőt pedig a lehetőség szerint megközelíti. A földrajzi kutatás szempontjából a területtartás a legfontosabb, a közlekedés számára viszont jobb a szögtartó, különösen a tengeri és légiforgalomban, de ugyanúgy van szükség rá a hadászatban is és néhány tudományos kutatásnál, például a meteorológiában és a föld-rengéstudományban.

A térképkészítés első lépése a hálózat megszerkesztése, vagyis a szélességi és hosszúsági körök ábrázolásának kijelölése. Azután következik a hálózat kitöltése, a térkép megrajzolása. A térképhálózat megszerkesztésénél sokféle lehetőség közt választhatunk. Kézenfekvő, hogy odaképzelnünk a Földgömbhöz egy érintő síkot és arra vetítjük ki a szélességi és hosszúsági köröket. Mivel az a cél, hogy végeredményképen sík lapon kapjuk a térképet, azt is megtehetjük, hogy olyan felületekre vetítjük a fokhálózatot, amelyet aztán síkba lehet fejteni. Ilyen felület a henger vagy a kúp. így például körülvehetjük egy hengerfelülettel a Földet, úgyhogy a henger az egyenlítő mentén érinti a földgömböt. A szélességi köröket az egyenlítő síkjával párhuzamos síkokkal vetíthetjük a hengerfelületre, tehát ezek a körök párhuzamos egyenesek lesznek a lefejtett hengerfelületen. A hosszúsági köröket pedig úgy kapjuk meg, hogy a Föld forgástengelyén át fektetünk síkokat. A körök merőleges egyenesek lesznek a szélességi köröket jelentő egyenesekre. Ha viszont a szélességi köröket a Föld középpontjából egy pontból nézve vetítjük ki a hengerpalástra, a szélességi fokok a sarkok felé rohamosan távolodnak egymástól s az északi és déli sarok képe a végtelenbeesik, tehát a sarkvidékek már nem ábrázolhatók a térképen. Ez a vetület szögtartó észak—déli és kelet—nyugati irányban, de távolságban és területben nagyon torzít. A hengervetületek egyik sokat használt alakja a Mercator-féle, amely teljesen szögtartó, tehát ki lehet jelölni rajta két helyet összekötő irányt. Az egész Földet ábrázolni lehet egy térképen, de távolsági és területi torzítása igen nagy, úgyhogy egészen hamis képet ad például a szárazföldek alakjáról. Az egyenlítői mentén keskeny sávban még jól adja a távolságokat, de 60° szélességen már kétszeres a távolságtorzítás, 75° -on négyszeres, területi torzítása 45° -on kétszeres, 60° -on négyszeres, 75° -on nyolcszoros. A tengerészek jól használhatják a Mercator-térképet, de más célra alig alkalmas.

Az ilyen félig-meddig magától értetődőknek látszó vetületek mellett se szeri se száma a céltudatosan kieszelt vetületeknek. Példaként megemlíthetjük a Postel-féle távolságtartó hálózatot. Ez úgy készül, hogy a földgömb valamely pontjában elképzelnünk egy érintő síkot s az érintő ponttól kezdve minden irányban rámérjük a földi pontokat távol-

ságuk arányában, mintha kiegyenesítenénk azt a kört, amely a térkép középpontját az egyes helyekkel összeköti. A térképen az a meridián és az a szélességi kör, amely a középponton áthalad, egymásra merőleges egyenes lesz, a többi délkör és hosszúsági kör görbe vonalakká adódnak. Ennek a vetülfajtának jó hasznát veszik a földrengésmegfigyelésben, a meteorológiában, a rádiónál és a repülésnél. Irányt, természetesen, csak a középpontból számítva tart a térkép, éppen ez is a célja, de a távolságban és területben való torzítása a térkép szélein sem haladja meg az 57%-ot,

Meg kell jegyezni, hogy a három térképtulajdonság, a szögtartás, távolságtartás, területtartás problémája tulajdonképpen csak akkor válik jelentőssé, ha nagyobb területek

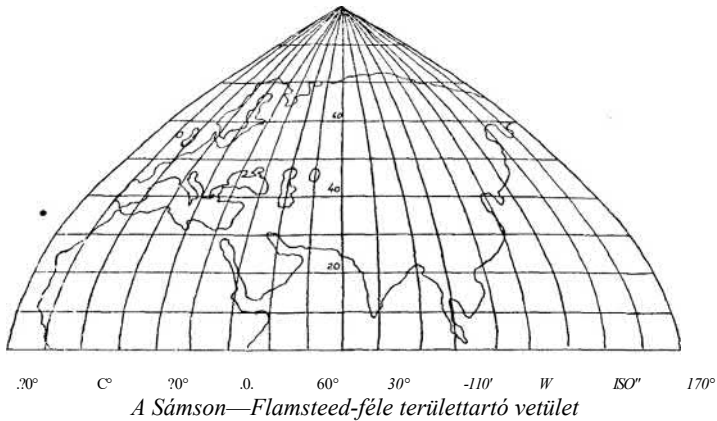


Szögtartó Mercator-vetület

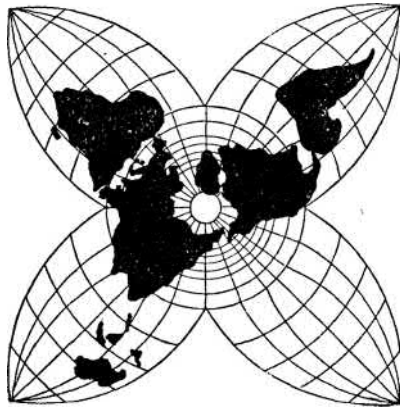
térképezéséről van szó. Így például minden érintő síkra történő vetítésnél elméletileg csak az érintés pontjában teljesítődik mind a három feltétel, vagyis, amíg a síkot a gömbfelülettel összeesőnek tekintjük. Mivel a Föld minden térkép-nagysághoz mérten óriási nagy, ez a »pont« a gyakorlatban elég nagy kiterjedésű, általában bátran vehetjük húsz kilométer átmérőjű körnek. Így például, ha Budapesten fektetünk át egy érintő síkot, az érintő pont magában foglalja kelet—nyugat irányban a Kőbánya—Budakeszi, észak—déli irányban a Csepel—Békásmegyer távolságot. Ha tehát ennek az elég szép nagy pontnyi területnek akarjuk elkészíteni a térképét, nem kell tekintetbe vennünk a Föld görbületét s bátran úgy rajzolhatjuk a térképet, mintha a valóságban is sík felületről lenne szó. A példa viszont arra is jó, hogy érzékeltesse, aránylag milyen kis területen is számításba jön már a Föld gömb volta; hiszen, ha Szentendrét is be akarjuk venni térképünkbe, bizony gondolnunk kell a görbületre.

A térképszerkesztők sokszor aztán egészen önkényesen látszó hálózatokat is szerkesztenek a térképek számára. Ezek a különleges vetületek azonban csak arra szolgálnak, hogy az egész Földet, vagy nagyobb szárazföldeket lehessen ábrázolni rajtuk bizonyos követelményeknek megfelelően. A földrajzban leginkább a területtartás a fontos; érthető tehát, hogy leginkább területtartó térképeket igyeksenek szerkeszteni. Érdekes lesz néhány ilyenfajta vetületet megismerni. Talán a legegyszerűbb Lambert területtartó hengervetülete, mely abból a geometriai tételből indul ki, hogy egy félgömb felülete ugyanakkora, mint egy köréje rajzolt olyan henger felszíne, amelynek magassága egyenlő a gömb átmérőjével. A térképen mind a meridiánok, mind a szélességi körök egyenesek s egyforma hosszúak. A sarkok felé erősen torzít a Lambert-féle vetület s irány- vagy távolságtartásról egyáltalán nem lehet szó, hiszen a sark pontja az egyenlítővel egyenlő hosszú egyenessé van széthúzva rajta.

Területtartó vetület a Sámson—Flamsteed-féle, melynél a meridiánok szinusz-görbék, a szélességi körök azonban egyenesek. Érdekes ennél a vetületnél, hogy a szélességi körök távolságtartók is, de a meridiánok mentén igen nagy a távolságtorzulás. Legkevesébbé torzulnak az egyenlítői vidékek s ezért leginkább az egyenlítő környékének ábrázolására



használják a vetületet. Érdekes térkép a Mollweide-féle, melynek alap gondolata az, hogy az egész Földet egy olyan elipszisen ábrázolja, amelynek területe egyenlő a Föld felszínének területével. A középső meridián merőleges a szélességi köröket jelentő párhuzamos egyenesekre, de sem az egyenlítő, sem a meridiánok nem távolságtartók. A Mollweide-térképet akkor használják, ha az egész Földről akarnak területtartó- vetületet, s egyébként is elég jó távlati képet ad a szárazfölkök elhelyezkedéséről. Vannak aztán olyan leképezések, amelyekből egész fantasztikus alakú térképek sülnek ki. A Bartholomew-féle csillagalakú, a középponttól számítva távolságtartó vetület.

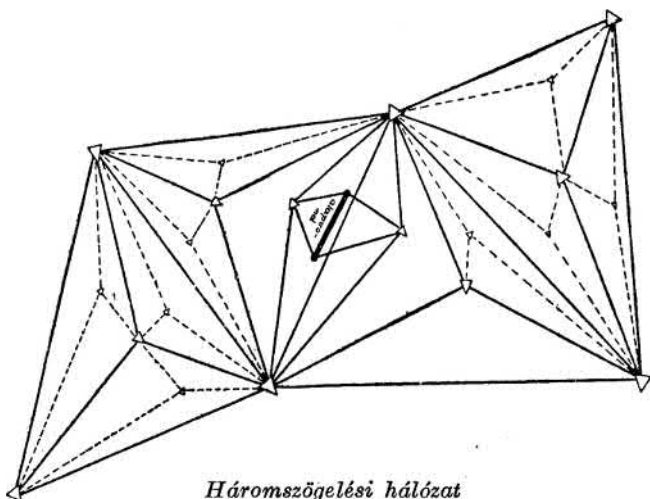


Terep és térkép

Mindaz, amiről az előzőkben szó volt, csak a térkép fokhálózatának megszerkesztésére vonatkozott, vagyis arról beszéltünk, milyen különféle módszereket lehet használni, ha sík lapra akarjuk lerajzolni a gömbfelületet. A Föld felületén való helymeghatározás céljaira meridiánokat és szélességi köröket képzeltünk a gömbfelületre, s magától értetődött, hogy a leképezésnél is ezeket a gömbi helymeghatározó köröket kell elsősorban szerepeltetnünk. Ha minden szélességi és hosszúsági kört egyértelműen rá tudunk vinni a sík rajzlapra, akkor ezzel megteremtettük a módját, hogy minden földi pontnak megtalálhassuk a helyét a leendő térképen, hiszen, minden földi pontot egy szélességi és hosszúsági adat jellemez, s a rajzunkon is megvan minden szélességi és hosszúsági fok.

Az üres fokhálózat természetesen, csak akkor lesz térkép, ha tartalommal töltjük meg, vagyis berajzoljuk a lényeges, földi pontokat, folyókat, hegyeket, az emberi építményeket, az utakat, hidakat, házakat, szakszóval a terepet és a tereptárgyakat. A térképkészítés legelső része egyes tereppontok pontos földrajzi helyének megállapítása s azoknak a hálózatba való berajzolása. Azután következik a terep részletei ábrázolása, a földi helyek alakjának, egymástól való távolságának, irányának megállapítása s azok hű átvitele a rajzba. Mindez igen nagy munkába kerül, ami nem is csoda, hiszen egy részletes jó térkép egyetlen lapján kötetekre való anyagot találunk, ha mindent szóval akarnánk leírni. Természetes, hogy aztán olvasni is kell tudni a térképet, ami azonban egyáltalán nem nehéz, csak ismerni kell a jeleket s logikusan kell gondolkoznunk.

A térképfelvétel alapja a háromszögelés, amiről már volt szó a fokmérésnél. Kiindulnak egy alapvonalból, amelynek hosszúságát a lehető legpontosabban megméri, s ettől kezdve csupa szögméréssel vezetik le az egyes pontok távolságát. Az alapvonalán megmérése nyilván a legnagyobb gondaltörténik, hiszen minden hiba a későbbiekben megsokszorozódik. Régebben úgy történt a mérés, hogy 4—5 méter hosszú fémrudakat raktak egymás végébe az alapvonalon. Nyilvánvaló, hogy nehéz pontosan egymáshoz illeszteni a mérőrudakat, azonfelül számításba kell venni, hogy a fémrudak meg-

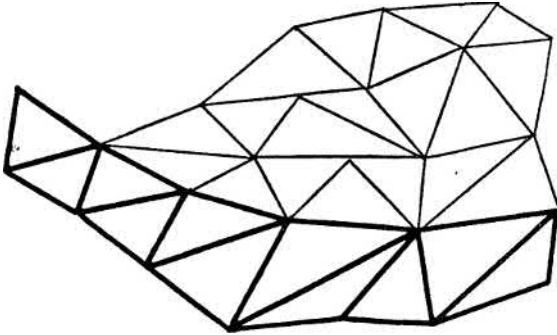


Háromszögelési hálózat

nyúlnak a hőmérséklet emelkedésével s ezért inkább nem illesztik szorosan az előző rúdhoz a következőt, hanem szándékosan hagynak egy kis rést közöttük, de külön megméri minden esetben a hézag szélességét. A mérést többször megismétlik, az eredmények középértékét veszik végleges hosszúságnak. Ma az úgynevezett invar-fémből készült drótokkal mérik az alapvonalakat. Ez az acél-nikkel ötvözet, mint neve is mutatja, úgyszólván egyáltalán nem tágul a hőmérséklet hatására s így a mérés jóval gyorsabb és pontosabb vele. Az országos háromszögelésnél a hosszúságméréseknek egymilliomodnyi pontosságúaknak kell lenniök, tehát egy kilométeren nem lehet egy milliméternél nagyobb a mérés-hiba. Hogy ennek a nagy pontosságnak értelme legyen, nyilván nagyon lelkiismeretesen kell megjelölni a mért távolságok végpontjait is. Rendszerint köoszlopokkal történik a jelölés, mert az alapvonalak végpontjaira a további méréseknél állandóan szükség van s ezért a megjelölésnek maradandónak kell lennie. Sokszor kiemelkedő, messziről is jól látszó tereptárgyakat választanak háromszögelési pontnak, például templomtornyot. A térképeken kis egyenlőoldalú háromszögekkel jelzik a trigonometriai alappontokat.

A lehető legnagyobb pontossággal megmért első alapvonalból kiindulva kezdődik a háromszögelés. Az elsőrendű

háromszögelési hálózatban 50—60 km hosszúak a háromszögek oldalai. Ilyen hosszú oldalakat, természetesen, nem lehetne megfelelő pontosan megmérni s ezért csak egy 2—3 km távolságot mérnek meg s ebből fejlesztik ki mindenképp az 50—60 km hosszú alapvonalat, egyre nagyobb háromszögeket tűzve ki. Az alapvonal megmérésén kívül aztán csupa szögmérés következik s a trigonometria képleteinek segítségével számítják ki a kijelölt háromszögek többi oldalának hosszúságát. Egy ország térképezése az elsőrendű háromszögelési hálózat kitűzésével kezdődik. Ezen belül következik a másodrendű hálózat, mely már jóval sűrűbb, körülbelül 25 km-es háromszögekből van. Tovább aztán 8—10, majd 2—3 karhosszú oldalakkal bíró háromszögekre

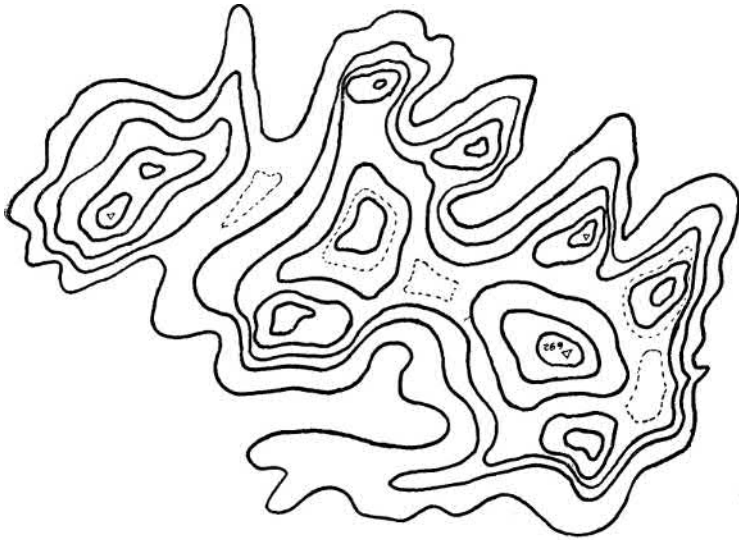


Háromszögelő láncolat

bontják a terepet, hogy ekkor aztán hozzákezdhessenek a tulajdonképeni térkép felvételéhez.

Van tehát a térképezendő területről egy ponthálózat, 2—3 km-nyi közőkkel s ennek alapján indulhat meg a terep megrajzolása. Előbb azonban meg kell mérni a háromszögelési pontok tengerszintfeletti magasságát is, hiszen a hely mellett ez is lényeges adat. Volt már arról szó, hogy ezt hogyan végzik el, tehát az alappont hálózatba bekerül a szintezés adattömege is, minden háromszögelési ponthoz hozzáírják a magasságot is. A térképészetnek kezdetől fogva legnehezebb problémája volt a domborzat ábrázolása. Még a XVIII. századbeli térképeken is szabályos hegyeket rajzoltak a térképekben, plasztikusan igyekezvén ábrázolni a hegyeket, de nyilvánvaló, hogy ez az úgynevezett vakond-

túrásos térkép nem adhat részletes tájékoztatást a magasságokról és mélységekről. Nagy fejlődést jelentett a múlt században a csíkozás bevezetése a hegy ábrázolásban. Apró csíkokkal rajzolják meg a hegyeket, mégpedig úgy, hogy a csíkok mindenütt a lefolyó víz irányát adják meg, a lejtő meredekségét pedig a csíkok hosszúsága és vastagsága jelzi. A módszer még csak megközelítő volt, mert még a gyakorlott térképolvasó számára is nehéz volt megállapítani a lejtők valóságos meredekségét s az 5° -nál kisebb lejtést nem is lehetett jelezni. Legfeljebb arra volt jó a csíkozás, hogy nagyjában meg tudjuk különböztetni a meredekebb és lankásabb lejtőket. Jó volt arra, hogy a lejtők irányát megállapíthassuk, de a magasságokról egyáltalán nem adott megfelelő tájékoztatást.



Rétegvonalak

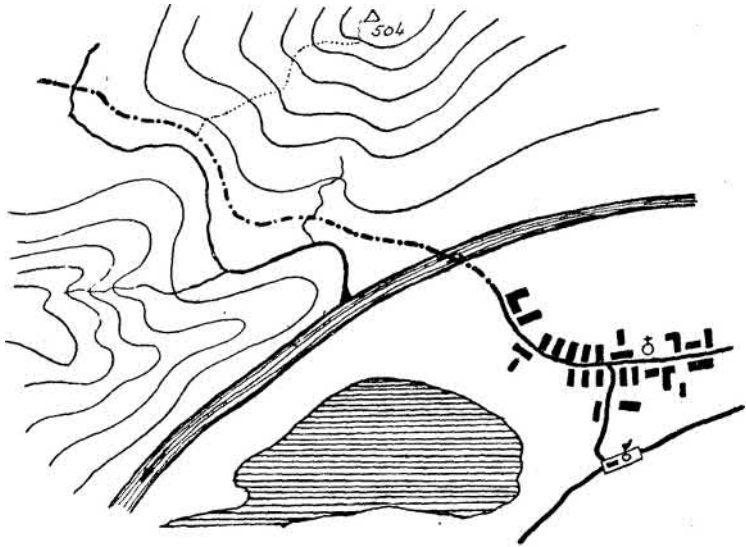
A legtökéletesebb megoldást a rétegvonalak, másképp szintvonalak alkalmazása hozta meg, különösen a csíkozásos módszerrel együtt használva. A rétegvonal az egyenlő magasságban lévő pontok összefoglalása folytonos vonallal. Úgy képzelhetjük el, mintha 5 vagy 10, vagy 100 méteres magasságközökben egy-egy síkkal végigmetszjük a hegye-

ket s mindegyikről lerajzoljuk a hegyek körvonalait. Zárt görbéket kapunk, melyek befelé magasabb hegyeket fognak körül, kifelé a lejtőket jelzik. Kétségtelen, hogy alapos gyakorlat kell hozzá, ha a rétegvonalakból pontosan akarunk olvasni, de megéri a fáradságot, mert aztán gyerekjáték a tájékozódás térkép segítségével a hegyek között is. A rétegvonalak lehetővé teszik, hogy a hegyek keresztmetszetét is megcsinálhassuk a térkép lapján.

A rétegvonalak megrajzolása a térképen, természetesen, igen bonyolult és aprólékos munka, amihez nagy gyakorlat és jó áttekintés kell. Ma már ugyan jóval könnyebb lett ez a munka a légi fényképezés alkalmazásával, de viszont bonyolult műszerek kellenek a fényképek kiértékeléséhez. Ha repülőgépről sztereoszkópikus felvételeket készítenek, a lemezeken plasztikusan látni a hegyeket, szintkülönbsége/s gépiesen megy az egyenlő magasságban lévő pontoknak folytonos vonallal való összekötése, a rétegvonalak megrajzolása illetve megszerkesztése.

A domborzat mellett leglényegesebb tereprészletek a folyók. A víz mindenütt lefelé folyik, tehát a patakok, folyók útjai a lejtőkről is felvilágosítást adnak. Így például sokat kiolvashatunk már egy oly rajzból, is melyen csak a magassági pontok és a folyók vannak meg.

Földrajzi szempontból szinte azt lehet mondani, hogy a hegy- és vízrajzzal már kész is a térkép, hiszen ami még hiányzik, az emberalkotta tereptárgyak, már nem tartoznak a természethez. Ezzel szemben a gyakorlati életben a tereptárgyaknak sokszor nagyobb a jelentőségük, mint a domborzatnak vagy a vizeknek, annyira, hogy régebben készült térképen tökéletesen elavulhatnak s használhatatlanokká válnak, pedig a szorosán vett. földrajzi terepben semmi változás sem állott be. A tereptárgyak nagyon változatosak és sokszor nehéz is az ábrázolásuk. Gondoljunk például az utakra, amelyekről magától értetődik, hogy a lehető legpontosabban rajta kell lenniök minden térképen. A 75.000-es katonai térképen, ha a méretet ebben is be akarjuk tartani, egy 25 méter széles út mindössze egyharmad milliméter vastag vonal lehetne, az egyvágányú vasútvonal pedig ennek egyötöde. Már ennyiből is nyilvánvaló, hogy a tereptárgyak ábrázolásában meg kell alkudni a mértékkel,

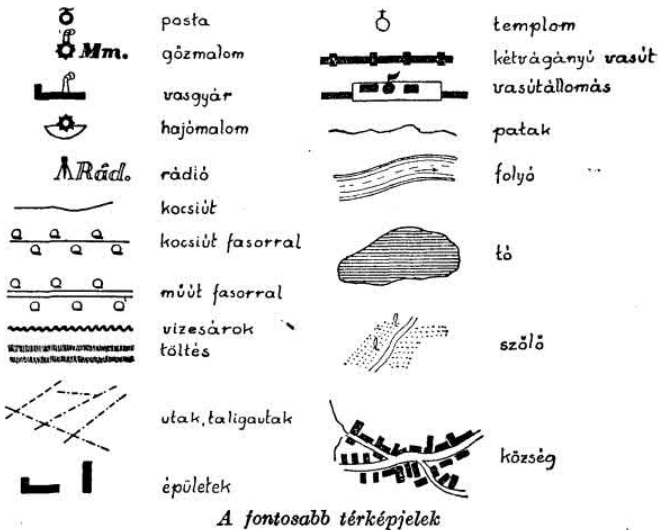


Térkép vázlat

s a térképolvasásnál magától adódik is, hogy nem vagyunk ebben a kérdésben szórszálhasogatók. Egy fasort például úgy szokás ábrázolni, hogy körülbelül egymilliméteres kis törökét rajzolnak egymás mellé. A 75.000-es térképen ez S/L 1 mm-es kör a valóságban 75 m átmérőjű kört jelent; tehát ha azt gondoljuk, hogy a kis kör egy fa, a térkép mérete szerint egy 75 m átmérőjű faóriást kellene keresnünk a helyén. Különösen síkságokon nagyon fontos tájékoztató tereptárgy a gémeskút. A térképeken meg is találunk minden gémeskutat, pár milliméteres kis képpel ábrázolva, de ezt a rajzot nem lehet 75.000-szeresre felnagyítva keresni a valóságban.

A térképrajzolásnak számos konvencionális jele van, amelyet ismernünk kell, ha igazán tájékozódni akarunk a térkép segítségével. A fontosabbakat a következő lapon be is mutatjuk. Ha az ember végigbogarássza egyszerűen ezeket a jeleket, már tisztában is van velük, hiszen javarészüik logikus jelkép s a többiben is könnyű felfedezni azt a szándékot, hogy még a teljesen önkényes jelek is szinte magától értetődőek legyenek. Mondtuk már, hogy

egy jó térképlapon kötetekre való adatot találunk össze-sűrítve, de, természetesen, tudni kell olvasni ezeket az adatokat, esetleg felfedezni őket. Egy most készült tér-



képről feltehetjük, hogy minden rajta van, amit csak kereshet a turista vagy a katona, hiszen e két emberfajta az, akinek életeleme a térkép. Sajnos, azonban nincsenek »éppen most elkészült« térképek, de nem is lehetnek, mert ha ma a lehető legrészletesebben felvesznek egy terepet, mire abból kinyomtatott térkép lesz, ezernyi új tereptárgy« keletkezett, házak épültek, új hidak készültek el, esetleg egészen új lakótelepek létesültek. Márpedig a magyar térképészeti intézet legnagyobb évi teljesítménye, légi fényképezés alapján, a legmodernebb térképszerkesztő gépekkel 15.000 km², ami azt jelenti, hogy az egész ország új felvétele több mint hat esztendeig tartana, tehát az első évben feldolgozott anyagnak éppen elég ideje van ahhoz, hogy elévüljön és felfrissítésre szoruljon, mire az utolsó év térképei elkészülnek.

A térképkészítés lényeges része a nyomtatás. Mivel minden térképen több szín szerepel, közönséges nyomdai eljárásokkal, klisékkel legfeljebb kisméretű, egyszerű és olcsó térképek készülhetnek. A jobb térképeket azelőtt kőről nyomták, köre rajzolva az egyes színeknek megfelelő nyomóformákat, ma már csaknem kivétel nélkül mélynyomással készülnek a jobb kivitelű térképek, vagy a mélynyomó lemezről cink- vagy alumíniumlemeze átnyomva offszetnyomással.

A földrajz

Minket, embereket a Föld elsősorban azért érdekel, mert rajta lakunk, rajta élünk, mindent tőle kapunk, mindenben tőle függünk. Az a tudomány, amelynek célja a Föld megismerése, meglehetősen sokrétű. Tulajdonképpen már mindaz beletartozik, amiről eddig szó volt könyvünkben, a Földnek a világegyetemben elfoglalt helyének megállapítása, a Föld alakja és méretei, a Föld felszínének ábrázolása mind a tágabb értelemben vett földrajzba tartozik s nagyjában ezt nevezzük csillagászati vagy matematikai földrajznak. Mindez azonban csak kezdete az igazi értelemben vett földrajznak, amely egyrészt leírja a Földet mint terepet, másrészt megállapítja és számbaveszi a Földön lejátszódó természettünemények és fizikai erők hatását az ember szempontjából. Itt aztán már nagy szerepet kezd játszani a földi légkör, amelyről eddig szinte szó sem esett még. A Föld lakhatósága nem csupán magától a szilárd Földtől függ, hanem az őt burkoló levegőtengertől is, tehát a földrajznak foglalkoznia kell az éghajlattal is. Mindennapi életünk és egész civilizációnk szempontjából döntően fontos, hogy mi van talpunk alatt a földben, amihez hozzáférhetünk. Nemcsak az érdekel, hogy vannak hegyek, hanem az is, hogy miből vannak, de a síkságokon is tudni akarjuk, hogy mit kaphatunk a földből. És hozzátartozik a földrajzhoz a növény- és állatvilág leírása is. Nagyjában ezek azok, amiket összefoglalhatunk a földrajz tudományába.

A Föld nagy és végtelenül változatos minden tekintetben s a földrajz kénytelen részletenként vizsgálni és tárgyalni a Föld fizikai és emberi vonatkozású jelenségeit. Először veszi a szárazföldröket, illetve félreértések elkerülése

végezt mondjuk, a kontinenseket. Az egyes kontinensek valóban nagy egységeket alkotnak, ámbár éppen a mienk, Európa, mégsem tekinthető független egységnek, hiszen vannak, akik azt mondják, hogy Európa tulajdonképpen csak félszigete a hatalmas ázsiai kontinensnek. Azért mégis önálló egységnek kell tekintenünk, bár kelet felé, a nagy orosz síkságon át egyre inkább Ázsiához tartozónak érezzük. Kétségtelenül önálló kontinens Amerika, Ausztrália és végül Afrika is, habár ezt csak a Földközi-tenger választja el tőlünk. Ha mármost Európát vesszük s ennek a kontinensnek a földrajzát akarjuk megcsinálni, felületes szemléltre is oly nagy különbségeket, oly nagy változatosságokat látunk, hogy kénytelenek vagyunk azonnal kisebb tájakra osztani s azokat egyenként venni sorra. A tájakra való felosztás azonban sokféleképpen történhetik, s nehéz eldönteni, hogy melyik a helyesebb vagy okosabb. Régente, amikor a földrajz lényegében nem volt más, mint államismertetés, magától értetődött, hogy csak az országokra, tartományokra való felosztást ismerték; de mai értelemben, amikor a Föld és az ember kölcsönös hatásait akarjuk megismerni a földrajzból, az ilyen felosztás képtelenség. A geográfusok tisztában vannak azzal, hogy ha mégis nagyjában egyes országok földrajzát csinálják, csak a meggyökeresedett előítéleteknek hódolnak be s alája rendelik a tudományos felfogást a külső gyakorlati szempontoknak.

A tudományos leíróföldrajznak természetes felosztásra kell törekednie, de az a baj, hogy nem lehet találni igazán természetes felosztást. Kézenfekvőnek látszanék a hegyes vízrajzi tájegységek szerint való felosztás, mely a hegységeket és ezzel együtt a vízválasztókat, illetve a folyókat tekinti tájak határainak, de a gyakorlatban ez a felosztás is mesterkéltiségre vezet s amellet erősen-politikai mellékíze is van. Kiindulhatunk a szárazföld belső szerkezetéből is a felosztásban, ez viszont bár figyelembe veszi a földfelület nagy vonásokban való sajátosságait, de csütörtököt mond az éghajlattal és az ezzel összefüggő minden egyéb jelenséggel szemben s gyakran szétszakítja a szomszédos és összefüggő területek összetartozóságát. Viszont, éppily kevésbé használható az éghajlat szerint való felosztás is. így aztán nem maradt más hátra, mint a kiegészítés a külön-

böző szempontok között, mégpedig egyrészt olyanmódon, hogy bizonyos határig mégis csak országterületek földrajzát csinálják minden ország geográfusai, másrészt a politikai határoktól független tájbeosztásnál inkább az elkülönülést, mint a hasonlóságot veszik tekintetbe. Az elkülönülés alapja a tenger és a hegységek. Minden tekintetben különböznek egymástól a partvidékek a szárazföld belsejétől, s a félszigetek feltétlenül önálló tájegységnek számítanak. A félszigetekenél, természetesen, nem a félsziget gyökerét átszelő geometriailag legrövidebb vonalat kell elhatárolónak tekinteni, hanem ott kell megvonni a határt, ahol a hegységek, vagy egyéb komoly térszíni alakulatok véget vetnek a tenger közvetlen hatásának. Nehezebb aztán a kontinentális törzs tájakra osztása, főképpen azért, mert Európának nincsenek ilyen jellegzetességül hegyláncai. A különböző földrajzi szélesség, a tengerekhez viszonyított helyzet annyit biztosan megtesz, hogy Európa nagy tájrészeinek Nyugat-Európát, a Közép-Európát és Kelet-Európát tekinthetjük. Az elválasztás részleteiben aztán önkényes, ez azonban elkerülhetetlen. Földrajzi szempontból külön országnak« kellene venni az Alpokat, de ha megtesszük, szétépítjük azt az összefüggést, amely köztük és az előttük fekvő vidékek közt van, így aztán végeredményben hat ország földrajzához tartoznak az Alpok, teljes joggal.

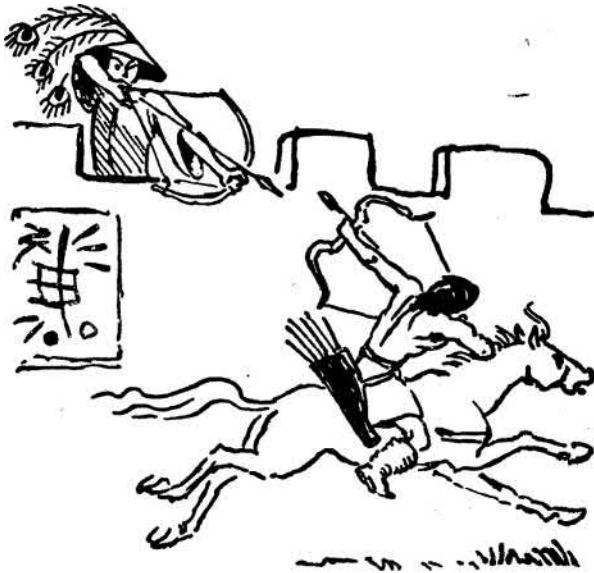
Ha szigorúan vesszük, »Az ember és a Föld« című könyvben földrajzt is kellene adnunk, hiszen az emberiségnek a Földdel való kapcsolata elsősorban a földfelület megismeréséből válik érthetővé. Mégsem kezdetünk hozzá, részben azért, mert világrészek, tájak, országok leírása még vázlatosan is aránytalanul sok helyet foglalna el, részben pedig, sőt főképpen azért, mert ami földrajzot ebben a könyvben adni kellene, ahhoz előbb a fizikai alapot kell megszerezni. Az igazi földrajz második fokon alkalmazott természettudomány. Természettudománynak mai értelemben első fokon csak a fizikát és a kémiát nevezhetjük, bár a kettőt tulajdonképpen egynek is vehetjük, mert elválasztásuk inkább csak alaki, mint lényegi. Utánuk következnek azok a tudományok, amelyekben alkalmazni igyekszünk a fizika és kémia kutatásaiból leszűrt természet-törvényeket. Ezek az alkalmazott tudományok a mi szá-

munkra elsősorban a geofizika, az éghajlat és a földtan, de lépten-nyomon szükség van némi tájékozottságra az állattanból, növénytanból, őslénytanból, ásványtanból, bár általában nem sokkal többre, mint amennyinek meg kellett volna ragadnia bennünk az iskolából. Ha mindezeket túl vagyunk, akkor lehetne csak szó igazában az általános leíró földrajzot venni sorra. Erről azonban nyugodtan lemondhatunk, még pedig azért, mert a következő geológiai, meteorológiai, geológiai fejezetekben elégszer lesz szó földrajzi dolgokról s lassanként kialakulnak előttünk a Föld életjelenségei.

Ha nem is vesszük most sorra a földrészeket és országokat, nem árt, ha e helyett rászánunk néhány lapot a Föld földrajzi felfedezésének történetére. Magától adódik, hogy miért illik ez inkább bele könyvünk mondanivalójába, mint a leíróföldrajz. Először is az ember csak akkor kezdte igazán birtokba venni lakóhelyét, a Földet, amikor felfedezte, azután pedig a Föld apránként való felfedezése nyomán eszmélt rá fokozatosan, hogy milyen nagy a Föld emberi szempontból s jött rá, hogy ezt a hatalmas Földet hogyan hódíthatja meg.

A Föld felfedezése

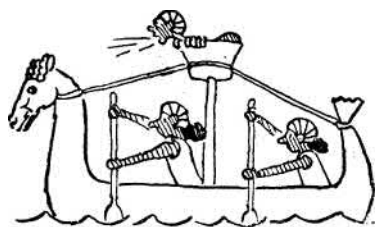
A legrégebbi korok népei nem törődtek azzal, hogy mi van országuk határain túl, sőt mindig félték a szomszédaiktól. Eleinte talán még csak akkor érdeklődtek a népek országukon kívül levő területek iránt, ha odahaza kezdett kimerülni a föld s új lakóhelyet kellett keresni, később aztán a törzsfőnökök, fejedelmek uralmi vágya indította el őket szomszédaik megtámadására, különösen akkor, ha azok másfaj úak voltak, más nyelven beszéltek. Egyébként szinte még a legújabb korban is együtt járt a hódítás a felfedezéssel, tehát nincs jogunk méltatlankodni őseink módszerein. A hódító áramlatokkal szemben természetesen a támadásnak kitett vagy megtámadott népek igyekeztek megvédeni magukat és javaikat, különösen ha előbbre voltak a kultúrában és jobb módban éltek. Az állandó védekezésre való készültség aztán a lehető legteljesebb elzárkózást hozta magával, ők sem merészkedtek határaikon túlra s nem törődtek azzal, hogy



mi van a messzebb tájakon. A kínaiak fallal vették körül országukat, hogy be ne törhessenek hozzájuk mégegyszer a hunok s más vad népek, Tibetben könyörtelenül megölték még a betévedt idegent is és természetesen maguk sem indultak el felfedező útra.

Így aztán érthető, hogy hosszú évezredekken át úgy élt az ember ezen a Földön, hogy a legközelebbi szomszédságát sem ismerte és nem is akarta megismerni, amíg csak nem volt kénytelen rá. Természetesen hozzájárult ehhez az elzárkózott-Bághoz, hogy nem igen tudta legyőzni a nagy hegységek, folyók akadályait s meglehetősen nehéz volt nagyobb távolságokról haza is találni. Más volt a helyzet a tengerparti népeknél. A tenger felől nem kellett félni támadástól s a legkezdetlegesebb népek előtt is állandóan felmerülhetett a nagy kérdés, hogy mi van a végtelen vizeken túl. Itt azonban a hajózás eszközeinek korlátolt volta akadályozta a komoly felfedezéseket, hiszen gyöngé és törékeny bárkákkal nem nagyon lehetett büntetlenül kimerészkedni nyílt tengerre. Az első komoly földrajzi felfedezéseket azonban nem a tudásvágynak és nem a hatalmi törekvéseknek köszönhették az emberek, hanem a kereskedelemnek. A föníciaiak voltak az

elsők, kik nagy területeket jártak be Szíria és Palesztina közt a Földközi-tenger partján fekvő hazájukból kiindulva. Bejárták a Földközi-tenger egész partvidékét, cserekereskedést folytattak Észak-Afrika és Dél-Európa népeivel, eljutottak a Fekete-tenger partjaira, majd, mivel az egyiptomiak egyáltalán nem foglalkoztak kereskedelemmel, az ő termékeik szállításának el vállalásával, rendszeresen járták Afrika keleti partjait is. A föníciaiak felfedező útjai valószínűleg már a Krisztus előtti harmadik évezredben elkezdődtek s ami a legfontosabb, mindazokról az országokról, ahol megfordultak s mindazokról a népekről,



amelyekkel érintkezésbe kerültek, nagyon pontos és megbízható ismereteket szereztek és terjesztettek. Ők ismertették meg például a görögökkel az egyiptomi kultúrát, sőt az írás mesterségét is. Amikor kezdett szűk lenni hazájuk és nagyobb rajokban települtek át, megalapították Karthágót s innen bemerészkedtek a Szaharába is, sőt a hagyományok szerint Krisztus előtt hatszáz évvel már körülhajózták Afrikát is. Megvetették lábukat a mai Spanyolország területén, innen aztán feljutottak Gallián át Britannia partjaiig, felhatoltak a Rajnán, eljutottak a Keleti-tengerig, ahonnan ők szállították az ókor anynyira kedvelt borostyánkővét nagy mennyiségben. Kelet felé pedig Babilónián át összeköttetésbe léptek Indiával. Érdekes, hogy már tisztában voltak a földrészek különböző voltával, mert tőlük származik az Európa és Ázsia megkülönböztetése. *Ereb* napnyugtát jelent, *aszú* napkeltét s a görögök-nél alakult ki a két szó mai alakja, Európa és Ázsia. Kezdetben a görögök az Égei-tenger nyugati, illetve keleti oldalát jelentette Európa és Ázsia, majd Ázsiának számított minden ország, mely kelet felé Kis-Ázsiához csatlakozott s Európának minden, ami Görögországhoz csatlakozott.

Az első tervszerűen utazó felfedezőnek *Hérodotoszt* tartjuk, akit egyébként a történelem atyjának is neveznek. Valóban, történelmet írt, de igyekezett személyesen megismerni azokat az országokat és helyeket, amelyekről írt

s ezért nagy utakat tett meg. Bejárta Egyiptomot, Kis-Ázsiát, volt Perzsiában is és tudott Indiáról, amelyről azonban csak hallomás útján közölt igen megbízhatatlan adatokat. Volt Itáliában, Arábiában s általában, ahol járt, onnan nagy értékes részletekkel gyarapította korának földrajzi ismereteit. Hérodotosz után a Föld felfedezésének ügye elkezdett katonai üggyé válni Nagy Sándorral. A nagy makedóniai hódító legyőzte a perzsákat, behatolt Közép-Ázsiába, elérte az Indus folyót és csaknem eljutott a Gangesz vidékére s tervbevette Arábia körülhajózását is. Halála után utódai, a diadochok, folytatták a keleti kapcsolatok kibővítését. Indiával egyre sűrűbb lett az összeköttetésük, amivel együtt lefoszlott a mese erről az azelőtt csak hírből ismert birodalomról és ebben az időben történt meg az első érintkezés a hatalmas kultúrájú kínai birodalommal is. Igaz, hogy közvetlen kapcsolatot csak

a rómaiak teremtettek Kínával, amikor *Lieu Pang* császár meghódította Kelet-India partvidékeit s ezzel közelebb hozta Európához a mennyei birodalom határait, ő engedte meg, hogy a római



kikötőjében selymek kereskedelmi összeköttetésnek lett az eredménye az, hogy Marcus Aurelius Kr. u. 166-ban már szabályos követséget küldött a kínai császárhoz.

A rómaiakkal aztán folytatódott a földrajz és a katonai hódítás szoros összefüggése. Ők fedezték fel Európa nyugati és északi részeit, amely vidékek a keresztény időszámítás első éveiben még titokzatos homályban éltek az államférfiak, tudósok és kereskedők képzeletében. Július Caesar hódító hadjáratai nyitottak utat Gallia belsejébe, Britanniába, amelynek legfeljebb partvidékeit érintették már a föníciaiak hajói, a második században Trajanus a Duna középső folyásáig hatolt előre, megalkotta Pannóniát, majd az alsó Dunán végighaladva, meghódította Dáciát, a mai Erdélyt s ezek a hódító utak tagadhatatlanul felfedező utaknak számítottak. A hatalmas római birodalom azonban nem tudta teljesen leigázni a bekebelezett népeket, azok

ellenségek maradtak a hódoltság alatt is s a kizsákmányolt országok felkelései, lázadásai végül nem engedték meg, hogy a rómaiak a Duna fölött lakó barbár népeket is megtörjék. Igaz, hogy a rómaiakat hódító és gazdagodó szándékok vezették Európa felfedezésében, de kétségtelen, hogy kultúrát is vittek magukkal — a rabláncok mellett — mindenhová s az ő beszámolóik tették lehetővé, hogy Ptolomeosz, egyiptomi görög tudós már nagyjában egészen helyes képet tudott adni az addig ismert világrészekről. Kicsit torz volt a kép, még a Ptolomeosz-féle világtérkép 1545-ből való bázeli kiadásában is csaknem egyenes vonalnak van ábrázolva a Duna, de csaknem kétezer év előtt nem is volt még semmiféle módszer sem arra, hogy helyes és arányos képet rajzolhassanak maguknak az emberek az akkor ismert világról.

A római birodalom katasztrofális bukása után következett a népvándorlások mozgalmas kora, amikor fordult a kocka s nem a műveltebb népek hódítottak, hanem a barbár tömegek verték le a civilizáltakat. Európában szinte feledésbe merült az antik kultúra, a Föld újra korong lett. Kereskedelem nem volt egészen a 13—14. századig, amikor a velenceiek és a német Hanza szövetség végre kezdték újra megnyitni a világkereskedelem útjait. Mint a középkorban minden tudomány, a földrajz is csak a keresztény-egyháznál talált némi menedéket s ebben a korszakban szinte csak a hittérítők gyarapították valamennyire a föld-



rajzi ismereteket, elmerész-
kedve észak és kelet felé, ad-
dig ismeretlen területekre is,
a legsötétebb Belső-Ázsiába
is. Gondoljunk Marco Póló-
ra, aki először jutott el
szárazföldi úton Kínáig és
Julián baráttra, aki a 13.
század első felében egészen
a Volgáig jutott el s megta-
lálta a magyarok őshazáját

is. Egyedül az arabok foglalkoztak ebben az időben kereskedelemmel s ennek kapcsán a földrajzi ismeretek gyarapításával. Ők viszont, amikor mohamedánokká lettek, val-

lási okokból elzárkóztak a többi nép elől s szinte be sem engedték az európaiakat Ázsia és Észak-Afrika területére, sőt, amikor átkeltek a Gibraltáron és az ibériai félszigetet is csaknem egészen birtokba vették, azt is épúgy elzárták a kutató keresztények elől. Az arab tudomány, mint ismeretes, nagyon fejlett volt s habár a földrajz terén inkább csak a már felfedezett területek részletesebb leírására szorítottak, új felfedezéseket is tettek, sok adatot szerezve Dél-Kínáról, Indiáról és a tatárok földjéről. A kilencedik századból fennmaradt két arab író útleírása Kínáról és Indiáról s ez a két könyv indította meg az útleírások és földrajzi munkák később oly gazdag sorozatát. Az európaiak úgyszólván csak a keresztes hadjáratok során jutottak világlátáshoz, de ezek a hadjáratok már jólismert utakon vezettek a Szentföldre és a lovakok közül senkisémm gondolt felfedezésekre.

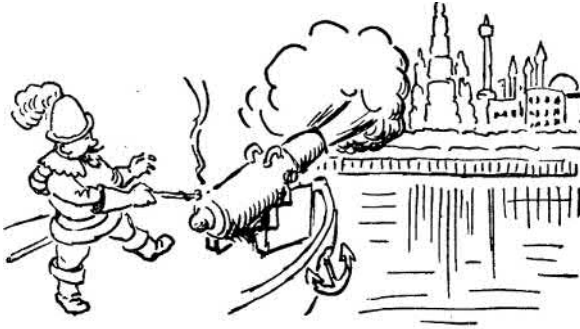
Habár a kínaiak több mint kétezer évvel ezelőtt ismerték már az iránytű használatát, az európai hajósokat csak az arabok ismertették meg a tengeren való tájékozódás e nélkülözhetetlen eszközével. Magát a mágnesvasat ismerték a görögök is, de csak annyit tudtak róla, hogy magához vonz más vasdarabokat. Arról, hogy megfelelően felfüggesztve beáll az észak-dél irányba, sejtelmük sem volt. A kínaiak s az ő nyomukban az arabok, eleinte úgy használták a mágnesűt, hogy könnyű fadarabra erősítve egy tál vízbe tették s az így úszó mágnesűt beállt a fával az észak-dél vonalba. Ebből a kezdetleges iránytűből az olasz *Gioja Flavio* csinálta meg a használható műszert, a szélrózsával egyesített tájolót, amely végre lehetővé tette a hajósok számára, hogy nyílt tengeren, borús ég mellett és csillagtalán éjszakákon is biztosan tájékozódhassanak. A tengeren való utazásnak volt egy nagy előnye a szárazföldivel szemben, nem kellett átmenni más országokon, legtöbbször nem szívesen látott idegenként. A kereskedők nem szeretnek fegyveresen járni s verekedni, mint a hódító katonák, hanem minél kevesebb kockázattal igyekeznek megszerezni az árut s hazavinni. Ezért jelentett nagy dolgot a tengeri kereskedelem számára az iránytű, a nyílt tenger s érthető, hogy az első terv Afrika körülhajózása lett, abból a célból, hogy tengeri úton teremtsenek összeköttetést a

kinceses keleti országokkal, Indiával, Kínával. A szuezi csatorna, természetesen, még nem volt meg s habár még a föníciaiak idejéből élt az emlék, hogy Afrikát körül lehet hajózni, a földközitengeri népek alig merészkedtek ki a Gibraltáron, a félelmetes Herkules oszlopain túlra.

Az indiai út megkereséséve) elsősorban a genovaiak és a portugálok foglalkoztak. 1300-ban felfedezték újra a Kanári-szigeteket és Madeirát, melyek létezéséről a rómaiak is tudtak, 1350-ben a portugál hajósok elérték az Azori-szigeteket, de aztán száz esztendeig tartott, amíg a következő lépést is megtették, mikor 1456-ban *Cada Mosto* velencei tengerész felfedezte a Zöldfoki-szigeteket. 1484-ben *Diego Cao* már áthaladt az egyenlítőn s eljutott a Kongó torkolatáig. A körülhajózás lehetőségét aztán *Diaz* portugál hajós bizonyította be. 1486-ban indult el három hajóval, el is érte Afrika déli csúcsát s visszafordulva a keleti parton, feljutott a Busman-folyó torkolatáig. Legénysége azonban nem volt hajlandó tovább menni s ezért hazaindult. Visszafelé útjában megállapította Afrika déli csücskének helyzetét s ő nevezte el Jóreménység-fokának ezt a pontot. Másodszori útján hajótörést szenvedett s eltűnt, de tíz évvel később *Vasco de Gama* tizenegy hónapi út után valóban elérkezett Calicutba, Kalkuttába. A rádsa azonban ellenségesen fogadta a nyílt tengerről megérkező idegen hajókat s Vasco de Gama kénytelen volt visszatérni. Otthon a király kinevezte India tengernagyává s visszaküldte, de hódító szándékkal, egész hajóhaddal, úgyhogy Vasco de Gama összelövette Calicutot, mire a rádsa megadta magát. Ütközben Afrika néhány részét portugál birtokba vette, ami sokat jelentett a kontinens belsejének felfedezésében.

Míg a portugálok Afrika körülhajózásával igyekeztek megtalálni az Indiába vezető utat, a spanyolok *Kolumbuszt* pénzelték abban a vállalkozásában, hogy az Atlanti-óceánon át érje el keletről India földjét. Tudjuk, hogy a vállalkozása egészen más eredménnyel járt, Kolumbusz Amerikát fedezte fel az indiai út helyett s ez jóval nagyobb eredmény volt a vártnál. Tulajdonképpen már jóval Kolumbusz előtt is felfedezték Amerika földjét. A tizedik században a normannok eljutottak Grönlandba, onnan Észak-Amerika keleti partjaira s a Szent Lőrinc-folyó torkolatánál gyarmatot is

alapítottak. Később azonban megszakították ezeket az északi összeköttetéseket, az amerikai gyarmatok elpusztultak, sőt, még a köztudat is megfeledkezett Grönlandról. Az Atlanti-óceánon túl fekvő szárazföld emléke azonban megmaradt a hajósok között s ez az emlék volt az alapja annak a hitnek is, hogy nyugat felé haladva el kell érni Indiába, Kínába, Afrika megkerülése nélkül is. Kolumbusz első útján csak az Amerikától keletre fekvő szigeteket



fedezte fel, San Salvadorét, Kubát, Haitit, második útján a Kis Antillákat s még mindig abban a hiszemben volt, hogy India közelébe jutott el. Ezért is nevezték el Nyugat-Indiának ezt a szigetvilágot s ezért nevezték el a bennszülötteket indiánusoknak, holott semmi közük sincs az indiai népfajokhoz. Kolumbusz nyomán aztán özönlöttek az európaiak az új ígéretföldre felé, melyről egyre csodálatosabb mesék keltek szárnyra. A gyors meggazdagodásra vágyó kalandorok között azonban akadt igazi felfedező is, például a képzett *Amerigo Vespucci*, aki sokat járt már Amerika keleti partvidékein s hatkötetes munkában, részletes térképekkel számolt be az új világról. (Ő maga ajánlotta, hogy az új világrészt Amerikának nevezzék el, őróla magáról.) A hatalmas amerikai kontinensen aztán évszázadokra akadt további felfedeznivaló s azután felmerült a probléma, Amerika nyugati partjairól menni tovább Ázsia felé.

1520-ban haladt át *Magelhaes* Dél-Amerika csúcsa és a Tűzföld közti szoroson s felfedezte a Csendes-óceánt, mely jóval nagyobbak bizonyult, mint az Atlanti. Nyugat felé



haladva, elért aFilippi-szigetekre s mind ő, mind az utána jövő felfedezők alig győzték számontartani a sokezernyi szigetet, mely a Csendes-óceáné felében van. 1526-ban *Meneses* portugál hajós felfedezte a világ legnagyobb

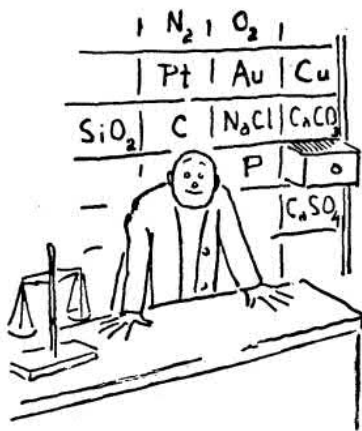
szigetét, Új Guineát, de csodálatosképpen nyolcvan év kellett hozzá, amíg észrevették az Új Guineától alig száz kilométernyire fekvő Ausztráliát. 1605-ben találtak rá a hollandusok. Eltekintve a déli sarkvidékektől, az Antarktisztól, most már nagyjában fel volt fedezve a Föld. öriási kiterjedésű óceánok és kontinensek létezéséről vettek tudomást az emberek s megindult Európából az áradat az újonnan felfedezett világok meghódítására. A megismerés, természetesen, ezzel párhuzamosan ment, de tulajdonképpen csak akkor sikerült kielégítő módon, mikor a gőzhajó megkönnyítette az óceánokon való hajózást, a gőzvasút pedig lehetővé tette a nagy távolságok leküzdését a szárazföldeken. Mindamellet, mégis sok hiányzott a Föld teljes felfedezéséből sokáig, hiszen az újonnan felfedezett szárazföldek belsejének átkutatása hatalmas feladatot rótt a bevándorló európaiakra. A feladat elvégzése azonban megérte a fáradságot és a költséget, hiszen természeti kincsek tömegében bővelkedő földrészek birtokbavételével járt együtt. Tagadhatatlan, hogy akadtak önzetlen geográfusok, akik örültek annak, ha gyarapíthatták az emberiség tudását, s akik a pusztá tudományos hírnévért küzdöttek és kockáztatták sokszor életüket is, de nem jutottak volna hozzá, hogy rendszeres felfedező utakat tegyenek meg az ismeretlen világokban. Gyakorlatilag a gyarmatosítás segítette elő munkájukat. A katonák első feladatuknak tekintik, hogy ha valahol megvetették lábukat, térképezzenek s a haditengerészeteknek életbevágóan fontos volt, hogy pontosan megismerjék az óceánokat, tudjanak minden szigetről, ahol támaszpontot lehet csinálni. Azért még ma sem mondhatjuk, hogy teljesen ismerjük a Földet. Habár nagyon megritkultak a fehér foltok térképeinken, hatalmas területek vannak a világon, amelyekről alig tudunk valamilyen részletet.

HARMADIK RÉSZ

A FÖLD FIZIKÁJA

A Föld anyaga

Amikor a Föld fizikai viszonyairól akarunk képet kapni, két kérdést kell megvizsgálnunk: milyen anyagokból van a Föld és milyen erők dolgoznak rajta. Kezdjük tehát a Föld anyagán. A Föld felszínén és mélyében nagyon sokféle anyagot találunk. Ezeket a természetben előforduló anyagokat általában ásványoknak nevezzük, habár nem okvetlenül szükséges ázni hozzá, hogy élénk kerüljenek, mert szemünk előtt vannak, amerre csak nézünk. A kémia apránként kielemezte a Földön előforduló anyagokat, mind-egyikről megállapította, hogy miből van s mint tudjuk, vég-eredményben sikerült valamennyit visszavezetni kilencven-két olyan anyagra, amelyet már nem lehet tovább bontani elemekre. A kilencvenkét féle kémiai elem azonban nem egyforma arányban fordul elő a természetben. Nem is egészen egy tucatnyi azoknak az ele-meknek a száma, amelyekkel lépten-nyomon találkozunk a természetes vegyületekben, e-zek az oxigén, szüicium, alumí-nium, vas, kalcium, nátrium, kálium, magnézium, hidrogén, klór és szén s ez a sorrend



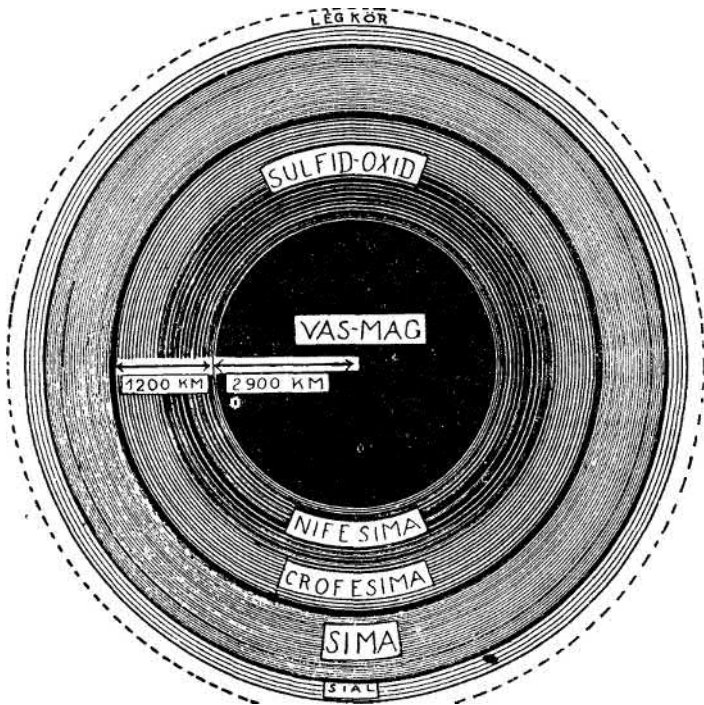
pontosan megfelel gyakoriságuknak, ami első pillanatra bizonyára mindenkit meglep hiszen az első helyen a gázalakú oxigén van, a másodikon pedig a szilícium, amelyet közönséges halandó egyáltalán nem is ismer. Elemi alakjában azonban csak nagyon kevés kémiai elem található meg a Földön, szabadon, legfontosabbak az oxigén, a nitrogén, az arany, a réz, a platina, minden többi csak vegyületekben fordul elő.

A vegyészek és a geológusok alapos vizsgálatok és számítások révén meg tudták állapítani, hogy az elemek milyen arányban fordulnak elő a Told szilárd részében, a levegőben és a tengerben. A Föld egész tömege kereken 6000 trillió tonna. Ennek az elképzelhetetlenül óriási tömegnek mindössze 0.06%-a esik a légkörre, tehát arányla igazán nagyon kevés, de ha kiszámítjuk, hogy mennyi a valóságban, igen tekintélyes számot kapunk: több mint ötezer billió tonnát. Ennyi a földi légkör tömege. Az óceánok tömege 6.91 százalékát teszi ki az egész Föld tömegének, tehát magára a szilárd földre 93.06 százalék marad.

Sajnos, a Föld belsejének szerkezetét nem ismerhetjük meg közvetlenül, mindössze körülbelül tizenhat kilométernyi mélységig tudjuk, mi van benne, milyen arányban fordulnak elő a kőzetek. Mindamelletl eléggé biztos alapunk van annak kiderítésére, hogy mi van a Föld igazi mélységeiben. Később lesz még szó a legfontosabb módszerekről, amelyeknek segítségével felvilágosításokat kaphatunk a Föld belső szerkezetéről, most csak a végeredményt mondjuk el. Csillagászati módszerekkel, a gravitációs vonzás megméréseivel megállapították az egész Föld tömegét, méreteit s ebből az adódott, hogy a Föld közepes sűrűsége 5.5. Viszont a felszínén található kőzetek átlagos sűrűsége csak 2.6, tehát azt kell következtetnünk, hogy a Föld mélye, magja ennél jóval nagyobb sűrűségű. Minden valószínűség amelletl szól, hogy ennek a nehéz magnak túlnyomó részben vas és nikkell az anyaga. Ez a mag körülbelül 3500 kilométer mélységben kezdődik, tehát 2900 km sugarú gömböt tölt ki. Sűrűségét kereken 8-ra becsülik s röviden ρ_w/e -magnak nevezik, a nikkell és ferrum kezdőszótagainak egyesítésével. Habár természetesen szó sincs arról, hogy személyesen megtekinthessük ezt a rettenetes mélységben kezdődő magot,

az anyagából mégis találunk darabokat minden múzeumban. Ugyanis a Földre hulló meteorok túlnyomó többsége ilyen vas-nikkel keverék, általában 90% vas, 8% nikkels mivel bizonyos, hogy a meteorok valamely egykori bolygótársunk törmelékei, jogosan vehetjük hasonlóknak a Föld magjának anyagát. A néhai bolygó anyagának elrendeződése ugyanazok szerint a fizikai törvényeik szerint ment végbe, mint a Földé, tehát biztosra vehetjük, hogy a Föld nife-magjának nagyjában ugyanaz az összetétele, mint a vasmeteoroké. Vason és nikkelen kívül valószínű, hogy kis mennyiségben minden nehezebb fémet is megtalálunk a Föld magjában, hiszen bizonyos, hogy olvadt cseppfolyós állapotában a Föld anyaga úgy rendeződött, hogy a nehezebb anyagok mélyebbre kerültek.

A Föld e vasmagjának tömege többet tesz ki, mint az egész Föld tömegének háromnegyedrésze. Fölötte egy



körülbelül 1700 km vastag burok következnek, melynek anyaga különféle fémek szulfid- és oxidvegyületeiből adódik, ezért nevezzük *szulfid-oxidrétegnek*. A földrengéshullámok terjedésének vizsgálatából tudjuk, hogy tulajdonképpen két rétegre lehet osztani, alul nikkell, vas, szilícium és magnézium szulfidjai vannak többségben s ennek a *nifesima* - rétegnek (nikkel - ferrum - szilícium - magnézium) 6 a sűrűsége. A felette lévő második réteg sűrűsége 5 anyaga króm, vas, szilícium, magnézium s ezért *crofesimareteg* a neve. A meteorok között hasonló összetételű darabok is akadnak, pallasitoknak hívják ezeket, mert Pallas találta őket először Szibériában 1775-ben. Az egykori szétrobbant bolygóban tehát megvolt a Földnek ez a második rétege is, mint ahogyan az úgynevezett *meteoilcövek* anyaga azonos a Föld harmadik rétegének, a *litoszférának* anyagával. Ez a litoszféra — *lithosz* kőzetet jelent — a Föld legkülsőbb öve, mely magában foglalja a szilárd kőzetek összességét. Átlagos sűrűsége, mint már említettük, 2.6. Ez. tulajdonképpen a Föld szilárd kérge, 110—120 km vastag, de 60 km mélységen alul anyaga már többé-kevésbé nyúlós állapotban van, természetesen magas hőfokon. A feszültségkiegyenlítődések eddig a hatvan kilométeres mélységig törésekkel egyenlítődnék ki, alatta már fokozatosan. A nyúlékony állapot lassanként folyóssá lesz s ezt nevezzük *magmának*. »Magma« tésztát jelent. A magma nagy nyomás alatt van s ha ez a nyomás enged, az anyag teljesen cseppfolyós lesz. Az összesen 1200 km vastag litoszférát két rétegre szokás osztani, a belső a főképpen szilícium és magnéziumból lévő *sima*, a felsőbb szint a túlnyomó részben szilíciumból és alumíniumból álló *sial*. A litoszféra, vagyis a Földnek az a kérge, amelyen élünk, aránylag nagyon vékony héj, vastagsága a Föld sugarának alig egy-ötvened részét teszi ki. A szó szoros értelmében nem vastagabb, mint tojásan a kemény héj. S mint már említettük, ennek a vékony rétegnek is alig egyharmadrész vastagságáig tudott az, ember eddig lehatolni a legmélyebb fúrással. A sialréteg tulajdonképpen csak a szárazföldek anyagát foglalja magában s körülbelül 40 km vastagnak vehetjük. Az óceánok feneke már inkább sima réteg, 20 km vastagságban s ez megy át fokozatosan az alatta lévő tésztaszerű simába.

Most nézzük a litoszférában található kémiai elemek arányát. A földkéreg oxigéntartalma 49.5%, a szilícium mennyisége 25.7%. Ez a két elem vezet messze elől, mert az utánuk következő alumínium már csak 7.5%-kal szerepel. Az aránylag nagyobb mennyiségben szereplő elemek így következnek egymás után: vas 4.7%-kal, kalcium 3.4, nátrium 2.6, kálium 2.4, magnézium 1.9%. Érdekes, hogy a leggyakoribb nyolc kémiai elem között még nem szerepel a szén, pedig az minden szerves anyagban jelentékeny arányban megvan s arra gondolva, hogy mily beláthatatlan sokaságban él növény és állat a Földön, azt várnók, hogy szén jóval több van, mint például alumínium. A felsorolt nyolc elem már kiteszi a szilárd földkéreg anyagának 97.7 %-át, tehát a többi 84 elemre mindössze 2.3% maradt. Nézzük, hogyan osztoznak ezen a kis maradékon. A hidrogénre esik 0.87%, utána következik ismét egy kevésbé ismert elem, a titán 0.58%-kal, a klór 0.19, a foszfor 0.12%-kal. Maradt az egészből már csak 0.54%. Ebből aztán esik a mangánra 0.09, a krómra 0.03, a nitrogénre 0.03, a fluorra is ugyanennyi, a nikkelle 0.2, a rézre 0.02. Már csak a harmadik tizedessel szerepel a cink: 0.005, az ólom 0.002, a kobald 0.001 %-kal, majd következnek a negyedik tizedesek: bróm 0.0006, arzén 0.0005, argon 0.0004 százalékkal, az ötödik tizedessel: antimon 0.00003, uránium 0.00002, s még ezeknél is sokkal kisebb arányban a jód 0.000003, az ezüst 0.000004, a higany 0.000003, az arany 0.0000001, a platina 0.00000001 százalékkal. Ezek a százalékarányok azonban csalókák s ha tekintetbe vesszük, hogy a Föld milyen óriási tömeg, a pár milliomod százalék is még hatalmas mennyiséget jelent. így például a 3 milliomod százaléknyi jód azért kitesz 1800 billió tonnát

Külön kell megvizsgálnunk a tengervíz összetételét, mely lényegesen más. Nyilvánvaló, hogy az oxigén és a hidrogén játssza a főszerepet, azonban rengeteg oldható vegyület, főképpen sófajta van az óceánok vizében. Az oxigén 85.79%-nyi, a hidrogén 10.67. A leggyakoribb sók alkatrészeinek aránya: nátrium 1.14, magnézium 0.14, kalcium 0.05, kálium 0.04. Marad még 2.17%, amiben aztán még nagyon sokféle elem kap helyet, hogy mást ne mondjunk jellemzésül: arany és ezüst is. A Föld óceánjai-

ban összesen 9 millió tonna arany van, ami azonban annyit jelent, hogy egy köbméter tengervízben 0.005 milligrammnyi. Valószínű, hogy a tengervíz aranytartalmát az édesvízű folyók hordták be, hiszen minden folyó vízében van arany, például a Rajna vízének egy köbméterében 0.003 milligramm, ami azt jelenti, hogy a Rajna évenként 200 kg aranyat szállít a tengerbe. Gyakorlatilag semmit sem jelent a tengervízben összegyűlt arany, mert a kiválasztása jóval többbe kerül, mint amennyit a remélhető arany megér. Aránylag nagyon kicsi a tengervizek jódtartalma, a sók egész anyagának mindössze másfélmilliomod részét teszi ki, tehát nagyon gyéren fordul elő. Ennek ellenére a Földön lévő jód legnagyobb része a tengervízből kerül állandó körforgásban a szárazföldekre, ahol nagy szüksége van rája minden szerves lénynak. A tengervízből a levegőbe kerül a jód, úgyhogy a tengerek felől jövő levegő jódtartalma mindig nagyobb, mint a szárazföld levegőjéé. Az eső aztán lehozza a földre s a talajból kerül a növényekbe. Ugyancsak szinte elenyésző kis arányban van nitrogén és foszfor is a tengervízben s mégis rendkívül fontos a jelenlétük, mert az élő szervezetek nem nélkülözhetik ezeket az elemeket. A tengerek felsőbb rétegeiben élő állatok elhalása után maradványaik lesüllyednek a mélységekbe s ismét feloldódnak, úgyhogy a mélyvizek valóságos raktárai a foszfor- és nitrogénvegyületekenk. ősszel és tavasszal az évszakos lehűlés következtében a fent lévő hideggé váló levegő lesüllyed, helyet cserél a mélyebb szintek melegebb vizeivel s az alsóbb vizek magukkal hozzák az elraktározott nitrogént és foszfort. Ugyanilyen szerepe van a tengervízben lévő parányi réz- és vastartalomnak is.

Külön kell foglalkoznunk Földünk harmadik birodalmával, a légkörrel. A levegőben természetesen csak gázok vannak, mégpedig túlnyomó arányban nitrogén, 78.03%-ban, utána az oxigén 20.99%-ban, a maradékon pedig a következő gázok osztoznak meg:

argon	0.94%
széndioxid	0.03%
neon	0.0015%
hélium	0.00015%
kripton, xenon kb.	0.000001%

Ez az összetétel átlagos s tulajdonképpen csak körülbelül tizenöt kilométernyi magasságig mondhatjuk érvényesnek. Bizonyos, hogy nagyobb magasságokban, ahol már nem keveredik a levegő a szelek s hőmérsékletváltozások következtében, más az összetétel, a könnyebb gázok túlsúlyban vannak, esetleg részben el is különülnek s az sem lehetetlen, hogy odafenn hidrogén is akad a légkörben, habár lenn nyoma sincs.

Mi sem könnyebb, mint kiszámítanunk, hogy mennyit nyom egész légkörünk anyaga. A barométer szerint egy négyzetcentiméternyi felületre normálisan 1033 grammot, vagyis négyzetméterenként 10.333 kg-ot tesz ki a légnyomás, mivel pedig egy köbméter levegő súlya 1.3 kg, egyszerű osztással megkapjuk, hogy ha egyenesnek vesszük a levegő sűrűségét, 7950 méter magasnak kapjuk a légkört. A Valóságban természetesen ennél jóval magasabb, mert egyre ritkább lesz felfelé. Tudjuk azt, hogy a Föld egész felszíne kereken 510 millió négyzetkilométer, vagyis 510 billió négyzetméter. Ezt megszorozva 10.333-mal, megkapjuk az egész légkör súlyát: 5.27 trillió kg, tonnában 5270 billió tonna.

A földi légkörnek az a legkülönösebb sajátága, hogy szabad oxigén van benne. Annál jogosabban csodálkozhatunk ezen, mert minden szerves élet első feltétele, hogy oxigént kapjon. Az ember, például, naponta körülbelül egy kilogrammnyi oxigént fogyaszt el, ami megközelítően ezer litert jelent. Természetesen nemcsak az embernek, minden állatnak és növénynek is szükséglete az oxigén s ha -arra gondolunk, hogy minden égés is oxigénfogyasztás, tulajdonképpen el kellene csodálkoznunk azon, hogy még egyáltalán van oxigén a földi légkörben. Igaz, hogy a növények oxigénszükségletüket nem a levegőből fedezik, sőt, ellenkezőleg, a levegőben levő szénsavat használják fel szénszükségletük fedezésére és a felbontott széndioxidból az oxigént visszaadják a levegőbe, megtartván a szenet, de a rejtély sokkal régebbi, a Föld őskorából való, mert akkor maradt meg — eddig még ki nem derített ok folytán — az a szabad oxigénmennyiség, amelyből élünk.

Habár még nem foglalkoztunk a Föld eredetével, annyit mindnyájan tudunk, hogy valaha a Nap testéből szakadt

ki, mindegy, hogy hogyan. A színeképelemzés tanúsága szerint a Nap és általában a legtöbb csillag egyharmadrésze hidrogénből van, tehát az égitestek eredeti anyagában határozottan ennek a legkönnyebb gáznak van a legnagyobb szerepe. A dolog elméleti magyarázata elég egyszerű. A hidrogén a legegyszerűbb elem s minden okunk megvan annak feltevésére, hogy a többi, nehezebb elem atomjai hidrogénatomokból keletkeztek, hatalmas, ma még ismeretlen erők hatására. Ezzel szemben a Földön nincs hidrogén a levegőben, ha csak nem a felsőbb légrétegekben valami elenyésző kis mennyiség. Jó is, hogy nincs, mert a hidrogén lágyon könnyen meggyullad s ha a levegőben az oxigén mellett nagyobb mennyiségben lenne hidrogén is, a legkisebb szikra már régen elég lett volna ahhoz, hogy az egész légkör meggyulladjon.

Amikor a Föld megszületett mint izzó tömeg, volt benne bizonyos mennyiségű hidrogén és oxigén is. Azonfelül rengeteg sok és sokféle fém, például vas és a fémek nagyon szeretik



lekötni az oxigént, könnyen égnek, oxidálódnak, köznapin nyelven rozsdásodnak. A kezdetbeli magas hőmérsékleten még nem igen lehetett szó. vegyületek keletkezéséről, de amint kezdett lehűlni a Föld, megkezdődött a harc az oxigénért. Ez a harc elsősorban a hidrogén és a vas között folyt le. A hidrogén elégéséből keletkezett a víz, illetve, eredetileg vízgőz, a vas elégéséből a vasércék tömege, mely a megszilárduló kéregben helyezkedett el. Tulajdon-

képpen csak a maradék oxigént köthette le a hidrogén, de sokkal több hidrogénnek kellett lennie eredetileg a Föld őslégkörében, mint amennyi mai vízkészletünk keletkezéséhez kellett. Sejtelmünk sincs róla, hogy mi minden játszott közre az oxigénért folyt harcban, ezért nem tudjuk megmagyarázni azt, hogy végeredményben mennyi hidrogén tudott elégni s vízzé változni, majd lecsapódni ősóceánnak. Ha több vas tudott volna egyesülni oxigénnel, már nem

maradt volna társ a hidrogén számára s egész. Föld víz-telen, *száraz* pusztasággá fejlődött volna az élet minden nyoma és lehetősége nélkül. Viszont bizonyos, hogy fordítva is baj lett volna. Ha kevesebb vas oxidálódik és több hidrogén ég el, túlsók lett volna a víz a Földön, nem emelkedhetek volna sohasem ki a szárazföldek.

Ezek után következett a legérdekesebb. Az őslégkörben, bizonyos pillanatban minden oxigén lekötődött vagy vízgőzzé, vagy vasoxidá, tehát a Föld légkörében *nem volt többé oxigén*. Honnan van most mégis? A hidrogén a legkönnyebb gáz, ezért természetesen a légkörben is igyekszik minél magasabbra felszállni. Tehát ami hidrogén maradt az őslégkörben, az felkerült a magasabb lég rétegekbe s onnan szétszökött a világűrbe. A hidrogénatomok sebessége



ugyanis sokkal nagyobb, mint más gázatomé s abban a nagy hőségben, ami akkor uralkodott még a Föld légkörében, még inkább túl volt azon a határon, hogy a Föld vonzása vissza tudja tartani. A hidrogén tehát hamarosan itthagytta a Földet s a földi légkör ittmaradt hidrogén nélkül, elsősorban tele vízgőzzel. Most jön az érdekesség. Az őslégkörben még nagyon magas volt a hőmérséklet s a laboratóriumi kísérletekből tudjuk, hogy magas hőfokon a vízmolekulák egy része magától szétbomlik, disszociálódik hidrogénné és oxigénné. 2000° -on ugyan csak egy ezreléke bomlik így szét a vízmolekuláknak, de aztán általában mindjárt újra egyesül is, ha nem is ugyanaz a hidrogénatom ugyanazzal az oxigénatommal s ha a vízgőz lehűl, csak vízgőz marad, mert közben visszacsinálódik a disszociálódás. Az őslégkörben is így kellett történnie, de a végeredmény mégis más lett, mint a laboratóriumi kísérletekben. A disszociálódott vízmolekulákból felszabadult hidrogénatomok egy része rögtön megszökött a világűrbe s itthagytta árván oxigénpárját. Mire pedig a lehűlés elérte azt az alacsony hőfokot, amelyen már nem következik be a vízgőz disszociálódása, maradt a régi vízkészletből 99.9%-nyi, a hiányzó egy-

tized százalékból viszont csak az oxigén maradt itt, a hidrogén eltűnt a Földről. Innen van szabad oxigén a földi légkörben, mert közben már kialakult a kémiai egyensúly a Föld felszínén, a hőmérséklet nem volt olyan magas már, hogy az oxidálódás nagyobb mértékben folytatódhassék, az oxigén megmaradt s így lett a Föld olyan égitest, amelyen szerves élet születhetett meg. Hogy mennyire valóban különös véletlen volt ez a folyamat, azt bizonyítja a többi bolygó légköre, melyet a modern csillagászati fizikának sikerült alaposan megismernie. Egyetlen bolygón sem lehetett még kimutatni olyan arányban oxigént a légkörében, jénint a Földében, ellenben vannak olyan gázok, amelyek részben kellemetlenek, részben halálosak is minden szerves lény számára, ilyenek a metán, ammóniák, cián.

A Föld anyagáról szólva tulajdonképpen csak elemekről beszéltünk, vegyületekről alig, már pedig a kémiai elemek tisztán alig fordulnak elő a természetben, Annáig több és annál változatosabb aztán a vegyületek sokasága, elsősorban azok a vegyületek, amelyek maguktól keletkeztek a Föld szilárd kérgében.

Hőmérséklet és nyomás a Föld belsejében

Elég arra gondolnunk, hogy a tűzhányók izzón folyós lávát szoktak kilökni magukból s nyilvánvalónak vehetjük, hogy a Föld mélyében jóval magasabb hőmérséklet uralkodik, mint a felszínén. Közvetlen megfigyelésből tudják ezt már régen a bányászok, akik nemcsak észrevették, hogy mennél mélyebbre hatolnak le, annál melegebb a Föld, hanem meg is tudták mérni, hogy milyen arányban van a hőmérsékletemelkedés a mélységgel. Igaz azonban, hogy a kapott mérésadatok közt jelentős eltérések vannak s így csak az átlagot kell vennünk, amit tudományos műszóval *geotermikus gradiensnek* neveznek. Az átlagos középérték azt mondja, hogy ha merőlegesen lefelé haladunk a Föld mélyébe, 33 méterenként 1°-kal emelkedik a hőmérséklet. Ettől az átlagtól elég nagy eltéréseket figyeltek meg. Nedves kőzetekben, ha azok rétegei meredeken állnak, a gradiens 38 m, száraz és vízszintesen fekvő rétegekben 29 m. Változik

a gradiens a kőzetek anyaga szerint is. A tömött só és a kvarcit például jobban vezeti a hőt, mint a homok és a likacsos kőzet s ezért a Szaharában csak 25 m a gradiens, a Fokföldön jóval nagyobb.

Általában a hegyekben nagyobb a gradiens, 40—60 m, a völgyekben, síkságokon kisebb, 20—25 m, aminek az a magyarázata, hogy a hegyeknél nagyobb felületen történik a lehűlés, azonkívül a hegyek talajából leszivárgó víz is hűti a kőzeteket. Vannak aztán olyan kőzetek, amelyek állandóan termelnek hőt, így például a kénkovand vagy a szenes anyagok folyton oxidálódnak s ezáltal felmelegszik a kőzet, kisebb lesz a gradiens. A Nevada államban levő Comstock aranybányában például a kénkovand oxidációja következtében csak 15—25 m a gradiens, a csehországi Osseg szénbányában a szenes anyagok lassú égése miatt csak 5 m, Idria higanybányaiban is csak 10, a szicíliai kénbányákban 5 m a gradiens. Természetes, hogy a vulkánok környékén is kisebb a gradiens s érdekes, hogy a sváboroszági Neuffen mellett a régen kialudt vulkánok közelében is csak 11 m.

Erősen hűtő hatásuk van nagyobb víztömegeknek. A La Manche-csatornában 56 m-nek mérték a gradienst. Michigan államban, a Felső-tóba benyúló félszigeten vannak a rézbányák s itt a gradienst 44—123 m-nek találták, aminek az a magyarázata, hogy a tó hideg vize erősen hűti az alatta levő kőzeteket. Máshelyütt nem lehetne olyan mély bányákban dolgozni a hőségtől, amilyen mélységben itt még megy a munka. Egyébként nagyon érdekes, hogy északamerikai bányákban és mélyfúrásoknál átlagban is nagyobb értékek adódtak a gradiensre, mint Európában. Európában 27.7 és 36.5 m között változik az átlag, Észak-Amerikában 35.8 és 45.9 közt. Mindezek a mérések azonban szinte csak a Föld felszínének közvetlen közelére vonatkoznak, hiszen a legnagyobb mélység, amelyben hőmérsékletet mértek, alig több két kilométernél. A tapasztalat szerint egyébként a gradiens egyre kisebb lesz, mennél mélyebben mérik, ami annyit jelent, hogy nagyobb mélységekben — természetesen az említett pár kilométert véve — nagyobb a hőmérséklet emelkedése, mint a felszínhez közelebb.



Ha elfogadjuk a gradiens átlagos értékének a 33 m-t, könnyen elcsábíthatjuk magunkat, hogy elkezdjünk számolni, mekkora a hőmérséklet a Föld nagyobb mélységeiben, a közép-pontjában? A fokonként 33 m 1000 méterenként, vagyis kilométerenként 30° hőmérséklet emelkedést jelent, tehát 100 km mélységben, a Föld felső kérgének alja felé 3000° hőmérsékletet kapunk. Ha bátran feltesszük, hogy tovább is ugyanilyen arányú a melegedés a 6370 km mélyen levő középpontra, kerekén 200.000° hőséget kapunk. Habár fizikusaink és mérnökeink mindössze 4000° -os hőséget tudnak előállítani az elektromos kemencékben, elképzeltük, hogy lehet a világon 200.000 fokos hőség is, de viszont mégis alig adhatunk hitelt a számításnak, hiszen semmi jogunk nincs annak feltevésére, hogy több mint hatezer kilométeren át ugyanolyan a hőmérséklet emelkedésének aránya, mint az első két kilométeren.

A valóságban a gradiens kétségtelenül nagyobb lesz a mélységekben, még ha a két kilométeren belül kisebbedni is látszik. Sőt, az is könnyen meglehet, hogy a hőmérséklet bizonyos határig valóban nő a Föld középpontja felé, de aztán ezen túl már állandóan ugyanaz. A geofizikusok becslése szerint a hőmérséklet 120 km mélységben nemigen lehet több 1200° -nál s 300 km mélységben, ahol a folyósnyúlós sima következik, 2000° hőmérséklet uralkodik. Ezen a hőfokon a kőzetek legnagyobb része tüzfolyós állapotban van s a Föld mélyének ezt a már olvadt anyagból álló rétegét *piroszférának* is szokás nevezni (*pir* görögül tüzet jelent). A szilárd kérget 110—120 km vastagnak gondoljuk ma a geofizika megállapításai szerint, de azt még nem lehetett eldönteni, hogy ez a réteg egyforma vastag-e mindenütt. Valószínű, hogy a szilárd halmazállapotból a tüzfolyósba való átmenet fokozatos, viszont a nagy mélységekben olyan hatalmas nyomás is uralkodik, hogy a Föld magjának álla-

potáról nagyon nehéz biztos képet alkotnunk. Vannak fizikusok, akik a Föld magját merevnek tartják, habár igen magas hőmérsékleten van, tehát olvadtnak kell lennie benne minden anyagnak. Ha azonban cseppfolyós lenne a halmazállapota, akkor az egész Földnek is kellene árapályt szenvednie, már pedig ennek semmi nyomát sem figyelhetjük meg. Legvalószínűbb, hogy a nagy nyomás miatt a magas hőmérséklet ellenére is a Föld belseje igen sűrű, de mégis plasztikus sűrűn-folyós állapotban lehet, olyasfélében, mint alacsony hőfokon a szurok vagy a pecsétviasz, így érthető lesz, hogy a Föld anyaga kemény és rideg anyag módjára áll ellen gyorsan ható külső erőknek, például a Hold és Nap vonzásokülönbségeinek, ami a tenger árapályát hozza létre, azonban lassú és folyton ható erőknek ugyanúgy engedelmessékedik, mint a folyadékok.

Rendkívül érdekes kérdés mármost az, hogy honnan van a Föld belső melege? Habár bizonyos, hogy valamikor izzón folyós gömb volt a Föld nagyon sok millió évvel ezelőtt, a Naptól való megszületésekor, de kérdés, hogy ha csak az örökölt hőmennyiség állt rendelkezésére, nem kellett volna-e már régen egészen kihűlnie? Igaz, hogy sok olyan folyamatot képzelhetünk el a Föld belsejében, amelyek meleget termelnek. Hőfejlődéssel jár például az összehúzódás, különféle vegyületek keletkezése s nem utolsósorban számolnunk kell a radioaktív bomlások kapcsán felszabaduló hővel. Radioaktív anyagok valószínűleg csak a külső rétegekben vannak, de a számítások szerint legalább annyi van, hogy semlegesítse a Föld kisugárzásából származó hővesztéséget. Egyébként említsük meg ennek a kisugárzásnak az értékét is. A Föld felületének minden négyzetcentiméteréről egy év alatt 53 grammkalóriányi hő sugárzódik ki nagy átlagban, belső hőkészletéből. Természetesen nem szabad megfeledkezni arról, hogy a Nap is küld meleget a Földre s ez elég sok is. A légkör legfelsőbb határára minden négyzetcentiméternyi felületre *naponként* 720 grammkalóriányi hőmennyiség érkezik, amiből a levegő elnyel körülbelül 130-at, szétszóródik és visszaverődik a vüágürbe 140, nagyjában 160 grammkalóriányi hő jut a Föld felszínére, míg a maradék elfogy a légkörben, a vizek elpárologtatásában. A Naptól tehát több mint húszszor annyi hőt kap

a Föld, amennyit saját melegéből kisugároz, ezért nincs baj a Föld kihűlésének dolgában. Egyébként is nyilvánvaló, hogy a Föld felszínén egyensúlynak kell lennie a hőgazdálkodásban, mert néhány méternyire a talaj felszíne alatt egész éven és évről-évre egyenletes a hőmérséklet.

Összefoglalva a különböző feltevéseket, vizsgálatokat és számításokat, végeredményben legvalószínűbbnek azt tarthatjuk, hogy a Föld belsejének hőmérséklete nagyjában a megfigyelt gradiensek szerint emelkedik, körülbelül 200 km mélységig, ahol eléri a 3000° -ot. Még mélyebben már szinte alig emelkedik a hőmérséklet, úgyhogy a következő 4000 km alatt, a Föld közepéig legfeljebb még ezer fok a növekedés, tehát a középpont táján sem nagyobb a hőmérséklet 4000° -nál.

A fizikából azonban tudjuk, hogy szoros kapcsolat van a hőmérséklet és nyomás között, habár ez a kapcsolat csak a gázoknál olyan egyszerű, hogy a nyomás és hőmérséklet szorzata állandó. A Föld belsejében annál nagyobb nyomásnak kell uralkodnia, mennél mélyebbre hatolunk le, egyszerűen azért, mert annál több anyag nehezedik rá felülről az alsóbb rétegekre. Ha arra gondolunk, hogy a levegő nyomása is kitesz négyzetcentiméterenként egy kilogrammot, sejthetjük, hogy a Föld mélyében igen nagy nyomásoknak kell uralkodniuk. A nehézségerő lefelé még egy darabig — 1150 km-ig — növekszik is, de azontúl csökkenés a Föld középpontjában, természetesen, semmivé lesz, tehát a nyomás kiszámítása elég bonyolult matematikai feladat. Teljes pontossággal nem is lehet megoldani, mert tudni kellene hozzá a Föld anyagának sűrűségét minden pontjában, már pedig nem tudjuk s csak bizonyos feltevéseket kell tennünk, hogy eredményt kapjunk. Lényegében úgy állunk a Föld belsejének kérdésében, hogy van három ismeretlenünk, hőmérséklet, nyomás, sűrűség, de nincs hozzá három egyenletünk, csak kettő, tehát fel kell állítanunk bizonyos fizikai feltevések alapján egy harmadikat is, hogy az algebra szabályai szerint kiszámíthassuk mind a három ismeretlent. Amikor laboratóriumainkban hozzáférhető természettudományokról van szó, nagyjában előre tájékozva vagyunk a várható eredményről, mert csupa már ismert ténnyel és törvénnyel kell csak számolnunk. Kozmikus kérdésekben

azonban ingataggá válik a fizika szilárd talaja, mert semmi tapasztalatunk, megfigyelésünk nincs arra vonatkozóan, hogy az anyag hogyan viselkedik azokon az óriási hőmérsékleteken és azok alatt a hatalmas nyomások alatt, amelyek itt szerepelnek.

Minden szempontot tekintetbe véve a geofizikusok 2—3 millió légköri nyomásra becsülik azt a nyomást, amely a Föld középpontjában uralkodik, de már 120 km mélységben, azon a bizonyos részen, ahol a halmazállapot átmegy a folyékonyba, 30.000—60.000 atmoszféra a nyomás. Nagyobb nyomás alatt kisebb térfogatra szorul össze az anyag, mint ahogyan kisebb nyomásnál kiterjed, de ha ismerjük is az összenyomhatóság mértékét az általunk előállítható néhány ezer légköri nyomás alatt, abból még nem következtethetünk megbízhatóan a többmillió nyomások által megszabott állapotokra. Megmérték például, hogy egy liter víz térfogata egy légköri nyomásemelkedésre 50 mm^3 -rel kisebbedik. Ebből azonban nem következik, hogy 20.000 légköri nyomásnál az egy liter víz térfogata zérus lesz, vagyis az egész víz eltűnik. Kétségtelen, hogy van határa az összenyomhatóságnak, de hogy hol van ez a határ és az összenyomhatóság hogyan változik a határ felé, arról semmi kísérleti tapasztalatunk nincs.

Ne felejtsük meg azonban arról, hogy a Föld mélységeiben a hőmérséklet is folyton nő, már pedig a hőknek éppen ellenkezően az a törekvése, hogy növelje a testek térfogatát, kiterjessze. A hőokozta kiterjedés mértékét minden ismert anyagra megmérték — laboratóriumi hőfokokon, de megint nincs tudomásunk arról, hogy sokezer fokos hőségekben mekkora a testek kiterjedése. Bonyolítja a kérdést az, hogy a hőmérséklet emelkedésével változás következik be az anyag halmazállapotában. Minden szilárd anyag valamilyen hőfokig csak kiterjed, de akkor megolvad és folyékony lesz, aztán megint csak melegszik és kiterjed, amíg aztán párologni kezd s gőzzé változik. És mindez még nem elég, hogy még bonyolultabb legyen a feladat, az olvadáspont és forráspont függ a nyomástól is. Közönséges légköri nyomáson a víz 100° -on forr, de 100 légköri nyomáson csak 310° -on. És hogy még valamiről ne felejtsük meg, pedig ennek is van szerepe a Föld belsejének állapotá-

ban, a hővezető képesség is változik a hőmérséklettel. így például a higany 50° -on már kétszer olyan jól vezeti a hőt, mint 0° -on.

Szilárd, testek összenyomhatóságáról nem is állhatnak rendelkezésünkre mérés adatok, ha például egy formába



bezárt szilárd test térfogatcsökkenését akarnánk megmérni, nem tudjuk azt különválasztani az őt körülvevő forma alakváltozástól. Ami tapasztalatra módunk van, az pedig nem mond semmit sem. így például a bányákban 2000 méter mélységben minden anyagnak már kerekén 800 légköri nyomás alatt kell állania, tehát azt várhatnók, hogy például a kőszén egyszerűen a bányász ölébe hull, amint szabaddá tette

a réteget, hiszen a nagy nyomásnak ki kellene nyomnia a szenet arrafelé, ahol megszűnt a hatalmas nyomás. Ezzel szemben az a tapasztalat, hogy a bányásznak fáradtságos munkával kell itt is kifejtetni a szenet, tehát azt kell hinnünk, hogy még ekkora nyomás alatt sincs számbajövő térfogatcsökkenés. Viszont az is igaz, hogy ebből még nem következtethetünk arra, hogy a Föld középpontjában uralkodó hárommillió atmoszférás nyomáson sem zsugorodtak össze az anyagok jelentős mértékben. Szó ami szó, nagyon nehéz valami bizonyosat mondani a Föld belsejében uralkodó állapotról és nagyon könnyen meglehet, hogy még sokáig sem igen tudhatunk meg pontosabban a titokzatos mélységekről.

A nehézségerő

Az ember csak csecsemőkorában csodálkozik azon, hogy minden leesik s ha megfigyeljük apró gyerekeinket, láthatjuk rajtuk, hogy sehogysem értik azt a csodát, mikor eleresztenek valamit s az menthetetlenül leesik a földre. Százszor és ezerszer próbálgatják, már a bölcsőből kihajolva, majd az emeletről ledobálva mindent, ami kezük ügyébe

esik, míg végre tudomásul veszik a megdönthetetlen tapasztalatot, hogy bizony minden leesik, ha nincs valamiképpen alátámasztva. Ez a tapasztalat azután elkísér egész életünkben s többé nem csodálkozunk rajta. A közönséges ember nem szokta kutatni az okát olyasminek, amit magától értetődőnek tart, sőt nem is gondol már annak jelentőségére, úgyhogy évezredekig élt abban a világban, ahol »minden leesik« és nem kutatta ennek okát. Csak *Newton* fedezte fel aztán a tizenhetedik században, hogy ez a leesés egyik megnyilvánulása az egész mindenségben mindenütt könyörtelenül működő tömegvonzásnak.



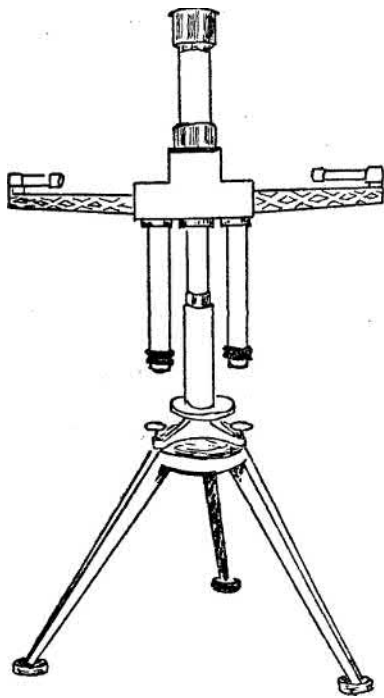
Az általános tömegvonzás abban nyilvánul meg, hogy minden anyagi test, legkisebb részecskéjével is, vonzó erőt gyakorol minden más anyagi testre s ez a vonzó erő egyenesen arányos a tömegekkel, de fordítva arányos, azaz csökken a két test egymástól való távolságának négyzetével. A vonzás *kölcsönös* és hogy mekkora a valóságban, arról már volt szó, mikor a Föld tömegének kiszámításáról beszéltünk. Amikor a Föld felszínén van szó a tömegvonzásról a vonzóerőt *nehézségerőnek* nevezzük. Ez a nehézségerő elsősorban az egész Föld vonzásából adódik, de ezt a vonzást bizonyos mértékben módosítja a Föld forgásából eredő centrifugális erő, mely részben ellentétesen hat, mint a Föld középpontja felé irányuló vonzás. A földi nehézségerő nagyságát kifejezi az, hogy a szabadon eső testek milyen gyorsulással esnek lefelé. Ez a gyorsulás megközelítően 9.8 méter másodpercenként, ami aztán annyit jelent, hogy az első másodpercben minden szabadon eső test összesen 4.9 méternyi utat tesz meg, s minden következő másodperc végére 9.8 m-rel nagyobb lesz a sebessége. A nehézségerő pontos megmérése meglehetősen nehéz feladat s egyetlen komoly módszer van rá, az ingával való meghatározás. Az ingák lengésideje függ a hosszúságuktól és a nehézségerő

gyorsulásától, ha olyan ideális ingáról van szó, mely nem több mint egy súlytalan fonálra felfüggesztett nehéz anyagi pont. Ilyen ingát természetesen nem tudunk csinálni, ha pedig olyannal dolgozunk, melynek súlya nem pont és nem súlytalan fonálra van felfüggesztve, akkor mindezt tekintetbe kell venni s úgy kiszámítani, hogy hogyan függ a lengésidő mindezekről, a nehézségerő nagyságán kívül.

A nehézségerő nagyságát tehát megmérhetjük, illetve kiszámíthatjuk az ingák lengésidejének pontos megfigyeléséből. Ez a módszer fokozza is a pontosságot, mert a lengésidőt nagyon pontosan meg tudjuk mérni, úgyhogy nem egyetlen lengés, hanem nagyon sok lengés tartamát mérjük meg s így aztán nagyon kicsi lesz minden megfigyelési hiba. Tegyük fel, hogy óraberendezésünkkel egytized másodpercnyi időtartam a legkisebb, amit még biztosan megállapíthatunk. Egy lengés megfigyelésénél tehát a megfigyelési hiba egytized másodperc lesz. Ha azonban mondjuk ezer lengés idejét mérjük meg ugyanazzal az egytized másodpercnyi pontossággal, az egy lengés idejére eső hiba csak egytizezred másodperc lesz. Amikor azonban egy inga lengésidejét azzal a céllal akarjuk meghatározni, hogy ebből kiszámítsuk a nehézségerőt, természetesen nem szabad az időt egy másik ingaórával mérni, hanem a nehézségerőtől független rugós kronométerrel. Az ingamérésekből levezetett legpontosabb eredmény a potsdami. Az 1900—1904. években végzett megfigyelés feldolgozásának végeredménye az volt, hogy Potsdamban, $52^{\circ}23'$ északi szélesség alatt, 87 m tengerszint feletti magasságban a nehézségerő okozta gyorsulás 9.81274 méter másodpercenként s ebben a számban csak az utolsó tizedesben lehet 3 egységnyi hiba, tehát az adat 3 századmilliméternyire pontos.

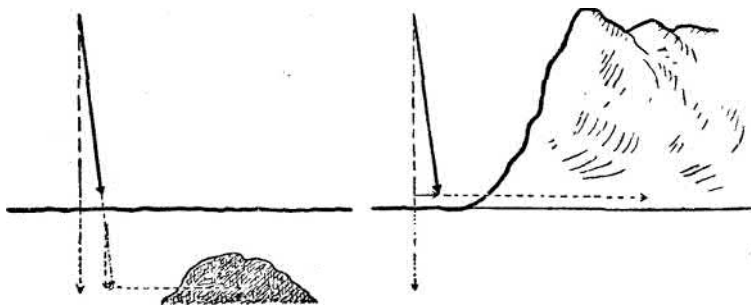
Ha csak arról lenne szó, hogy milyen gyorsulással esnek a testek a Föld felszíne felé, ez a pontosság már túlzott is lenne. De sokkal többről van szó. A nehézségerő nagy általánosságban függ a hely földrajzi szélességétől és a tengerszint feletti való magasságtól, — azért is kellett hozzá fűzni a potsdami eredményhez ezt a két adatot — de ez csak akkor lenne elég, ha a Föld felszíne tökéletesen sima lenne és belseje tökéletesen egynemű. Tudjuk azonban, hogy vannak hegyek és völgyek s a Föld belseje sem egyen-

letes sűrűségű, sőt nagyon is szabálytalannak kell lennie az anyag eloszlásának a felszíne alatt. A tömegvonzás függ a tömegtől, tehát ha például egyik helyen nagyobb tömegek vannak az alsó rétegekben, ott nagyobbak kell lennie a nehézségezőnek, mint másutt, ahol esetleg jóval kisebb sűrűségű, könnyebb anyagokat rejt a föld mélye.. Emlékeztetünk rá, hogy a tömegvonzás nagyon kicsiny, amikor aránylag kis tömegekről van szó s így érthető, hogy az egész Földhöz képest kis tömegek vonzásának kimutatása, megmérése nem könnyű feladat. Szó sem lehetne arról, hogy a nehézségező helyi rendellenességeit olyan ingamérésekkel állapítsuk meg, amilyennel Potsdamban dolgoztak. De nincs is arra szükség, hogy a Föld minden pontján külön megmérjük a nehézségező pontos értékét, sokkal egyszerűbb, ha csak különbségeket mérünk és lépésről lépésre állapítjuk meg a nehézségező apró változásait. Erre a célra van aztán egy rendkívül pontos műszer, az *Eötvös-féle torziós inga*, melyet az egész világon használnak már s a geofizikai kutatásoknak kétségtelenül legfontosabb eszköze. Az Eötvös-inga tulajdonképpen nagyon régen használt fizikai műszer volt, Coulomb-mérlegnek hívták, másképp torziós mérlegnek, torziós ingának. Eredeti alakjában egy vékony fonálra felfüggesztett, vízszintes síkban forgó fém vagy f árúd, két végén egy-egy golyóval vagy henger alakú súllyal. Ha a rudat valami kimozdítja egyensúlyi helyzetéből, a fonál megcsavarodik s igyekszik az egészet visszafordítani eredeti helyzetébe, amennyire ez megy. Ha valamilyen erő elforgatja az ingát, kiszámíthatjuk az erő nagy-



ságát abból, hogy mekkora szöggel forgatta el a rudat, amíg az egyensúlyi helyzet beállt. Elsősorban a fonáltól függ, hogy milyen érzékeny a torziós inga s azt már régen tudták a fizikusok, hogy az érzékenységgel tulajdonképpen nem is volna baj, valóban nagyon kis érók nagyságát is meg lehet mérni vele, de a régi Couldmb-féle mérleg egészen megbízhatatlanná vált, amikor olyan kis erőket kellett volna mérni vele, mint aránylag kis tömegek vonzása. A tömegvonzás megmérésére senkisé tudta felhasználni megbízhatóan s az egész műszer már régen a fizikusok lomtárába került. Eötvös Lóránd valóban a lomtárból szedte aztán elő és évekig tartó nagyszerű munkával megcsinálta belőle az elképzelhető legpontosabb fizikai mérőeszközt. Ez azonban nem azt jelenti, hogy egyszerűen megjavította a régi eszközt. A technikai tökéletesítésen kívül ezerszerte fontosabb az, hogy az igazi kutató lángelme éleslátásával és nagyszerű elméleti készségével olyan meglepő lehetőségeket hozott ki az egyszerű torziós ingából, amiket nemcsak nem sejtett addig senkisé, hanem amikor már minden meg volt, alig akartak elhinni a fizikusok.

Habár a torziós inga rúdjának két végén lévő súlyok egymástól alig 30—40 centiméternyi távolságra vannak, a műszer megérzi, ha a vonzó erő nem teljesen ugyanakkora mindkét súlyra. Ha valahol felállítják az Eötvös-ingát, beáll bizonyos egyensúlyi helyzetbe. De elég esetleg csak pár lépésnyire odébb vinni, már más lesz az egyensúlyi helyzet, ha a közelben nem egyenletes a tömegeloszlás akár a Föld felszínén, akár a mélyében. A torziós inga rúdjaival, mint csápokkal kitapogatja a nehézségerő változásait minden irányban. Eötvös aztán tovább tökéletesítette az ingát azzal, hogy a rúd egyik végén lévő súlyt mélyebbre engedttf, körülbelül félméter hosszú sodronyra függesztve azt. Ezzel a lefelé nyúló súllyal aztán függőleges irányban is ki lehet tapogatni a nehézségerő változását egyhelyben végzett megfigyelésekből. Az Eötvös-inga ebben az alakjában csakhamar csodálatosan tökéletes műszerré lett. A vele való mérések kimerítő és pontos felvilágosítást adnak a föld mélyében lévő tömegek eloszlásáról s a geológia ismeretei alapján megbízhatóan tudjuk értelmezni a nehézségerő apró ingadozásait. Ha a Föld alatt az átlagosnál nagyobb vagy



kisebb sűrűségű anyagok vannak, az Eötvös-ingával pontosan ki lehet jelölni a helyüket, fekvésüket, ki lehet számítani sűrűségüket, tehát az inga elcsavarodásának megmérése módot ad arra, hogy a föld felszínéről megállapíthassuk, hogy mélyen a föld alatt ércek, sőtömegek, kőolaj, földgáz van, ha lefűrnak, leásnak a kiszámított mélységig.

Eötvös Lóránd először Arad környékén végzett méréseket ingájával. Itt megállapította, hogy az aradi Hegyalja szélén a hegység sziklás rétege folytatódik a síkság alatt lefelé, körülbelül 760 méter mélységig, aztán ismét lassan a föld szintje felé emelkedik s ezt a sziklás altalajt borítja az Alföld lazább földje. Kecskemét környékén végzett méréseinél pedig pontosan kiadódott, hogy a nehézségerőnek egy helyen határozott minimuma van s ettől a ponttól kezdve minden irányban, vagy harminc kilométeres körzetben egyenletesen emelkedik ismét az erő értéke, majd azon túl újra fogy. Ezt aztán könnyű geológiai nyelven értelmezni. Nyilvánvaló, hogy mélyen a föld alatt egy harminc kilométer sugarú körhegység nyugszik betemetve, melynek közepén krátterszerű mélyedés van. A Hortobágyon azt mondták a mérések, hogy a sík föld alatt *egy* helyütt maximuma van a nehézségerőnek, másik helyen minimuma, tehát vagy az egyik, vagy a másik vonalon a föld mélyében olyan alakulatnak kell lennie, amelyet a geológusok dóm-nak neveznek. A tapasztalat szerint a földgáz ilyen helyeken gyűlik össze, tehát elég volt a Hortobágyon két helyen, a maximum és a minimum helyén megfűrní a földet s egyik helyen valóban meg is találták a földgázt.

A külföldön elsők a kőolajkutató vállalatok figyeltek fel az Eötvös-ingára, mert nem volt más eszköz arra, hogy csak nagyjában is ki lehessen jelölni a föld felszínén, hogy milyen helyeken fúrva van remény kőolajra. Eötvös műszere azonban nem gépiesen dolgozó közönséges technikai eszköz, ismerni kell minden csínját-bínját, hogy a leolvasott száraz adatokat értelmezni lehessen. Ezért aztán kezdetben nem is igen tudtak vele dolgozni a külföldiek és kénytelenek voltak magyar tudósokat meghívni a kutatásokhoz. Eötvös tanítványai és a budapesti Eötvös-intézetben járó tudósok és kutatók aztán csaknem minden világrészben bebizonyították az Eötvös-inga értékét. Habár a kőolajkutató vállalatokat csak az érdekli, hogy van-e valahol olaj s mindössze azt kívánják a geofizikustól, hogy minél pontosabban jelölje ki azokat a helyeket, ahol olajra van kilátás s ne kelljen taláalomra lefuratni többszáz vagy egy-kétezer méter mélységig, a tudomány mégis nagyon sokat köszönhet ezeknek a kutatásoknak, mert hiszen az olajvállalatok geofizikusai nagy területeket mérnek fel s állapítják meg a föld mélyén fekvő rétegeinek helyzetét, kiterjedését, anyagát. így például minálunk Magyarországon, hazánk egyetlen vidékének sem ismerjük olyan pontosan földtani szerkezetét, mint ahogyan a zalai olajvidéket, amelyet a MAORT — amikor egyes kutatói még nem szabotáltak — igen nagy gonddal és pontossággal kutattatott át.

A nehézségerő hatásának jelentősége szinte áttekinthetetlen. A legdöntőbb erő az egész Föld szempontjából éppúgy, mint ami számunkra, emberek számára. Nemcsak a geofizikusnak kell állandóan számolnia vele, hanem minden tudománynak, amely akármilyen kapcsolatban van a Földdel. Azon kezdhethük, hogy a Föld alakját is már a nehézségerő szabta meg s nagyrészen a nehézségerő rendez el a Földben, föld fölött és a Föld színén mindent. A Föld belsejében a nehézségerő parancsa szerint helyezkednek el a rétegek, a nehézségerő hatása a mélyben uralkodó nyomás és a tömegek elrendeződésében is állandóan döntő szerepe van a súlynak, a nehézségerőnek. A levegő összetételének eloszlását a nehézségerő szabja meg s az biztosítja a víz körforgását, a csapadék kiválását, sőt a víz-

szintes irányban történő légmozgásokban is nagy szerepe van. A Föld felszínén még bonyolultabb és teljesebb a nehézségi erő hatása. Állandóan igyekszik eltüntetni a felszín egyenlőtlenségeit, a vizeket viszi a mélyebb helyekre, végeredményben a tengerbe.

A nehézségerő jelentőségét talán akkor látjuk igazán, ha arra gondolunk, hogy semmiféle mesterkedéssel sem vonhatjuk ki magunkat hatása alól. A tudomány és a technika számára szinte nincs lehetetlenség, hiszen az emberi ész eddig is annyi látszólag lehetetlen dolgot valósított meg, hogy bízunk kell a jövőben még bámulatosabb eredményekre is. Egy azonban feltétlenül bizonyos, a nehézségerő hatása alól sohasem tudunk felszabadulni. Megváltoztathatjuk az egész Föld képét, trópusot varázsolhatunk a mai sarkvidékekre is, de olyan helyet nem tudunk teremteni a Földön, ahol nem lesz érvényes a »minden leesik«.

Mindnyájunk számára egész életünkben éppen az a tény a legfontosabb, hogy mindennek súlya van, minden igyekszik a Földön a lehető legmélyebb helyzetbe jutni és ott nyugalomban megmaradni. Ha bármit akarunk is ez ellen csinálni, munkát kell végeznünk a nehézségerő' ellen. Munkába kerül szinte minden megmozdulásunk s az értelmessé lett ember ősidőktől fogva arra törekszik, hogy lehetőleg megkönnyítse a nehézségerő ellenében végzendő munkáját, másrésztől igyekezett megtalálni annak módját, hogy hogyan végeztesse értékes munkát a maga céljaira a mindenütt és mindenkor rendelkezésére álló nehézségerővel. Minden közlekedésnek az az alapproblémája, hogy minél kevesebb munkával történjék a nehézségerővel szemben. Ezen a téren a kerék felfedezése, illetve kitalálása volt a .. legfontosabb. A kerek kocs — vízszintes úton — állandóan ugyanabban a magasságban mozog, tehát egyáltalán nem kell munkát végeznie a nehézségerő ellenében. A lábán járó ember vagy állat minden lépésnél pár centiméternyire kénytelen felemelni egész testét, tehát minden lépése munkavégzést jelent a nehézségerővel szemben. Még nagyobb ez a munka, ha terhet viszünk. Ha azonban nem vízszintes az út, hanem hegynek felfelé vezet, természetesen nincs mód arra, hogy ne végezzünk munkát az emelkedésnek megfelelően.

A nehézségerő azonban nemcsak ellene dolgozik minden mozgásunknak, hanem másrésztől éppen ő teszi lehetővé, hogy járnunk tudunk a földön. Minden test súlya következtében nyomást gyakorol arra a lapra, amelyen áll.

Ha a lap mentén el akarjuk mozdítani, le kell győzni a felépő súrlódást, mely az érintkező felületen nyilvánul meg. Ha nem lenne súly, nem lenne súrlódás és a leggöröngyösebb földön is minden megmozdulásunkra elcsúsznánk talpunk, hasonlóan ahhoz, mikor a jégen próbálunk járnunk. A hasonlat azonban hiányos, mert ha a valóságos állapotra gondolva



próbáljuk a jégen való elcsúszásunkkal összehasonlítani a súly nélkül képzelte világot, nem szabad megfeledkeznünk, hogy a jégen való elcsúszásnál rögtön működik a nehézségerő és orra esünk vagy hanyatt vágódunk. Ha nem lenne nehézségerő, minden megmozdulásnál elkezdenénk haladni egyenest előre, még hozzá össze-vissza ka-

límpálódzva, forogva súlypontunk körül s nem is lenne módunk rá, hogy megálljunk. De nem is nagyon érdemes részleteiben is elképzelni, mi lenne, ha nem lenne nehézségerő, mert végeredményben semmisenem lenne, sem élet, sem Föld^ Akár a levegőben, akár a szilárd földben történő folyamatokról van szó, számolnunk kell azzal, hogy a nehézségerő mindenütt, mindenkor, mindenre egyformán hat és hatása döntő. Egyszer azonnal látjuk a hatását, máskor esetleg évezredekig alattomosan dolgozik, végül diadalmaskodik minden más erő fölött. Néha szinte csak lesben áll, vár, aztán elég, ha megmozdul egy ökölnyi kődarab és hegyek omlanak össze. Szinte úgy látszik, mintha a nehézségerő lenne a legnagyobb ellensége minden életnek ezen Földön, hiszen az a törekvése, hogy mindent kiegyenlítsen, mindent »a föld színével« tegyen egyenlővé. Csodálatosképpen mégsem ez következik be, mert a Föld nem hagyja magát. A Föld szilárd kérgének kialakulásának vizsgálatánál látni

fogjuk például, hogy néha éppen megfordított irányban csinál valamit a nehézségerő, például hatalmas hegyláncokat nyom fel a magasba.

A földrengések

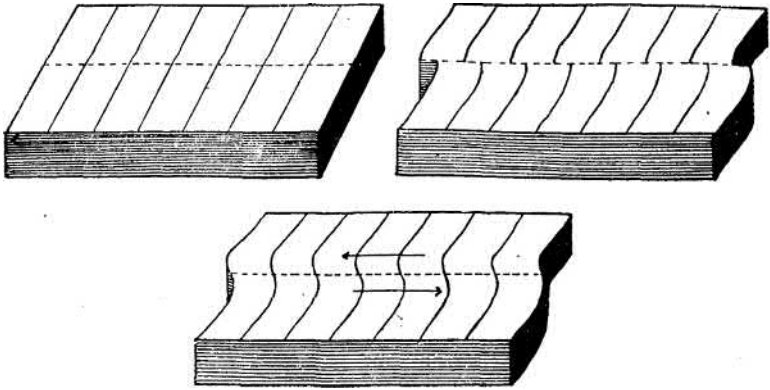
Nemigen van természettünemény, amely olyan félelmetes hatással lenne az emberre, mint a földrengés. Még ha nem is történik egyéb, minthogy megremegeg alattunk a föld, már elvesztjük biztonságérzésünket és megrémülünk, mikor azt érezzük, hogy hatalmas, rejtett erők játékszerévé válik lábunk alatt az oly szilárdnak hitt talaj. Az igazán nagy, katasztrófális földrengéseknél pedig csődöt mond minden emberi értelem, annyira tehetetlennek bizonyul minden törekvésünk, hogy urai maradjunk mindannak a hatalomnak, amit megszereztünk a természet fölött. Valóban, minden emberi tudás tehetetlen a földrengésekkel szemben. Nincs mód rá, hogy beleavatkozhassunk, elképzelhetetlen, hogy valaha is meg tudjunk akadályozni egy földrengést s legfeljebb azt a célt tűzhetjük ki, hogy ahol lehet, igyekszünk csökkenteni pusztító hatását. Azokban az országokban, amelyek területén gyakoriak a nagy földrengések, természetesen mindent elkövetnek a kutatók, hogy kiderítsék a földrengések okait, természetét, törvényeit, a mérnökök pedig igyekeznek amennyire lehet, földrengésállóvá tenni az épületeket és minden egyéb emberi alkotást, hogy a bekövetkező pusztulás legalább enyhébb legyen, ha már megakadályozni nem lehet.

A földrengések a Föld mélyében keletkeznek, olyan mélységekben, ahová kutató geológusok semmiféleképpen sem juthatnak le, csak legfeljebb következtethetnek arra, hogy mi lehet ott lenn a föld mélyében, de ezeknek a következtetéseknek is alig van alapjuk. Ezért aztán a geológus — ne vegyük rossz néven tőle — tulajdonképpen nagyon örül a földrengéseknek, mert a földrengés az egyetlen természeti tünemény, mely olyan nagy mélységekben játszódik le, ahová egyébként semmiképpen sem tud betekinteni és olyan adatokat szolgáltat, amelyekből nagyon pontosan meg lehet állapítani, mi rejlik a Föld mélyében. A földrengés hirtelen rázkódás, és a Föld megrázkódása a rengés

félszékétől minden irányban szétterjedő hullámokat gerjeszt a szilárd földben. Ezek a hullámok fokozatosan gyengülve bár, eljutnak a Föld minden pontjára s az érzékeny műszerek felfogják, lerajzolják őket, úgyhogy nagyon szépen figyelemmel kísérhetjük a rezgéshullámok egész útját. A Föld anyagában lévő minden szabálytalanság hatással van a hullámok terjedésére és így a földrengéshullámokat a geológusok röntgensugarainak tekinthetjük, amelyekkel át tudják világítani a Földnek csaknem egész testét, mint ahogyan az orvos átvilágítja az igazi röntgensugarakkal az emberi testet s kiolvassa a röntgenképből testünk egész belső szerkezetét.

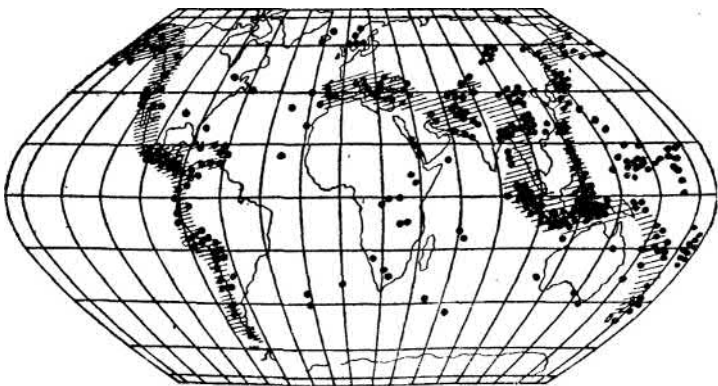
Magukkal a földrengésekkel külön tudományág foglalkozik, a *szeizmológia*. (*Seismos* görögül földrengést jelent.) Alig félszázados tudomány, tulajdonképpen akkor lendült fejlődésbe, mikor sikerült olyan érzékeny műszereket szerkeszteni, amelyek nagyon kis földmozgásokat is feljegyeznek, másrésztől amikor az egész Föld kerekiségén számtalan földrengésjelző állomást szerveztek meg és ezzel aztán elegendő megfigyelési anyagot szolgáltatottak. Valóban katasztrofális földrengések elég ritkán akadnak, s ha csak ezekről tudnánk, könnyen azt hihetnők, hogy a Föld kérgé elég nyugodtan viselkedik és csak kivételes esetekben fordul elő, hogy megrázkódik. Amióta azonban rendszeresen figyelik a földmozgásokat, tudjuk, hogy nem is olyan ritkák a földrengések, évente legalább tízezret jegyeznek fel a műszerek, de valószínű, hogy ez is csak egy része a valóságos rezgéseknek. A rengések túlnyomó része szerencsére egészen jelentéktelen és legfeljebb a nagyon érzékeny műszerek révén szerzünk róluk tudomást, de a földrengéstudomány megbecsül minden kis rezgést is, mert értékes felvilágosításokat adhat az is.

Mint minden tudomány, a szeizmológia is azzal kezdte, hogy adatokat gyűjtött. A legelső felismerések egyike az volt, hogy kétféle földrengést kell megkülönböztetnünk. Az egyik a *tektonikus*, melynél a Föld *kérgének* többé-kevésbé erős megrázkódtatásáról van szó. Ezt a Föld belsejében fellépő hirtelen lökés váltja ki s a rugalmas kőzetek rezgése továbbítja hullámok alakjában. A másik fajta rengés helyibb jelentőségű és főképpen *vulkáni* eredetű, és valóban robba-



A tektonikus rengések keletkezése

násszerűen jelentkezik. Míg a tektonikus rengések hullámai igen messzire eljutnak, nagyobbaknál az egész Földet bejárják, a helyi rengéseket még a műszerek is csak kis körzetben érzik meg. Az adatgyűjtés legérdekesebb eredménye az volt, hogy a nagyobb erejű tektonikus rengések fészkei a hatalmas szárazföldi táblák szélein fordulnak elő leginkább, Amerika nyugati partjain végig, Ázsia keleti partvidékein egészen Ujzéländig, s egy másik hasonló övben, Perzsián, a Földközi-tengeren végig. Fontos, hogy a tűzhányók legnagyobb része is ennek a két övnek a mentén



fekszik. Abból azonban, hogy a tűzhányók és a földrengések nagyjában ugyanazonokon a területeken helyezkednek el, nem azt a következtetést kell levonnunk, hogy szoros kapcsolat van kettejük között, hanem azt, hogy mindkettőnek ugyanaz az állapot az okozója. Lényegében olyan területeken leggyakoribbak a földrengések, ahol a szárazföld hirtelen, meredek letöréssel megy át a mély óceánba. Más szóval a földrengések főképpen a földkéregnek gyenge öveiben észlelhetők, ahol a kőzetek állandó feszültség alatt állnak, tehát fiatalabb korú gyűrődések területén, vagy a Föld süllyedő rögeinek peremén. Nyilvánvaló, hogy a földrengések a földkéregben bekövetkezett töréseknek, vagy a már meglévő törések mentén fellépő eltolódásoknak, csuszamlásoknak következményei.

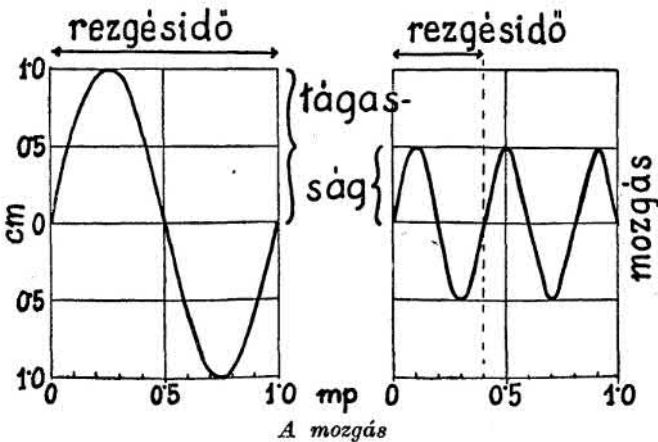
Minket a földrengések elsősorban a föld fizikájának szempontjából érdekelnek, tehát nem sokat foglalkozhatunk a rengések helyi hatásaival, vagy az ellenük való védekezés módjaival. A földrengés *epicentrumában*, így nevezik azt a pontot, amely alatt a Föld mélyében kiváltódik a rengés, rendkívül változatos a rengések hatása. A katasztrófákat egyrészt a földmozgások okozzák, házak dőlnek össze, földcsuszamlások keletkeznek, de rendszerint ezeknél is nagyobb károkat okoz a szinte elkerülhetetlen tűzvész, ami minden földrengés után be szokott következni a rengéssújtotta helyen, főképpen a nagyvárosokban. A 1903-as tokiói nagy földrengés magában Tokióban 10.000 házat döntött össze, de a rengés közvetlen áldozatainak száma nem volt több ezer embernél. A közben kitört tűz viszont 366.000 házat pusztított el és 58.000 ember veszett el a lángokban. 212 ponton tört ki tűz, ezek közül 136 az első félórában, a többi később. Az 1906-os sanfranciscoi földrengésnél is ötven ponton tört ki tűz a városban, s mivel a vízvezeték is felmondta a szolgálatot, semmi mód sem volt a tűzvész megfékezésére. A város üzleti negyede teljesen leégett s a tűzkár olyan nagy volt, hogy Amerikában nem is a sanfranciscoi földrengésről, hanem a sanfranciscoi tűzvészről beszéltek sokáig.

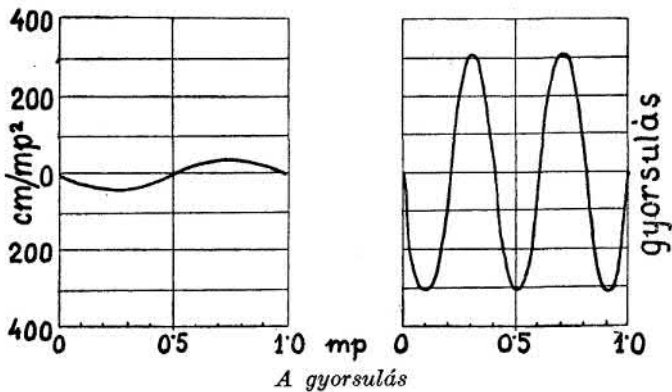
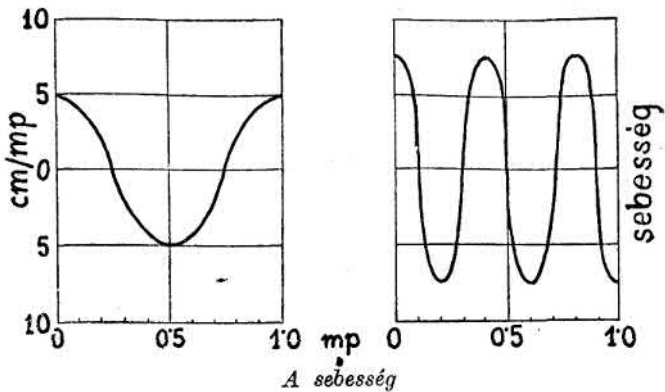
Maga a földmozgás legtöbbször nem is olyan nagy, mint gondolná az ember, de nem is a földmozgás nagysága okozza a legnagyobb bajokat. Az 1923 szeptember 1-i japán földrengés feljegyzéseiből megállapították, hogy a fészektől

9000 km-nyire, itt Középeurópában még mindig fél centiméteres földhullám haladt végig, az 1933 március 2-i japán rengésnél pedig 2 cm-es hullámot figyeltek meg Európában. A műszerek feljegyezték ezt a földmozgást, de senkisémet észre semmitsem belőlük, mert nagyon lassú rezgések voltak, 30—45 másodpercig tartott egy hullám s mivel terjedési sebességük körülbelül 4 km volt másodpercenként, maguknak a hullámoknak a hosszúságuk 120—180 km-nek adódik. Ilyen hullámoknál nagyon nagy területek, például akár egész Budapest talaja, nyugodtan hullámzanak ide-oda és a föld felszínén nem érezni semmitsem belőlük.

A földrengések erősségét természetesen nem lehet a halottak és sebesültek számával mérni. Általában a károk nem okvetlenül vannak arányban a földrengés erősségével, hiszen lakott helyen, szerencsétlen körülmények közrejátszása mellett kisebb rengés is nagy károkat okozhat, viszont lakatlan pusztaságokon a legnagyobb erejű rengés sem okoz komoly károkat. A rengések erősségének megállapításában mindjárt arra gondolna az ember, hogy a valóságos talajmozgást kellene számbavenni. Nem kell azonban sok megfontolás hozzá és belátjuk, hogy ez nem lehet mérték, hiszen akármilyen nagyméretű is lehet valamely talajeltolódás, semmi baj sem származik belőle, ha nagyon lassan következik be. Esetleg még észre sem veszi az ember. Erős rengésnél a talajmozgás nemcsak nagy, hanem gyors is, de nem maga a sebesség az irányadó. Gyorsvonalon utazva semmitsem veszünk észre a sebességből, ha a vonat egyenletesen halad a pályán s még inkább így van ez repülőgépen. A repülőgép kabinjában ülő utas nem érez semmitsem a gép sebességéből, az az érzése, mintha szilárd földön lenne. Más lesz azonban a helyzet, ha a vonat fékezni kezd, vagy ha a repülőgép átmegy sikló repülésbe, vagyis, amint a sebesség elkezd változni. A fizikus gyorsulásnak nevezi a sebességváltozást, és azzal méri, hogy a mozgó test sebessége mennyivel változik egy másodperc, vagy egy perc alatt, tehát a gyorsulás, a sebesség változása az egységnek választott időtartam alatt. Magának a gyorsulásnak az egysége az, ha a mozgó test sebessége egy másodperc alatt egy centiméterrel változik. Hogy nő-e, vagy fogy, lényegében mindegy, a lassulást negatív gyorsulásnak tekintjük. A gyorsulásnak ezt az egységét

I gai-nal mondják a fizikusok, *Galilei* emlékére. Legegyszerűbb példa a gyorsuló mozgásra a szabad esés, melynél a gyorsulás 981 gal. Az esés kezdetén a sebesség 0, az első másodperc alatt 981 cm lesz másodpercenként, a második másodpercben ugyanennyivel nő, tehát $2 \times 981 = 1962$ cm/mp, a harmadik másodperc végére $3 \times 981 = 2943$ cm/mp, és így tovább. A 981 gal gyorsulást, mely a nehézségeő gyorsulását adja, általában g betűvel jelöljük, s a földrengéseknel a talajmozgásban előforduló gyorsulásokat vele szokás összemérni. A földrengéseknel azonban *rezgőmozgások* szerepelnek nem olyan, egyirányúak, mint a közönséges esésnél. A rezgőmozgást az jellemzi, hogy a sebesség folyton változtatja irányát is, nemcsak nagyságát s bizonyos időközökben szabályosan ismétlődik az egész mozgás.' Legszemléletesebb példája az inga mozgása. Képzeljük el az ingát legnagyobb jobboldali kilengéséből elindulva. Az indulás pillanatában még zérus a sebessége, de egyre, növekszik s akkor éri el legnagyobb értékét, amikor az inga eléri legmélyebb pontját. Ettől kezdve balra tovább leng s a sebessége fokozatosan csökken, amíg a legmagasabb pontban 0 lesz. Most visszafelé indul s ugyanaz történik ellenkező irányban. A sebességváltozást gyorsulással fejezzük ki s aránylag könnyű elképzelni, hogy egy lengés alatt hogyan változik a gyorsulás is, mert nyilvánvaló, hogy a gyorsulásnak is ugyanolyan időszakosan kell változnia, mint a sebességnek, hiszen a sebes-





ség váltakozva nő és fogy, tehát a gyorsulás egy darabig gyorsulás, azután átmegy lassulásba, azaz, negatív lesz. Az indulás pillanatában — amikor a sebesség a legkisebb, a gyorsulás a legnagyobb s mire az inga az alsó legmélyebb helyzetét eléri, a legnagyobb sebességgel, 0-ra csökken a gyorsulás és attól kezdve ellenkező irányú lesz, fékezi a nagy lendülettel balfelé továbbhaladó ingát. Mire eléri a legmagasabb helyzetét, 0-ra csökken a sebessége s megint ellenkező irányú lesz a gyorsulás.

Mozgás, sebesség és gyorsulás közt elég bonyolult az összefüggés rezgőmozgásoknál s ezért jó lesz, ha két szemléltető példán nézzük meg köztük levő kapcsolatot. Rajzunk első sorában két rezgést látunk lerajzolva hullám alakjá-

ban, úgy amint a földrengésjelző készülékek írják le a hozzánk érkező hullámokat. Baloldalt egy nagyobb, de lassúbb rezgést látunk, jobboldalon egy kisebb, de szaporábbat. Alul a vízszintes egyenesre mértük fel az időt, tizedmásodpercekben, oldalt a kilengés nagyságát centiméterekben. A baloldali rezgés legnagyobb kilengése, *amplitúdója*, 1 cm, rezgésideje 1 mp, a jobboldali amplitúdója csak $\frac{1}{2}$ cm, rezgésideje $\frac{1}{4}$ mp.

A második sor rajz a sebességeket adja meg, vagyis azt, hogy a hullám minden pontjában mekkora a rezgő részecskeké sebessége. Nyilvánvaló, hogy a sebesség is ugyanakkora periódusokban változik, mint az út, vagyis a sebesség periódusa az első esetben szintén 1 mp, a másodikban szintén $\frac{1}{4}$ mp. Mivel azonban a sebesség akkor a legnagyobb, amikor a rezgő test éppen nyugalmi helyzetén megy át, a sebesség hulláma egynegyed periódussal mindig előre van. Zérus a sebesség, amikor a hullám a legnagyobb kilengéshez érkezik. Amilyen viszonyban van a sebesség a mozgáshoz, ugyanolyanban van a gyorsulás a sebességgel, hiszen a sebesség, a mozgás változása volt az időegységre átszámítva, a gyorsulás pedig a sebesség változása ugyancsak az időegységben. A gyorsulás ábráját találjuk rajzunk harmadik sorában. A periódus természetesen ugyanaz, mint a mozgásnál és a sebességnél, egynegyed periódussal előbbre van, mint a sebesség és tükörképe a mozgás hullámvonalának.

Amint látjuk, egy kis rezgésnél is lehet nagy a sebesség és nagyobb a gyorsulás, mint a nagy rezgésé. A legnagyobb gyorsulás az első hullámnál 39 cm másodpercenként, a másodiknál 316 cm, holott a mozgás a valóságban csak 1 cm, illetve $\frac{1}{2}$ cm volt. *A földrengések erősségénél a gyorsulás nagysága irányadó, mert a gyorsulás fejezi ki az erő nagyságát.* Az előbbi 316 cm-es gyorsulás harmadrésze a nehézség-erőének s ekkora gyorsulással megnyilvánuló lengés már igen nagy katasztrófákat okoz lakott helyeken. A szeizmológusok fáradságos és aprólékos munkával megállapították, hogy milyen összefüggés van a földmozgások gyorsulása és a rengés erőssége között. Elfogadott ercsségbeosztás a *Mercalli—fancani—Sieberg-féle* földrengésskála, amely 12 erősségi fokozatot különböztet meg a gyorsulás alapján. Mivel azonban nagyon ritka eset lenne, hogy a

rengés erősségét mindjárt a gyorsulás megméréseivel állapítsák meg, a skála tartalmazza minden foknál az észlelhető hatást, hogy a közvetlen megfigyelésekből is meg lehessen állapítani a rengés erősségi fokát.

A skála a következő:

I. fok. *Még észrevehetetlen.* A legnagyobb gyorsulás kisebb, mint 0-25 cm, 1/4000 g. Csak műszerek jegyzik fel.

II. fok. *Egészen gyenge rengés.* A gyorsulás 0-25—0-50 cm, 1/4000—1/2000 g. Legfeljebb a legfelső emeleteken, nagyon érzékeny, pihenő ember érzi meg.

III. fok. *Gyenge rengés.* A gyorsulás 0-50—1.00 cm között (1/2000—1/1000 gal.) Városokban is úgy érezhető, mintha nehéz kocsi rengette volna meg a földet. Rendszerint csak utólag jennek rá, hogy földrengés volt.

IV. fok. *Mérsékelt.* Gyorsulás 1'CO— 2.5 cm. (1/100—1/100 g). Szabadban alig érezni, házakban megremegnek a bútorok, üvegedéayek csörömpölnek, ajtók ropognak, pohárban megmozdul a itíz.

V. fok. *Meglehetősen erős rengés.* Gyorsulás 2.5 és 5.0 cm között (1/400—1/200 g). Teljes nappali utcaforgalomban is sokan megérik, szabadban megmozdulnak a levelek, ágak. Lakásban ingásba jönnek szabadon függő tárgyak, óraingák megállnak, a falon a képek megmozdulnak, ajtó, ablak kinyílnak, néha összetörnek ablaküvegek. Az alvók felébrednek Sokan menekülni kezdenek.

VI.fok. *Erős rengés.* Gyorsulás5.0—10.0cm (1/200—1/100 g). Mindenki ijedten állapítja meg, hogy reng a föld, sokan úgy érzik, mintha elesnének. Képek, könyvek földre hullarak, bútorok elmozduLiak, kisebb harangok megszólalnak. Az épületekben apró károk keletkeznek vakolathullás, repedés, néha kémé vek is ledőlhetnek.

V II. fok. *Nagyon erős rengés.* Gyorsulás 10 és 25 cm között (1/100—1/40 g). A lakásokban nehéz tárgyak is eldőlnék, összetörnek, nagyobb harangok is megszólaltak, tócsákon, tavakon hullámokat látni, a kutakban megváltozik a víz állása. Komolyabb épületkárok, falrepedések, tetőcserepek hullása. Kémények megrepedtek.

VIII. fok. *Romboló rengés.* Gyorsulás 25—50 cm (1/40—1/20 g). *Erős* fatörzsek élénk ingásba jönnek, nehéz bútor-darabok mozdultak ki helyükből, szobrok dőlnek le. Az épületekben még nagyobb károk, be is omlanak rosszul épített házak. Leomló gyárkémények, tornyok nagyobb károkat is okozhatnak. Lejtek;n. nedves talajban repedések keletkeznek.

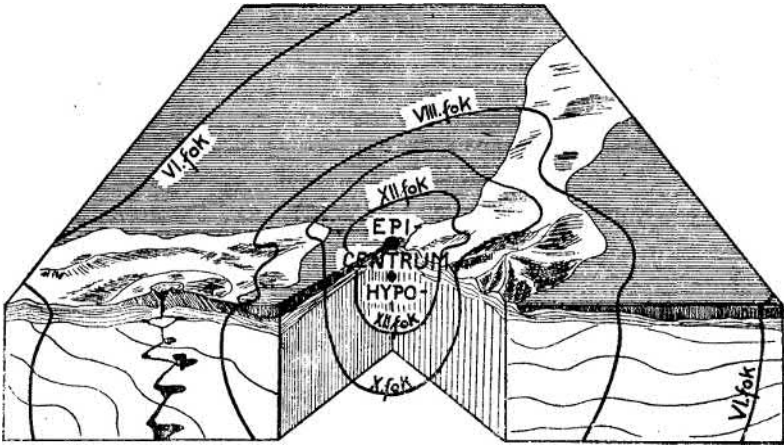
IX. fok. *Pusztító rengés.* Gyorsulás 50—100 cm (1/20—1/10 g). A kőépületek fele súlyosan megromgálódik, aránylag sok beomlik, a legt bbje lakhatatlanra válik.

X. fok. *Megsemmisítő rengés.* A gyorsulás 100—250 cm (1/10—1/4 g). Az épületek háromnegyed része összeomlik, vasúti sínek összezerbülnek. Vívezetési csövek szétszakadnak, aszfalton, kövezeten hullámok maradnak fenn Laza föld leomlik a lejtőkről, sziklák leszakadnak, folyók, tavak kiöntenek.

XI. fok. *Katasztrofális rengés.* Gyorsulás 250—500 cm $1/4$ —14 g) Minden kőépület összcmlik, csak jól épült faházak maradnak részben épen. Nagy hidak mennek tönkre, oszlopok eltörnek, elgörbülnek, a vasúti sínek nagy területen kuszálódnak össze, a földben levő vezetékcsövek teljesen tönkremennek. A talajban széles árkok, szakadékok, türemlések keletkeznek, sok helyütt iszap és homok jön fel a résekből.

XII. fok. *Nagy katasztrófa.* A gyorsulás nagyobb 500 cm-nél, $1/2$ gnál. A talajban igen nagymértékű átalakulások történnek, folyók medre változik meg, tavak öntenek ki, vízesések keletkeznek.

Minden nagyobb földrengés után adatgyűjtés következik — nálunk is mindjárt felkér mindenkit a földrengés-megfigyelő intézet, hogy közölje vele, aki érezte a föld-



rengést —, aminek az a célja, hogy az előbbi skála alapján be lehessen rajzolni a térképbe azokat a vonalakat, amelyek mentén ugyanolyan erősségűnek érezték a rengést s ezeknek az úgynevezett *izoszeiztáknak* alapján meg tudják azonnal állapítani a földrengés fészkének pontos helyét. Az izoszeizták korántsem szabályos görbék, mert már a közvetlen közelben is függ a talajtól a rengés erőssége s nagyon gyakori például az, hogy nagyobb rengéseknél messzebb fekvő helyeken, üledékekkel feltöltött völgyekben, laza talajon, jóval erősebb rengést figyeltek meg, mint a fészkekhez közelebb. Eltekintve az ilyen szabálytalanságoktól, általános-

ságban az a helyzet, hogy a legerősebb megnyilvánulásokat a rezgés középpontja felett tapasztaljuk s e körül fokozatosan gyengül minden irányban a rezgés hatása. A legtöbb földrengésnél a műszerek feljegyzéseiből kiszámított epicentrum valóban egybeesik a rezgés középpontjával. Néha azonban meglepő kivételek akadnak, az epicentrum meglehetősen távolabbi helyre adódik, mint ahol legnagyobb volt a rezgés, ami leginkább a japán földrengéseknél volt megfigyelhető. Az ilyen esetekben sikerült kimutatni, hogy a rezgés fészke nagyon mélyen volt, több száz kilométernyire a Föld felszíne alatt s mivel a hosszú úton alaposan meggyengültek a rengéshullámok, nyilván csak ott okoztak erősebb talajmozgást, ahol a kőzetek könnyebben követték az erők hatását. A rengéssújtotta területen észlelt erősség azután nem okvetlenül megbízható mértéke a rezgés fészében végbement folyamat erősségének. A felszínhez nagyon közelre eső fészkek kis rengésének nagyobb lehet a pusztító hatása, mint a nagyobb mélységben kiváltódó sokkal nagyobb rengések.

Nagyjában úgy is szokták beosztani a földrengéseket, hegy mekkora az energiájuk a rezgés fészében s eszerint megkülönböztetnek helyi, kis, közép, nagy rengést és világ-rengést. A helyi rengést közvetlenül nem érezzük meg 200 km távolságon túl, műszerekkel 500 km-en túl. Legnagyobb erősségük a skála szerint VI. A kisrengések fészke lehet közel a felszínhez vagy mélyebben. Első esetben 400 km körzetben érezni meg őket műszerek nélkül, műszerekkel 500—5000 km-es körzetben, erősségük VII—X. Második esetben közvetlenül 600 km-ig, műszerekkel 2000—5000 km-ig figyelhetők meg, erősségük VI—VIII. A közép-rengések fészke lehet közel a felszínhez és nagyon mélyen is, közvetlenül 300—1000 km, műszerekkel 5000—10.000 km az érezhetőség köre, erősségük VII—X. Ugyanígy lehet a fészkek közel a felszínhez is, mélyen is, a nagy rengéseknek és a világ-rengéseknek is. A nagyrengéseket 500 km távolságon túl is megérezni, műszerek 10.000—18.000 km távolságban is feljegyzik őket, erősségük VIII—XII. Az úgynevezett világ-rengések közvetlen hatása 1000—2000 km-ig terjedhet, a Föld túlsó, ellenlábás pontján is feljegyzik a műszerek, erősségük X—XII.

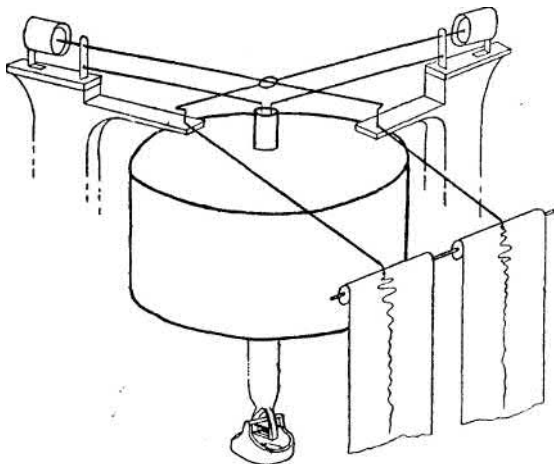
Néha sikerül megbecsülni azt az energiát is, ami a rengés fészkeiben megnyilvánult. Gondolhatjuk, hogy ezek az energiák óriásiak. Ha feltesszük, hogy át lehetne változtatni elektromos energiává mindazt a romboló energiát, ami egy nagy földrengésnél működésben van, kiszámíthatjuk, hány kilowattórányi energiát képvisel a rengés. A sanfranciscoi földrengésnél ez a számítás 44 milliárd kilowattórát adott, az 1923-iki japán rengés is csaknem ennyit, az 1908-iki messinai földrengés viszont csak tizedét ennek, de voltak ezeknél sokkal erősebb földrengések is. Hasonlítsuk össze a földrengést azzal a megrázkódtatással, amit egy merőlegesen a földre eső súly idézne elő. Ahhoz, hogy a rengés középpontjához a földrengésjelző műszerek még jelezzék a megrázkódtatást, elég egy kilogrammnyi súlynak egy méter magasról való leejtése. Hogy érezhető földrengést kapjunk, legalább egy kilométer magasból kell esnie az 1 kg-os súlynak. Ha pedig a sanfranciscoi nagy földrengést akarnánk mesterségesen előidézni eképpen, egy köbkilométernyi 2" 6 milliárd tonna súlyú gránittömböt kellene leejteni 6 km magasságból. Az 1908 június 30-án Szibériában lehullott óriási meteor valóban elég tekintélyes megrázkódtatást okozott és 5200 km távolságból is jelezték a műszerek azt a rengést, amit előidézett.

A Föld fizikájának szempontjából magánál a földrengésnél sokkal érdekesebb a rengéshullámok terjedése. Az egész földkerekségen körülbelül 450 földrengésmegfigyelő állomás van jelenleg, amelyeken önműködő készülékek jegyeznek fel minden földmozgást. Ilyen szeizmográfok még nincsenek olyan nagyon régen, a század legelején sikerült először olyan műszereket szerkeszteni, amelyek feljegyzése alkalmas aztán a tudományos vizsgálatokra. Földrengésjelző készülékek, amelyek azonban legfeljebb az első rengéshullám érkezésének, idejét, irányát és erősségét tudták feljegyezni, elég régóta vannak. Az ilyen készülékeket *szeizmoszkópoknak* nevezik, mert csak mutatják a rengés kezdő adatait. Az első szeizmoszkópot időszámításunk 130-ik esztendejében készítette a kínai *Sang Hen*, a birodalom akkori fővárosában Sianban. Szerkezetéről nem tudunk sokat. Külsőleg valamilyen haranghoz hasonlított, melynek peremén egyenlő távolságban nyolc sárkányfej volt, olyasfélék, mint a közép-

kori házakban levő kutak vízokádó fejei. Minden sárkányfej szájában golyó volt, minden sárkány előtt ült egy béka tátott szájjal, ahová a kieső golyók behullhattak. Ha jött valamilyen erősebb rengés, annak a sárkányfejnek a szájából hullott ki a golyó, amelynek háta mögött volt a rengés fészke. Egyszer aztán kipottyant az egyik sárkányfejből a golyó, anélkül, hogy földrengést éreztek volna s már azt hitték, hogy a készülék megbízhatatlan. Később azonban híre jött, hogy valóban ugyanabban az időben erős földrengés volt a nyugatra eső Lung Si városban s ezzel kiderült, hogy a kezdetleges szeizmoszkóp mégis érzékenyebb az embernél.

Pontosabban működött a 18-ik században feltalált higanyos szeizmoszkóp. Csordultig higanyal töltött tál peremén csillagalakban egy sor kis, lejtős csatorna volt, nyílásuk alatt kis edény. Földrengésnél a higany kicsordult, a rengés irányát megadta, hogy melyik csészébe ömlött, erősségét pedig, hogy mennyi higany loccsant ki. 1893-ban az első európai földrengésmegfigyelőállomást még olyan szeizmoszkóppal szerelték fel, amelynél egy labilisán alátámasztott súly leesése mutatta a rengést. Az irányt abból lehetett megállapítani, hogy merre esett, az időt pedig úgy jelezte a készülék, hogy a leesett súly elektromos kontaktussal megindított egy órát. Ezután már következtek a modern szeizmográf - készülékek és a század eleje óta csak azokat használják. Sokféle ilyen készüléket szerkesztettek, mindegyiknek ELZ 112. alapja, hogyha egy megfelelően felfüggesztett és egyensúlyban levő inga alatt megmozdul a föld, az inga lengésbe jön. Az eszményi megoldás az lenne, ha lehetne valamilyen tömeget úgy lebegve tartani, hogy ne is érintkezzék a földdel. Ha ezen a tömegen megfelelő mutató karok vannak, azok alatt kormozott papiroslapot húzunk el állandóan, azon felrajzolódik minden talajmozgás, hiszen a papiroslap együtt mozog a földdel, a tömeg pedig nyugalomban van a földhöz képest. A valóságban, természetesen nem lehet ezt megcsinálni és meg kell elégedni azzal, hogy a mozdulatlannak szánt tömeg minél lazább kapcsolatban legyen a földdel és a saját lengéseit erőteljesen lecsillapíthatjuk. A legérzékenyebb és talán legtökéletesebb földrengésjelzőműszer a Wiechert-inga. Lényegében egy tízmázsás vastömeg, mely alul egy pontra van feltámasztva s így nyilván minden irányban eldőlhet, ha

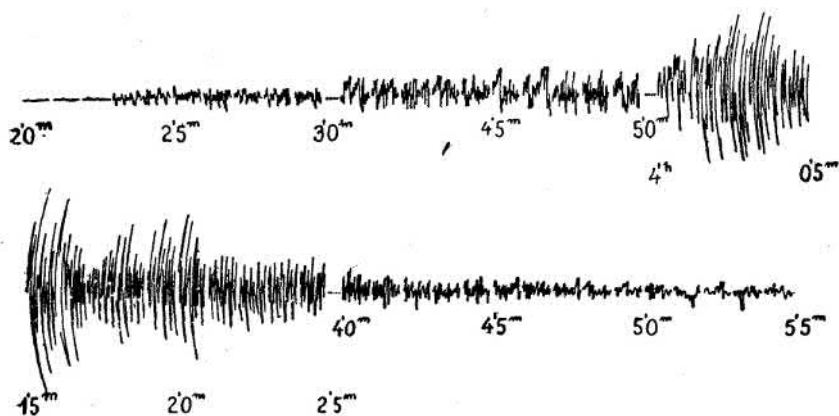
a talaj akármilyen parányit megmozdul. Bonyolult szerkezetek biztosítják, hogy kilengéskor az inga tömege visszatérjen egyensúlyi helyzetébe s a hozzákapcsolt mutatók leírják a talaj mozgásait. Egy óramű percenként jelet ad a kormozott papirosra s a felrajzolt hullámvonalon meg lehet állapítani a földrengés minden jellemző adatait, a rezgés hullámhosszúságát, periódusát.



A Wiechert-inga szerkezete

A Wiechert-inga azonban csak a vízszintes síkban történő rezgéseket tudja regisztrálni. Felbontja a hullámokat két egymásra merőleges irányú összetevőre, tehát a két szalagon közvetlenül leolvashatjuk, hogy milyen rezgéseket végzett a talaj északi—déli és kelet—nyugati irányban. De mozoghat, rezeghet a talaj függőleges irányban is. Ezek feljegyzésére külön műszer kell, olyan inga, amely függőleges irányban mozdul el, illetve marad vissza, ha a talaj felfelé és lefelé irányuló rezgést végez.

A földrengéshullámoknak a műszerekkel feljegyzett képét *szeizmogrammnak* nevezzük. Meglehetősen változatos hullámok hosszú sorát látjuk a szeizmogrammon, de alaposabb tanulmányozás után nagyon szépen adódnak a szabályosságok. Két, egymástól határozottan megkülönböztethető rész van mindegyiken, az első az előhullámok, második a főfázis.



Távoli földrengés szeizmogramja

Az előhullámok aránylag gyors, pár másodperces periódusú rezgések, rendszerint lökészerűen kezdődnek el és közben is többször látunk rajtuk erősebb kilengéseket. A főfázis hosszabb hullámok fokozatos belépésével kezdődik. Ezek a hullámok egy-két perces periódusúak. A rezgések ezután egyre rövidebbek lesznek s átmennek a maximumba. Távoli rengéseknél a maximumban 12—18 mp periódusú hullámok szerepelnek. A rezgések többször is elcsendesedhetnek s felélénkülhetnek, míg lassan elhalnák az utórezgésekben. Természetesen nem szabad megfeledkeznünk arról, hogy a maximum nem okvetlenül jelenti a legerősebb talajmozgást. Olyan rengéseknél, amelyeknek fészke nagyon mélyen van, sokszor egészen elmosódik a maximumot jellemző nagy hullámok sora.

Ha a szeizmogramokat aszerint csoportosítjuk, hogy milyen messzi földrengéseket ábrázolnak, azonnal feltűnik, hogy mennél távolabbi a rengés, annál hosszabb a szeizmogramm, vagyis annál tovább tart a talaj nyugtalansága. A rengés közvetlen környékén legfeljebb pár percig tart a Földmozgás távolabbi helyeken néhány óráig nyugtalan a föld. A rezgések kezdete és a főfázis bekövetkezte közt lefolyó időtartamból pontosan lehet következtetni a rengés távolságára; mennél tovább tartanak az előrezgések, annál messzebb volt a rengés középpontja. Legfontosabb következtetés, amit a szeizmogramokból ki kell olvasnunk, hogy nyilván különféle fizikai természetű mozgások keletkeznek a rengés fészkében

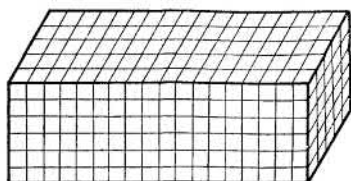
s ezek különböző sebességgel, különböző utakon érik el a megfigyelőállomásokat. Olyan az egész, mint egy mezei futóverseny. A startnál nagy tömeg futó indul el egyszerre, egy tömegben, s mire a célhoz érnek, a mezőny széthúzódik és libasorban érkeznek be a versenyzők, mégpedig annál inkább, mennél hosszabb távon át tartott a futás.



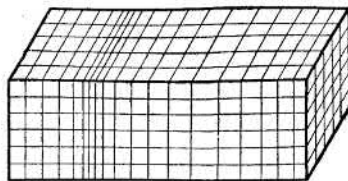
Szilárd anyagban kétféle természetű rezgés lehetséges. Vagy a terjedés irányában rezegnek a test apró ré-

szecskéi ide-oda, vagy pedig a terjedés irányára merőlegesen les fel. Az elsőt *hosszmenti* rezgéseknek nevezzük, a másodikat *keresztrezgéseknek*. A hosszmenti rezgéseknél sűrűsödések és ritkulások váltogatják egymást. Ilyen rezgések előfordulhatnak cseppfolyós és gáznemű anyagokban egyaránt, s a közönséges hanghullámok is ilyen hosszmenti rezgések. A keresztrezgéseknél az anyag részecskéi a terjedés irányára merőleges síkban mozdulnak el, sűrűsödés vagy ritkulás nélkül. Egy keresztrezgés átvonulása alatt a talajban csak különböző irányú elhajlások követik egymást. Keresztrezgések csak szilárd anyagban fordulhatnak elő, amelyek ellentállnak minden alakváltoztatással szemben. Így aztán természetes, hogy ahol keresztrezgésekkel találkozunk, ott bizonyosra vehetjük, hogy a hullámok szilárd anyagon terjedtek tova. A hosszmenti, sűrűsödési hullámok terjedési sebessége függ az anyag sűrűségétől, összenyomhatóságától, a keresztrezgéseké a sűrűségtől és az alakváltoztatás iránt való ellenállástól. Mindkét esetben annál nagyobb a sebesség, mennél nagyobb az ellenállás, és annál kisebb, mennél nagyobb a sűrűség. A hosszmenti hullámok sebessége nagyobb mint a keresztrezgéseké.

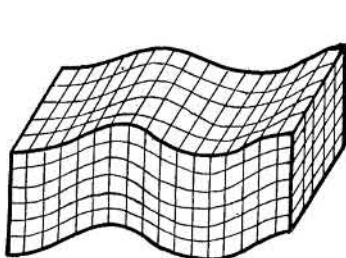
A rengés fészektől számítva bizonyos távolságon túl még egy fajta hullámokat fedezünk fel a szeizmogramokban, az úgynevezett *Raleigh-hullámokat*. Ott jelentkeznek, ahol a hosszmenti vagy keresztrezgések a Föld belsején áthaladva ismét a felszínre érkeznek. Látszatra hasonlítanak a vízrezgésekre, de fizikai szempontból nem ugyanolyanok. Tulajdonképpen a kétféle rezgés összegeződésének tekinthetjük őket, s az anyag részecskéi a terjedési irányra fektetett



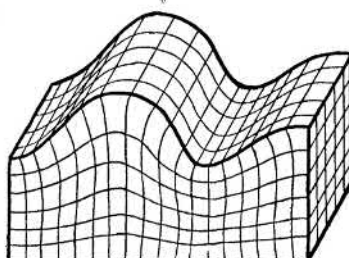
Nyugalmi helyzet



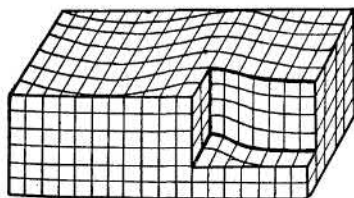
Hosszmentirezgés



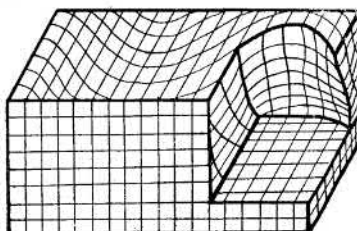
Keresztrezgés



Rayleigh hullám



Vízszintes irányú nyíróhullám

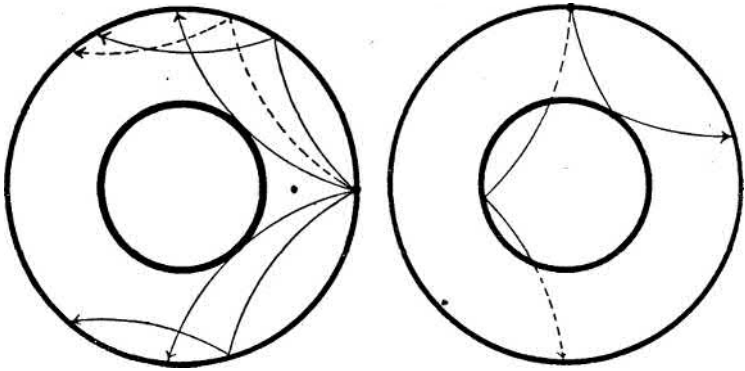


Függőleges irányú nyíró hullám

síkban végeznek apró elipszisekben keringő mozgást. A Föld felszínén a kereszt hullámoknál valamivel lassabban terjednek.

A szeizmogramok feldolgozásában — amikor tehát egy rengésnek sok állomáson történt megfigyeléséről van szó —

nyilván az a cél, hogy *azonosítsuk* az egyes hullámokat és megállapítsuk, hogy hová mely időpontban érkeztek meg, megpróbáljuk eképpen figyelemmel kísérni útjukat a Föld felszínén illetve belsejében, s aztán kivallatni őket, hogy árulják ^el, mi mindenen mentek át. A földrengéshullámok pontosan ugyanazokat a fizikai törvényeket követik, mint a hanghullámok, fényhullámok. Egyenletes sűrűségű közegben egyenes irányban terjednek, ha valamilyen más sűrűségű közeg határfelületéhez érkeznek, részben visszaverődnek, részben az új közegben terjednek tovább, de elhajolva aszerint, hogy mennyivel különbözik a sebességük benne az előbbihez viszonyítva. A földrengéshullámok egy része a Föld felületén terjed s megtörténik, hogy kétszer is körüljárja az egész

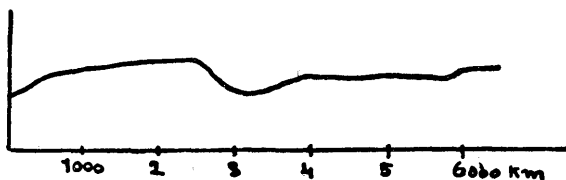


A hullámok útja a Föld belsejében

Földet. Másik része a Föld mélyében halad s igen változatos utakon érkezhethet a megfigyelőműszerhez. Az érkezési időkből, ha azonosítottuk az egyes hullámokat, kiszámíthatjuk azok átlagos sebességét és azt, hogy különböző mélységekben milyen sebességgel terjednek a különféle rengéshullámok. Ezek a számítások általában a hosszmenti rezgésekre sikerültek kielégítően s az eredmények nagyon érdekesek. A következő táblázatban összeállítottuk ezeket az eredményeket. A táblázat azt mondja meg, hogy a Föld felszíne alatt rendre egyes mélységekben mekkora a hosszmenti rezgések terjedésének sebessége.

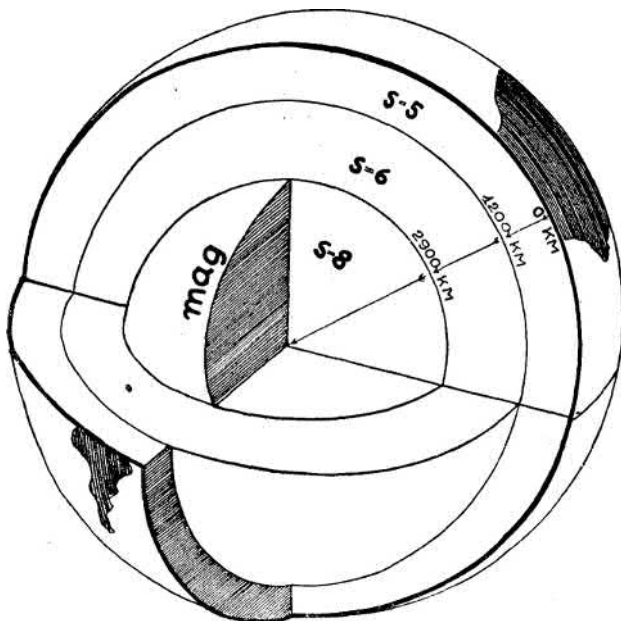
A földkéregben ..	7 1/2
500 km	10...
1000 »	11...
1500 »	12
2000 »	12
2500 »	12
3000 »	8
3500 »	9...
4000 »	10
4500 »	10
5000 »	10 1/2
5500 »	10...
6000 »	11
középpont	11

Habár ebből a táblázatból is könnyű kiolvasni valami szabályosságot, nem árt, ha grafikont rajzolunk az adatokból. A hosszmenti hullámok sebessége fokozatosan nő körülbelül

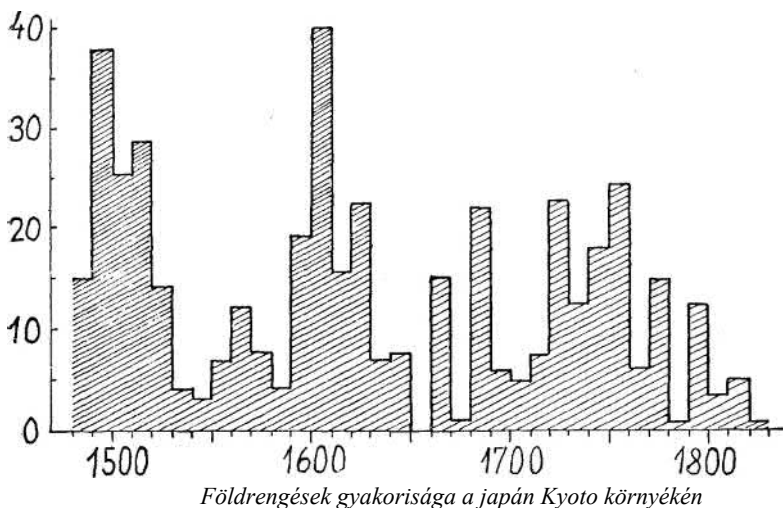


3000 km. mélységig s ott hirtelen zuhan egyet, azután ismét nőni kezd, habár nem olyan meredeken. Az első növekedésben is láthatunk két szakaszt. 1500 Km mélységig erőteljesen nő a sebesség, azután jóval lassabban, csaknem állandó marad. Ha mármost visszagondolunk arra, hogy miket hallottunk a Föld mélyének szerkezetéről, könnyen felismerhetjük az összefüggést. A Föld külső kérgé, körülbelül 1200 km vastag, s mint látjuk, ebben a rétegben elég meredeken emelkedik a földrengéshullámok terjedésének sebessége. Ezután következik egy 2900 km vastag réteg, s ebben hirtelen kevesebb lesz a hullámok sebessége. 4000 km mélységben kezdődik a Föld legsűrűbb magja, melyben ismét nagy a sebesség.

Mivel a hullámok terjedési sebessége függ az anyag sűrűségétől is, a földrengéshullámok vizsgálata módot ad arra, hogy ki is számítsuk a megfigyelt sebességekből az egyes rétegek sűrűségét. A felszín szilárd kérgének sűrűsége 2.7 körül van, a középső rétegé 2.7—4.2, a magé 8—9, a földrengések adataiból számítva. A hullámok terjedési sebessége függ még



az anyag merevségétől, vagyis az alakváltozással szemben tanúsított ellenállástól. Ezt is kiszámíthatjuk, ámbar magára a magra vonatkozóan nem sokra mehetünk, mert a magban nem észlelünk keresztrezgéseket és szinte azt kell mondanunk, hogy a magban elenyészően kicsiny az ellenállás minden alakváltoztatással szemben. Sok mindenre következtethetünk a földrengések vizsgálatából, de nem lenne értelme, ha már itt részletesebben beszámolnánk az eredményekről, hiszen ez már a geológia körébe tartozik s ott kerül majd minden sorra, ahol összefoglaljuk a földtani kutatások eredményeit. Most inkább számoljunk be a földrengéstudomány gyakorlati alkalmazásáról. Nem arról, hogy a földrengések vizsgálata milyen útmutatásokat ad a védekezésre, milyen tanácsokat a földrengéssújtotta vidékek építkezésének javítására, hanem hogy mint geofizikai kutató eszközt hogyan használhatjuk fel a földrengéseket. Mindazok a tapasztalatok, miket a szeizmogramok kiértékelésében szereztünk, nagyon alkalmasak arra, hogy felhasználjuk szűkebbkörű geológiai kutatásoknál is. Természetesen, nem úgy értendő ez, hogy



várjuk a földrengéseket s a feljegyzésekből következtetünk a felvetett kérdésekben. Mivel kisebb területeken végzendő kutatásokról van szó, elég mesterséges rengéseket előidézni, robbantásokkal, s az így keltett földhullámokat megfigyelni. Nagyon értékes felvilágosításokat kaphat így a bányakutató is, nemcsak a geológus, amit eléggé bizonyíthat, hogy a kőolajkutató vállalat ok rendszeresen használják a szeizmikus módszert.

A gyakorlatban azt figyelik meg, hogy a mesterségesen előidézett hosszmenti hullámok mennyi idő alatt érnek a körzetben felállított megfigyelőállomásokhoz, miután megjárták a föld pár száz vagy ezer méter mély rétegeit, megtörttek, visszaverődtek közben. Habár lényegében közeli földrengések megfigyeléséről van szó, a kivétel mégis sokban különbözik a közönséges földrengések megfigyelésétől. Elsősorban az a különbség, hogy nagyon pontos időmeghatározásra van szükség, századmásodperceket kell megfigyelni. Nem fontos a hullámok alakja, elég, ha az első hullám megérkezését regisztrálja a készülék, amelynek másrésztől hordozhatónak és minél egyszerűbbnek kell lennie. Rendszerint néhány méter mélyre fúrnak le s ott helyezik el a robbantó-töltést, de néha igen mély lyukakban idézik elő a mesterséges lengést. A megfelelő távolságokban felállított felvevőmű-

szerek feljegyzik a robbanás időpontját és a megérkező hullámokét, mégpedig századmásodpernyi pontossággal. Legmegbízhatóbbak azok az adatok, amelyek a föld mélyében fekvő rétegekről visszaverődő hullámok megfigyeléséből származnak. Egészen könnyen adódik a mélyebb rétegek hajlásszöge, vastagsága, s ismervén a hullámok terjedési sebességét a különféle közetekben, azt is kiolvashatják a megfigyelt idő adatokból, hogy milyen anyagokon ment át a hullám, milyenekről verődött vissza. Ahol, például, egy nagy sötömeget sejtenek a föld alatt, úgy rendezik a robbantást, hogy legyezőalakban veszik körül megfigyelőállomásokkal. A sötömegekben 5—5.5 km a hullámok sebessége másodpercenként, a körülötte levő laza rétegekben csak 25, tehát azok az állomások, amelyek felé a hullám áthalad a sötömegeken, hamarabb kapják a jelet, mint az oldalt esők, melyekhez csak a laza talajon át ér el a hullám.

Nagy szerepe van a szeizmikus módszernek a kőolaj-kutatásokban. Magának a kőolajnak nincs különös hatása a rengéshullámok terjedésére, de tudjuk azt, hogy likacsos közetekben gyülemlik össze, mégpedig főképpen boltozatok alatt. A boltozatokat könnyen elárulják a hullámok, bár, természetesen, ebből még nem biztos, hogy valóban van-e bennük olaj. Ezt aztán csak végleges fűréssal lehet eldönteni. A szeizmikus kutatást mindenütt párhuzamosan végzik az egyéb geofizikai kutató módszerekkel, főképpen a gravitációs mérésekkel.

A tűzhányók

Amikor a Föld belsejének hőmérsékletéről volt szó, arra a következtetésre jutottunk, hogy körülbelül 120 km mélységben kezdődik az a réteg, amelynek hőmérséklete eléri a 2000°-ot, s mivel ezen a hőmérsékleten általában minden anyag megolvad, fel kell tennünk, hogy a Föld szilárd kérge alatt izzón folyós réteg következik. Minden fizikai és geológiai meggondolás nélkül már az ókorban is meg voltak győződve erről és pedig a tűzhányók működése alapján. A tűzhányók valóban izzón folyós anyagot, az úgynevezett lávát öntik ki magukból s hogy ezt megtehetik, annak csak az lehet a magyarázata, hogy odalenn valóban ilyen tüzes

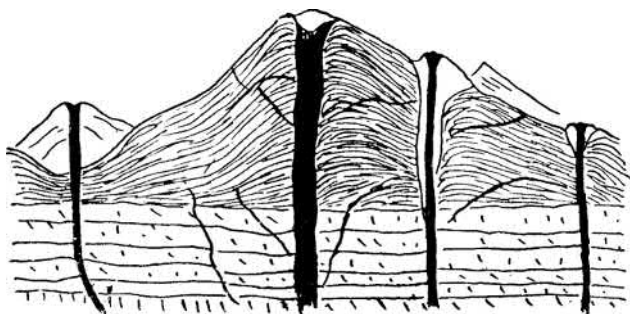
anyag van, ami aztán néha és néhol feltör a Föld felszínére. A régieknek természetesen sokkal könnyebb volt a dolguk, mint a mai tudománynak. Szépen elképzelték, hogy a tűzhányók a pokol kapui, vagy hogy ott lerm van *Héphaisztosz* hatalmas kovácsműhelye, melyben Zeusz villámait kovácsolja, s ezzel meg is voltak elégedve. Ma aztán nem tudjuk ilyen egyszerűen elintézni a természeti problémákat s szinte minden tudomány összefog, hogy igyekezzenek a lehető legjobban megközelíteni a valóságot magyarázataikban.



A tűzhányók problémája sokkal bonyolultabb, semhogy minden tekintetben^ kielégítő megoldása lehetne. Kétségtelen, hogy a Föld izzó magmájának anyaga kerül a felszínre tűzhányók kitörése alkalmával, de mivel egyrészt tűzhányók csak elvétve találhatók a Föld területén és szinte csak bizonyos övekben, másrészt mivel nem is működnek állandóan, nyilvánvaló, hogy egészen különös feltételek szükségesek ahhoz, hogy a sokszáz kilométer mélységben levő izzó magma mégis a felszínre jusson. Ha a tűzhányók földrajzi eloszlását nézzük, azonnal feltűnik, hogy csaknem pontosan ugyanazon a vidékeken találunk vulkánokat, amelyeken a földrengések is különösképen gyakoriak. A legutóbbi néhány száz év óta 325 tűzhányó működéséről tudunk s ezek 74%-a a Csendes-óceán két partja mentén sorakozik végig. 102 a Csendes-óceán ázsiai partvidékein, 113 az amerikai partokon van, 25 Amerika belsejében. Ezzel szemben az Atlanti-óceánra csak 30, az Indiaira 5, a déli tengerekre 2, a Földközi-tengerre 7, Afrikára 27. az egész ázsiai kontinensre 12 vulkán íut. A felsorolt helyek mind olyanok, ahol a földkéregben hatalmas törések vannak. Nyilvánvaló, hogy ahol a föld kérgeben nagyobb méretű beszakadások, törések vannak, ott

az izzón folyós magma utat tudott törni magának a napvilág felé. Nem kell azonban azt hinnünk, hogy a tűzhányók kürtői valóban közvetlenül a magmából kiinduló kémények, biztosítószелеpek, mert a magma túlságosan mélyen van ahhoz, hogy olyan könnyen kitóduljon. Valószínűbb az, hogy a működésben levő tűzhányók olyan kisebb magmafészekből táplálkoznak, amelyek annak idején felnyomultak a szilárd kéregbe s csak ezek a fészek vannak aztán összeköttetésben a tűzhányók kürtőivel. Ezek a fészek idővel kihűlnek, megszilárdulnak, kimerülnek, s ekkor megszűnik a vulkán működése is, esetleg örökre nyugalomra kerül. így aztán nyilvánvaló, hogy miért hosszabb életűek és erősebbek a nagyobb törésvonalak mentén található tűzhányók, hiszen itt a földkéreg sebesülése nagyobb volt, több és kiterjedtebb magmafészek keletkezett. A magyar Alföld medencéjének peremén is sok vulkán nyoma van meg, ezek a Kárpátok medencéjében körülbelül 1000 méteres bezökkenésének idején keletkeztek, de a Föld nagyságához viszonyítva ez a sebesülés nagyon jelentéktelen volt és a magyar vulkánok meglehetősen hamar kifogytak a szuszából.

Magáról a magmáról csak közvetve tudunk adatokat szerezni. Bizonyos, hogy a szilárd kéreg 110—120 km vastag s alsóbb rétege fokozatosan megy át a magmába, tehát máris kissé plasztikus állapotban kell lennie. A magma hőfoka 1300—1500° lehet. Megvan benne mind a 92 ismert elem, de túlnyomó többsége csupán a leggyakoribb nyolc elemből van, ezek az oxigén, szilícium, alumínium, vas, magnézium, kalcium, nátrium, kálium. Azonban ezek az elemek nem kémiai tisztaságban fordulnak elő, hanem vegyületekben, főképen oxidok alakjában, tehát az alkotórészek szilícium - dioxid, azaz kova, alumíniumdioxid, azaz timföld, vasoxid, magnéziumoxid, kalciumoxid (mész), nátriumoxid, káliumoxid. Ezeket az oxidokat tekintjük a magma fő alkotórészeinek, de rajtuk kívül, habár csak kis mennyiségben, van benne néhány könnyen illó gáznemű alkotórész is, köztük legfontosabb a vízgőz, a sósav, fluórsav, bórsav, kéndioxid és kénhidrogén, széndioxid és szénmonoxid, azután még néhány szénhidrogén, főképen metán. A gáztartalom legfeljebb néhány százalékát teszi ki a magma anyagának, de a tűzhányók működése szempontjából döntő fontosságú.



Tűzhányók keresztmetszete

A kutató ember szeret mindjárt osztályozni, amikor valamilyen természeti jelenséget vizsgál. Felületes megfigyelésre is csakhamar adódik, hogy egészen különféle típusokat találunk a tűzhányók között s ez indokoltta is teszi, hogy osztályozzuk őket. Közben azonban nem szabad megfeledkeznünk arról, hogy a természet nem sokat törődik az ember igényeivel, nem igyekszik szabályos tüneményeket előidézni, hogy mi minél könnyebben fedezhessük fel a törvényeit. A csoportosítás tehát csak felületes lehet s el lehetünk készülve arra, hogy két csoport között egész sereg átmenetet találunk és esetleg zavarba is kerülünk, hogy egyiket-másikat hová sorozzuk.

Leginkább kézenfekvőnek bizonyult, ha a tűzhányókat aszerint nézzük, hogy a magma-anyagban sok-e vagy kevés a gáztartalom, mert ettől függ a kitörés minősége. Nagy vonásokban kétféle magmát különböztethetünk meg, a *gránitos* és a *bazaltos* magmát. A gránitosnak nagy a kovásvartalma s ezért *Savanyú magma-imk* is nevezik, s valószínűleg azért van több gáz benne, mert a Föld belsejében magasabban helyezkedik el, mint a bazaltos magma, melyet lúgos, *bázikus magmának* nevezünk, s benne kevesebb a gáz. Úgy látszik, a kovásv és a gáz aránylagos mennyiségével van kapcsolatban a magma folyékonysága, gyúlékonysága. A savanyú és gázban dús magma nyúlósan folyós, a lúgos, gázban szegény pedig higan folyós. A gázban szegény magma nyugodtan emelkedik felfelé a tűzhányó kürtőjében, a higan folyó láva minden hevesebb kitörés nélkül nyugodtan terül szét a Föld felszínén, habár elég sebesen folyik le. Maga a

tűzhányóhegy enyhébb lejtésű. A gázban gazdag magma nagy nyomás alatt, heves kitörésekkel és robbanásokkal jut a felszínre. A kihajított termékek főképen laza törmelékek, mert a sűrűn, nyúlósan folyó láva a kitöréskor szétszakadozik s a látatömbök, salakdarabok, vagy kisebb darabok, finom por alakjában röpül szét. A vulkáni por és hamu, a tufa, néha igen nagy területet borít el és nagyon jellemzi az egész környéket. Nagy általánosságban azt mondhatjuk tehát, hogy vannak kiömlő, effuzív, és kirobbanó, explozív vulkánok.

A kiömlő vulkánok közül legismertebbek és legjellemzőbbek a Hawai-szigetek hatalmas pajzsvulkánjai, a Mauna Loa és Kilauea. Mindkettőnek óriási krátere van s ezekben úgy fortyog az izzó magma, mint sűrű lekvár a fazékban. Hol felemelkedik, hol lesüllyed, de csak ritkán ömlik ki. A kráterben a láva tetején néha kemény kéreg képződik, de azért mindig van egy sereg hasadék ezen is és rajtuk keresztül kísértetiesen világít ki az izzó anyag. A láva csaknem olyan híg, mint a víz. Kitörés előtt felemelkedik a kráterben, a látatóból 15 méter magas izzó szökőkutak ugranak fel. Kiürülése után csaknem teljes csend és nyugalom következik. Valamivel erősebb a Stromboli működése. Szicília partjaitól nem messzire, 2300 m mély tenger-fenekéről 926 m magasra emelkedik ki ez a tűzhányó, mely a történelmi idők óta állandó működésben van de nagyon szerényen viselkedik. Magmája hígán folyós, de aránylag elég sok gáz van benne. Kráterének fenekén több nyílás van, azokon ömlik ki a láva s a fokozatosan felemelkedő látatömbekben nagy gázbuborékok keletkeznek, ezek tompa dörrenéssel szétpukkadnak s izzó lepény formájában röpitik ki a magmát. A kilökött darabok nagyrésztben visszahullanak a kráterbe, vagy megmerevedve a kráter meredek oldalára esnek s susorogva gurulnak le a tengerbe. A kitörések annál hevesebbek, minél hosszabb volt köztük a szünet, néhány hónaponként megélnékülnek és sűrűn követik egymást.

Az explozív vulkánok egyik jeltemző példája a Martinique-szigetén levő Mont Pelée, melynek 1902 május 8-iki kitörése egyike volt a legnagyobb katasztrófáknak. A Mont Pelée a Vezuvhoz hasonló hegy volt, nagyon régóta nem adott semmi életjelt s egészen a csúcsáig növényzet hódította már meg. A csúcs alatt egy kis fennsíkon 200 m átmérőjű tavacska

volt, s délnyugat irányban széles völgy vezetett le a tenger ífelé. Másfél évszázadig tartott a legutóbbi nyugalmi időszak csak 1887-ben kezdődtek gázömlések, melyek 1901-ben egyre erősödtek. 1902 első hónapjaiban a hegy lábánál is erős kénzapot éreztek, azután április 12-én elszakadta tengerfenéken a Martinique és Guadeloupe közti kábel, elárulván, hogy a tenger fenekén nagyobb átalakulás történt. Két hét múlva a kráterből vulkáni homok szállt fel, egyre erősebbé váló dörgések és földlökések közepette. Május 3-ikán elszakadt a Dominica felé vezető kábel is, a kitörések egyre hevesebbek lettek és a krátertó vize pusztítva zúdult a tenger felé. 7-ikén izzó tuskók repültek szerte a kráterből, a következő napon heves záporok tomboltak a vulkán közelében. 8-ikán reggel egészen derült volt az idő s csak a kráterből magasra emelkedő gőzoszlop figyelmeztette az embereket a vulkánra. Nyolc óra után bekövetkezett a fckitörés. Hatalmas robbanás kíséretében vulkáni homokkal telt súlyos felhő emelkedett ki s nagy sebességgel közeledett St. Pierre vároö felé. A felhő rettenetesen forró és mérges gázai egy pillanat alatt lángra lobbantották az egész várost, megsemmisítettek minden életet s szinte percek alatt pusztult el 30.000 ember. Az egész környéket elárasztották a kiröppent szikladarabok, homoktömegek s még négy kilométeres távolságban is találtak párszáz tonnás vulkáni tuskókat. Ezután augusztusig hatszor ismétlődött meg a kitörés időnként hasonló hevességgel, közben a kráter közepébe! nagyon sűrű és nehezen folyó lávából egy kúp emelkedett ki s ebből október 10-ikén vörösen izzó hatalmas lávát ű tört fel az ég felé, 100 m szélességben, 324 m magasra. Lassan kissé visszazökkent, majd újra emelkedett s végül széthullott. A Mont Pelee aránylag nem sok vastagon folyó lávát termelt, ezzel szemben nagymennyiségű, finomabb törmelékkal töltött gázömlött ki belőle.

Hasonló volt a Krakatau 1883. évi kitörése, de itt láva egyáltalán nem került felszínre, csak hamu. A Szumatra és Jáva közti úton levő Krakatau két évszázadon át nem adott életjelt. Valamikor a Krakatau vidékén nagy tűzhányó állott, de ezt egy kitörés elpusztította s csak három nagyobb és néhány kisebb sziget maradt meg a helyén közöttük a Krakatau, rajta a Rakata vulkán. Augusztus 27-ikén a régi

kráter helyén hatalmas gázkitörés következett be, mely a sziget legnagyobb részét a levegőbe röpítette s azonkívül 75 km² területen a tengert is kimélyítette, körülbelül 360 méter mélységig. A sziget megmaradt részét 60 méter magasban fedte be a hamu. 18 köbkilométernyi hamu szóródott szét 827.000 km²-nyi területen, s ökölnagyságú kődarabok repültek szerte 80 km²-nyi körzetben. A kitörés hatalmas robaját 3400 km távolságban is hallották s a légköri zavarokat a világ valamennyi meteorológiai állomása megfigyelte. Jáva és Szumatra partjait pedig olyan szökőár lepte el, hogy 30.000 ember lelte halálát benne. A magasba sodort vulkáni homokszemek 80 km magasságig felverődtek és éveken át lebegtek a légkör magas rétegeiben, pompás alkonyati tünevényeket idézve elő.

A két szembenálló típus között átmenet például a Vezúv. A hozzá hasonló tűzhányókat az jellemzi, hogy kráterükben lassanként felgyülemlik a meglehetősen folyékony láva s az alulról ható gőzök idővel annyira lefojtódnak, hogy kellő feszültséget érve el, heves robbanással áttörik a lávadugót s annak megszilárdult részeit szétrobbantva, bombák, rögök homok alakjában nagy tömegben szórják szét a környékre. A Vezúvnak és rokonainak jellemző alakulata a kettős kúp. A Vezúv nagyobb kúpját Sommának hívják, ma már csak köralakú romjai vannak meg s ezek közepéből emelkedik ki a tulajdonképeni Vezúv, körülötte az Atrio del Cavallonak nevezett udvar. A Sommá régi vulkán, amely a történelmi időkben, egészen Krisztus utáni 79-ig egyáltalán nem működött. Lejtőit erdő fedte s mindenki nyugalomban levő kiöregedett tűzhányónak vélte. 79 augusztusában aztán váratlanul feléledt, s törmelékeivel, lávájával eltemette Pompei és Stabiae városokat. A Vezúv mai kúpja akkor keletkezett s alakját mindmáig nagyjában meg is őrizte, pedig elég gyakran tört ki azóta. Csendesebb működés idején rendszeresen megnő, a hevesebb kirobbanások alkalmával azonban lecsorbul. 1906-ban például 150 m-rel lett alacsonyabb a Vezúv. A kráter szélessége 500 m, mélysége 300 m. A benne lassanként felemelkedő magma izzón folyós lávatót alkot, melynek szintje 70 m-nyit szokott ingadozni. A kitörő láva 1000—1070° hőmérsékletű s kitöréskor többnyire áttöri a kráter falait s elárasztja az Atriot, melynek talaja éppen

ezért állandóan emelkedőben van. A Sommá feltartóztatja a feléje ömlő lávatömegek nagy részét, de a tenger felé nincsen akadály a lávafolyam előtt. A láva elég gyorsan merevedik meg, ritkán jut el 4—8 km-nyire. A Vezúv 79-től kezdve a 12. századik nyolcszor tört ki, akkor aztán beszüntette működését 500 évre. Lejtőit újra belepte a növényzet, krátere kisimult s ha az állandó gáz és gőzömlések és a meleg, sós vizekkel telt medencék nem emlékeztették volna valódi természetére, bizonyára megint kihalt tűzhányónak vették volna. 1660-tól kezdve aztán alig múlt el egy évtized nagyobb tevékenység nélkül.

Az explozív vulkánok legegyszerűbb s mégis a legritkább alakja nem több, mint egy szabályos kerek lyuk. A gázok itt oly erővel törtek ki a Földből, hogy a szétrepeszteti kőzetdarabok és vulkáni termékek minden irányban szétszóródtak s nem estek le közvetlenül a nyílás köré, hogy megfelelő tűzhányókúpot építsenek fel. Ilyen kirobbanási kráterek a németországi Eifel-hegységben levő tavak, az úgynevezett maar-ok. Nagyságuk nagyon változatos, átmérőjük 60 m-től 3.5 km-ig változik, de van egy 25 km átmérőjű is. Átlagos mélységük 100 m. Rendszerint víz van bennük, de ezeket a tavakat kizáróan az esők táplálják. Különös, hogy újabb időkben alig-alig keletkeznek maarok, de egyébként is a ritkaságok közé tartoznak.

A tűzhányók kúpjai nem valami tartós képződmények, a vulkán egyetlen alapos kitörése könnyörtelenül szétrombolhatja a legszebb kúpot. Így például a Bandái San, a Molukkák egyik szigetén ezerszázadei nyugalom után kitört és egyszerre elpusztított egy 760 m magas hegyet. Kéha a kitörés úgy elfújja a hegy csúcsát, hogy csak a vulkán széles köralakú alapja marad meg, olyasféle gyűrűalakú sáncként, amilyent annjfrt látunk a Hold felületén. Az ilyen csaknem sima fenekű, üstalakú nagy krátert, melyet éppen méretei miatt félreértés lenne kráternek nevezni, *kalderának* hívják. A név a Kanári-szigetek bennlakóitól származik, ugyancsak ők nevezték el Sarraconak azt a kis patakot, amely a kalderában felgyűlt esővizet szokta levezetni. Kaldera az erdélyi Szent Anna-tó, barraco a Görgény-patak. Néhol valóban olyan óriási méretű kalderákat találunk, hogy a geológusok vitatkoznak rajta, valóban tűzhányó eredetűek-e. Így pél-

dául a Tenerife-szigeten van egy 19 km átmérőjű kaldera, a Japánban levő Aso-kalderában, a százfalú vulkánjában. 50.000 ember lakik.

A vulkáni működés elcsendesedése után a tűzhányóból már csak forró gázok ömlenek ki. A tűzhányó kráteréből, lejtőinek lazább anyagából vagy pedig a környék talajából hosszú időn át nagymennyiségű gőz és gáz távozik el. Ezeket a sokszor színes gőzfelhőket *fumaroláJcnak* nevezik. Az ilyen fumarola-mezők már veszélytelenek, sőt ellenkezőleg szinte minden részükben ki is használják. Így például a toscanai fumarolamezőkön 30.000 lóerőnyi energiát kapnak a forró gőzökből és a kénen kívül sok más értékes vegyi anyagot is kitermelnek belőlük. A vulkánok haldoklásához tartoznak a mofetták, hőforrások, gejzírek. A mofettákban széndioxid-gázak áramlanak ki s mivel ezek nehezebbek a levegőnél, néha megrekednek a völgyben és veszélyessé teszik azokat. Sokhelyütt van ilyen »Halál-völgy« a Földön. Kialvó vagy kialudt vulkánok területén magától értetődő jelenségek a forróvizű források. A gejzírek olyan hőforrások, amelyek szakaszosan fortyognak, szabályos időközönként vizet és gőzt löveinek ki sokszor igen nagy magasságig. Nagyon valószínű, hogy az ilyen szökőforrás csatornájában összegyülemlik a víz bizonyos mélységben, ahol a magma gázaiból származó hő túlhevíti a vizet s a robbanásszerűen fejlődő gőz kilöki a felette lévő vízoszlopot. Bizonyos, hogy a kivezető csatornában szűkületek, szeszélyes kanyarulatok vannak, melyek a víz szabályos járását megzavarják, különben a víz csak felforna és közönséges hőforrás maradna a gejzír. A Yellowstone Nemzeti Park Old Faithful, »öreg hűséges« nevű szökőforrás minden 65-ik másodpercben hatalmas vízoszlopot dob fel 80 m magasra. Az izlandi Öreg gejzír 1772-ben még 30 percenként működött, később, 1883-ban már csak minden huszadik napon tört ki. Néha közönséges hőforrások alakulnak át szökőforrásokká. Egyszer valamelyik hőforrás vizében egy jámbor kínai megmosta szappannal a kezét s erre a forrás kitört. A turisták azóta tudják, hogy szökőforrásokat könnyen lehet működésre felingerelni, ha beléjük dobnak egy szappandarabot. A Yellowstone Park területén meg is tiltották a szappan használatát ilyen látványosságok előidézésére. A geológusok azzal magyarázzák

ezt a jelenséget, hogy a szappan elősegíti nagyobb gőzbuborékok keletkezését és így gyorsítja meg a kitörést.

A tűzhányók környékén lakókat természetesen nagyon érdekelné, ha a tudósok nemcsak megmagyaráznák a vulkáni kitöréseket, hanem kellő biztonsággal meg is jósolnák a kitöréseket. A legtöbb kitörést valóban megelőzik a nagyobb gőztömegek, vagy füstfelhők megjelenései, vagy kisebb földrengések. Ezeket az előjeleket azonban nem mindenkor követi komoly kitörés is és semmiből sem lehet megállapítani, hogy a jelek nem bizonyulnak-e vaklármának. Másrésztől igen sokszor egészen elmaradnak a jelek, holott nagy a



veszély. A közvetlen megfigyelésre tehát nem sokat alapíthatunk. Nem, lehet megbízható szabályosságot találni a kitörések időszakosságára sem. Egyik olasz tűzhányószakértővel történt meg, hogy 1872-ben, évek hosszú során át végzett tanulmányok és megfigyelések alapján a leghatározottabban megnyugtatta a Vezúv környékének lakóit, hogy a vulkánnak akkortájt észlelt gyanús füstölgését nem követi kitörés, ami annál hihetőbb volt, mert a Vezúv valóban megnyugodott. Pár nap sem telt bele s egy hatalmas kitörés rögtön bebizonyította, hogy jósolni nehéz.

A földmágnesség

Annak, hogy az iránytű mindig úgy áll be magától, hogy mindig vége észak felé mutat, nyilván az az oka, hogy valamilyen mágneses erő hat rá, s ez az erő magától a Föld-

tól származik. Említettük, hogy a kínaiak már jóval időszámításunk kezdete előtt felfedezték az iránytű használatát s azután az arabok megismertették az európaiakkal is. 1500 táján már használták az európai bányákban is az iránytűt. Régen felfedezték azonban, hogy az iránytű nem egészen pontosan mutatja az északi irányt, hanem elég tekintélyes eltérések vannak s az eltérések mások és mások a Föld különböző pontjain. 1701-ben *Halley* már meg is rajzolta azt a térképet, melyről le lehetett olvasni az iránytű adatának eltérését a földrajzi észak-dél iránytól.

Mikor aztán a természettudományos kutatások módszerei általánosak lettek, elkezdték alaposabban vizsgálni a földmágnesség jelenségeit is. Először az derült ki, hogy az észak-dél iránytól való eltérés nem állandó a Földnek ugyanazon a pontján sem, azután mérni kezdték a mágneses erő nagyságát és kiderült, hogy az is változik. Ha a mágnesűt úgy függesztjük fel, hogy ne csak vízszintes síkban tudjon mozogni, hanem minden irányban, akkor azt látjuk, hogy északi vége lehajlik, nálunk körülbelül 65° -nyira a vízszinteshez képest. Ez a lehajlás is állandóan változik, bár elég apró ingadozásokat mutat. A megfigyelések összefoglalásaképpen azt mondhatjuk, hogy a Földnek van külön mágneses északi és déli sarka s ezek nem esnek össze a földrajzi sarkokkal. A mágneses északi sark helye jelenleg az észak-kanadai Boothia-félszigeten van, pontosan nem lehet kijelölni. Ennek a pontnak a közelében az iránytű nem mutat semmiféle irányt, a szabadon felfüggesztett pedig merőlegesen lefelé áll be. Tudjuk, hogy az ellentétes mágnesek vonzzák, az egyformák taszítják egymást, tehát a mágneses északi sarkon tulajdonképpen déli mágnességnek kell lennie, mert az iránytű északi végét vonzza. A mágneses déli sark az Antarktisz Dél-Viktória nevű területén lehet.

A mágneses elhajlás és a mágneses erő intenzitása időszakosan változik. Mindenekelőtt észrevehető, hogy minden nap folyamán is végbemegy bizonyos hullámmásodé azonfelül határozottan kimutatható százados változás is. A szabályos, időszakos változásokon kívül azonban vannak olykor igen erős szabálytalan zavarok is. Az évszakos változások igen tekintélyesek. Így például 1636-ban azt figyelték meg Nürnbergben, hogy a mágnesűt $10\frac{1}{4}$ fokkal keletebbre

mutat, mint a csillagászati meridián. 1660-ban azonban már pontosan észak felé mutatott a mágnesű, vagyis valóban egybeesett a földrajzi és a mágneses meridián. 1810-ben aztán már nyugat felé hajlott el a mágnesű, még pedig több mint 22 fokkal. Ezekből a megfigyelésekből már akkor azt következtették, hogy a mágneses északi sark körben vándorol a Földön és 420—470 év alatt tér vissza eredeti helyére. A napi és évi ingadozások nyilvánvalóan a Föld forgásával és a Nap körüli keringésével vannak kapcsolatban, illetve magával a Nappal. Megállapítható azonban még az is, hogy a Holdnak is van valami hatása a földmágnességre.

A Föld kerekiségén körülbelül 50 olyan földmágnességi intézet működik, ahol óránként mérik a földmágnesség pillanatnyi adatait, és még egy sereg olyan, ahol csak egy-kétszer mérnek naponta, eltekintve nagyon sok vándorló, időszakos állomástól. Megfigyelési adat van rengeteg, de be kell vallani, hogy a fizika még nem tudott eligazodni bennük és nem tudja elfogadhatóan megmagyarázni sem a földmágnesség mibenlétét, sem a változásokat. A mágnesű beáll bizonyos irányba, tehát mágneses vonzás hat rá. Kétféle mágneses vonzást ismerünk. Az egyik a közönséges mágnesvasnál tapasztalható mágnesség, másik akkor keletkezik, ha elektromos áram kering egy vezetőben. A földmágnesség magyarázatát tehát ezen az alapon kétféleképpen gondolhatjuk el. Vagy azt tesszük fel, hogy maga az egész Föld egy hatalmas, gömbalakú mágnes, vagy pedig azt, hogy állandóan valamilyen elektromos áram kering nagyjában kelet-nyugat irányban.

Mindkét elmélet mellett és ellen egyformán sok érvet lehet felhozni. Bármelyiket próbáljuk ki, megoldhatatlannak látszó kérdések merülnek fel. Ha azt nézzük, hogy a Föld lehet óriási állandó mágnes, nem szabad elfelejtenünk, hogy a Föld belseje igen magas hőfokon van s a már pár száz kilométer mélységben uralkodó magas hőmérsékleten semmiféle anyag nem mágnesezhető. Az állandó mágnességnek tehát csak a szilárd, vékony kéregben kellene lakoznia, az abban levő vas, nikkel, kobald — ez a három elem az, amely számottevően mágnesezhető — nem elég, hogy olyan erős állandó mágnessé tegye a Földet. Ha pedig azt tesszük fel, hogy elektromos áram kering a Földben s előidézi elő

a mágneses teret, alig találunk magyarázatot arra, hogy honnan van ez az állandó elektromos áram.

Az kétségtelen, hogy a Napnak erős beleszólása van a földmágnességnek legalábbis a zavaraiiba. Bizonyítja ezt az, hogy erős sarkifények mindenkor erős mágneses zavarokkal járnak együtt, az pedig bizonyos, hogy a sarki fényeket a Naptól jövő katódsugarak idézik elő a nagyon magas légrétegekben. A két jelenség párhuzamossága bizonyossá teszi, hogy mindkettőnek ugyanaz az oka, még pedig a Nap tevékenységének változó erőssége. Mennél több a napfolt, valóban annál gyakoribb az északi fény és annál erősebbek a rendkívüli mágneses zavarok a Földön, melyek egyébként sokszor egészen lerontják a rádió vételi lehetőségeit, különösen a rövidhullámok birodalmában.

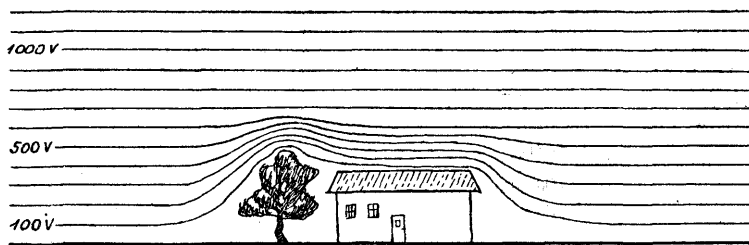
A levegő elektromossága

1752-ben bizonyította be *Franklin* híres sárkánykísérlétével, hogy a villám elektromos kisülés, hasonló azokhoz az ektromos szikrákhoz, amelyeket a fizikai laboratóriumokban állíthatunk elő. Amilyen egyszerű a dolog, így kimondva, olyan bonyolult akkor, ha részletesebben akarjuk kideríteni, hogy milyen a villám természete, honnan van a fehékek elektromossága, mi idézi elő azokat a többmillió voltos feszültségeket, amelyek aztán kiváltják a hatalmas szikrát, a villámot. Végleges és biztos feleletet ma sem tudunk adni ezekre a kérdésekre, kétszáz évvel *Franklin* után sem, bár természetesen összehasonlíthatatlanul többet tudunk már a levegő elektromosságáról.

A meteorológia mai ismeretei szerint a zivatarelektromosság keletkezésében az erős felszálló légáramlásnak kell a legnagyobb szerepet játszania. Ilyen felfelé irányuló áramlásnak köszönhetik maguk a tornyos zivatarfelhők is a keletkezésüket. Hogy azonban a felhőképződésnek ebben a folyamatában hogyan keletkezik a hatalmas elektromos feszültségkülönbség a felhők között, az még ma sincs tisztázva. Régebben az úgynevezett *Lénárd*-hatással próbálták magyarázni a villámhoz szükséges nagy feszültségkülönbségek létrejöttét. *Lénárd* fedezte fel a »vízeséselektromosságot«, vagyis azt, hogy a szétporló víztömegeknél a vízcseppek

maguk pozitív elektromos töltést kapnak, a környező levegő-részecskék negatívot. A felfelé tartó légáramlás magával viszi magasra a negatív töltéssel bíró különböző apró részecskéket, az ionokat, míg a pozitív töltésű nagyobb vízcseppek inkább lefelé gyülekeznek, tehát a felhő felső részein negatív elektromosság gyűlik össze, alsó részein pozitív. Ez az elmélet azonban megbukott, amikor a repülőgépeken végzett megfigyelések és mérések megállapították, hogy a zivatarfelhők felső részei éppen ellenkezően, pozitív töltést mutatnak s a negatív ionok vannak az alsó részekben, kivéve a felhőnek azt a részét, amelyből hull a zápor, mert ez megint pozitív töltésű. Ezen az alapon magyarázta 1940-ben *Find-eisen* a villámok keletkezését, de ha a megfigyelések sok mindenben igazolták is, még vannak hiányai az új elméletnek.

Az újabb kutatások azonban még a villám kérdésénél is nehezebb problémákat vetettek fel a geofizikusok és



meteorológusok számára. Kiderült, hogy a Földnek magának óriási elektromos töltése van, mégpedig negatív. Hogy honnan van, arról semmit sem tudunk. A negatív töltéssel bíró Földdel szemben pozitív elektromos feszültség uralkodik a légkörben, s ez a feszültség igen erős mértékben nő a nagyobb magasságok felé. Nagyjában, sík földön egy-egy méter magasságkülönbségre 100—110 volt feszültségnövekedés esik a felszín közelében, de az egyenlő feszültségű pontokat összekötve, azt látjuk, hogy a földi tárgyakat mintegy kikerülik a gradiens felületek. Nagyobb magasságokban a feszültségnövekedés kisebb, 5000 méter magasságban már csak 1 volt méterenként, de így is alaposan felnövekszik a feszültség. A Stephenson-féle Explorer II. lég-

gömb 22 kilométer magasságban 360.000 volt feszültséget mért. Ez a »szépidő-elektromosság« aztán elég nagy ingadozásokat mutat, napszakok és évszakok szerint is. Este és télen a legnagyobb, délben és nyáron a legkisebb. Hogy azonban honnan ered a légkörnek ez a pozitív elektromossága, arról egyelőre nem tudunk semmi bizonyosat sem.

Még egy másik alakban is találkozunk elektromossággal a légkörben. Tudjuk, hogy a napfény ibolyántúli sugarai és a kozmikus sugarak ionizálják a levegőt, azaz a sugarak hatására egyes levegőmolekulákról leszakad egy elektron, vagy hozzáragad egy fölös, s ezzel az egyébként semleges atomok elektromos töltést mutatnak. Van még egy harmadik forrása is a levegő ionjainak, a földben levő radioaktív anyagok bomlásából keletkező sugárzás, mely szintén ionizál. A Föld felszínének közelében a levegő egy köbcentiméterében csak 5—6 ilyen ion van, de magasabb légrétegekben igen sok, 40—50.000, sőt száz kilométer magasságban milliónyi. Ennek a magasban levő ionizált levegőréttegnek köszönhetjük a rádióvétel lehetőségét, mert visszaveri az elektromágneses hullámokat, mint valamilyen hatalmas homorú fémtükör a fejünk felett.

A Föld felszínének közelében, tehát a mindennapi világunkban nem sok szerepet játszhatnak a levegő ionjai, bár bizonyos, hogy szervezetünkben jelentősége van annak, hogy tudónk minden lélegzetvételnél néhányezer pozitív vagy negatív töltésű iont szív be.

NEGYEDIK RÉSZ

A FÖLDI LÉGKÖR

A levegő fizikája

Az ember csodálatosan hálátlan a levegő iránt. Nagyon jól tudjuk, hogy nem tudnánk élni nélküle és a pohárra, üvegre, ha nincs benne víz, bor, vagy más folyadék, mégis azt mondjuk, hogy üres, nincs benne semmi. A levegő e semmibebevételének azért könnyű okát találni. Érzékszerveink nem tudnak közvetlenül tudomást szerezni a levegő pusztá létezéséről sem. Nem látjuk a levegőt, nincs szaga, íze, nem lehet megfogni, megtapintani, szinte nem is tekintjük anyagnak. Viszont valóban kétségtelen, hogy a levegőnek, s általában a gázoknak a tulajdonságait csak fizikai eszközökkel és módszerekkel lehet megállapítani. Vegyük csak minden anyag legegyszerűbb jellemzőjének, a súlyának kérdését. Mi sem könnyebb mint megmérni valamilyen szilárd, vagy akár cseppfolyós anyag súlyát mérleggel, de ahhoz, hogy valamilyen gáznak a súlyát megmérjük, laboratóriumi készültségre van szükség, tudniillik egy kitűnő légszivattyúra, amellyel valamilyen jól záró üvegből teljesen kiszivattyúzhatjuk a levegőt. Ha aztán megmérjük a most más valóban »üres« üveg súlyát, majd visszaeresztjük a levegőt s megmérjük a levegővel most már telt üveget, a két mérésadat különbsége megadja az üvegbe férő levegő súlyát. Kevés embernek lehet alkalmá eképpen megmérni a levegő súlyát, vegyük egyszerűen tudomásul a fizikusok eredményét, mely szerint egy liter levegő súlya körülbelül 1.3 gramm. Ez természetesen ugyanaz, mintha azt monda-

nánk, hogy egy köbméter levegő 1.3 kg. A levegő tehát nagyon könnyű, hiszen egy köbméter víz egy tonnát, ezer kilogrammot nyom.

Ez az adat azonban nagyon felületes. Tudjuk, vagy legalább is tudnunk kell a fizikából, hogy a gázok súlya, helyesebben sűrűsége függ a hőmérséklettől és a nyomástól, ami egyébként könnyen érthető is. Magasabb hőmérsékleten a gőz is kiterjed, tehát kevesebb tölt ki belőle ugyanakkora térfogatot, ha pedig összenyomjuk a gázt, sűrűbbnek kell lennie. Az előbb felhozott adathoz tehát hozzá kell tennünk, hogy milyen hőmérséklet és mekkora nyomás mellett érvényes. Ez a megjegyzés a szakkönyvekben így szól: 0° hőmérséklet és 760 mm légköri nyomás mellett. A 760 mm-nyi légnyomás a földi légkör átlagos, normális nyomását jelenti a tengerszinten, s ebben a fogalmazásban meglehetősen különösen hangzik, hogy egy nyomást milliméterrel fejezünk ki, holott a milliméter tudvalevően hosszúságmérték. A magyarázat azonban kézenfekvő, csak vissza kell gondolnunk *Torricelli* híres kísérletére, mellyel felfedezte a légnyomást és megmérte.

Végezzük el képzeletben mi is a *Torricelli*-féle kísérletet. Képzeljünk el egy hosszúszerű U-alakú üvegsövet, melybe higanyt öntöttünk. Nyilvánvaló, hogy a higany ugyanolyan magasságban áll a cső mindkét ágában, a közlekedő - csövek alaptörvénye szerint. Nem is lenne ok rá, hogy az egyikben magasabbra emelkedjék. Most aztán beletolunk az egyik ágba egy légmentesen záródugattyút, úgy hogy a higany felszínéig érjen. Ha már most ezt a dugattyút elkezdjük felfelé húzni, a nyíl irányában, a higany megy vele együtt, mint a közönséges szívó szivattyúban. *Torricelli* előtt azt mondták erre, hogy a természet irtózik az ürességtől s ez az irtózás az az erő, mely felhajtja a higanyt a dugattyú után. Ez a titokzatos »horror vacui« azonban nagyon különös dolog volt, mert csak bizonyos határig tudott érvényesülni. A higany addig követte a dugattyút, amíg a másik, szabad szárban levő higany szintjétől 760 mm magasságig jutott. Azontúl akármeddig felhúzhatjuk a dugattyút, a higany nem megy tovább, a horror vacuinak most már nincs több nyoma. *Torricelli* elvetette a horror vacui jámbor elméletét s úgy magyarázta meg a dolgot, hogy a 760 mm magas

higanyoszlop egyensúlyt tart a nyitott csővég fölött levő levegőoszloppal. Azaz, ha mondjuk, a cső keresztmetszete 1 óm^2 , az fölött levő, a tengerszint és a légkör legfelső határa között képzelt vékony levegőoszlop súlya akkora, amekkora a $76 \text{ köbcéntiméternyi}$ higanyoszlopé. Mivel 1 cm^8 higany 13.6 gramm , a 76 cm^3 higany súlya 1.03 kg . Ha egy négyzetméternyi keresztmetszetű levegőoszlopot veszünk, ennek súlya $10,333 \text{ kg}$. A légnyomás mért értéke még a tenger szintjén sem mindig 760 mm magas higanyoszlop súlyával egyenlő, mert a légnyomás elég gyorsan és elég jelentékenyen változik. Ha azt mondjuk, hogy valahol a légnyomás például 745 mm , ez annyit jelent, hogy a fölöttünk levő levegőoszlop súlya, nyomása akkora, amekkora, ugyanolyan keresztmetszetű, 745 mm magas higanyoszlop súlya, illetve nyomása. Nyilvánvaló, hogy a légnyomásnak csökkennie kell, ha magasabban fekvő hegyen, vagy léghajón mérjük, mert akkor a fölöttünk levő levegő kevesebb.

Tudjuk azt, hogy egy köbméter levegő súlya körülbelül 1.3 kg , és hogy a tengerszinten 1 m^2 terület fölött levő levegőoszlop súlya 10.333 kg , tehát azt hihetnők, hogy a légkör magasságát egyszerű osztással kiszámíthatjuk, elosztva a 10.333 -at 1.3 -del. Ebből az osztásból azonban az adódik, hogy a légkör magassága mindössze 7950 méter , már pedig tudvalevő, hogy a 8000 m magas Mount Everesten is van levegő, sőt a 16 km felszállt léggömbök is még levegőben járnak. A hibát ott követtük el, hogy minden magasságban ugyanakkorának vettük egy köbméter levegő súlyát, ami nem igaz. Minden köbméter levegőre a felette levő levegőoszlop gyakorol nyomást, a gázok sűrűsége pedig függ a rájuk ható nyomástól. Felfelé egyre kisebb lesz ez a nyomás, tehát egyre kisebbnek kell lennie a levegő sűrűségének, tehát jóval magasabb levegőréteg nyomása adja ki a 760 mm-t , mintha végig egyenletes sűrűsége lenne a légkörnek.

A levegő sűrűsége azonban nem csupán a nyomástól függ, hanem a hőmérséklettől is, és mivel nem tudunk sok bizonyosat a magasabb rétegek hőmérsékletéről, nem lehet kiszámítani a légkör magasságát a tengerszinten megmért légnyomásból. Abból a jelenségből, hogy a légkör magasabb rétegei még napnyugta után is visszaverik a Nap fényét, arra lehet következtetni a mérések alapján, hogy még $60\text{—}70$

kilométer magasságban is van levegő, sőt az északi fény vizsgálata azt mutatja, hogy legalább 200 km magasságig kell levegőnek lennie, sőt vannak jelek arra, hogy 5—600 km-ig terjed a Föld légköre. A Földre hulló meteorok felvillanásából is ilyen adatokra következtethetünk, a rádióhullámok útja pedig azt árulja el, hogy 100 km-től feljebb a légkörnek még elektromos vezetőképességgel rendelkező rétegei is vannak, egyes adatok szerint még 1800 km magasságban is. Vannak tudósok, akik valószínűnek tartják, hogy még 2000 km magasságban is van levegő, természetesen olyan ritka, hogy ott már csak néhány molekula van minden köbméterben, tehát alig különbözik a teljes vákuumtól. Elméletileg 40.000 km az a távolság, amelyen túl már valóban nem lehet a Földhöz tartozó levegőről szó, mert ilyen távolságban a centrifugális erő nagyobb, mint a Föld vonzóereje, tehát az odáig eljutott levegőmolekulákat már nem tarthatja vissza semmisen.

A levegő nyomásának természetesen csökkennie kell, mennél magasabba emelkedünk a légkörben. Ez a csökkenés már itt a föld felszínének közelében is számottevő s a meteorológusok nem is mulasztják el mindenkor tekintetbevenni a megfigyelő hely tengerszint fölötti magasságát. Példának itt hozzuk fel néhány különböző magasságban fekvő magyarországi hely átlagos légnyomását:

Hely	Magasság	Légnyomás
Budapest	130 m	750.5 mm
Salgótarján	249 m	739.9 mm
Svábhegy	474 m	721 mm
Dobogókő	700 m	700.8 mm
Kékestető	991 m	676.1 mm

Ezekből az adatokból számítva azt találjuk, hogy minden 100 m magasságkülönbségre 8.6—8.8 mm-nyi légnyomáscsökkenés esik, vagy másképpen mondva átlagban 1 mm-nyi légnyomáscsökkenésnek 115 m magasságkülönbség felel meg. Nagyobb magasságokban azonban más a helyzet, a száz méteres magasságváltozásra kevesebb nyomáscsökkenés esik, mert fenn egyre ritkább a levegő, tehát a légkör magasabb rétegében a nyomás lassabban csökken. így például 10 km magasságban már 38 m-rel kell magasabbra mennünk, hogy a légnyomás egy mm-rel csökkenjék. Nem szabad aztán

megfelejtkeznünk arról, hogy a hőmérsékletnek is nagy szerepe van a nyomáscsökkenésnél, hiszen nyilvánvaló, hogy a levegő hőmérséklete csökken a magassággal, még pedig száz méterenként átlagosan 0"5°-kal, legalább is 10—15 km magasságig. Érdeemes lesz végigböngészni a következő kis táblázatot, amelyben összeállítottuk a légnyomás csökkenésének nagyságát a magassággal, tekintetbe véve a különböző hőmérsékleteket is.

Magasság méterben	Hőmérséklet		a tengerszinten		1 mm nyomáscsökkenésnek megfelelő magasságnövekedés méterben
	—15°	0°	15°	30°	
0	760	760	760	760	11.1
00	750	750	751	751	11.2
500	711	713	715	718	11.7
1000	665	670	675	679	12.3
3000	505	517	528	539	15.1
5.000	380	395	410	424	19
10.000	176	193	209	224	33
20.000	41	46	51	57	124

Az ember a tengerszinthez közeli magasságok légnyomásához van hozzászokva, szervezete nemigen tud alkalmazkodni sokkal kisebb külső nyomáshoz. Különösen a vérkeringésben okoz komoly bajokat a nagy magasságok alacsony nyomása, aminek főképen az az oka, hogy vérünkben mindig van oldva levegő s a nyomás csökkenésekor ez az oldott levegő kiterjed, sokszor szétrepeszti az ereket, vagy legalábbis orrvérzést, agyvérzést okoz. A magas hegyeket járó turisták sokszor élnek át a légnyomás csökkenésének hatásait, az úgynevezett hegyi betegséget, melynek jellemző tünetei fejfájás, fülzúgás, émelygés, de még inkább jelentkezik a kellemetlen hatás a repülőgépek utasain, ha nagyon magasra jutnak, mert a gyors felemelkedés miatt még kevésbé tud szervezetük hozzászokni a nyomásváltozáshoz. Az alacsony nyomáson kívül a levegő ritkasága is kellemetlen a magasba kerülő ember számára, hiszen jóval gyorsabban és mélyebben kell lélegeznie, hogy megfelelő mennyiségű oxigén jusson tüdejébe. Nyilvánvaló, hogy az ember nem szállhat fel nagyobb magasságokba különösebb védőberendezések nélkül. Néhány kilométeres magasságig elég csak oxigénről gondoskodni lélekezés céljára és fűthető ruháról a dermesztő hideg

ellen, hiszen tíz kilométer magasságban ötven fokkal alacsonyabb a hőmérséklet, mint a tengerszinten. Itt már egyébként olyan alacsony a légnyomás, hogy csak légmentesen elzárt kabinban tartózkodhat az ember, amelyben mesterségesen tartják fenn a kellő nyomást. A 7—8000 m magas hegyek megmászását éppen az teszi oly nehézé, hogy nincs mód az alacsony légnyomás és a hideg ellen való védekezésre.

Ismervén mármost az összefüggést a magasság és a légnyomáscsökkenés között, természetesnek tarthatjuk, hogy a légnyomásmérőt fel lehet használni magasságmérésre. Ha egy hegy lábánál és tetején egyidőben leolvassuk a légnyomást és a hőmérsékletet, egy elég egyszerű képlettel kiszámíthatjuk a két megfigyelőhely közti magasságkülönbséget. Rendes körülmények között a légnyomás elég lassan változik, tehát azt is megtehetjük, hogy ugyanazzal a légnyomásmérővel és hőmérővel megmérjük lenn a szükséges adatokat, felvisszük a hegytetőre és ott is leolvassuk őket. A módszert kitűnően fel lehet használni repülőgépeken a pillanatnyi magasság megközelítő meghatározására. Erre a célra a kerek dobba zárt ismert aneroid barométert szokás használni, azzal a különbséggel, hogy a számlapon nem a légnyomást jelző milliméterbeosztás van, hanem mindjárt a megfelelő magasságot jelző méterszámot olvashatjuk le. Indulás előtt a pilóta a szabályozó csavarral beállítja a mutatót 0-ra, vagy ha úgy tetszik, a repülőtér tengerszint fölötti magasságára, s akkor útközben egyszerű rátekintéssel tájékozódhat arról, hogy milyen magasságban repül. Ez a magasságmérő természetesen nem lehet egészen pontos, hiszen nem veszi tekintetbe a hőmérsékletet. A hiba azonban nem nagyobb 5%-nál és gyakorlati szempontból ez nem számít sokat, hiszen egészen mindegy, hogy a gép például 1500 m magasságban repül-e, vagy 1575 m magasán.

A levegő többféle gáz keveréke, mint ahogyan már volt szó róla, mikor a Föld anyagáról beszéltünk. Kereken 78% nitrogén, 21 % oxigén van a levegőben s a még hiányzó egy százalékot a nemes gázok (argon, neon, hélium, kripton) és a széndioxid adja ki. Ezek a gázok teljesen össze vannak keveredve s akárhol elemezzük a levegő összetételét a földön, mindig ezeket az arányokat kapjuk. 760 mm-es légnyomás mellett, 0° hőmérsékleten — most már a pontos adatokat

sorolva fel — 100 liter levegőben van 7 8-08 liter nitrogén, 20.95 l oxigén, 0.94 l argon, 0.03 l széndioxid, 0.0012 l neon, 0-0004 l hélium, 0-0001 l kripton. A 100 liternyi keverékben azonban mindegyik gáz 100 l térfogatban vanelosztva, tehát kitölti ezt a teret. Képzeljük a felsorolt hétféle gázt elkülönítve hét, egyenként 100 l térfogatú edényben. Az elsőben 78'08 l-nyi nitrogén van, az utolsóban egytized köbcéntiméternyi kripton, egyik úgy mint a másik, kitölti az egész száz liternyi térfogatot, de mindegyikben a mennyiségének megfelelően kisebb lesz a nyomás. A külön nitrogén nyomása 593 mm lenne, a külön oxigéné 159 mm, a külön argoné 7 mm és így tovább.

A felsorolt gázokon kívül van azonban még valami a levegőben és ez a valami igen nagy szerepet játszik az időjárásban. A szabad levegőben ugyanis mindig van többkevesebb vízpára, helyesebben mondva vízgőz. Nem lesz hiábavaló, ha egy pillanatra megállunk ennél a két szónál s tisztázzuk a különbséget. A fizikusok minden légnemű test állapotánál megkülönböztetik a *gőz* és a *gáz* állapotot. Gáznak akkor nevezik a légnemű testét, ha hőmérséklete az úgynevezett kritikus hőmérséklet felett van, ami azt jelenti, hogy azon a hőmérsékleten nem lehet nyomással cseppfolyósítani, ha előbb nem hűtjük le a kritikus hőfok alá. Gőznek akkor nevezik, ha hőmérséklete alatta van a kritikus hőfoknak, tehát pusztán nyomással is cseppfolyósítható. A víz kritikus hőmérséklete 365°, mivel tehát a levegő hőmérséklete mindenkor messze alatta van ennek, a vízpárát vízgőznek kellene neveznünk. A mindennapi nyelvhasználat azonban elferdítette a vízgőz jelentését, hiszen az a fehér vízgőz, amit a forrásban levő víz fölött látunk, tulajdonképpen nem légnemű halmazállapotban van, mert nem egyéb, mint már cseppfolyósodott igen apró vízcseppecskék sokasága. Az igazi vízgőz, amit a meteorológusok éppen a félreértés elkerülésére vízpárának neveznek, nem látható, mint általában semmiféle gáz és gőz.

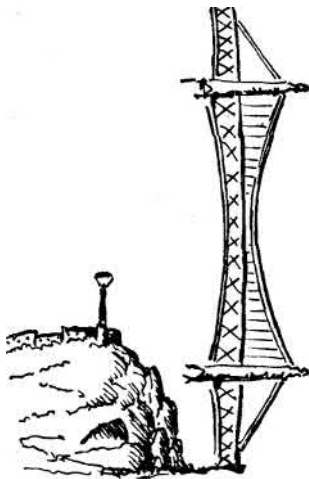
Az időjárás szempontjából döntően fontos a levegő páratartalmának, másképpen mondva a légnedvességnek ismerete. A páratartalmat kétféle módon fejezhetjük ki. Megmondhatjuk, hogy egy köbméter levegőben hány gramm víz van láthatatlan pára alakjában. Ezt nevezzük abszolút nedvesség-

általán nincs vízpára a levegőben. Minden, ami a felhőképződéssel jár együtt, a légkör alsó 10 km vastag rétegében játszódik tehát le, úgyhogy már a páratartalomra való tekintettel is két részre oszthatjuk a légkört: az alsó, körülbelül tíz kilométer vastag rétegre s az e fölött levő, száraz nagy magasságokig terjedő rétegre. Az alsó és felső réteg között azonban még más különbség is van. Többször mondtuk, hogy a hőmérséklet csökken a magassággal, aminek egyébként az a kézenfekvő magyarázata, hogy a levegőt tulajdonképpen nem a napsugarak melegítik, hanem a felmelegedett talaj fűti, tehát alulról felfelé csökkennie kell a hőmérsékletének. Régebben azt gondolták, hogy a hőmérsékletcsökkenés egyenletesen folytatódik a légkör legfelsőbb határáig, de mikor sikerült igen nagy magasságokra felereszteni megfigyelő lég-gömböket, ezek műszerei azt a meglepő adatot hozták vissza, hogy nagyjában 10 és 30 km magasság között nem csökken tovább a hőmérséklet, hanem állandóan -55° marad. A forró égöv alatt az állandó hőmérséklet magasabban, körülbelül 17 km-nél kezdődik és -80° -ot mutat. Emiatt is tehát két részre kell osztanunk a légkört, az alsó 10—15 km vastag rétegre, amelyet *troposzférának* neveztek el és az e fölött levőre, a *sztratoszférára*. A két rész között természetesen nincs éles határ s mint már láttuk, a trópusokon magasabban kezdődik a sztratoszféra, mint a mérsékelt és hideg égőveken. Az időjárás minden tünete a troposzférában játszódik le, ami azonban nem annyit jelent, hogy a sztratoszférának nincsen szerepe az időjárásban. Egyelőre azonban nemigen tudunk állandó megfigyeléseket végezni a sztratoszférában s ezért nincs mód rá, hogy a meteorológusok tekintetbe vegyék időjelzéseikben a nagy magasságokban lefolyó tüteményeket, bár bizonyos, hogyha a sztratoszférában is lenne egy sereg meteorológiai megfigyelő állomás és mindennap szétszűrőnyöznő a megfigyelt adatokat, jóval biztosabb lenne az időjárás változásainak előrelátása s hosszabb időre is tudnánk prognózist adni.

A gázokon és vízpárán kívül a légkör alsó rétegeiben van még több-kevesebb szilárd anyag is, köznapi nyelven: por. Nem is gondolja az ember, hogy mennyi por van a levegőben láthatatlanul. A por, természetesen meglehetősen ártalmas tisztátalanság, nem tartozik lényegében a levegőhöz, de azért

elég nagy szerepe van a vízpárak kicsapódásánál, az eső, köd. képződésénél, mert a lehülésnél bekövetkező vízcseppekké való sűrűsödés mindenkor a levegőben lebegő porrészecskéknél történik. A levegő portartalmát külön műszerekkel állapítják meg, mikroszkópon számlálva össze a porrészecskéket. Szinte hihetetlen, hogy a nagyvárosok levegőjében sokszor minden köbcentiméternyi, azaz gyűszűnyi levegőben félmillió porszem is van, azonban magasabb légrétegekben, helyeken természetesen jóval kevesebb. A Magas Tátrában végzett észlelések szerint 2—3000 porszemet találtak a levegő köbcentiméterében. A portartalom azonban mind lenn a föld felett, mind a hegyeken igen tág határok között változik az időjárástól függve. Eső után kevesebb a por, szélben több, s a magas hegyeken is sokszor jelentékenyen megszaporodik a por, ha a völgyekből sokat hoz magával a szél.

A légkör fizikai vizsgálata közben nagyon hamar rájövünk arra, hogy milyen kicsinyek vagyunk a földön. Egész életünkre döntő hatása van az időjárásnak, amely a légkör alsó, nagyjában tíz kilométer vastag rétegében játszódik le. Itt lenn a földön nem is olyan nagy távolság tíz kilométer, mindössze két óra gyalogjárás, közepes sebességgel haladó autón tíz perc sincs, de felfelé ugyanaz a tíz kilométer elérhetetlen, kifürkészhetetlen messzeségnek tűnik fel. Különös, hogy az embernek milyen kevés érzéke van a magasságok iránt. A földön elég jól tudunk távolságokat becsülni, de zavarba jutunk, ha meg akarjuk becsülni egy hegy, vagy akár csak egy ház magasságát. Ki hinné például, hogy ha az egykori Erzsébet hídát budai végén megtámasztva felállítanánk merőlegesen, háromszor olyan magasra ért volna a pesti vége, mint a Gellérthegy teteje. A csalódásnak természetesen az a magyarázata, hogy a hegymászás sokkal több munkába kerül, mint a sima földön való séta s a fárasztóbb utat többre becsüljük



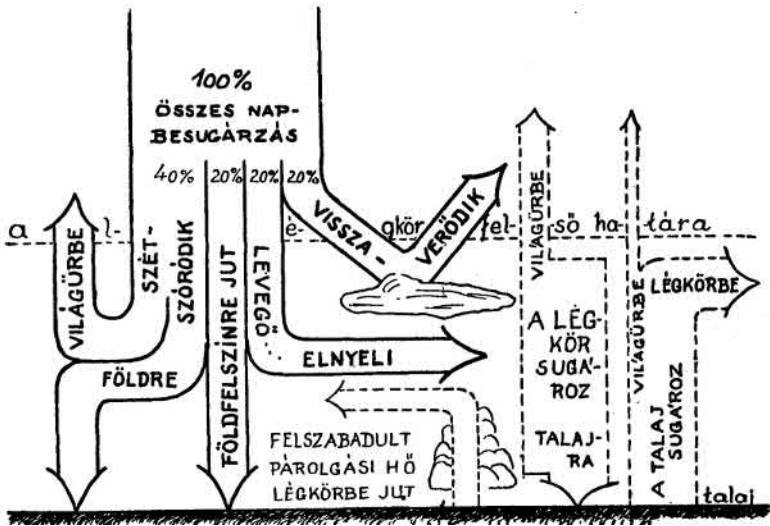
a kevésbé fárasztónál. Ritkábban is járunk hegyre, kevesebb a tapasztalatunk. De a gyakorlott hegyászok sem igen tudnak 5—6000 méternél magasabbra feljutni s ez olyan fáradságba kerül, hogy össze sem lehet hasonlítani az 5—6 kilométeres földi távolságokkal. Így aztán sajnos, nem is lehet szemléletes képünk a légkör magasságairól és a számok üresen hangzanak, amíg csak lassan hozzájuk nem szokunk s mikor például azt a szót halljuk, hogy sztratoszféra, mindjárt hozzákapcsolódik a tíz kilométer magasság, mínusz ötven fokal hideg és az elviselhetetlenül ritka levegő.

A Nap süt

A földi légkörben állandó nyugalanság uralkodik, még a legnyugodtabb időben is óráról-órára változik a levegő állapota. Felmelegszik, lehűl, fúj a szél, hol gyengén, hol erősebben, az égbolt egyszer tiszta, máskor felhős, a felhőkből egyszer esik az eső, máskor nem. Mondanunk sem igen kell, hogy mindannak, ami a levegőben történik, végső elemzésben a Nap az oka. Ha Napunk kiöregedett, hideg égítést lenne, síri nyugalom uralkodnék a földi légkörben, nem tapasztalnánk más mozgást, mint azt a kis árapályt, amit a Hold okoz a levegőben, éppúgy, mint az óceánok vízében. Természetesen most is megvan a Hold és a Nap vonzása által előidézett apály és dagály a légkörben, de ez olyan kicsiny, hogy az egyéb mozgások mellett a legfinomabb mérésekkel sem lehet észrevenni.

Az amit hőenergiának nevezünk, nagyon nyughatatlan valami. A hőnek az a legfőbb tulajdonsága, hogy mindenáron ki akarja egyenlíteni a hőkülönbségeket, mintha az lenne a törekvése, hogy az egész világegyetemben eltüntessen minden hőkülönbséget. Ebben a törekvésében mindig igyekszik a magasabb hőmérsékletű helyről az alacsonyabb hőmérsékletű felé. A hő terjedésének három módja van, a vezetés, áramlás és sugárzás. Vezetés révén terjed a hő a testek belsejében, amikor a meleg részecskéről részecskére megy át, de átvezetődik a hő két test között akkor is, ha egyik melegebb a másiknál s ilyenkor az érintkezés felületén történik a hő átterjedése. Áramlás útján úgy terjed a hő, hogy a folyékony, vagy lég-nemű test egyik pontján felmelegedő anyag áramlani kezd

a hidegebb részek felé, helyét hidegebb anyag foglalja el, az is felmelegszik, s ez mindaddig folytatódik, amíg lehet. így melegszik fel a fazékban levő víz a tűzhelyen. A fazék fenekét felmelegíti a tűz, a fenékkal érintkező vizet felmelegíti a fenék, a melegvíz, mert könnyebb, felszáll s helyét elfoglalja a felül-ről leszálló hidegvíz. Ez az áramlás azonban csak addig tarthat, amíg az egész fazék vize 100° -ra felmelegedett, mert ezen túl nem melegszik a víz, hanem forr és gőzzé párolog el. A hőenergiának azonban nem is kell anyag, hogy terjedni



A Föld hőháztartása

tudjon, sugárzás révén is szétterjed az üres térben is, és a sugárzó hő rendszerint egyáltalán fel sem melegíti azt az anyagot, amelyen áthalad. A hősugarakat csak szilárd, vagy folyékony testek nyelik el, csak azok melegsznek fel a hatására. A Napból sugárzás révén érkezik a hőenergia hozzánk s a napsugarak a levegőt szinte alig melegítik fel, mikor áthaladnak rajta. Ne gondoljuk azonban, hogy csak az izzó, fényes testek sugároznak hőt. Minden sötét testből is jönnek hősugarak, ha a test melegebb, mint környezete.

A Föld hőháztartásának egyetlen számbajövő forrása a napsugárzás. Ha van is belső melege a Földnek, hiszen tudjuk,

hogy átlagban 33 méterenként egy fokkal emelkedik odalenn a hőmérséklet, de a Föld belsejéből nem jön a felszínre annyi hő, hogy tekintetbe kellene vennünk. Hogy a Napból mennyi hőenergiát kapunk, azt ki is számíthatjuk, meg is mérhetjük. Kiszámíthatjuk abból, hogy a csillagászok szerint a Nap felszínének hőmérséklete 5000° , s a Föld 149 millió kilométernyire van tőle. Mind a számítások, mind a sztratoszféra magasságaiban végzett mérések azt mutatják, hogy a földi légkör legfelső határán a napsugarakra merőlegesen tartott 1 cm^2 -nyi felületre percenként kerek számban 2 grammkalóriányi hőt hoznak a napsugarak. (1 grammkalória az a hőmennyiség, amellyel egy gramm vizet egy fokkal felmelegíthetünk.) Ezt a *2 gkal-t* szoláris állandónak nevezik. Nézzük mármint, mi történik ezzel a hőenergiával.

Bizonyos, hogy a légkör felső határáról, ha ez a határ nem is valamilyen meghatározott felület, valami sugárzás vissza is verődik a világűrbe, de a hőenergia zöme akadálytalanul jön át a levegőn. Áthaladtában alig szenvedne veszteséget, ha nem lenne a levegőben vízpára, felhő és por. Ezek a folyékony, vagy szilárd anyagok részben elnyelik, részben szétszórják a napsugarakat, a fényt épúgy, mint a hőt, úgyhogy a Föld felszínére a szoláris állandónak csak 75%-a érkezik le. A föld felszínéről is visszaverődik valami, de túlnyomórészt elnyeli a szilárd föld és a víz s felmelegszik tőle. Magát a levegőt nem közvetlenül a napsugarak melegítik fel, hanem a talajtól vezetés révén kapott hő, vagyis a levegőt a talaj fűti alulról. A felmelegedett talajjal érintkező levegő felmelegszik, könnyebb lesz, felszáll s helyet a még hidegebbnek. Ez a cse^eáramlás a légkör alsó 10 km vastag rétegét keveri össze, de a földfelszín felmelegedése néha egyéb okok miatt csak egy-két kilométer magasságig érezteti hatását. A talajban elnyelt hő azonban másképp is visszaadódik, részben sugárzás alakjában, viszont a levegőben útközben elnyelt hőenergia is végeredményben leérkezik a földre. Amint látjuk, meglehetősen bonyolult a Föld hógazdálkodása s hiába tudjuk pontosan, hogy mennyi hőenergia érkezik a Napról hozzánk, annak további sorsáról szinte lehetetlenség részletesen beszámolni.

Áttekinthetőbb lesz a hőenergia kérdése, ha megpróbáljuk legalább papíroson elkönyvelni, mi történik a légkörhöz

érkező hősugárzással. A szoláris állandóból könnyű kiszámítani, hogy a légkör határára 24 óra alatt 720 grammkalóriányi hő érkezik. Ebből a légkör elnyel 140 gkal-t, szétszóródik a levegőben és visszaverődik a világuűrbe körülbelül 130 gkal, de a légkörben elnyelt és szétszóródott hőből 130 gkal mégis leérkezik a földre mint szórt fény az égboltról. 160 gkal-nyi hő sugárzódik vissza a felhőkről s megy így veszendőbe, úgyhogy végeredményben a talaj négyzetcentiméterére 24 óra alatt mindössze 290 gkal jut, — de ne felejtjük el, hogy átlagban. Mi történik mármost ezzel a hővel? A talaj felszínéről kisugárzódik 100 gkal, úgyhogy a légkör fűtésére mindössze 190 gkal marad, ennyi fordítódik a légkör »üzemben tartására«, vagyis az alsó légrétegek felmelegítésére és a vizek elpárologtatására. Ez a 190 gkal megint csak átlag, még pedig az egész évre, és a Föld egész felületére. Nyilvánvaló, hogy az egyenlítőn és környékén nappal több hőt kap a talaj, mint magasabb szélességi fokokon, a sarkvidékeken pedig a félévig tartó éjszakákon úgyszólván egyáltalán semmi sem érkezik a földre a napsugárzásból, de még nyáron is csak olyan ferdén esnek a napsugarak, hogy nem egy négyzetcentiméternyi, hanem nagyobb területre jut a napi 190 gkal.

Az időjárás jelenségeinek szempontjából nagy jelentősége van annak, hogy a szilárd talaj egészen másképp viselkedik a hőgazdálkodásban mint a tengerfelület. A szilárd tan~j egészen elnyeli a ráeső hőenergiát, de csak nagyon vékony felszíni rétegében raktározza el. Ez a felszíni réteg tehát napközben erősen felmelegszik s közben sok hőt tud leadni a levegőnek. Éjszaka a szárazföld felülete gyorsan is hül le, aminek következtében a legalsó légrétegek hőmérséklete is erőteljesen csökken éjszakánként. A nagy víztömegek ezzel szemben egészen másképp viselkednek. Vízben a sugárzás mélyebbre tud lehatolni, tehát nagyobb mélységig melegíti fel a vizeket, ami természetesen azzal jár, hogy nem tudja annyira felmelegíteni a víz felszínét, mint a szárazföldet. Ebből azután az következik, hogy a vízfelületek napközben jóval kevesebb hőt adhatnak le a levegőnek, mint a szárazföldek, sőt ami hőt leadnak, annak még egy része a víz elpárologtatására fordítódik. Az elpárologtatáshoz ugyanis jelentékeny hőmennyiségre van szükség, egy gramm víz gőzzé változásához 600

gkal-nyi hó kell. Ha tehát a tengerek felett a levegő napközben nem is melegedhet fel annyira, mint a szárazföldeken, éjszaka nem is hűlhet le annyira. A víz felszíne a párolgás és a levegő felmelegítése közben lehűl s mivel a hidegvíz nehezebb a melegebbnél, lesüllyed, s helyét a mélyebb rétegekből jövő melegebb víz foglalja el fokozatosan. Nagy vizek felett nappal és nyáron soha sincs olyan meleg, éjszakánként és télen olyan hideg, mint szárazföldek felett. A hó'gazdálkodásban tehát a szárazföldek tékozlók, a nagy vizek takarékosak. A szárazföld gyorsan felmelegszi és gyorsan leadja a felvett hőt, a vizek lassabban melegsznek fel, elraktározzák a hő'inség idejére, éjszakára és télre. Rendszerint csak a tél végére merülnek ki a tengerek hő'készletei s akkor természetesen a vizek felett van hidegebb. Ez a magyarázata annak, hogy milyen lényeges különbség van tengeri és szárazföldi éghajlat között.

Természetes, hogy a szárazföldön is nagy különbségek lehetnek a hó'gazdálkodásban. Kopár, száraz talaj sokkal erőteljesebben melegszik fel és fűt, s jobban lehűl éjszaka, mint a növényzettel benőtt terület. Ahol növényzet van, ott a talajban felgyülemlett hó egy része párologtatásra is felhasználódik, sivatagokon pedig minden hó a levegőbe áramlik. A szárazföldek felülete rendkívül változatos, érthető tehát, ha aránylag közel fekvő helyek hőmérséklete között is igen jelentékeny különbségeket tapasztalunk.

Ismét más a helyzet, ha hó, vagy jég borítja a földet. A sarki félévi nyár alatt a Nap állandóan süti a hómezőket s ennek az aránylag nagy hőmennyiségnek ellenére a talaj és a levegő alig melegszik fel, mert a besugárzott hőenergia előbb a hó és jég megolvasztására használódik fel s csak ha azok már elolvadtak, jut arra, hogy felmelegedjék a talaj és a levegő. így aztán a központi sarkvidéken nagyon hidegek a nyarak, de télen távolról sincs olyan hideg, mint például Szibéria északkeleti részein, ahol nagy területen -50° a közepes januári hőmérséklet. A szárazföldnek ezen a leghidegebb vidékén azonban nagyon kevés hó esik, a vékony hótakaró tavasszal egy-kettőre elolvad s megkezdődhet az erőteljes nyári felmelegedés. Tekintetbe kell vennünk a hónap, különösen a frissen hullott hónap azt a tulajdonságát, hogy igen erősen sugározza magából a felraktározott hőt. Derült

éjszakákon a friss hótakaró sokkal mélyebbre hül le, mint a felette levő levegő s jobban is hűti azt.

Nem szabad azonban azt gondolnunk, hogy akár a szárazföldön, akár a tengeren a földre sugárzott hő mindig csak a helyszínén használódik fel a levegő fűtésére. Á szárazföldön nagyjában így van, eltekintve attól, hogy a szelek sokszor elviszik a talajtól felmelegedő légtömegeket. A tengereknél azonban másképp is történnek a dolgok. A trópusokon és közeliikben felmelegedett víztömegek hatalmas áramlatokban indulnak el a hidegebb égövek felé s útközben adják le a felraktározott hőenergiákat. Gondoljunk csak a híres Golf-áramra, amely meglepő mértékben enyhíti Nyugat- és Észak-európa éghajlatát, azzal, hogy odahozza az egyenlítő táján magába szedett hőt. Olyan északi szélesség alatt, ahol a Golf-áram hatására Norvégiában még megterem a búza, Északamerikában jégbefagyott a Franklin-expedíció. Természetesen vannak hideg tengeráramok is, melyeknek éppen ellenkező a hatásuk, habár általában inkább csak mérséklék a hőmérsékletkülönbségeket, hiszen a hideg víz mélyebbre süllyed, nem a tenger felszínén áramlik szét, tehát nem is hűtheti le olyan mértékben a levegőt, mint amennyire felmelegíti a meleg áramlatok vize. A Golf-áramlat hatását legjobban mutatja a következő két adat: Thorshaven és Jakuck egyformán az északi szélesség 62-ik fokán fekszik, de Thorshaven a Golf-árammal körüljárt Farøe-szigeteken, Jakuck pedig Északkeletszibériában. A január havi közepes hőmérséklet Thorshavenben 3.2° , Jakuckban $-49'9^{\circ}$, a közepes júliusi hőmérséklet Thorshavenben $10^{\#}8^{\circ}$, Jakuckban $18'8^{\circ}$. Télen tehát Thorshavenben 46 fokkal van melegebb mint Jakuckban, ahol nincsen óceáni melegvízfűtés, mely ellensúlyozza a téli lehüléseket. Nyáron viszont Szibériában van jóval melegebb, mert a szárazföld gyorsabban és erőteljesebben melegszik fel a napsugaraktól, mint az óceán felszíne, így aztán Thorshavenben júliusban csak 7.2° -kal van melegebb mint januárban, Jakuckban viszont 62° -kal.

Annyiszor volt már szó hőmérsékletről, hogy illenék valamit azzal is törődnünk, hogyan mérik. Természetesen hőmérővel, helyesebben: a hőmérőnek nevezett hőmérsékletmérővel, hiszen hőmérsékletet mérünk vele, nem hőt, vagyis hőenergiát. Általában a higanyhőmérőt használják, melyben

a vékony higanyszál kiterjedésének mértéke jelzi a hőfokot. Ma már csak csökönys maradiak használnak más fokbeosztást, mint a Celziusz-félet, melynél 0° -únak vesszük az olvadó jég hőmérsékletét, 100° -nak a forrásban levő vizét. A meteorológusok olyan hőmérőket használnak, amelyekben tizedfokokat is le lehet olvasni. Mikor a levegő hőmérsékletéről beszélünk, ügyelnünk kell arra, hogy csakugyan a levegő hőmérsékletét mérjük, s ez meglehetősen nehéz feladat. Ha rásüt a Nap a hőmérő higanyára, természetesen szédülten szalad fölfelé s egyáltalán nem a levegő hőfokát mutatja, hanem a saját felmelegedését a napsugarak hatására. Igaz, a hőmérő mindenkor a saját higanyának hőmérsékletét mutatja, de gondoskodhatunk arról, hogy a higany felvegye a levegő hőmérsékletét, azzal, hogy megóvjuk a közvetlen napsütéstől, sőt minden közvetlen sugárzástól. A meteorológusok külön a hőmérés céljába készült redőnyös házikóban helyezik el a hőmérőt, hogy védve legyen a Nap sugárzásától és a környezet által visszavert sugárzástól, valamint az esőtől és a redőnyök nyílásai biztosítják, hogy a levegő teljesen átjárja a hőmérő közvetlen környezetét.

A hőmérséklet szabályosan változik a nap folyamán. Éjjel legalacsonyabb, nappal emelkedik, déltájt eléri legmagasabb értékét s aztán süllyed. Ha meg akarjuk ismerni a hőmérséklet napi változását, tulajdonképpen állandóan nézni kellene a higanyszálat s jegyezni a fokokat. Be felesleges lenne minden meteorológiai hőmérő mellé odaállítani éjjel-nappal egy-egy megfigyelőt, mert, mint kiderült, teljességgel elegendő naponta háromszor mérni a hőmérsékletet és pedig reggel 7, délben 14, este 21 órakor. Ha ugyanis ebből a három leolvasásból számítjuk ki a napi közepes hőmérsékletet, csaknem hajszálnyira ugyanazt az értéket kapjuk, mintha minden órában leolvasnánk s abból számítanánk ki a középértéket. Általában a középérték nem valami értékes adat az időjárásban, de hasznos, mert röviden és egyszerűen tájékoztat az egész nap hőmérsékleti viszonyairól. Régente a meteorológusok szinte mániákusan »közepeltek«, de ma már nem tulajdonítanak különösebb fontosságot annak, hogy hosszabb időszakok, hónapok, egy egész év közepes hőmérsékletét minél pontosabb átlagban megmondhassuk. A napi közepek rendszerint csak néhány fokkal térnek el egymástól, de például a

január havi középhőmérséklet 1937-ben $+11^{\circ}$ volt, 1935-ben -2° , kétségtelen tehát, hogy egyik adat sem jellemzi lényegében a januári hőmérsékletet.

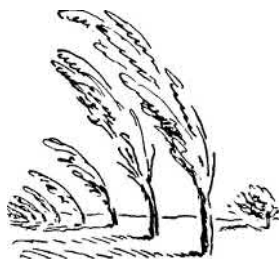
Mivel a levegőt közvetlenül a föld melegíti fel, nyilvánvaló, hogy a hőmérséklet csökken a magassággal. Ezt ősidőktől fogva tudja az ember, hiszen látta, hogy a magas hegyek ormait nyáron is hó borítja, még az egyenlítő környékén is. Nagyjában fél fokkal csökken a levegő hőmérséklete minden 100 m-nyi emelkedésnél, télen általában valamivel kevesebb, így tehát még hőmérővel is lehet magasságot mérni, ha egyszerre mérjük a hőmérsékletet lenn a földön és a magasban, csak elég bizonytalan lesz az eredmény, mert a hőcsökkenés nem olyan szabályos, mint a légnyomásé. Néha az is előfordul, hogy a levegő alacsonyabban fekvő rétegei hidegbbek, mint a magasabbak, leginkább akkor, ha a mélyebben fekvő területeket alacsony felhő, vagy köd borítja, a magasabb hegyek pedig kiállnak a felhőből és melegítő napsütést kapnak, esetleg meleg légáramlást. Példa erre 1914. február 7-ike, amely nap délután 14 órakor a budai Meteorológiai Intézet hőmérője $-7'2^{\circ}$ -ot mutatott, ugyanakkor a Jánoshegyen, 400 m-rel magasabban $+1'1^{\circ}$ volt a hőmérséklet, tehát több mint 8 fokkal több. A szabály szerint 2° -kal kevesebbnek kellett volna lennie. A főváros felett sűrű köd volt, a Jánoshegyen ragyogó napsütés.

A Naptól jött hőenergiát a talaj közvetíti a levegőnek, tehát érdekes megfigyelni a talaj hőmérsékletét is. Minden meteorológiai intézet rendszeresen méri is a talaj hőmérsékletét, még pedig több mélységben. A mérések nagyon érdekes tapasztalatokra vezettek. Először is kiderült, hogy a talajhőmérséklet napi változása a mélyebb rétegek felé fokozatosan késik és fokozatosan kisebb is. A levegő hőmérséklete a kora délutáni órákban éri el mindennap a maximumát, de már egy méter mélységben is csak estére jelentkezik a legmagasabb hőmérséklet, a hajnali legkisebb pedig déltájban. A magyarázat kézenfekvő, hiszen a hő vezetés útján terjed lefelé és ehhez idő kell. Második fontos megállapítás az, hogy a hőmérséklet napi ingadozása alig érzik meg már egy méter mélységben is. Egy méter mélyen már nem mutatható ki a nappali felmelegedés és az éjszakai lehülés közti különbség, csak az évszaknak megfelelő hőmérsékletváltozás van meg.

Ez is jó nagy késéssel következik be. így például Budapesten 4 m mélységben csak októberben következik be a legmagasabb hőmérséklet, 13—14°, a legalacsonyabb májusban, 6—7°, tehát az egész évi ingadozás mindössze 7—8°, míg a levegő hőmérsékletében 70 fokos különbségek is előfordulnak tél és nyár között.

A talaj hőmérséklete főképen a napsugárzás tartamától és erősségétől függ, valamint a levegő hőmérsékletétől, de függ még a talaj minőségétől, színétől, anyagától, állapotától. A gránit például jó hővezető, ezért a sugárzásból kapott hő nem melegíti fel gyorsan és erősen, mert a hő tovább terjed a mélyebb rétegekbe. Éppen ezért a lehülés is lassúbb, mert a jó hővezető mélyebb rétegekből gyorsan pótlódik a kisugárzott hő. A homok viszont laza szerkezetű, sok levegő van a szemcsék között s emiatt rosszul vezeti a hőt. A felmelegedés igen lassan terjed a homokban lefelé, amiért a napsugárzásnak kitett felszín vékony rétege gyorsan és nagyon felmelegszik, 50—60°-ra is, de néhány centiméternyi mélyen 10—20 fokkal hidegebb marad a homok. Amilyen gyorsan és erőteljesen melegszik fel a napsütésben a homok, olyan gyorsan és erősen hűl is le éjszaka, mert nincs a mélyebb rétegekben tárolt melegkészlete. A nedves talajban a kapott hő egy része a víz elpárolgotatására fordítódik, tehát kevesebb jut a talaj felmelegítésére! Kevésbé melegszik fel a növényzettel borított talaj is. A sötétszínű talaj több hőt nyel el, a világos többet ver vissza. A talaj különböző felmelegedésének azonban nincs sok szerepe a légkör hőmérsékletére, mert hatása csak a legalsó, legfeljebb másfél méteres légrétegben érezhető.

Fúj a szél



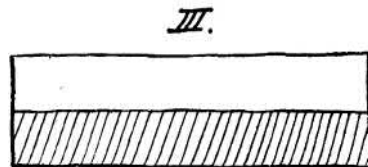
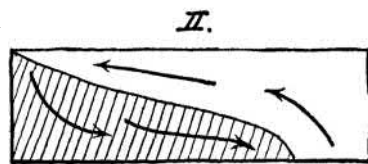
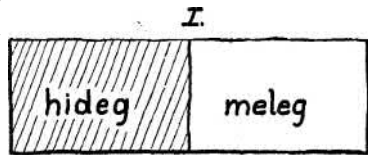
A szél mozgó levegőtömeg, s mindenütt keletkezhet, ahol szomszédos légtömegek különböző mértékben melegednek fel. Pontosan meg lehet ezt figyelni tengerpartokon. Reggel teljes nyugalom uralkodik a parton, a tenger csendes és nyugodt, alig érezni kis szellőt. A Nap emelke-

dik, a szárazföldet gyorsabban melegíti fel, mint a vizet s nyilvánvaló, hogy odakünn, a tenger felett a levegő hűvösebb marad, mint a szárazföld felett. A melegebb levegő felszáll magasabbra sa helyét természetesenél kell foglalnia valaminek. A tenger felől megindul a hűvös levegő a part felé. Ez a tengeri szél, mely rendszerint egész napon át fúj és hűssé teszi a part környékét. Éjszakára aztán megfordul a helyzet. A szárazföld gyorsabban hűl le, mint a tenger s most künn a tengeren van melegebb, ott kezd felszállni a melegebb, ritkább levegő, tehát elkezd a szárazföld felől fújni a hűvös szél a tenger felé. Ez a legegyszerűbb esete a légkörben előforduló zavaroknak, vagyis a föld felszínének közelében hidegebb helyről melegebb felé áramlik a levegő.

Ezt az egyszerű folyamatot könnyen megfigyelhetjük, ha kinyitjuk az ajtót egy fűtött és egy fűtetlen szoba között.

Kezünkben egy égő gyertyát tartva, az ajtóban állva pontosan megállapíthatjuk, hogy lenn a hideg szobából áramlik a levegő a melegbe, fenn pedig a melegből a hidegbe.

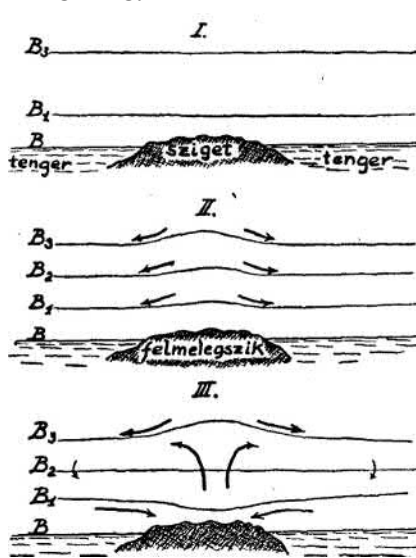
Ábrázoljuk rajzban vázlatosan a folyamatot. Az I-es állapotban el van választva a kétféle levegő, rajzunkon az árnyékolt rész jelenti a hidegebbet. A természetben nyilván nincs szó ilyen pontos választófalról, de ez amúgy is csak az első pillanatban számít. II. rajzon azt látjuk, hogy megindult az áramlás, a hideg levegő alul benyomul a meleg alá, a meleg pedig fenn átáramlik a hideg fölé, s elfoglalja annak a levegőnek a helyét, amely lenn elfolyt a meleg irányában. A kétféle levegőt most már vízszintes vonal választja el egymástól, alul van a hideg, aztán feljebb egyszerre következik a meleg réteg, mint a III. rajzon látjuk. Amikor a határfelület vízszintes lesz, nincs több áramlás. A tenger-



parti példára gondolva nem szabad megfeledkeznünk arról, hogy a szárazföld fölé nyomult hideg levegő rögtön kezd melegezni, felszállni, tehát a leírt folyamat állandóan tart, amíg napnyugta felé a szárazföld is kezd lehűlni s nem tudja erőteljesen felmelegíteni maga felett a levegőt.

Nézzük mármost, hogy mi van a légnyomással. Tegyük fel, hogy a kezdeti állapotban az egymás mellett levő meleg és hideg levegőtömeg felett ugyanakkora a légnyomás. A talajnál azonban a nehezebb hideg levegőben nagyobbnak kell lennie a légnyomásnak, mint a meleg rész alján, hiszen a meleg levegő ritkább és könnyebb. Ha beállt a nyugalmi helyzet, ez a nyomáskülönbség eltűnik, mindkét helyen egyforma lesz a nyomás a talaj mentén is, kisebb, mint volt a hideg, nagyobb, mint volt a meleg légtömegek alján. A

különbség azonban valamivel kisebb lesz, mint amekkora volt kezdetben külön a hideg és külön a meleg részen. Ez az egyszerű eset nyilvánvalóvá teszi a meteorológiának azt a fontos tapasztalatát, hogy a levegőtömegek mozgása nyomásváltozásokat hoz létre. Ott, ahol a hideg levegő egy részét meleg pótolja, kisebbedik a nyomás a talaj mentén, viszont emelkedik, ahol a meleg levegő alá hideg nyomul be.

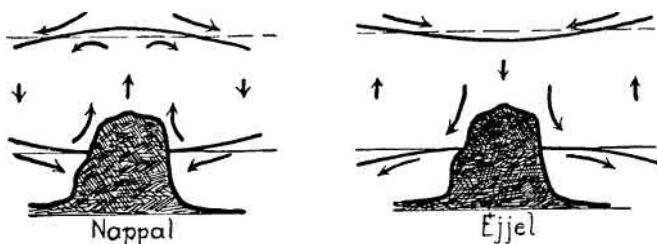


Nézzük azonban részletesebben a különféle hőmérsékletű levegők kicserélődését a valóságban. Vegyünk egy szigetet, melyet tenger vesz körül. Az I. rajz a hajnali állapotot mutatja, mikor nincs hőmérsékletkülönbség a tenger és a szárazföld felett levő levegőben és a légnyomás ugyanaz az egész területen. Nevezzük B-nek, a föld felszínén mérve. A földtől számított egyforma magasságokban is ugyanakkora mindenütt a légnyomás, mondjuk a három vízszintes egyenes

mentén rendre B_1 , B_2 , B_3 . Ezek a vízszintes egyenesek az egyforma nyomású pontokat kötik össze, a valóságban természetesen nem vonalról van szó, hanem felületről, tehát az egyenesek a síkok metszetét jelentik. Az egyenlő légnyomású felületeket a meteorológusok *izobár* felületeknek nevezik s ezt a szót jó megjegyezni, mert sokszor fordul elő. Mondjuk tehát szakszerűen: az I-es állapotban az izobár felületek párhuzamosak a föld felszínével és egymás között. Felkelt a Nap és sütni kezd. A tengert nem nagyon melegíti, de a sziget földjét annál erőteljesebben és a talaj tovább adja a meleget a fölötte levő levegőnek, mely a felmelegedésre kitágul, felfelé törekedve. Ez a kitágulás nem változtatja meg a levegő tömegét, csak sűrűségét, tehát a talaj mentén ugyanakkora marad a légnyomás, a vízen épűgy, mint a szárazon. A sziget felett azonban a magasban emelkednie kell a nyomásnak, amit könnyen beláthatunk a rajzot szemlélve. Az izobárok felfelé kipúposodtak, alulról levegő szállt felfelé, tehát például a régi B_3 izobár magasságában nézve, az eredeti magasság felett több a levegő, hiszen alulról még jött hozzá a felszálló meleg levegő is. Mennél erőteljesebb a szárazföld melegedése, vagyis mennél több meleg levegő száll fel, annál nagyobb lesz a nyomás a magasabb rétegekben, mint ugyanolyan magasan künn a tenger felett, ahol nem történt semmi sem. Izobárokkal ábrázolva azt látjuk, hogy a vonalak kipúposodtak a sziget felett, ugyanaz a légnyomás most magasabban van, mint eredetileg és mint a tenger felett. Fenn a magasban a sziget felett elkezd a levegő szétáramlani a tenger felé, minden irányban, a nyilak szerint s ennek következménye lesz az, amit a III. rajzon látunk. Ahol fenn a magasban szétmegy a levegő, ott csökkennie kell a légnyomásnak, hiszen kevesebb lesz a hely felett a levegő mennyisége. A sziget felszínén tehát süllyed a légnyomás, miközben a tengeren növekszik, hiszen fenn a magasban még több levegő jön föléje. A nyomáskülönbségnek aztán csak az lehet a következménye, hogy a tenger felől köröskörül megindul a légáramlás a sziget felé. A tengeri szél tehát csak akkor indul meg, mikor a szárazföld fölött elkezdett szétáramlani a magasba jutott meleg levegő. A parton strandolok csak azt érzik, hogy a tenger felől jön a hűvös szél, s nem tudják, hogy ez a szél csak egyik része a valóságos légáramlásnak, amely szabályos körfolyamat. A

sziget felett felszáll a levegő, fenn szétáramlik a tenger felé, a tenger felett leszálló légáramlás van, a tenger felől az alsó rétegekben pedig a sziget felé áramlik a levegő. Ha megszűnik a szárazföld fűtő működése, megáll a szigeten a felfelé való áramlás és ezzel megszűnik a tengeri szél is. Éjszaka aztán fordítva történik az egész s ezt nem is kell részletesen végigkísérnünk. Ne felejtjük el ezt az egyszerű példát, mert az időjárás tüneményeinek megértésénél fontos tudnunk, hogy nemcsak közönséges értelemben vett szelek vannak, hanem *felszálló* és *leszálló* légáramlások is és nagyon sokszor ezek hatása fontosabb, mint a talajmenti szélé.

Ami a tengerpartokon és a szigeteken történik, ugyanazt megtaláljuk a hegyeken is hegyi szél és völgyi szél alakjában, meit ott is más a felmelegedés fenn a hegyen és lenn a völ-

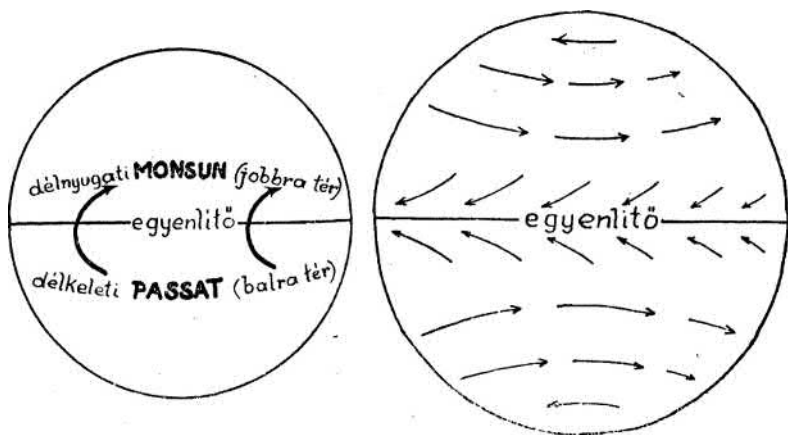


gyön. Mindkét esetben azonban csak akkor megy ilyen szép szabályosan a dolog, ha nyugodt, szép idő van és minden csak a napsütés okozta szabályos felmelegedéstől függ. Ha csúnya az idő, borult, amúgy is szeles, akkor aztán olyan bonyolulttá válik minden, hogy nagyon nehéz a megfigyelésből szabályosságokat megállapítani.

Hőmérsékletingadozások azonban nemcsak naponta vannak, hanem évszakoktól függően is. Az év folyamán nagyban is bekövetkezik a felmelegedéskülönbség a tenger és szárazföld között. Nyáron a nagy kiterjedésű kontinensek erősen felmelegszenek, tehát nyáron általában csökken a légnyomás a szárazföldek felett s ugyanakkor nő az óceánok felett. Nyáron tehát a magasban állandó áramlásnak kell lennie a tenger felé, a talaj mentén pedig a tengerek felől a szárazföldekre. Ezt a nagyszabású légáramlást nevezik *nyári*

monszunnak. Mondanunk sem kell, hogy miért van télen éppen ellenkezően, s hogy ennek következtében a talaj közelében a szárazföld felől fúj a szél az óceánok felé s ez a *téli monszun*. A két monszun a Föld némely helyén különösen szabályosan alakítja az időjárását. Indiában például a nyári és téli monszun pontosan két részre választja az esztendő időjárását. A nyári, tengeri monszun állandó esős időt jelent, a téli, szárazföldi monszun száraz időt. A szárazföldi monszunt mi is sokszor megszenvedjük, mert a néha februárban beálló kellemetlen hideg időt az európai téli monszun okozza, mely Szibéria felől száraz és hideg levegőt hoz. Magától értetődik, hogy a talajmenti monszunokkal párhuzamosan a magas lég rétegekben ellenkező irányú légáramlásoknak kell lenniök[^], melyek nyáron a szárazföld felől szállítják a levegőt az óceánok fölé, télen az óceánok felől a szárazföldek fölé.

Arra gondolva, hogy minden különbség a felmelegedésben légáramlást jelent, önkénytelenül felmerül az a kérdés, hogy az egyenlítő környékének erős állandó felmelegedése az északi és déli féltekék mérsékeltbb égőveinek enyhébb hőmérsékletéhez képest milyen mozgásokat hoz létre a légkörben. Kétségtelen, hogy egész éven át jelentékeny hőmérsékletkülönbség van az egyenlítői és a sarki vidékek között, aminek nyilván az lenne a logikus következménye, hogy a sarkok felől állandóan jön a talaj mentén a hideg levegő, a magasban pedig állandóan fúj észak felé a meleg szél. Az állandóan különböző hőmérsékletű légtömegeknek ez a folytonos kicserélődése valóban megvan a trópusi és sarki vidékek között, de nem ilyen egyszerűen, vagyis az egyenlítő felé nem pontosan északi szél fúj egész éven át a talaj mentén. A levegő szabályos kicserélődésébe beleszól ugyanis a Föld forgása¹, amelynek következtében az északról meginduló szél útközben északkeletivé változik, a déli sark felől meginduló pedig délkeletivé. Könnyű belátni ennek az okát. A Föld forgássebessége az egyenlítőnél a legnagyobb, a sarkok felé fokozatosan csökken, hiszen magán az északi és déli sarkon semmiben sem nyilvánul meg a forgás. Ha tehát egy légtömeg megindul a sarkok felé, olyan helyeken halad át, amelyek közben nagyobb fordulatot vesznek el alatta, mint az a hely, ahonnan elindultak. A Föld nyugatról keletre forog tengelye körül, tehát az észak, vagy dél felől meginduló szél



nyugat felé tér el, vagyis az északi félgömbön északkeletivé lesz, a délin délkeletivé.

Ezeket az egyenlítő felé tartó szeleket *passzátszeleknek* nevezik, az északi félgömbön északkeleti passzátok fújnak, a délin délkeletiek. A magasban uralkodó ellenkező irányú szelek neve *antipasszát*. Az az érdekes mármint, hogy ezek a passzátszelek csak a 30—35-ik szélességi fokokig figyelhetők meg, vagyis az antipasszát nem jut el a sarkokig, az északi és déli szélesség 30—35°-a táján leszálló áramlással újból a Föld felszínére ér le. Itt ugyanis az áramlás »medre« össze-szűkül már s a torlódás lekényszeríti a légáramlást a földre. Az összeszűkülés nyilván emeli a légnyomást s a kellően magas légnyomás felől meg kell indulnia az áramlásnak az alacsonyabb irányba. A passzát és antipasszát szelek az egyenlítőnél felszálló és a 30—35 szélességi fokoknál leszálló légáramlással együtt teljes köráramlást jelentenek, amely állandóan cseréli a levegőt az egyenlítő és a 35 szélességi fok között.

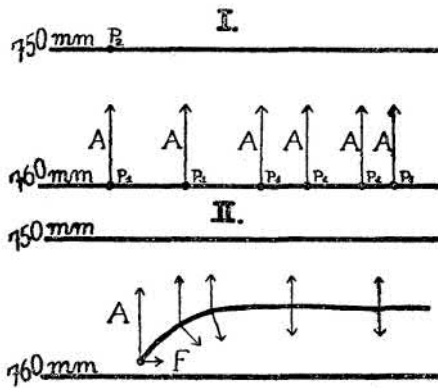
A közepes és magasabb szélességen általában nyugati légáramlás uralkodik, amely részben a talaj mentén dél-nyugati, a magasban északnyugati áramlássá módosul s nagyjában ez cseréli a sarki és a mérsékelt égövek levegőjét. A passzát és antipasszát szelek nagyon szabályosak, a tengerészek ősidőktől fogva ismerik és kihasználják őket. Jól ismerik az egyenlítő keskeny sávján tapasztalható szélcsendes övet is, tudniillik ahol a déli és az északi passzát találko-

zik, a levegő nyugalomba kerül és legfeljebb gyenge, változó irányú helyi szellők vannak. Ezt a szélcsendövet a hajósok *doldrumnak* nevezik. Magától értetődik, hogy a passzát és monszun szelek függetlenek egymástól, tehát hatásuk a helyi viszonyok szerint összegeződik. A passzát - antipasszát köráramlás és a monszun-szélrendszer egyik helyen erősíti egymást, másutt gyengíti, esetleg teljesen megsemmisíti, úgyhogy a kétféle szél néhol nagyon feltűnően jelentkezik, néhol elmosódottan, szinte alig észrevehetően, így például a felmelegedett ázsiai szárazföld nyáron nagy erővel szívja magához a déli tengerek hűvösebb levegőjét s ezért a déli félteke délkeleti passzát ja áthalad az egyenlítőn és átmegy Ázsia délnyugat irányból jövő nyári monszunjává.

A közepes és magasabb szélességi fokok szeleinek már nincs sok közül a passzát- és monszun-rendszerekhez. Itt már egészen rendszertelennek látszó változatosságot tapasztalunk, habár természetesen itt is érvényes az a törvény, hogy a levegő a magasabb nyomás felől áramlik az alacsonyabb nyomás felé. A különbség az, hogy nincsenek olyan helyhez kötött maximumok és minimumok, mint azok, amelyek a passzát- és a monszun-rendszereket szolgáltatják. A közepes és magasabb szélességeken is ugyanaz a fizikai törvény érvényes, a levegőtömegek kicserélődnek a magasabb és alacsonyabb légnyomású területek között, de az ilyen magasnyomású, vagy alacsonynyomású középpontok kialakulása nem olyan szabályos és ha már kialakultak, akkor eltolódnak, vándorolnak, sok ezer kilométernyi utat tesznek meg s közben szakadatlanul változó légáramlatokat idéznek elő. Ez a magyarázata a mérsékelt égövek oly változékony időjárásának. Rövid időközökben váltják fel egymást a sarkvidékekről származó légtömegek a trópusokról eredőkkel, anélkül, hogy az áramlások, a szelek irányából következtetni lehetne arra, hogy honnan jönnek, mert útközben meglepő mértékben tudnak eltérni eredeti irányuktól.

Az időjárásváltozások szeszélyes fordulatai alaposan megnehezítették a tudomány számára az időjárás törvényeinek kutatását. Hogy nagyjában megérthessük a meteorológusok mindennapi munkáját, legjobb lesz kiindulni a legegyszerűbb esetből és megpróbálni alkalmazni fizikai tudásunkat a légkör alaptüneményeire. Vegyünk egy közönséges

nyomáskülönbséget, rajzunkon két egyenes ábrázol két izobárt, az egyik mentén 760 mm a légnyomás, a másik mentén 750 mm. A magasabb nyomású izobár egyik pontja legyen P_2 , az alacsonyabbé P_a . A légáramlások alaptörvénye szerint a nyomáskülönbségnek az a következménye, hogy a magasabb nyomású helyről megindul a légáramlás az alacsonyabb nyomású felé, vagyis azt kellene várnunk, hogy akárhol választottuk a P_j pontot a 760-as izobár mentén, mindenünnen egyenest kellene fújnia a szélnek a szemben fekvő P_2 pont felé. Szabatosabban megfogalmazva a helyzetet, a két izobár között minden pontban hat a levegőre bizonyos erő, melynek

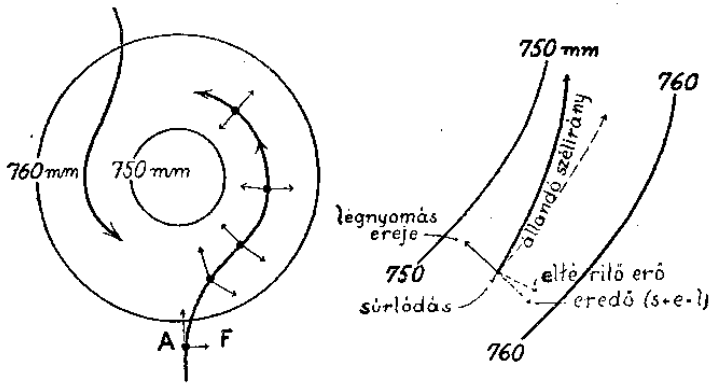


iránya az alacsonyabb légnyomás felé mutat. Rajzunkon az A nyilak ábrázolják ezeket az erőket. Az A erők természetesen mindenütt merőlegesek az izobárokra. Ha nem játszana közbe semmiféle más erő, akkor roppant egyszerűen menne a különböző nyomású légtömegek kicserélődése. Az egész 760-as izobár felől megindulna a talaj mentén a szél egyenest a 750-es felé, fenn a magasban pedig ellenkező irányban tartana addig, amíg a nyomáskülönbségek kiegyenlítődték. Közbeszól azonban a Föld forgásából származó eltérítő erő. Mihelyt megindul egy levegőrészecske valamelyik P , pontról az A erő hatására, amely erő gyorsuló mozgással vinné a részecskéket P_2 -be, működni kezd a Föld forgásából származó erő, amely mindenkor merőlegesen hat a pillanatnyi mozgás irányára nálunk, az északi féltéken jobb felé igyekszik eltéríteni az áramlatot. Rajzunkon F betűvel jelöltük ezt az

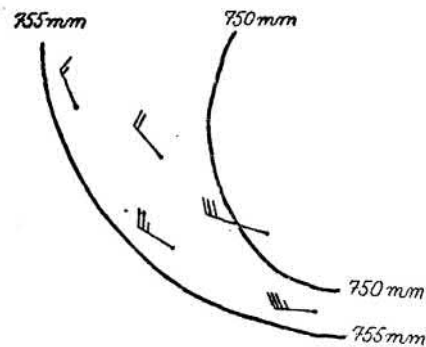
eltérítő erőt, amelyről még tudnunk kell, hogy annál nagyobb, mennél nagyobb a részecske sebessége. A légrészecskék tehát nem követhetik egyenest a nyomáskülönbség felé útjukat, hanem jobbra kanyarodnak el, az F erőknek is engedelmeskedve. A légnomáskülönbségből eredő A erők iránya mindvégig ugyanaz marad, az F erőké azonban állandóan változik a részecske útján, hiszen mindenkor merőleges annak pályájára. Erők hatására mindenkor gyorsuló mozgás következik be, tehát a Pj-ből elindult levegőrészecske gyorsuló mozgással megy a rajzon vastagon kihúzott görbe pályán mindaddig, amíg a rája ható két erő egyforma nem lesz, hiszen az eltérítő erő növekszik a részecske sebességével s így bizonyos határig nő. Mihelyt egyenlő lett az A és az F erő, a mozgásban lévő levegőrészecskére minden erő hatása megszűnik s a Newton-féle első mozgástörvény értelmében egyenletes sebességgel, egyenes irányban folytatja útját.

Egészen meglepő dolog következett be tehát: a szél a két izobár között fúj, párhuzamosan velük, vagyis egyáltalán nem úgy, ahogyan várnók. A valóságban mármost az izobárok nem szoktak egyenes vonalak lenni, hanem görbék, még hozzá zárt görbék. Egyszerűsítsük le ezt az esetet is úgy, hogy köralakúnak vesszük őket. Az előbbi meggondolás alapján nyilvánvalónak kell találnunk, hogy a légáramlás a két izobár-vonal között, velük párhuzamosan halad. Gondolatmenetünkben nem volt hiba, csak megfejelteztünk valamiről. A mozgásban lévő légtömegekre a nyomáskülönbségből és a földforgásból eredő erőkön kívül hat még egy erő, a súrlódás, mely egyrészt a szél és a talaj között lép fel, de jelentkezik a levegő egyes részecskéi között is. Minden súrlódásnak az a törekvése, hogy csökkentse a sebességeket, aminek itt az lesz a következménye, hogy a légrészecskék útja mégsem lesz párhuzamos az izobárokkal, hanem fokozatosan közeledik az alacsonyabb izobár felé.

Most már eleget tudunk ahhoz, hogy még egy lépéssel tovább haladjunk, s megvizsgáljuk a szelek eloszlását, ha bonyolultabb nyomáskülönbségek vannak. Előbb azonban emlékeztetünk néhány magától értetődő dologra. A szél erősségének annál nagyobboknak kell lennie, mennél nagyobb a nyomáskülönbség és mennél sűrűbben vannak az izobárvonalak, hiszen nyilvánvaló, hogy ha például 50 km-nyire



van egymástól a 760-as és a 750-es légnyomás vonala, nagyobb a kiegyenlítésre igyekvő erő, mintha a két nyomás 100 km-nyire lenne egymástól. A légnyomásváltozás mértékét a meteorológusok úgy szokták röviden kifejezni, hogy kiszámítják, hány milliméternyi nyomásváltozás esik 111 km-re. (Ez a 111 km egy fok hosszúsága a Föld felszínén.) Az így kapott nyomáskülönbséget nevezik *gradiensnek*. Ha a gradiens például 7, ez azt jelenti, hogy 111 km-nyi távolságon 7 mm-rel csökken vagy nő a légnyomás.



Nézzünk most már két olyan izobárdarabot, amely nem párhuzamos, hogy egy lépéssel megint közeledjünk a valósághoz, hiszen a természetben nagyon ritkán fordul elő, hogy az izobárok egyenesek, vagy szabályos körök. Rajzunkon a 755-ös és 750-es izobárok egy-egy darabját látjuk, amelyek nem egyforma távolságban vannak egymástól. Ott, ahol a legközelebb vannak, legnagyobb a gradiens és természetesen legerősebb a szél. Az időjárást ábrázoló térképeken a szél irányát nyilakkal jelölik, a szél erősségét pedig a nyíl végére

Nézzünk most már két olyan izobárdarabot, amely nem párhuzamos, hogy egy lépéssel megint közeledjünk a valósághoz, hiszen a természetben nagyon ritkán fordul elő, hogy az izobárok egyenesek, vagy szabályos körök. Rajzunkon a 755-ös és 750-es izobárok egy-egy darabját látjuk, amelyek nem

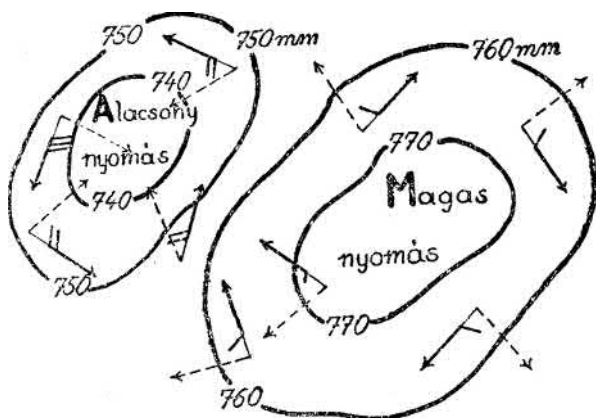
rajzolt apró vonásokkal, A szélereősséget egy általánosan elfogadott skála szerint adják meg, melyben a szélcsend 0, a legnagyobb orkán 12 fok erősségű. A 12-es szelet 6 kis vonás jelzi, tehát egy vonás két fokot jelent, a közbeeső fokokat fél vonásokkal jelzik. 7-es szél tehát 3 és fél vonás.

Közbevetően érdekes lesz részletesebben megismerkedni a szélereősségekkel s ezért a következő kis táblázatban megadjuk a szélereősség egyes fokai mellett a szélesebességet és azt a nyomást, amit az illető szél egy négyzetméternyi felületre gyakorol, kilogrammokban.

Szélereősség fok	Szélesebesség m/mp	Szélnyomás kg/m
1	0.6—1.7	0.03—0.2
2	1.8—3.3	0.3—0.8
3	3.4—5.2	0.9—2.2
4	5.3—7.4	2.3—4.4
5	7.5—9.8	4.5—7.7
5	9.9—12.4	7.8—12.3
7	12.5—15.2	12.4—18.6
8	15.2—18.2	18.7—26.6
9	18.3—21.5	26.7—37.1
10	21.6—25.1	37.2—50.6
11	25.2—29.0	50.7—67.3
12	29-nél nagyobb	67.3-nál több

Ha nagyobb területről megkaptuk a megfigyelt légnyomásadatokat, még ha nincsenek is rendelkezésünkre a szélre vonatkozó megfigyelések, elég megrajzolni az izobárokat és minden pontról tudjuk, hogy ott milyen szélnek kell lennie. De fordítva is, ha csupa szélmegfigyeléseket kapunk, berajzolva a térképbe a szélzászlócskákát, egészen pontosan megszerkeszthetjük a légnyomás eloszlását, az izobárokat, természetesen csak akkor, ha különleges helyi viszonyok nem szólnak bele döntően a szél irányába, hiszen például szűk völgyben csak kétféle irányú lehet a szél. A légnyomás eloszlása rendkívül fontos az időjárás vizsgálatánál, mert nem csupán a szelek iránya és erőssége függ tőle, hanem szoros összefüggésben van vele a hőmérséklet alakulása, a felhőképződés és a csapadék kérdése is.

Szerkesszünk meg most egy csaknem rendes időjárás-térképet, illetve annak egy részletét. Két részre oszlik a rajz, amint látjuk, egyik helyen magas a légnyomás, a 770-es izobár zárt görbe, a másik helyen alacsony nyomásközéppont



van, 740-es izobár. A 760-as a magasnyomást veszi még körül, a 750-es már az alacsony. Ilyen helyzet számtalanszor fordul elő Európa időjárásában. A két nyomásterület között természetesen meg kell indulnia a levegő kicserélődésének a talaj mentén. Ha a szelek egyenesen az alacsonyabb nyomás felé tartanának, akkor az egyes pontokban olyan irányban fújnának, amelyet a pontozott nyilak mutatnak. Tudjuk azonban, hogy nem így van, a szelek iránya jobbra tér el a nyomásgradiens adta iránytól. Ezeket az irányokat mutatják a kihúzott nyilak, rajtuk a szélerősséget jelző zászlócskákkal. Azt is látjuk, hogy a szél erőssége hogyan függ a gradiensek változó nagyságától, azaz az izobárok távolságától.

A rajzból két érdekes dolgot olvashatunk ki. Az egyik az, hogy mind az alacsony, mind a magasnyomású terület körül a földforgás eltérítő hatására örvényszerű légmozgás alakul ki, még pedig úgy, hogy a magas nyomás körül az óramutató járásával egyező irányban, az alacsony nyomás körül ellenkező irányban. Második megállapításunk az, hogy a magasnyomású középponttól minden irányban kifelé áramlik a levegő, az alacsony nyomásába pedig minden irányból befelé, viszont mindkét terület középpontjában legfeljebb csak nagyon gyenge légáramlás van.

Ha több napon át figyeljük az időjárástérképeken az ilyen magas- és alacsonynyomású területek izobárjait, legtöbbször azt vesszük észre, hogy bármilyen kitartóan áramlik is a levegő az alacsony nyomás felé, a légnyomás mégsem

emelkedik ott és ugyanúgy, bármennyi levegő áramlik is szét a magas nyomásból, a légnyomás mégsem csökken. Ez természetesen csak úgy lehetséges, hogy az alacsony nyomásnál a magasban kimegy a levegő, a magasnál pedig a magasból pótlódik. Tovább aztán nyilvánvaló, hogy mindkét helyen *függőleges irányú* áramlásnak kell lennie, hogy ez így legyen, vagyis az alacsony nyomásban felfelé irányuló légáramlásnak kell lennie, a magasban leszállónak. A fel- és leszálló légáramlásokról azonban nem kell azt hinnünk, hogy azok is olyan szelek alakjában történik, mint a föld felszínén végbe-
menő levegőkicserélődések. A talajmenti szelek erőssége messze felülmúlja a függőleges légáramlások erejét. Általában lassú emelkedés vagy süllyedés tapasztalható a függőleges irányú légmozgásban, és míg a közepes erősségű szelekben a levegő 10—12 méternyi utat tesz meg másodpercenként, a fel- és leszálló áramlásokban csak pár centiméteres a sebessége. Ennek ellenére ezek a függőleges légmozgások rendkívül nagy szerepet játszanak az időjárás alakulásában s nagy mértékben tőlük is függ, hogy szép időnk van-e, vagy csúnya.

A felhők világa

Magas hegyeket járó turisták sokszor lehetnek szemtanúi annak, hogy a felszálló légáramlásnak milyen szerepe van a felhőképződésben. Elindulnak lenn a legragyogóbb napsütésben, amint felfelé haladnak, még szembetalálkoznak a hűvös hegyiszéllal, amely lassanként eláll, amint a Nap egyre magasabbra emelkedik. Lenn egyre jobban melegszik a talaj és fűti a levegőt, amely most elkezd felfelé áramlani a lejtő mentén. Odafenn pedig a hegycsúcson itt is, ott is apró felhőfoszlányok jelennek meg, eloszlanak, újra sűrűsödnek s egyszerre csak azt veszi észre a turista, hogy egészen sűrű felhő takar el minden küátást. Valóban, a felhőket a lentől felszálló völgyi szél csinálta. Ennek a folyamatnak nézzük meg most a fizikáját.

Volt már szó róla, hogy a levegőben mindenütt és mindenkor van vízpára és a hőmérséklettől függ, hogy mennyi. Bizonyos hőfoknál csak bizonyos mennyiségű vízpára lehet a levegőben s ha ilyen telített állapotban valamilyen okból lehül a levegő, a fölös párának ki kell csapódnia belőle. A 142-ik

lapon közöltünk is egy kis táblázatot, amely megadja, hogy a különböző hőmérsékleten hány gramm vízpára van maximálisan egy köbméternyi levegőben. Ennek a jelentőségét jó lesz egy számpéldán megnézni. Egy köbméter 20° -os levegőben legfeljebb 17.3 g vízpára lehet, ha telítve van. Tegyük fel azonban, hogy nincs telítve s csak 9.4 g pára van köbméterben, tehát $17.3 - 9.4 = 7.9$ g vizet tudna még magába eresztetni pára alakjában, százalékban kifejezve a levegő -nedvesség 54%. Mi történik mármost, ha ez a nemtelített, csak 54% nedvességű levegő lehül 10° -ra? 10° hőmérsékleten a levegő csak 9.4 g párát tartalmazhat, tehát minden köbméterből le kell adnia 7.9 grammot, vagyis ennyi víznek ki kell csapódnia s akkor 10 fokos telített levegő marad meg. A kicsapódásnak egyetlen feltétele, hogy a levegőben legyenek apró porszemek, magok, amelyekre a víz könnyen lecsapódik csepp alakjában. A légkörben pedig mindig van elég sok por, mint mondtuk.

Mindenki igazolhatja mindennapi életéből, hogy ez valóban így szokott lenni. Ha télen kinyitjuk a mosókonyha ajtaját,



az odabenn párával telített meleg levegő kiáramlik a hidegbe, összekeveredik a külső hideg levegővel, maga is lehül s le kell adnia párafölöslegét, amit úgy látunk, mintha sűrű köd áramlana ki a konyhából a szabadba. Benn a melegben nem látni a levegőben levő sok vízpárát. Hasonló egyszerű

tünemény a természetben is előfordul imitt-amott, ahol meleg, páras levegő j összekeveredik hideg, páraszegény levegővel. Ami a mosókonyha ajtajának kinyitásakor történik, ugyanaz megy végbe nagy arányokban az Atlanti óceánon Újfundland szigetének környékén, ahol a Golf-áramlat vizétől felmelegített és páratelt levegő összekeveredik a Labrador-áramlat hideg légtömegeivel. Olyan nagy és állandó köd lesz ebből, hogy a hajósok és repülők rettegnek ettől a vidéktől. Az ilyen természetű kicsapódások azonban

korántsem elegendők ahhoz, hogy kiadós eső legyen belőlük. De nem elegendő ehhez az a lehülés sem, amely a talaj éjszakai lehüléséből következik be a talajmenti légrétegekben, amikor harmat vagy köd keletkezik ugyan, de eső még nem. Ebben az esetben a még meleg levegő érintkezik a gyorsabban lehült talajjal, maga is lehül s ha sok pára van benne, annak egy része ugyanúgy cseppekké sűrűsödik, mint a mosókonyhai, vagy az újfundlandi példában láttuk.

Valóban a felhőképződéshez szükséges energiának csak egyetlen forrása van, a légnyomás csökkenése miatt bekövetkező kiterjedésnél felszabadult hő. Ismételjük meg a fizikának azt az alapvető megállapítását, hogy ha valamilyen gáz kiterjed, hőmérséklete csökken és természetesen fordítva, ha összenyomódik, felmelegszik. A mindennapi életben csak az utóbbi esetre találunk könnyű példát. Ha levegőt sűrítünk a kerékpártömlőbe, felmelegszik maga a szivattyú is, és a régebben nagyobb jelentőségű taplógyújtó-szerszáznál azt látjuk; hogy a hirtelen erősen összenyomott levegő annyira felmelegszik, hogy meggyújtja a taplót. A fizikusok azonban nem elégszenek meg olyan általános kijelentéssel, hogy a kiterjedő levegő lehül, az összenyomott felmelegszik, hanem mindjárt azt kérdezik, hogy mennyivel? Nem nehéz megállapítani, hogy a normálisnak vett 760 mm légköri nyomás alatt álló levegő 10 mm-nyi nyomásváltozásra egy fokkal lesz melegebb, illetve hidegebb. Ez a »grádiens« azonban csak száraz levegőre érvényes, mert kiderült, hogy mennél nagyobb a levegő páratartalma, annál kisebb lesz a tágulással járó hőemelkedés. Ha a levegő telítve van, akkor 10 mm nyomáscsökkenéssel csak 0.5—0.7° hőmérsékletcsökkenés következik be. Habár ez meglepő, alapjában véve mégis magától értetődik. Mindnyájan tudjuk, hogy ha a vizet el akarjuk párologtatni, hőt kell kölcsönözni neki, fel kell melegíteni. Viszont nem annyira köztudomású, hogy fordítva viszont, hőt kapunk, ha a vízgőz cseppfolyósodik. 1 g víz elpárologtatásához 600 gkal-nyi hőenergia kell s ugyanennyi szabadul fel, ha egy gramm vízgőz vízzé hül le. Ha tehát a levegőben vízpára van és kiterjed, a közben lecsapódó párából hő is szabadul ki, ami aztán csökkenti a lehülést.

Most már hozzákezdhetünk, hogy mindezeket alkalmazzuk a meteorológiában. Jelentősebb nyomáskülönbségeket talál-

hatunk magasnyomású és alacsonynyomású területek között, egyiken például legyen 770 mm a légnyomás, a másikon csak 740, tehát a különbség 30 mm, amiből az következik, hogy mikor a maximumból átáramlik a levegő a minimumba, körülbelül 3°-os lehülésre számíthatunk. Ez bizony nem sok, de talán elég lenne kiadós felhőképződéshez, ha a maximumból kiáramló levegő valóban telítve lenne vízpárával, ami általában nem úgy van, és ha nem kellene sokszor ezer és ezer kilométernyi utat megtenni a légtömegeknek, amíg eljutnak a minimumhoz. Közben pedig sok minden történik velük, változik a hőmérsékletük a sugárzás miatt, a talajtól kapott fűtéstől, vagy ellenkezőleg ők adnak le apránként hőt a talajnak és így bizony sokkal kevesebb lesz a nyomáscsökkenés következtében előálló hőmérsékletcsökkenés, mint amennyi kellene a kicsapódás megindulásához.

Mások a viszonyok azonban, ha a légtömegek függőlegesen mozognak. Felfelé nagyon gyorsan csökken a légnyomás, mint tudjuk, tíz méterenként egy milliméterrel, tehát elég 300 m magasra felemelkednie a levegőnek, hogy 30 mm-rel csökkenjen a nyomása, míg a talaj mentén történő mozgásnál ugyanekkora nyomáscsökkenéshez több ezer kilométeres utat kell megtennie. Ha a felszálló áramlás sebessége akárcsak 1 cm másodpercenként, a 300 m-nyi emelkedéshez sem kell több, mint 8% óra, de vannak olyan felszálló légáramlatok is, amelyek 5—10 cm másodpercenkénti sebességgel törnek a magasba. Természetes, hogy mennél gyorsabb az emelkedés, annál erőteljesebb a lehülés, ami a kiterjedés következtében áll be. Most kezdjünk bele megint egy kis tájékoztató számításba. Tegyük fel, hogy egy száz négyzetkilométernyi területről száz méter vastag légréteg 80%-os viszonylagos nedvességtartalommal felemelkedik 1000 méter magasra. A megmozduló légtömeg térfogata 10.000 millió köbméter, a felemelkedés közben 6°-kal hűl le s nagyjában köbméterenként két gramm vízpára csapódik ki belőle, ami összesen húszmillió liter vizet jelent, vagyis a terület fölött képződő felhőkben ennyi víz lesz. Már pedig még csak a levegőben a talaj mentén volt páratartalomnak alig tizedrésze csapódott csak ki. Ha a felhőkből megindulna az eső s ami bennük összesűrűsödött, mind ugyanarra a száz négyzetkilométernyi területre hullana alá, két milliméternyi magas vígréteggel árasztaná

el. Ebből már láthatjuk, hogy itt valóban olyan arányú folyamatról van szó, amelyek megmagyarázhatják a felhőképződést és a esapadékok keletkezését. A felszálló áramlások sokkal magasabbra is eljutnak, s hogy egy közepes példát vegyünk, tegyük fel, hogy a talaj mentén 30° meleg és 50 % viszonylagos nedvességtartalmú levegő 4800 m magasra emelkedik, ahol csak 0° a hőmérséklet. Az eredetileg 1 m^3 -nyi levegő erre a magasságra $1'8 \text{ m}^3$ -nyjre tágul és 6.2 g víz csapódik ki belőle. Ebből a futólagos számításból nyilvánvaló lehet mindeki előtt, hogy egy felszálló légáramlás milyen szédületesen nagy víztömegeket visz magával és hullajt le egy-egy kiadós eső, zápor alatt. A meteorológusok régi megrögzött szokás alapján milliméterekben mérik az esőt, vagyis azt adják meg, hogy a lehullott víz hány milliméter magasban lepné el a talajt, ha természetesen nem szivárogná be. Egy milliméteres csapadék tulajdonképpen négyzetméterenként egy liter vizet jelent, tehát egy tíz milliméteres zápor egy négyzetkilométernyi területen tízmillió liter, tízezer torna vizet jelent. Budapesten az 1932 július 11-ikén volt egy hatalmas felhőszakadás s kiszámították, hogy a főváros területére több mint 50 millió hektoliternyi víztömeg zúdult.

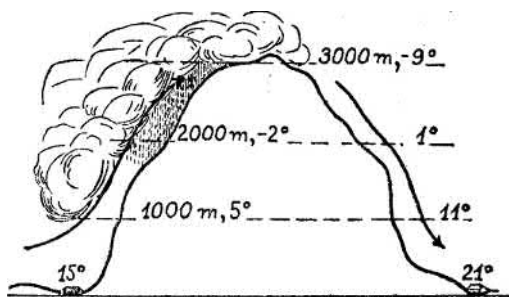
Ezek után most már nézzük közelebbről, hogy mi a felhő és hogyan keletkezik belőle csapadék. Tudjuk már, hogy a felhő és a köd lényegében ugyanaz, apró vízcseppek lebegő tömege. Nagyobb magasságokban a vízcseppek apró jégkristályokká fagnak. Egyébként a köd és a felhő csak a föld felszínétől való távolságában különbözik egymástól. A ködöt és a felhőt alkotó vízcseppek, vagy jégkristályok igen aprók, átmérőjük $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{200}$ mm lehet. Az ilyen kicsiny s ezért felületükhöz képest arányítva nagyon könnyű cseppek, illetve jégzemek nagyon lassan hullanak lefelé, esési sebességük 1—4 cm másodpercenként, tehát nagyon gyenge felfelé irányuló légáramlat is fenn tudja őket tartani. Ezért lebegnek a felhők vízcseppjei a magasban, anélkül hogy mindjárt leesnének, holott a víz jóval nehezebb a levegőnél. Felfelé irányuló légáramlás pedig majdnem mindig van a levegőben ott, ahol felhők képződnek.

A felhő általában nem állandó alakulat, alkotó részei hol eltűnnek, ismét elpárolognak, hol újra keletkeznek, magában a felhőben is. A vízcseppek egy része a lassú süllyedés közben

vagy a széltől tovább vitetve újból elpárolog s helyettük újabb cseppek keletkeznek. Mindnyájan tudjuk, hogy a felhők rendkívül változatos alakokban szerepelnek az égbolton. Alakjuk és szerkezetük főképpen a keletkezésükben szerepet játszó folyamatok következménye. A meteorológiában, külső alakjuk szerint három alapformát különböztetnek meg a felhőknel s ez az osztályozás lényegében az angol *L. Howardnak* 1803-ból való osztályozásán alapszik. A három felhőalak a cirrus, cumulus és stratus. A *cirrus*, magyarul fátyolfelhő, finom fehér fonalakból, szálakból álló felhő, melynek magassága a föld felett 8—10.000 méter. Nemzetközi jele: *Ci*. A *cumulus (Cu)*, gomolyfelhő, különösen nyáron fellépő, sokszor igen hatalmas felhőtömeg, mely gömbölyded alakokban gomolyog felfelé, napsütötte részein vakítóan fehér, árnyékban lévő részei sötétszürkék. Közepes magassága 3—6000 m. A *stratus*, rétegfelhő (*St*), alacsonyan lebegő, nagy kiterjedésű, összefüggő felhőréteg, magassága a föld felszíne felett 1000 m, sőt ennél is kevesebb. Azokat az alakatlan, nagyon alacsonyan levő felhőket, melyekből eső, vagy hó hull, *nimbostratus (Nb)*, esőfelhőnek nevezik, habár minden felhőfajtából eshet eső vagy hó, de kiadós esőzés mindig olyan felhőből ered, melynek nimbusa van. E főalakok között vannak aztán átmenetek. Ilyenek például a *cirrocumulus, (Ci Cu)* a báránnyelű felhő, *cumulonimbus*, sötét, hatalmas zivatarfelhők, *cirrostratus*, finom fehéres fátyol, amelybe a cirrus megy át a felhősödés növekedésével. Ennél néha a jégkristályokon történő fénytörés miatt sokszor gyűrűk keletkeznek a Nap és a Hold körül. Ha valamelyik felhő a magasabb régiókban van, az *alto* szócskát tesz elébe. *Altocumulus* a *cirrocumulus*hoz hasonló felhőalak, csak hogy az egyes foltrészek nagyobbak és szőleik többnyire érintkeznek. *Altostratus* szürke és kékes-szürke sűrű lepel, melyben a Nap, vagy a Hold helyét csupán világosabb folt jelzi. A felhők színe részben a megvilágítástól, részben magának a felhőnek a vastagságától, esetleg más felhőktől rájuk vetett árnyéktól függ. A valóságban közelebről minden felhő olyan mint a köd és a legsötétebb kékesfekete felhők is ragyogó fehérek lennének, ha a Nap alulról sütne rájuk.

Leszálló légáramlásoknál fordítottja történik annak, ami a felszállónál tapasztalható. A leereszkedő légtömegek

nagyobb nyomás alá kerülnek, tehát fel kell melegedniök és természetesen közben aránylag kisebbedik a páratartalmuk. Legközvetlenebbül látjuk ezt a hegyvidékek jellegzetes száraz és meleg szelénél, a *fönnél*. Igen gyakori a fön az Alpokban. A hegység egyik oldalán a hegy mentén felfelé áramló levegőemelkedés közben átlagosan 100 méterenként egy fokkal lehül s mikor bizonyos magasságban eléri a telítettséget, megkezdődik a felhőképződés, majd a lecsapódás, és eközben felszabadul a rejtett hő. A további emelkedés aztán már csak 0.6—1.7° százméterenkénti lehüléssel jár. A hegy túlsó lejtőjén ugyanez a levegő lefelé áramlik és leszállás közben a hőmérséklete a felhőzet feloszlásáig 100 m-enként 0.7°-kal, azután 1°-kal emelkedik. Ha a hegy másik oldalán a lefelé megtett út ugyanakkora, mint amekkora az innensőn volt a felszállás útja, a levegő a leszálló oldalon melegebben érkezik ugyanabba a szintbe, mert útközben a kihullott csapadék rejtett hője felszabadult és emelte a levegő hőmérsékletét. Minden gramm eső 600 gkal hő nyereséggel jár. A meleg fön szél egyúttal száraz is, részben mert a vízpára egyrésze felszálláskor kihullott belőle, másrészt a melegebb levegőben több vízpára lehet a telítettségig.



Tegyük fel, hogy egy 3000 m magas hegy déli lábánál 15° meleg a levegő s megindul felfelé a lejtő mentén. A felszálló légáramlás 1000 m-re érve tíz fokkal hűlt le, tehát csak 5° hőmérséklete. A lehülés a következő ezer méteren azonban már kevesebb lesz, mindössze 7°, mert közben megkezdődik a kicsapódás és ez három foknyi hőemelkedést jelent. Ugyancsak 7°-nyi lehülés következik be a harmadik ezerméteres emelkedés közben, úgyhogy az egész

3000 m-nyi emelkedés összesen 24° -kal hűti le a levegőt, vagyis -9° -ra. Az északi oldalról letről nézve a hegytető felé, sűrű gomolygó felhőfalat látunk, amely azonban helyben marad, még pedig azért, mert hull belőle a csapadék odafönn és közben folyton megújhódik. Leszálláskor azonban már nincs felhő a levegőben, tehát 100 m-enként kerek 1° -kal emelkedik a hőmérséklete, vagyis megtéve visszafelé a 3000 m utat, 30° -kal lesz melegebb, mint volt a hegytetőn. A déli oldalon elindult 15° -os levegő tehát a hegy északi lábához 21° melegen érkezik meg. Gyakran fordul elő, hogy leszállás közben a levegő nedvessége 5—10 %-ra csökken, holott ugyanannak a légtömegnek a viszonylagos nedvessége a hegytetőn még 100%-os volt.

Ne gondoljuk azonban, hogy a főjelenséghez nagy hegységek, hegyláncok kellenek. Szabad síkságokon is előfordul, hogy valahol van egy hidegebb, sűrűbb légtömeg s ez játssza a hegység szerepét, egyik oldalán felsiklik rajta az enyhébb levegő, a túlsón leszáll, emelkedés közben megindul a felhőképződés és az eső, s mikor a másik oldalon leszáll, mint meleg és száraz leszálló áramlás jelentkezik, melyben a felhők széteszlanak.

Főnszél a magasból lecsapódó bóra, mely különösen télen szokott jelentkezni az Adria északi partján, Isztriában, Dalmáciában. Annak ellenére, hogy a magasból lerohanó szél, tehát benne a levegőnek fel kell melegednie útközben, lenn mint hideg szél érezhető, mert a levegő fentről, a hegygerincről már annyira alacsony hőmérséklettel indul, hogy a leszállás következtében beálló felmelegedés kevesebbre emeli hőmérsékletét, mint amilyen hőfok lenn a tengerparton uralkodik. A bóra száraz és hideg szél s néha rendkívül heves, Triesztben olykor 40—50 méteres másodpercenkénti sebességgel érkezik meg, tehát orkánszemen. A bórához hasonló, a hegyekből lecsapó hideg szél a *nemere* is, mely Csík, Háromszék, Brassó megyékben szokott fellépni főképpen tavasszal.

Annyiszor volt már szó a vízpárák lecsapódásáról, hogy meg kell már beszélünk az eső keletkezését is. Nagyjában értjük már, hogy felszálló légáramlás közben a levegő páratartalma részben kicsapódik, igen apró vízcseppekké s ezekből van a felhő, de a felhőtől még nagyon messze van az eső. Mindnyájan állandóan tapasztalhatjuk, hogy nem minden

felhőből lesz eső, hiszen sokkal gyakrabban felhős az ég, mint amilyen gyakran esik az eső. Néha napokig fejtünk felett tartózkodnak hatalmas felhőtömegek s egyetlen csepp sem hull belőlük. Ennek az az oka, hogy a felhőkben csak mikroszkopikusan kicsiny vízcseppek vannak s ezek éppen kicsiségük miatt nem jutnak le a földre, habár önmagukban véve nehezebbek a levegőnél. A rendkívül apró cseppek igen lassan esnek lefelé, egy századmilliméter átmérőjű felhőcseppecskének kereken négy napnyi időre lenne szüksége, hogy a levegő ellenállását legyőzve négy kilométer magasból leérjen a föld felszínére, *nyugvó* levegőben. A felhők alatt azonban nem nyugvó levegő van, ellenkezőleg, éppen olyan, amely erőteljes emelkedésben van, a felhőcseppecskék tehát nem juthatnak lejjebb. Foglyai a felhőknek s csak abban az esetben szabadulhatnak ki, ha annyira megnövekednek, hogy súlyuk már legyőzi az akadályokat.

A közepes esőcseppek átmérője egy-két milliméter, egy csepp 4 ezredgrammnyi vizet tartalmaz, a felhőcseppecskék viszont századmilliméternyi átmérőjük s tömegük néhány ezermilliomod gramm, tehát milliószorosukra kell megnövekedniök, hogy esőcseppekké alakuljanak át és megindulhassanak lefelé. Szinte csak a legújabb időkben sikerült kideríteni, hogy mi indítja meg ezt az átalakulást. Az a döntő feltétel, hogy a felhőben a kis vízcseppecskék mellett apró jég szemek is legyenek, ha jóval kisebb számban is. Ehhez általában -10° hidegnek kell lennie a felhőben. A vízcseppecskék és a jég szemek együttes jelenlétében érdekes dolog történik. A vízcseppek anyagának egy része párolgás közben a jég szemecskékre csapódik ki ismét, mondhatnók, hogy *átpároly* rájuk. Ha aránylag kevés jégkristály van jelen a vízcseppekhez képest, a jég szemecskék rohamosan megnövekszenek s elérik azt a mértéket, amelynél már elkezdnek végérvényesen esni. A jégkristály tulajdonképpen hókristályt jelent itt, nem a jégeső szemeit, odafenn tehát mindenkor hó keletkezik s a hópelyhek akkor olvadnak esőcseppekké, amikor az alsóbb, melegebb légrétegekbe kerülnek. Az eső képződése tehát ugyancsak bonyolult folyamat, nem úgy van, hogy a láthatatlan párából vízcseppek sűrűsödnek össze a lehülés következtében s azok leesnek. A vízpárából előbb mikroszkopikusan kicsiny vízcseppek lesznek, ezek

átpárolognak a jégkristálymagokra, ha elég alacsony a hőmérséklet, hogy a cseppcsekkék egy része megfagy. Majd megnövekszenek a jégzemecskék, hullani kezdenek s útközben megolvadnak esőcseppké. Ha útközben nagyon erős felfelé tartó légáramlással találkoznak a cseppek, megnövekednek s túlhűlnek, úgyhogy ha aztán gyengül a felfelé áramlás, jégeső, alakjában zuhannak le a földre s a jégzemek néha tekintélyes nagyságra megnövekednek.

A lehulló csapadékmennyiség igen tág határok közt változik a helyi viszonyok szerint. Vannak olyan pontjai a földnek, ahol egyáltalán nincs eső, s olyanok, ahol tízszer is annyi hull le évenként, mint nagy átlagban. Az eső, vagy hó alakjában a földfelületre jutó csapadék egy része leszivárog a talajba, egy része lefolyik, harmadik része elpárolog. Természetesen a talajba beszívódott víz egy része is végül elpárolog, ha újra a felszínre jut, akár úgy, hogy a növényzet felszívja. A levegőbe a vízpára legnagyobb része a hatalmas kiterjedésű tengerek felületéről történő párolgás útján kerül s a légáramlások elviszik egészen távoli vidékekre is. Nyilvánvaló, hogy a víz körforgalmának zárt folyamatnak kell lennie, azaz nagy átlagban ugyanannyi víz párolog el a levegőbe, mint amennyi lehull csapadék alakjában. Schol sincs nagyobb vízfelhalmozódás, a lehullott csapadék előbb-utóbb a tengerbe jut, vagy párolgás útján vissza a levegőbe. Viszont egyes vidékeken nem ugyanannyi az eső mennyisége, mint amennyi azon a területen elpárolog. Dél-Amerika nyugati partjain, Afrika nyugati partszegélyén húzódó sivatagok közvetlenül a nagy óceánok mellett terülnek el s habár a szomszédos meleg vizek állandóan erősen párolognak s a levegő páratartalma igen nagy, ebből a párákészletből sohasem képződik ott helyben eső s az óceánok közvetlen szomszédságában a legnagyobb szárazság uralkodik egész éven át.

A szárazföldeken évente körülbelül 75.000 köbkilométernyi víz párolog el, ami körülbelül 50.4 cm vastag vízrétegnek felel meg. A szárazföldekről 37.100 km³ víz folyik a tengerekbe, az óceánok felületéről 267.100 km³ víz párolog el, tehát az összes elpárolgó vízmennyiség 379.200 km³. (Egy köbkilométernyi víz egymillió tonna vizet jelent.) Ugyanannyi csapadék is hull az egész Földön évente, ami átlagosan 74.3 cm vastag vízrétegnek felel meg. A tengereken

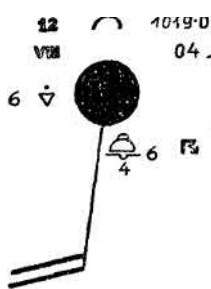
a magasabb földrajzi szélességek és az egyenlítő mentén nagyobb a csapadék, mint az ott elpárolgott víz, másutt a párolgás nagyobb mint a csapadék. A szárazföldeken mindentől nagyobb a lehulló csapadék, mint a helyi párolgás.

Az időjárás

Az időjárás a mérsékelt égöv alatt meglehetősen változatos, sőt szeszélyes; de bizonyos, hogy a legszeszélyesebbnek látszó változást is fizikai okok hozzák létre, fizikai törvények szabják meg. Ha ezeket a törvényeket keressük, természetesen szabatosabban kell megfogalmaznunk azt, amit köznapi nyelven egyszerűen időjárásnak nevezünk, beszélvén szép és csúnya időről, meleg, napsugaras, hűvös, felhős, esős időről. Az időjárást jellemzik a légnyomás, a hőmérséklet, szél, felhőzet, csapadék, páratartalom s ezek már mind előfordultak az eddigiekben. Ha egy-egy helyen mindezt az adatot megfigyeljük, megmérjük, feljegyezzük, letudtuk írni számokkal a pillanatnyilag uralkodó időjárást, de ennél a statisztikai eredménynél sokkal többet nem érünk vele. Mindenkit közvetve, vagy közvetlenül az időjárás változása érdekel s a meteorológia legfontosabb célja előre jelezni a várható időjárást. Már jórégen nyilvánvalóvá lett, hogy csak akkor tudhatunk következtetni a várható időjárásváltozásokra, ha egyszerre minél nagyobb területről ismerjük a pülanatnyi időjárási adatokat. Így eszelték ki az úgynevezett *szinoptikus* térképet, melyet ugyan magyarul is nevezhetnénk áttekintő térképnek. Ezek a térképek úgy készülnek ma már minden meteorológiai intézetben napjában kétszer is, hogy megkapják rádió, táviró, egész Európából az időjárást jellemző, adatokat, ezeket bizonyos kulcs szerint bejegyzik a térképbe s aztán elsősorban összekötik folytonos vonallal azokat a helyeket, ahol ugyanakkora a légnyomás, vagyis megrajzolják a már ismert izobárvonalakat.

A légnyomáson kívül fontos a szélirány és szélsebesség, a felhőzet, a csapadék mennyisége s természetesen ezek is belekerülnek a szinoptikus térképbe. A szélirányt az állomáshelyet jelentő kis köröcskéhez húzott zászlók jelentik, rajtuk





a fokok a szél erősségét, a felhőzetet a köröcske befeketítésének mértéke jelzi. Üres kör derült időt jelent, egészen fekete teljesen borult eget, s a közbeeső fokozatokat a megfelelő arányban történő befeketítés jelzi. A hőmérsékletet az állomás mellé írt szám adja meg. Az időjárás táviratok szövege az 1949 január 1-én életbeléptetett új jelkulcs szerint hét ötszám-

jegyves jelcsoport, amelyben minden fontos adat megvan.

Egy ilyen távirat például így szól:

84054 43213 82021 13605 37544 61317 70401

Magyarra lefordítva: Budapesten (840 Budapest nemzetközi sorszáma) ma reggel hét órakor a harmatpont.— 4° , az összfelhőzet $\frac{4}{8}$, a szél iránya északnyugati, a szélessége; 14 csomó. (Az új kódex a szélességet is tengerész-csomókkal méri. Egy csomónyi sebesség körülbelül félméter másodpercenkénti sebességet jelent.) A látástávolság 40 km, az utolsó órában nagyjában változatlan az ég képe. Az elmúlt három óra alatt változóan felhős volt. A légnyomás 1013-6 millibar, a hőmérséklet 5° . Az alacsony felhők mennyisége $\frac{3}{8}$, ezek a felhők gyorsan vonuló foszlányok, magasságuk 600—1000 m. A közép magas felhők lencsealakú különálló felhőpadok, nagy magasságban hosszúcsíkos cirrusfelhők vannak. A talaj nedves, az utolsó három óra alatt a légnyomás egyenletesen emelkedett, összesen $\frac{17}{10}$ millibarral. Az elmúlt 24 óra alatt 4 mm csapadék hullott, a hőmérséklet minimuma 1° volt.

Ilyen szűkszavú, de annál több adatot tartalmazó táviratok alapján az áttekinthető térkép. Kora reggeltől kezdve özőnlík a távirat a meteorológiai intézet prognózis-osztályába, hat rádió hallgatják a külföldi jelentéseket s a nagy térképre rájegyzik különböző színű tintákkal az adatok ezreit, amíg apránként szépen kialakul az időjáráshelyzet egész Európában, az Atlanti-óceántól kezdve Szibériáig.

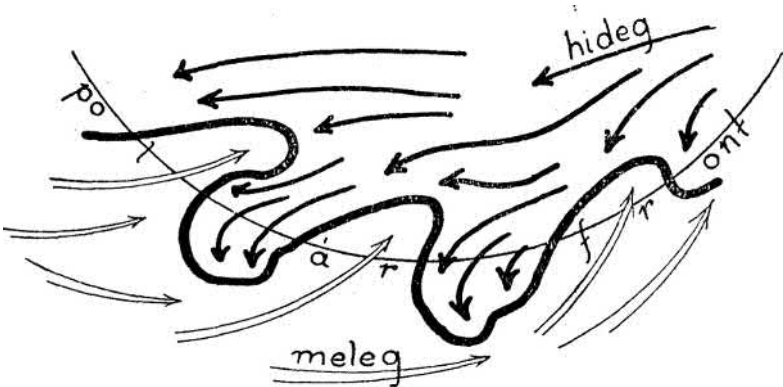
Az időjárás előre jelzéséhez azonban egy ilyen térkép még nem elegendő, mert hiszen a látott helyzetből még nem igen



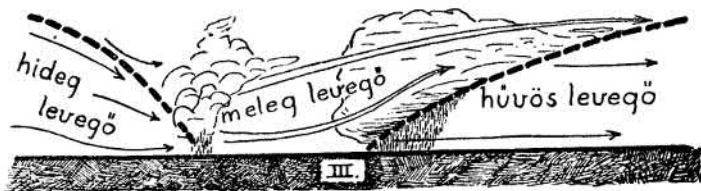
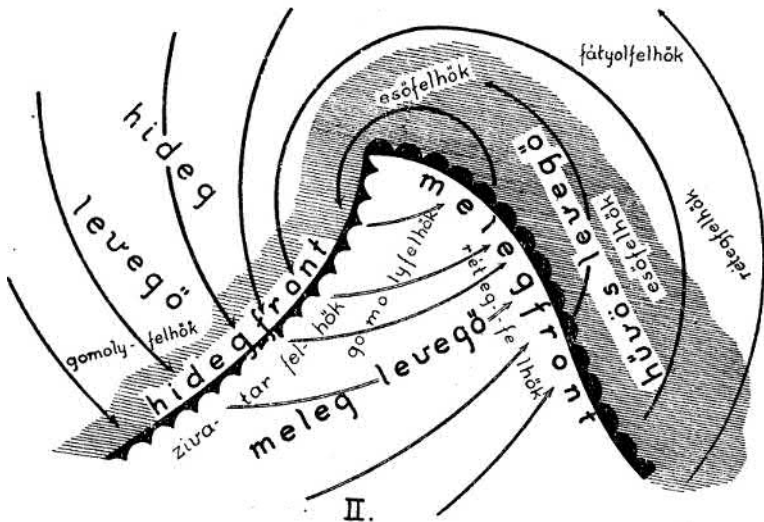
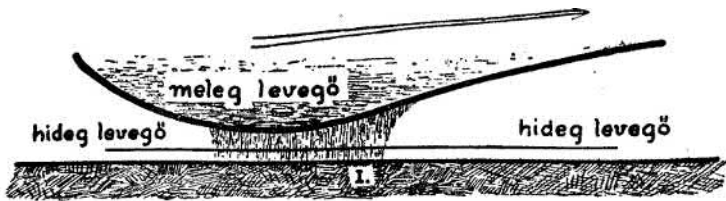
lehet biztosan következtetni a következő napi helyzetre. De tegnap is, tegnapelőtt is volt szinoptikus térkép s azok alapján már előre lehet sejteni, hogy a különféle légtömegek hogyan mozognak és mennyiben változtatják meg a hely időjárását. Régen valóban nem volt egyéb a meteorológiai prognózis, mint annak kitalálása, hogy a térképen látható alacsonynyomású területek, az úgynevezett *ciklonok*, merre vonulnak, merre viszik a maguk jellegzetes időjárását. Egyébként nem mondott a prognózis sokkal többet, mint a közkeletű időmutató barométer, amelyen magasabb légnyomásnál az van írva, hogy »Szép idő«, a közepes nyomás mellé: »Változékony«, az alacsony nyomáshoz: »Eső«. Igazi értelemben való időprognózisról azonban csak azóta lehet szó, amióta — a húszas évek elején — *Bjerknes* norvég meteorológusnak sikerült pontosan megállapítani a ciklonok szerkezetét és ezzel fizikai alapot adott az egész meteorológiának.



A mérsékelt égöv alatt csaknem minden időjárásváltozást visszavezethetünk ciklonok, alacsonynyomású légtömegek vándorlására. A ciklonok eredő helye az a front, amelynek mentén a sarki hideg légtömegek a déli tájak meleg levegőjével érintkeznek, az úgynevezett *polárfront*. Rendszerint úgy kezdődik, hogy valahol, esetleg egészen helyi okok miatt, a meleg levegő benyomul a nagyobb nyomású hideg légtömegekbe, mire a benyomult meleg levegő körül a hideg levegő örvénylésbe kezd, hogy a nyomáskülönbség kiegyenlítődjék. Az alacsonynyomású területen kialakuló örvény a magja minden ciklonnak. Az örvénylés kelet felé terjed tovább, a ciklon előtt süllyed a légnyomás, mögötte emelkedik. Magában a ciklonban a talajmenti légáramlás befelé irányul, belsejében felszálló légáramlás uralkodik, fenn a magasban pedig kifelé áramlik a levegő. Mindezt már tudjuk. A valóságban azonban sokkal bonyolultabban és érdekesebben történik a dolog.



A ciklon szerkezetét az itt következő, bizony eléggé bonyolult rajz mutatja, három metszetben. Az első metszet a ciklon északi részének függőleges metszete, a középső a ciklon vízszintes metszete a talajon, a harmadik a déli része. Vegyük a középsőt, mely lényegében mutatja a ciklon szerkezetét. A nyilak a levegő áramlásainak irányát jelentik, a vonalkázott részek az esős területeket. A ciklon középpontjában két ív fut össze, melynek szárai a kétféle áramlási területet, a hideg és a meleg levegőt választják el egymástól, tehát a két vonal



A CIKLON SZERKEZETE

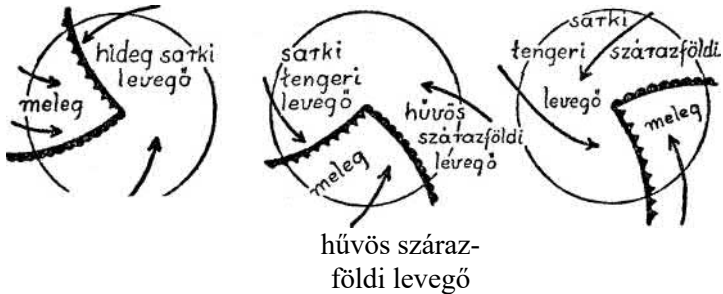
I. A ciklon északi részének keresztmetszete

II. A ciklon vízszintes metszete a talajon

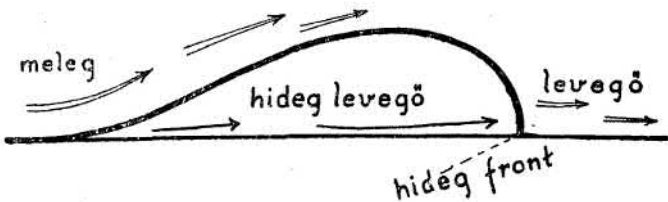
III. A ciklon déli része

között a ciklon *mekgszelete* terül el. Az összeáramlási vonalak, melyek a hideg és meleg légtömegek lejtős határfelületeit jelzik, *frontoknak* nevezik, s innen ered az egész Bjerknes-elméletnek közkeletű elnevezése: frontológia. Újabban

csaknem minden meteorológiai időjárásjelentésben találkozunk frontokkal, mintha harctéri jelentések volnának. A front elnevezésnek valóban adhatunk bizonyos értelemben harci jelentést. A frontvonal két oldalán különböző tulajdonságú levegőtömegek foglalnak helyet, melyek egész szabályos harcban állnak egymással, igyekeznek az ellenséges területet



a maguk időjárása számára meghódítani. A délkeletről északnyugati irányban húzódó összeáramlási ív a ciklon *menetvonala*, más néven *melegfrontja*. Ennek a vonalnak a mentén a ciklon déli oldalán levő meleg levegőtömeg, melyet a ciklon belsejében előálló ritkulás szív be, a keleti vonal hideg levegője fölé siklik és felszállása közben természetesen lehül. A lehülésnek csapadékképződés a következménye, ezért a menetvonaltól keletre a talaj mentén hűvösebb, a magasban

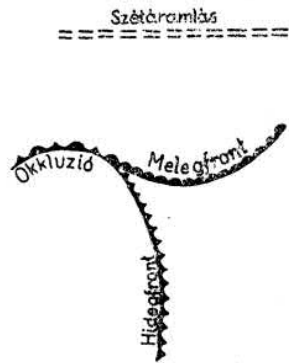


aránylag meleg a levegő s tudjuk, hogy ebben a helyzetben szokott felhősödés és eső bekövetkezni. A másik összeáramlási vonal a *fergeteg front*, más néven *hidegfront*, vagy *betörési front*, rajzunkon délnyugat-északkeleti irányú. Ennek mentén áramlik be a hideg levegő északnyugatról a meleg alá, azt nagy erővel magasba tolja, mire megindul a csapadék hullása. A hidegfront környéke tehát szintén esős. A felső rajz, a cik-

lon északi felének metszete. A talajmenti melegszelet hiányzik belőle, mert a meleg levegő a magasban van s felszállása hozza létre a csapadékot. Az alsó metszet a ciklon középpontjától délre készült metszet s ebből világosan leolvashatjuk a ciklon átvonulásával kapcsolatos időjárást.

A ciklon menetvonalának közeledtére délkeleti, majd déli szél indul meg, a nyugati égbolton fátyolfelhők jelennek meg, majd a magasban rétegfelhők, altocumulusok, a légnyomás állandóan csökken, de a hőmérséklet a borulás ellenére sem lesz kisebb, inkább valamivel emelkedik. Az egyre vastagodó magarétegfelhők lefelé terjeszkednek, alatta rétegfelhő, vagy réteges gomolyfelhő, végül réteges esőfelhő alakul ki és megered a csendes, egyenletes eső vagy havazás, mérsékelt délies szélben, esetleg szélcsendben. Bizonyos idő múlva a felhőzet oszladozik, az ég részben kiderül, a melegfront elvonult. A hőmérséklet mest újból erősen emelkedik, a légnyomás süllyed. A kitisztult égen gomolyfelhők kezdenek feltűnni, esetleg zivatarfelhők, mint a hidegbetörés előjelei. A csapadék megindulásával csaknem egy időben a szél délnyugativá válik és lökészerűen fúj, egyre erősödő szélrohamok követik egymást, sokszor szélvihar tör ki. A hőmérséklet zuhanásszerűen csökken, a levegő páratartalma és a légnyomás emelkedik. A melegebb időszakokban ilyenkor fordul elő leginkább zivatar és jégeső. A hidegfront elvonulása után, ha igen sok hideg levegő áramlott be, a szél elcsendesedik, a felszálló légáramlás megszűnik, sőt helyette leszálló lép fel és a felhalmozódó nagy nyomású légtömegekben nagy nyomású terület, *anticiklon* alakul ki.

Az anticiklonban szétáramló légtömegeket látunk a talaj mentén. Ez olyan tömegek lejtős határfelületének alján alakul ki, amelyek közül az alsó kisiklik a felső, lefelé törekvő légtömeg alól, mire az lefelé jön és közben felmelegszik. Az ilyen leszálló légáramlásban a felhők szétfoszlanak,



A frontok jelzése az időjárás térképeken

derült időjárás következik, amit sugárzási időjárásnak neveznek. Ilyenkor erőteljesen érvényesül mind a nappali felmelegedés, mind az éjszakai lehűlés. Ezért a ciklonnal ellentétben az anticiklonban nyáron fokozatosan melegszik az idő, ha uralma tartós, nagy hőség, kánikula alakul ki, télen pedig az éjszakai lehűlés fagyokat, csikorgó hideget okoz. A ciklon leírt szerkezete persze nem mindig ilyen szabályos, sokszor előfordul például, hogy a melegszelet csak elmosódottan jelenik meg és ilyenkor az átvonulás közben nem is igen van határozott felmelegedés, hanem a hideg levegőt még hidegebb követi. Igen gyakori az is, hogy csak egyes részek, a hidegfront vagy a melegfront jelentkezik, mintha önálló alakulatok lennének. Ezeket a kivételes eseteket rendszerint az okozza, hogy aránylag kis távolságban egymástól több



Egy ciklon okklúziója

ciklon van s ezek áramlása összekeveredik. A ciklonban levő örvénylő szelekhez az energiát a levegőtömegek hőmérséklet -különbsége szolgáltatja s mihelyt ez a különbség kiegyenlítettött az áramlás következtében, maga az áramlás is lecsendesedik. Az előregedett ciklonban a melegfront és a hidegfront egyre közelebb kerül egymáshoz, végül egyesül is és a meleg levegő elterül a magasban. A meteorológusok ilyenkor *okklúzióról* beszélnek. A ciklonok széléin a helyi körülmények közrejátszásából kialakulhatnak fiókciklonok, amelyek aztán önállóan haladhatnak tovább. Két ciklon között sokszor magasnyomású hát tölti ki a területet, az anticiklonoknak megfelelő időjárást okozva, viszont két anticiklon között alacsonynyomású árok létesülhet összeáramlási vonalakkal, csapadékos idővel.

Európában általában nyugat-kelet irányban haladnak át a ciklonok. Több útvonaluk van smint a térképen láthatjuk, meglehetősen szabályos útvonalakon »közlekednek«. Vannak Európában olyan területek, ahol majdnem állandóan

ciklonok vagy anticiklonok tartózkodnak. A legtöbb Európán átvonuló ciklon például az Atlanti óceán északi feléről, az Izlandi minimumnak nevezett állandó kisnyomású területről indul el. Az Atlanti óceán déli részén, az Azori-szigetek vidékén viszont állandóan nagy légnyomás uralkodik. Ebből gyakran szakadnak le kisebb anticiklonok, amelyek északnyugati irányban vonulnak át Európán. Egy harmadik

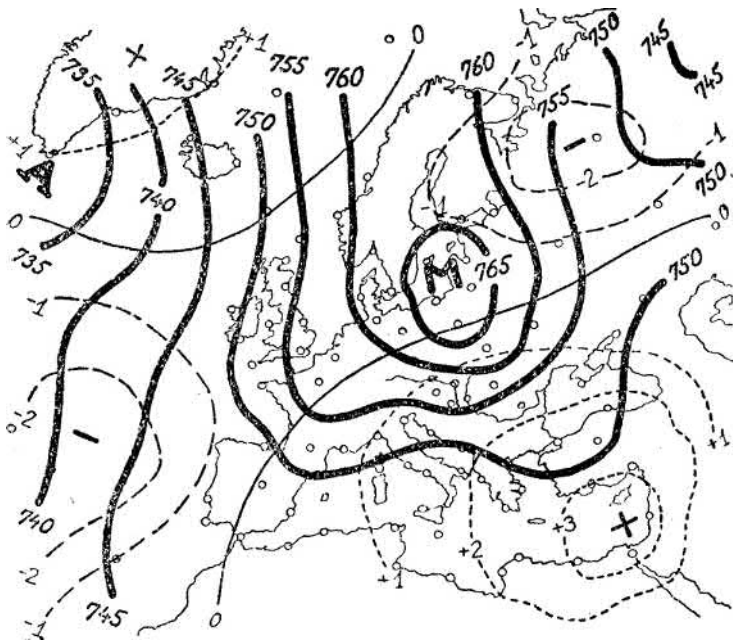


Az Európán áthaladó ciklonok útjai

középpont az eurázsiai kontinens belseje, ahol nagyterjedelmű nyáron kisnyomású, télen nagynyomású léghalmaz alakul ki. A mi teleinket az szokta zorddá tenni, ha ez az anticiklon főként is kiterjeszkedik, a nyári ciklon pedig szívó hatásával az úgynevezett európai monszont idézi elő. Az izlandi minimum előtörése rendszerint csapadékos időt, az azóri maximum szárazságot hoz, s Magyarországon azért olyan változatos az időjárás, mert mindhárom hatásközéppont keze elér hozzánk, habár elég messze vannak tőlünk.

A meteorológus megszerkeszti a szinoptikus térképet, összeveti az előző napival s kijelölve a frontvonalakat, következtet arra, hogy mi történik a közel jövőben a ciklonokkal, illetve anticiklonokkal. Természetesen legfontosabb megállapítani a ciklon menetvonalának irányát. Ez bizony sokszor elég nehéz feladat, legalább is Európában, mert a legtöbb ciklon rendszerint már fáradtan érkezik meg az óceán felől a szárazföld fölé. Észak-Amerikában gyerekjátékszámítás, mert ott nagyon szabályos ciklonjárásokkal számolhatnak a meteorológusok. A ciklon menetirányát általában úgy lehet legkönnyebben megállapítani, ha nagyobb területen megkeressük a legnagyobb hőmérsékletkülönbségeket s akkor tudhatjuk, hogy a ciklon menetiránya merőleges a szélsőséges hőmérsékleteket összekötő egyenesre.. Ha határozottan észrevehető a melegszelet, könnyű megállapítani a menetirányt.

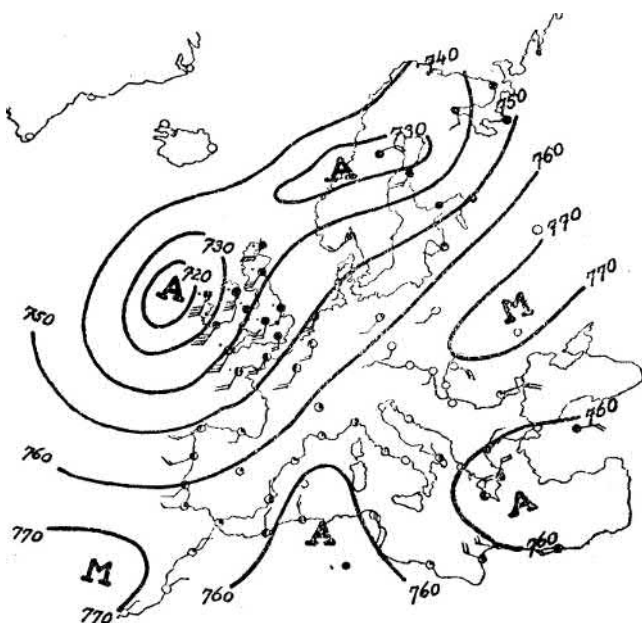
Az időprognózist készítő meteorológusnak éppenséggel nem irigyelhetjük a munkáját. Órák alatt, legfeljebb két-három óra alatt, kell feldolgoznia a rádión kapott sokezernyi adatot, gyakorlott szemmel észrevenni a számokkal, nyilakkal telepékelt munkatérképen a döntő összefüggéseket, megrajzolni az izobárokat, kikeresni a frontokat s összevetve az előző napok időjárásával, bátran kimondani, hogy milyen a várható időjárás a következő egy-másfél napra. Hogy jó-e a prognózisa, az nem is csupán tőle függ. Sokszor hiányosak a beérkező adatok, rossz a rádióvétel és éppen a döntő pontokon bizonytalanság mutatkozik. Ha nem sikerül egy prognózis, természetesen rögtön szidják és nem felejtik el, míg a paraszti időjósoknál mindenki éppen a bevált jóslásokat tartja számon és a be nem váltakat felejtik el azonnal. Általában csak a hirtelen bekövetkező időjárásváltozásoknál lehet tévedni, s tapasztalatból tudjuk, hogy gyors időváltozások nem olyan gyakoriak. Ha valóban csak vaktában csinált jóslással is megelégednénk, mondjuk 80—90%-os valószínűséggel, egyáltalán nem lenne szükség meteorológiai intézetekre, egyetlen rövid mondatban olyan időjósítást lehetne adni, amely havonta három-négy napot kivéve évtizedeken át érvényes maradna. Ez a mondat egyszerűen így szólna: »az időjárásban lényeges változás nem várható.« Persze, ha a hétköznapi életben ez a jóslat nagyjában elég is lenne, sok értéke nem volna, hiszen éppen a lényeges változásokra



JELLEGETES IDŐJÁRÁSHELYZETEK

Felénk terjeszkedő légnemzési maximum. Magyarországon északkeleti szél. Ha ez a helyzet télen alakul ki nagy hideget hoz, nyáron viszont nagy meleget. Tavasszal a késői fagyoknak kialakulásához vezet. Úgynevezett sugárzási időjárási helyzet, amikor nappal szabadon érvényesülhet a besugárzás, éjszaka viszont semmi akadálya a hőki-sugárzásnak.

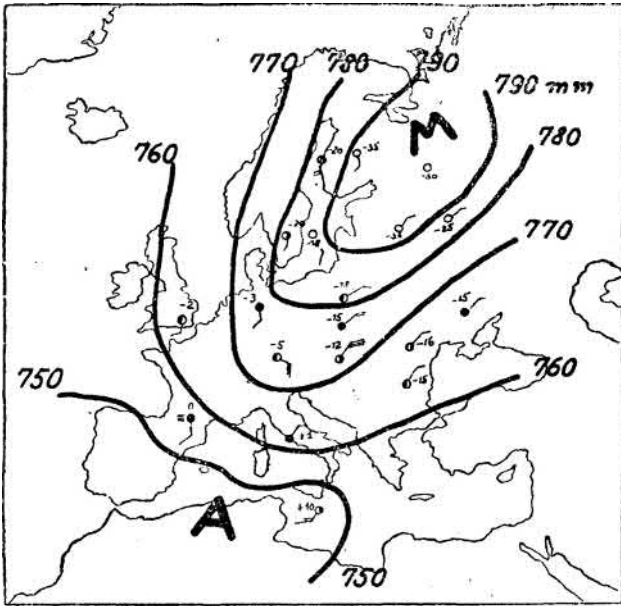
vagyunk kíváncsiak s a földműves éppen azt várja, hogy a meteorológusok pontosan jelezzék a váratlanul jövő májusi fagyot, a repülők pedig tudni akarják, hogy felszállva, a magasban milyen szelekkel fognak találkozni, nemcsak az indulásnál, hanem a többszáz kilométeres egész útukon. Habár az időjárásban sokszor hetekig tartó szabályosság figyelhető meg, a meteorológia mégsem vállalkozik egy-két napnál hosszabb időtartamra szóló prognózisokra. Ehhez más módszerekre van is szükség, hiszen a napi időjárás-térképek adataiból semmit sem lehet kiolvasni a távolabbi jövőre. Természetesen foglalkoznak a hosszútávú, időjárás-jelzéssel s állandóan kutatják a nagyobb arányú szabályosságokat a földi időjárásban. Valóban találtak is bizonyos sza-



JELLEGZETES IDŐJÁRÁSHELYZETEK

Észak-Európán végigvonuló ciklonsorozat. Ez a helyzet egész Európára tengeri légtömegek beáramlását okozza. Nyáron lehülést és zivatarokat, télen enyhülést okoz. Magyarországra a ciklonok frontjainak legtöbbször csak a széle ér le és így ebben az esetben csapadék nélkül marad az ország. Ilyen eset volt 1947 nyarán és 1948 telén.

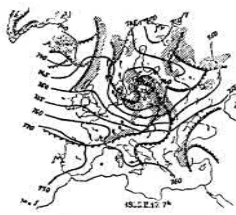
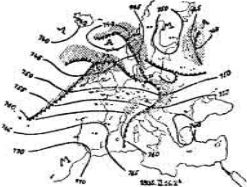
kaszosságokat, szabályos ismétlődéseket az időjárásban, ha több évtized anyagát vizsgálták át, de az ilyen természetű szabályosságról egyáltalán nem mondhatjuk, hogy a jövőben is érvényesülni fog, s ha érvényesül, akkor is nagy kérdés, hogy milyen mértékben. *Brückner* felfedezett például egy 35 éves periódust az időjárásban és kétségtelen, hogy a közismert napfolt periódus, a 11 és fél év szintén megnyilvánul valahogyan a földi időjárásban, de semmi esetre sem olyan mértékben, hogy elnyomja a pillanatnyi és helyi időjárást kiváltó okokat. Az is kétségtelen, hogy van valami törekvés az időjárásban a kiegyenlítődéssre, a szélsőségek idővel kiegyenlítik egymást, például száraz évek sorát esős esztendők követik, de ez nem használható fel megbízható jövőndőlésre. Meg-



JELLEGZETES IDŐJÁRASHELYZETEK

Észak-Európai maximum. Az igazi zord tél megteremtője. A hideg, fagyos levegő a sarkvidékről és a háborította orosz síkságról szabadon áramlik felénk. A légnyomási maximum középpontjában termelődik a hideg. Legtöbbször igen tartós képződmény. Télen gyakori, nyáron ritkább. Jelen esetben a Földközi tengeren kialakult alacsony nyomású képződmény következtében a Balkánon, megerősödése esetén nálunk is komoly havazások lehetnek.

próbálták azt is, hogy a régebbi megfigyelések között kikeresik a pillanatnyi időjáráshoz hasonló már előfordult helyzetet, s abból következtetéseket levonni a következő időszakra. Ennél a módszernél az a baj, hogy *hasonló* időjárást kétségtelenül találhatunk a régi feljegyzésekben, de teljesen *megegyezőt* aligha. Egyelőre még a legtöbb sikert az úgynevezett kapcsolatszámítás módszere hozta. Sok esetben sikerül egymástól messzebb vidékek időjárása között számszerű < kapcsolatokat találni s például találtak ilyen, legalább is lát-szólagos kapcsolatot Kairó nyári, Bombay őszi légnyomása és Magyarország téli hőmérséklete között s ebből a kapcsolatból több-kevesebb sikerrel lehetett is következtetni teleinkre.



Egy Észak-Európán átvonuló-ciklonsorozat, amely a nyugati tengeri légtömegek erőteljes beáramlását okozza szárazföldünkön. Az igazi változékony idő létrehozója. Téli enyheséget, nyáron lehülést jelent.

Február 15-én az Atlanti partokon erőteljes fölsikló (meleg) front. A hideg-front még messze kint az óceánon. Magyarországon már átvonult egy gyenge front. 16-án már elért bennünket a felsiklasi front, a délnyugati szelet növekvő felhősödés, majd havazás követte. A frontátvonulás után élénk nyugati szél. A betörési front nagy sebességgel közelít szárazföldünkre. 17-én többszáz kilométeres utat tett meg a betörési front 24 óra alatt, 48 óra alatt 2.000 km-t. A betörési front után erős északnyugati szél, lehülés-következett be.

A távolabbra szóló időjóslatokról egyazonban bizonyos. Sem a naptárakbeli »Herschell szerinti« s százéves időjóslatoknak, sem az asztrometeorológiai jóslásoknak nincs semmi alapjuk. Ezekről a tudomány kétségtelen bizonyossággal megállapította, hogy értéktelenek.

Az ember nehezen törődik bele, ha tehetetlennek érzi magát a természettel szemben s így érthető, hogy régi vágya az emberiségnek, hogy valahogyan beavatkozassak az időjárás alakításába, saját érdekeinek megfelelően. A mezőgazdaságban legfontosabb feltétele a jó termésnek, ha kellő időben

elegendő csapadék hullik, s a szárazság sokszor katasztrófális egész országokra, nem csodálkozhatunk tehát azon, hogy elsősorban a mesterséges esőcsinálás érdekelte az embereket. Ugyancsak a mezőgazdaság szempontjából lenne fontos a jégverés ellen való védekezés. Mindabból, amit az előzőkben elmondtunk az eső keletkezéséről, körülbelül akárki gondolhatja, hogy azokba a hatalmas folyamatokba, amelyek az időjárást alakítják, vajmi kevés remény van mesterséges eszközökkel beleszólni. Az időjárás változásaiban példátlan nagyságú energiák szerepelnek. Egy közepesen fejlett hidegbetörésnél, amikor 500 km szélességben, 2.000 km hosszú területen 5.000 m magasságig másodpercenként 15 méteres szél uralkodik, a mozgó légtömegek mozgásenergiája körülbelül egyhatod billió kilowattóra. Amikor pedig a 150 km széles, 500 km hosszú területen 8 mm-es eső hullott, a vízmennyiségnek a magasba emeléséhez kerek egybillió kilowattórányi energiára volt szükség. Még egy példa: egy 2.000 km széles, ugyanolyan hosszú területen a toposzféra magasságáig összenyomódik a levegő, úgy hogy a légnyomás 5 mm-rel nő. Az összenyomás folytán hat billió kilowattórányi hőenergia keletkezik. Valamivel szemléletesebben mondvá az első példabeli szél mozgásenergiája megfelel tízmillió tonna kőolaj elégetésekor keletkező hőenergiának, a felsikló eső vizének felemelésére százmillió tonna kőolaj energiájára van szükség, az ötmilliméteres légnyomásnövekedés előidézéséhez egymilliárd tonnányit kellene eltüzelni.

Ez a pár számadat eléggé érzékelteti, hogy milyen reménytelen próbálkozás lenne mesterségesen megváltoztatni az időjárást. Legfeljebb arról álmodozhatnánk, hogy ha már megvannak az alapfeltételek és csak valami nagyon kis ok szükséges még ahhoz, hogy magától is megeredjen az eső, akkor már beavatkozhatunk, megadva az utolsó lökést a folyamatnak. Megkísérelték például mesterségesen lehűteni a levegőt fenn a felhőben, azáltal, hogy cseppfolyós szénsavat permeteztek szét repülőgépről. Valóban elérték egy kis ködképződést a repülőgép közelében, de komoly esőt nem lehetett kiváltani. A kísérletek végeredményben azt már megmutatták, hogy ha nagyobb mértékben hajtánák végre őket és így fel is mutathatnának némi sikert az esőcsinálásban, a költség

sokszorososan felülmúlná azt a hasznot, amit az esőből remélhetünk.

Az időjárás tüneményei olyan nagy méretekben folynak le, hogy azokba csak hozzámérhető eszközökkel tudhatnánk beavatkozni. Talán ha például sikerülne az egész Szaharaszivatag területén elég mély vízfelületet létesíteni, vagy az egész Braziliát teljesen megfosztani óriási erdőterületeitől és összes növényzetétől, beállana olyan éghajlatváltozás, amely észrevehető módosulással járna egyes nagyobb földterületek időjárására. A nagyon távoli jövőben, amikor az emberiség ura lett az atomenergiának, és ezt a hatalmát inkább jólétének emelésére kezdi majd felhasználni, mint egymás pusztítására, talán valóban meglesz a lehetősége annak, hogy eredményesen beavatkozhasson az időjárás alakulásába, hiszen minden elképzelhető energia rendelkezésére fog állni.



ÖTÖDIK RÉSZ

A FÖLD BELSEJE

A természet ráér

A Föld szilárd kérge, amelyen élünk, az emberi élet tartamához mérten öröknek látszik. A hegyek nem változnak észrevehetően egy-két emberöltő alatt, a folyók folynak medrükben, ami mulandó, az csak a növény és az állat, és nem igen állják az időt az emberi alkotások sem. Az időt mi emberek az emberi élethez mérjük és ez magától értetődő, csak azt nehéz aztán elképzelni, hogy a természet nem emberi méretekkal dolgozik, és hogy az élet megnyilvánulása más is lehet, mint amilyen a mi életünké. Akármennyire is általánosítunk, életnek általában csak a szerves életet vesszük, tehát azoknak a lényeknek az életét, melyekről közvetlen tapasztalatból tudjuk, hogy születnek, nőnek, táplálkoznak, szaporodnak s azután elpusztulnak. Ebben az értelemben vett életnek kétségtelenül legkülönösebb és legérthetlenebb megnyilvánulása a szaporodás s főképpen ennek hiánya miatt nem vesszük életnek az úgynevezett élettelen világ folyását. Pedig ott is van múlt, jelen és jövő, van keletkezés és elmúlás és ezt tulajdonképpen annyira természetesnek is vesszük, hogy a legkezdetlegesebben gondolkodó ember is felveti a világ keletkezésének kérdését és beszél a világ végéről.

A gondolkodó és kutató emberi szellem lassanként hozzá is szokik ahhoz, hogy lássa az életet a szervesetlen világban is, elhagyja az ember jelentéktelennek bizonyult méreteit, s megpróbálja nagy vonásokban is megérteni a természetet,

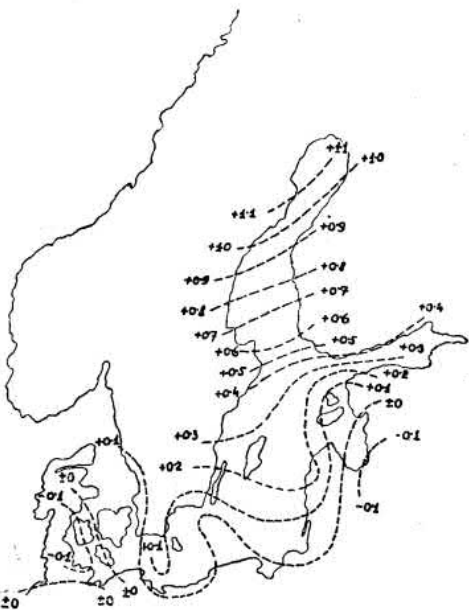
felfedezni benne is az életet. Ebben azonban szinte leküzdhetetlen akadály merül fel előtte: kiderül, hogy semmi mértéke sincs az időre, nem tud szemléletesen elképzelni olyan időtartamokat, amelyek messzire túlhaladják a saját életének tartamát. Már pedig mihelyt keressük az élet állomásait, az egész természetben, akár csak itt a Földön is, mindjárt arra jövünk rá, hogy a mi időinkhez képest mérhetetlenül nagy időkkel kell megbarátkoznunk. Időegységünk az esztendő, mely tudvalevően az az idő, amely alatt a Föld egyszer körülkering a Nap körül a világűrben. Egy ilyen esztendő alatt sok minden történik egy ember életében a általában jó ha ötven-hatvan esztendőt megér. Elég nagy időnek is érzi mindenki az egy esztendőt, de magának a Földnek egészen jelentéktelen, hogy egyszer ismét körüljárja a Napot. A Neptun esztendeje csaknem 165 földi esztendő s onnan nézve a Földet úgy látszik, hogy vesztetül gyorsan járja útját a Nap körül. A Neptun hatszor kerülte meg a Napot, itt a Földön ezer esztendő telt el.



Az időt végelemzésben csak saját emlékeink, élményeink alapján tudjuk számontartani, értékelni. Könnyedén kimondjuk, hogy Árpád vezér ezer esztendővel ezelőtt foglalta el őseinkkel a Kárpátok medencéjét, de semmi szemléletes elképzelésünk nem lehet arról, hogy mennyi idő ez a ezer esztendő. Számolhatunk vele, próbálhatjuk érzékelteni saját magunk becsapására, elgondolhatjuk, hogy húszt olyan élet van benne, mint a miénk, csak szám marad az ezer esztendő. Valóban, csaknem mindegy, hogy elfogadjuk-e vagy nem a bibliának azt az adatát, hogy 5708 esztendő telt el a világ teremtése óta. Az 5708 éppolyan üres szám, mint a geológus 500 millió esztendeje, de azért még sem tehetünk mást, minthogy a számokra bízunk magunkat, mert a számokat könnyű összehasonlítani egymással, anélkül is, hogy tartalmukkal tisztában lennénk.

Ha vizsgálni kezdjük a Föld oly végtelen változatosságokat mutató szilárd felületét, számtalan tapasztalat és meg-

figyelés vezet rá, hogy az élettelen világban is folyton történik valami, nyugalom nincs sehol sem, *panta rhei*, minden folyik, mint ahogyan a bölcs *Hérakleitosz* mondta. A hegyek kopnak, folyton le-legurul róluk egy kő, mállanak a sziklák s a törmelékeket leviszi a víz, a folyók mossák a partot, lassan új medrét is ásnak maguknak, Hollandiában és Flandriában az ember állandó harcban áll a tengerrel, mebr egyre inkább be akar nyomulni a szárazföldre,



fenn északon pedig, Stockholmban megállapították, hogy a város a tenger szintjéhez képest ötven esztendő alatt 19 cm-nyit emelkedett fel. Bretagne partvidékein a tenger fenekén elmerült erdőket látni, másfelől pedig több ezer méter magas hegyeken tengeri csigák maradványai árulják el, hogy a hegy valaha tengerfenék volt. Volt idő valamikor, hogy egész Középeurópát, a Kárpátok és Alpok helyét is beleértve tenger borította. A természet dolgozik, de kétségtelen, hogy nagyon lassan. Ráér.

Az idő' rengetegében való tájékozódás szempontjából legjobb, ha megpróbálunk felelni arra a könnyen adódó kérdésre, hogy milyen idős a Föld? A komoly tudomány nem igen szereti az ilyen kérdéseket, mert tudja, hogy nem felelhet rá megbízhatóan. Az az időmérték, amivel a geológusok mérnek, nem nagyon hasonlít a közönséges idő fogalmához. Szigorúan véve a földtani időszámításban csak az a bizonyos, hogy valami előbb volt, mint a másik, de alig van mód rá megállapítani, hogy milyen időtartam választotta el a két eseményt, történést. Biztosan ki lehet mondani például, hogy a stassfurti só fiatalabb, mint a limburgi kőszén, de



ha meg akarjuk állapítani, hogy években mennyi idő telt el a só és a kőszén képződése között, nem találunk semmi olyan egységet, amellyel mérhetnénk az időközt. Pár száz esztendővel ezelőtt, mikor még tartotta magát a bibliai elképzelés a teremtésről, sőt az akkori geológusok is hittek benne, a biblia ada-

tai alapján valaki kiszámította; hogy az ég és Föld Krisztus születése előtt 4004-ben, október 26-ikán reggel 9 órakor teremtődött, bár az illető nem adta meg, hogy milyen idő szerint, középeurópai, vagy nyugatázsiai helyi idő szerint-e. Ma már el is felejtettük, hogy valaha hatezer esztendőt is elégnek tartottak a Föld múltjára, de még mindig messze vagyunk attól, hogy olyan számot mondhassunk, amelyben mindenki megegyezhet.

Kezdetben a csillagászok és a fizikusok fogtak hozzá, hogy kiszámítsák a Föld korát, természetesen mint bolygóét. Szinte teljes bizonyossággal kimondhatjuk, hogy a Föld a Nap testéből szakadt le valamikor és ezért kezdetben teljes egészében izzón folyós gömbnek kellett lennie, nyilván olyan hőmérsékleten, amilyen a Nap külső felületén uralkodik. Ha tehát abból indulunk ki, hogy a megszületett Föld hőmérséklete 4—5000 fok lehetett, kiszámíthatjuk, hogy mennyi időre volt szükség, amíg a mai hőmérsékletére lehűlt. Legelőször *Lord Kelvin* végezte el ezt a számítást és arra az eredményre jutott, hogy a Föld kora 20—40 millió év között lehet. Ettől a számtól első pillanatban éppen a geológusok döbrentek meg, de amikor *Darwin* és követői kidolgozták a fejlődés elméletét s a geológusok alkalmazták a Föld őskorára is, kiderült, hogy bizony ez a negyvenmillió esztendő sem elég, mert a szerves élet kifejlődése ilyen rövid idő alatt nem mehetett végbe. Volt egy idő, amikor a csillagászok azt mondták, hogy a Föld kora kitesz legalább néhány milliárd évet, de ezt meg már nem akarták elfogadni a geológusok, mert sokallták. Az

első becslések tehát végeredményben csak annyit mondtak, hogy a Föld idősebb negyvenmillió évnél, de azért nem lehet többmilliárd esztendő.

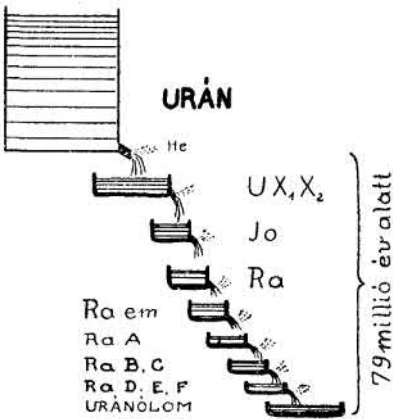
A geológusokat tulajdonképpen nem nagyon érdekli, hogy mennyi időt töltött a Föld izzó állapotban. A földtani kutatások ott kezdődnek, amikor már megszilárdult a Föld kérge, s lényegében arra egyszerűsödik a kérdés, hogy mennyi idő telt el azóta, hogy a szilárd kéreg elkezdte életét. A geológus több olyan tüneményt, folyamatot ismer és figyel meg, amelyekről feltehető, hogy ugyanúgy folynak le ma is, mint a kezdet kezdeté óta. Vannak például üledékes kőzetek, amelyek vízből való lerakódás útján keletkeznek. Mondjuk, hogy találunk egy 10 km vastag ilyen réteget és megfigyeljük valahol, hogy *ma* milyen sebességgel képződnek hasonló üledékek. Első látszatra azt hihetnek, hogy egyszerű osztással azonnal megkapjuk a Föld korát, illetve azt, hogy az a tíz kilométer vastag réteg mikor kezdődött leülepedne. Ez a módszer azonban nem bizonyul megbízhatónak. Először is meglehetősen nehéz megállapítani a leülepedés mai sebességét, hiszen az jelentékenyen különbözik például a Nílus deltájában vagy a jeges tengereken, másodsor nagyon merész az a feltevés, hogy az ülepedés sokmillió esztendőn át végig egyenletes volt.

Kipróbáltak egy másik számítást is, mégpedig az óceánok sótartalmát véve kiindulásul. Ennek az a feltevés az alapja, hogy az óceánok vize eredetileg édes volt, és a sót csak a későbbi idők folyamán szállították bele a folyók, útjukban kioldva azokat a szilárd talajból. Kellően gondos mérésekből fel lehet becsülni, hogy mennyi az a sómennyiség, amit ma hordanak le a folyók a tengerekbe, s tudjuk azt ÍR, hogy jelenleg körülbelül mennyit tesz ki az összes óceánok vizeiben oldott só. Ekképpen számolva az jön ki, hogy a Föld 80—100 millió esztendő múltá tekintethet vissza. Sajnos, ez a számítás sem valami megbízható, hiszen semmiképpen sem lehet eldönteni, hogy igaz-e a kiindulás, valóban nem volt-e semmi só sem a kezdet kezdetén óceánjainkban. A geológusok egyrésze azon a véleményen van, hogy az óceánokban legalább is részben kezdettől fogva volt só, tehát jogtalan az egész következtetés és számítás.

A radioaktivitás felfedezése végre megbízható alapot adott a Föld életkorának megállapítására. A rádium, uránium, thórium és a többi radioaktív elem atomjai tudvalevően állandóan bomlanak s ez a bomlás olyan kérelhetetlen szabályossággal történik, hogy abba sem a fizikus, sem maga a természet sem tud beleavatkozni. Olyan állandó és egyenletes ez a bomlás, hogy a laboratóriumi kísérletek szerint 25.000 légköri nyomás, —240-tól +2500 fokig terjedő hő változás sem befolyásolja, aminek főképpen

azért van jelentősége a mi szempontunkból, mert így joggal tehetjük fel, hogy a földtörténeti múltban is ugyan-

olyan bomlásebességekkel számolhatunk, mint amilyeneket ma megmérünk. A radioaktív bomlás kezdődik például az urániumnál, mely aztán fokozatosan átalakul rádiummá, emanációvá, rádium A, B, C, D, E, F-fé s végül ólomná, amely aztán már nem bomlik tovább. Ez az ólom csak abban különbözik a közönséges ólomtól, hogy atomsúlya 206. A bomlás úgy megy végbe, hogy közben a radioaktív



atom kilövel magából egy-egy héliumatomot vagy elektront, tehát közben hélium is keletkezik, ez azonban legtöbbször elillan, hiszen gáz. Minden urániumtartalmú kőzetben az uránium mellett találunk ólomot is és pedig annál többet, mennél régebbi idő óta került az uránium az illető kőzetbe. Minden radioaktív elemnél megállapították a bomlás sebességét, így például a rádiumnak 1600 év alatt, az urániumnak viszont 4500 millió esztendő alatt bomlik szét a fele. A bomlássorozat végén tehát van még bizonyos mennyiségű uránium a kőzetben és találunk bizonyos mennyiségű ólomot s a kettő arányából kiszámíthatjuk, hogy mennyi idő telt el azóta, hogy az uránium abban a kőzetben bomlani kezdett. Nagyjában számítva 1 g urániumból évente 1/7.900,000.000-od grammnyi uránólmot keletkezik, más-

szóval 100 g urániumnak 79,000.000 évre van szüksége, hogy egy százaléknyi, vagyis egy grammnyi ólmot termeljen bomlásából.

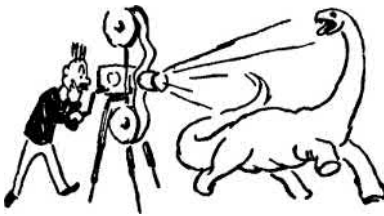
A módszer alkalmazását csak az nehezíti meg, hogy aránylag nagyon kevés ásványban találunk urániumot. (A főbbek: uraninit, zirkon, pyrochlor, biotit, bröggerit, cleveit, bistit.) Másrészt rendszerint közönséges ólom is van a kőzetekben, tehát mindenekelőtt el kell különíteni a 206 atomsúlyú ólmot a más atomsúlyútól. Erre azonban vannak megbízható módszereik a fizikusoknak. Ahol nincs uránium, ott esetleg van thórium, amely szintén végigcsinálja a bomlósortozatot az ólomig, azzal a különbséggel, hogy a végső termék 210 atomsúlyú ólom, és a thórium féleződésének időtartama 15 milliárd esztendő.

A vizsgálatok eredménye megdöbbentő volt. Kiderült, hogy a Föld idősebb, mint addig gondolták, mert másfél milliárd esztendőnél több adódott arra a múltra, ami alatt a földtörténeti erők már működtek a Föld szilárd kérgében. Mondjuk meg mindjárt, hogy az urániumóra csak az annak, idején megszilárdult földkéreg koráról ad felvilágosítást, de nem kérdezzhetjük meg tőle, mennyi ideig tartott, amíg a Föld megszületése után még izzón folyós állapotban volt. A részletes eredményeket a következő kis táblázatban adjuk, a földtörténelem szokásos korbeosztása szerint, habár csak azután lesz még ezekről a korszakokról szó. Most csak a számok nagyságrendje fontos, nem kell törődnünk, hogy milyen korszakokat jelentenek a meghatározások.

Geológiai korszak	
Földtörténeti idő	években
Karbon	326,000.000
Közép-devon	347,000.000
Szilur vége	405,000.000
Hajnalkor vége	1000,000.000
Hajnalkor küszöbe	1208,000.000
Legidősebb kor	1660,000.000

Ezek a számok felülmúlnak minden emberi képzeletet. Valóban csillagászati számok, de mint ahogyan a csillagászok óriási számai is elképzelhetetlen távolságokat jelentenek,

mégis pontosak, valóságot jelentenek, ezek a geológiai számok is valóságokat fejeznek ki, amikkel számolnunk kell, akár értjük, akár nem, hogy mit jelentenek emberi mértékhez képest. A másfél milliárd körüli esztendő múlt azonban a geológiai módszerekkel már megállapított, vagy megbízhatóan megbecsült időadatokhoz képest nem is olyan megdöbbentő. Többszörösen ellenőrzött csillagászati számítások is igazolják, hogy a diluvium kora, a váltakozóan felmelegedő és eljegesedő szakok sora 800.000—1,000.000 esztendeig tartott s ez a 200.000 éves különbség csak azt jelenti, hogy a kor határát különböző kutatók más és más időpontra helyezik. Más szűkebb korszakokra is könnyen adódnak a geológus számításaiból többmillió esztendő időtartamok. Sok geológus ma is megelégszik azzal, hogy a Föld őskorának kezdetét 500 millió esztendővel ezelőttre helyezi s valóban nem is olyan fontos a különbség, hiszen az 500 milliót is éppen olyan kevésbé tudjuk elképzelni, mint az 1600 milliót. Próbáljunk azért mégis valami támpontot találni a földtörténeti múlt arányainak felbecsülésében. Vegyük csak az 500 millió esztendőt. Gondoljuk el, hogy felvették filmre a Föld egész történetét az ősi időkől kezdve napjainkig és ezt a filmet most levetítjük 24 óra alatt, azaz éjfélről éjfélig. Az első tizenkét óra alatt a legkorábbi idők rejtelmét látnók a képen, azt a kort, amelyről semmit sem tudunk ma még. Dél tájban jelennék meg a filmen a legősibbnék ismert állati lény, a földtörténeti ókor furcsa élőlényeit nyolc órán át szemlélhetnénk, s már este negyed



tizenkettő lenne, mikor letűnnének a vásznonról a középkor titokzatos óriásgyíkjai. És a rettenetesen hosszú filmek utolsó háromnegyed-órája alatt peregne le a Föld újkori történelme, és öt másodperccel éjfél előtt, pár

pillanattal a film vége előtt jelennék meg végre először az ember. Az emberiség egész történelme, a neandervölgyi ősembernél kezdődően, oly elenyészően rövid időt foglal el, hogy a huszonnégy órából csak öt másodperc jut rá. A valóságban ez az öt másodperc 40—50 millió év volt.

A Föld korszakai

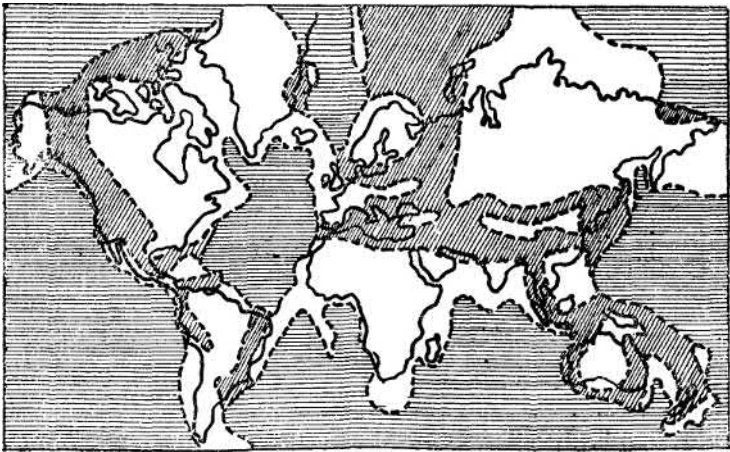
Ha már kénytelenek voltunk beszélni a Föld korszakairól, legjobb lesz velük is folytatni, egyelőre nem törődve azzal, hogy a geológusok milyen alapon osztották be a Föld múltját. A földtan a Föld legkülső szilárd kérgével foglalkozik, hiszen többhöz nem is fér hozzá, de még ennek az aránylag vékony rétegnek is csak nagyon vékony felszíni héját van módjában kikutatni. A szilárd kéreg kőzeteiről meg lehet állapítani, hogy milyen hatásra és milyen sorrendben keletkeztek s a rétegeket úgy lapozgathatjuk, mint egy könyv lapjait. A kőzetek vizsgálata alapján a Föld múltjában négy nagy korszakot lehet megkülönböztetni, a *hajnalkort*, másképpen *őskort*, az *ókort*, a *középkort* és az *újkort*, de ezeken az átfogó korszakokon belül több kisebb kort is találunk. Pusztán geológiai módszerekkel nem lehet megállapítani egyetlen korszaknak sem az időtartamát, úgy mint az emberiség történetében, de egymásutánjukat és egymáshoz viszonyított időtartamukat igen. Az egy-egy koron belül képződött kőzetek összességét *szisztémacsoportoknak* nevezik a geológusok s a kisebb korszakokban keletkezettek összességét *formációknak*, a még kisebbeket *emeleteknek*. Az egyes korok és korszakok között a különbség egyrészt a geológiai erők működésében, a működés hatására keletkezett kőzetek minőségében és elterjedésében mutatkozik, másrészt a növény- és állatvilág kifejlődésében.

A korszakokat röviden a következőképpen jellemezhetjük:

A Föld *őskorában* főként kristályos palák és régi eruptív, vulkáni eredetű kőzetek keletkeztek, mint a gránit, szienit, diorit, gabbra. Ezek együttesen képviselik az *azói szisztémacsoportot*. Az *azoi* szó *életnélkülit* jelent, s azt jelzi, hogy az őskor kőzeteiben nem találjuk meg semmilyen életnek sem a nyomát. Az azoi szisztéma kőzeteinek összességét úgy tekinthetjük, mint a Föld első megszilárdulásakor keletkezett kérget, mely körülburkolja az egész Földet és az úgynevezett *alaphegységet* alkotja. Erre telepedtek mindenütt a későbbi korokban keletkezett kőzetek. Az alaphegység a Föld sok helyén a felszínre bukkan, hegységekké tornyosulva. Körülbelül a Föld felszínének ötödrészét borítják ezek az őskőzetek,

melyek együttes vastagságát 10—50 kilométerre becsülhetjük. Az őskori alaphegység Európa területén legnagyobb tömegekben Skandináviában és Skóciában van kifejlődve, az Alpok, Pireneusok, Kárpátok gránitjai és kristályos palái az ókor elejéről származnak. Az őskorból nincsenek szerves élet maradványai, aminek az lehet a magyarázata, hogy bár ekkor is keletkezettek vízből leülepedett, üledékes kőzetek, melyek magukba zárhatták az élőlények maradván}7 ait, ezeket a kőzeteket a víz ereje szétporlasztotta, lehordta az alaphegységről s velük együtt elpusztította az esetleges kövült állati és növényi maradványokat. A víz működését elárulják a Föld több pontján található őskori márványok és mészkövek, de ezekben sehol sem találtak kőületeket.

Az *ókorban* keletkezett kőzetek összességét *paleozói szisztémacsoportnak* nevezik. A *paleozói* szó *őséletet* jelent s arra vonatkozik, hogy az ebből a korszakból származó kőzetek megőrizték az akkori élet és a maiaktól nagy mértékben eltérő növények és állatok maradványait. Az ókorban különösen vízből leülepedett kőzeteket találunk olyan nagy tömegekben, hogy az egész szisztémacsoport vastagsága meghaladja a 70 kilométert. Ezek a kőzetek a kvarcitok, mészkövek, konglomerátok, homokkővek, agyagpalák. Eredetileg



A Föld ősföldrajzi képe az ókor végefelé

vízszintesen lepték el az alaphegység medencéit, később azonban a Föld szilárd kérgének összehúzódása folytán összegyűrődtek, összetöredeztek, hegységekké tornyosultak, hatalmas hasadékaikon keresztül pedig nagytömegű magmaanyag nyomult a felszínre, gránit, gabbro, diabáz, diorit, porfir. Az üledékes kőzetek nagy tömegéből arra lehet következtetni, hogy a Föld ókorában nagy kiterjedésű tengerek voltak az Óskori szárazföldek között s mivel a kőzetekben rendkívül sok és sokféle állati és növényi maradványt találnak, bizonyos, hogy ezekben a régi tengerekben nagyon élénk és változatos volt az élet. Mivel pedig az élet semmi esetre sem jelenhetett meg hirtelen a Földön, kétségtelenül már az azói korban meg kellett indulnia.

A paleozóji szisztémacsoportba tartozó kőzeteket keletkezésük sorrendje szerint hat formációba szokás sorozni, más szóval az ókort hat korszakra lehet osztani. A legrégebbi a *prekambrium*, melynek kőzetei különösen Északamerikában vannak nagy tömegekben s nagyrészt igen gazdagok vasércben. A következő formáció, a *kambrium* főként Észak-Walesben, Skandináviában, Bretagneban, Csehországban, Kínában és kőszótelepek között az indiai Salt Rangéban vannak kifejlődve, s kíséretükben prekambriumi rétegeket is találunk. A következő, a *szilur* formáció Angliában, Skandináviában, Csehországban és Északamerikában van elterjedve. Ezután jön a *devon*, melynek kőzeteiből arra következtethetünk, hogy ebben a korszakban mindenfelé nagy kiterjedésű tengerek voltak a Földön. A következő korszak a *karion*, a kőszénkorszak. Most már nagyobb teret hódítottak maguknak a szárazföldek s fellendülhetett a szárazföldi élet. A karbon-formáció tengereit a nagy kiterjedésű mészkőrétegek árulják el, a szárazföldről pedig a parti és édesvízi üledékek, melyekben hatalmas kőszénleletek vannak. Karbonkorszakbeliek különösen Anglia, a Ruhrvidék, Belgium, Szilázia, Morvaország, Oroszország, Kína kőszéntelepei. Az ókor legfiatalabb formációja a *perm*, vagy *diász*, melyben főképpen sekélytengeri és édesvízi lerakódásokat találunk gazdag sótelepekkel. Különösen Németországban van sok perm-formáció s ezek közé tartozik a világhírű stassfurti kálisótelep is. Valószínű, hogy a permkorszakban élénkebb volt a vulkáni tevékenység, mert az üledékes kőzetek között



Európa a középkor derekán



Európa elárasztása a jura végén

sok eruptív kőzet fordul elő, főképpen kvarcporfir, porfir és melafir.

A Föld harmadik nagy korában, a *középkorban* vagy *mezozói* korban többször változott a tenger és a szárazföld eloszlása, amit a mezozói szisztémacsoport kőzeteinek sokféleségéből következtethetünk. Ezeknek a kőzeteknek a települése, fekvése többnyire vízszintes és kevés eruptív kőzet akad bennük. A vulkáni tevékenység tehát nem lehet nagyon élénk, mint az előző korban. A hegyképződés ekkor sem szünetelt, de kevésbé volt általános. Ekkor gyűrődtek fel azok a hegységek, amelyek az Alpokhoz Déle Európán, a Kárpátok környékén és Középázsian húzódnak végig, s ugyanekkor keletkezett az Észak- és Délamerika nyugati peremén végighúzódó Andok hegylánca is.

A mezozói kőzeteket három, világosan elkülönülő formációra lehet osztani: a *triász*, *jura* és *kréta* formációra. A *triász* Németországban van leginkább kifejlődve s itt főképpen beltengeri és parti képződményekkel szerepel. Az Alpokban viszont olyan triász-képződmények vannak, amelyek mélytengerben keletkeztek. A Föld különböző részein mindenütt ez a kétféle eredetű triászsal találkozunk s könnyű megállapítani belőlük, hogy ebben a korszakban hol voltak beltengerek,

sekélytengerek, vagy mélytengerek. A németországi triászhoz hasonló képződményeket találunk Angliában, Svédország déli részén, a francia közép-fensík környékén, Észak- és Délamerikában, Délafrikában, Előindianában. Az alpesi triászhoz hasonló mélytengeri képződmények és ezenkívül sekélytengerre és partvidékre mutató korall-



Európa a kréta-korban

szirtek és mészkő'szirtek fordulnak elő Sziciliában, Spanyolországban, a Kárpátokban, a Balkánon, Kisázsiban, a Himalájában, Kelet-szibériában, Japánban, a Spitzbergákon, Alaszkában, Kaliforniában, Kolumbiában, Nevadában, Peruban, Újzélandon, Újkaledóniában.

A *jura* és *kréta* formációkban főként tengeri lerakódások gyakoriak. A jurakorszaknak különösen a végén voltak a Földön nagyterjedésű tengerek. A jura kőzeteiben található kővületekből arra lehet következtetni, hogy az éghajlati viszonyok igen eltérők voltak a Föld különböző pontjain, úgyhogy világosan el lehet különíteni az északi, középeurópai és mediterrán öveget. A kréta-formációban is meg lehet különböztetni egy északi és egy déli világot. A jura-korszak nevét az Alpok franciái és svájci részén levő Jura-hegységtől kapta, ahol a legszibben találták meg e korszak képződményeit. A kréta-korszak viszont attól kapta nevét, hogy a korszak vége felé nagy mennyiségben keletkezett krétakőzet. Itt is szembeötlő a geológiai elnevezések sokszor elég nagy zavart okozó rendszertelensége. Egyik korszakot egy földrajzi helyről, a másikat az uralkodó kőzetről nevezték el. Ugyanezt láttuk a kőszén-kornál, a devonnál, mely az angliai Devonshire grófság után kapta nevét, vagy a permnél, melyet az orosz Perm kormányzóság nyomán neveztek el így. Aki egyébként megnéz majd geológiai írásokat, legyen elké-



szülve arra, hogy nem talál mindenben egységes elnevezéseket. A világ tudósai még nem tudtak megegyezni abban, hogy mit hogyan nevezzenek el s egyelőre az angolok épúgy ragaszkodnak a maguk neveihez, mint a németek vagy franciák, vagy mi. Az elnevezések zavarosságára jellemző, hogy a Föld újkorának két részét ma is harmadkornakfés negyedkornak| nevezik, ami határozottan megtévesztő. A harmadkor a 18. századból ragadt meg, amikor a geológia kezdetleges próbálkozásaiban a Föld történetét mindössze három korszakra osztották, primer, szekunder és terciér korszakokra. Az ő primer korszakuk azonban már maga is harmadik nagy korszaka volt a Föld fejlődésének, tehát már azt kellene harmadkornak nevezni, viszont meghagyták az újkornak a harmadkor nevet, s mivel kiderült, hogy az egységesnek vett korszakot két részre kell bontani, még hozzá is vették a negyedkor elnevezést, még jobban megtévesztve az embert.

A *harmadkor* kövült állati és növényi maradványai nagy éghajlati ellentétekre mutatnak. A korszak elején egész Középeurópában, Izlandon, Grönlandon, egészen a Spitzbergáig tropikus éghajlat uralkodott. Később a hőmérséklet fokozatosan csökkent és a harmadkor végén körülbelül olyan lehetett, mint a mai. Egészen más volt még a tengerek és szárazföldek eloszlása is. Tenger nyúlt végig a mai Földközi-tengeren az Atlanti-óceántól kezdődően Azsia déli részén át a Himalája aljáig. Európa összefüggött Északamerikával, Ázsia Északamerikával, Európa Északafrikával, Afrika egyrészt Indiával, másrészt Délamerikával. A harmadkor képződményei Európában többnyire körülhatárolt medencéket töltenek ki, mint a londoni, párisi, mainzi, bécsi, kismagyar-alföldi, nagy-magyar-alföldi, galíciai, podoliai medencék. Arról is nevezetes a harmadkor, hogy ekkor gyűrődött fel az a hatalmas hegylánc, melyet Euráziai-hegyláncnak neveznek, s mely az Atlasz-hegységtől és a Pireneusoktól kezdve az Alpokon, Kárpátokon, a Balkán-hegységen, Kiszászián keresztül a Himalájáig vezet.

A *negyedkor*, a legújabb kor két alkorszakra osztódik:, míg azonban a harmadkor tartama körülbelül 64 millió esztendőre tehető, a negyedkor alig valamivel tovább tartott, mint egymillió év s ebből a túlnyomó rész a *dilúviumra*, esik s mindössze 20.000 marad a legújabb korra, az *allúviumra*. (Ezt a két korszakot sokszor *pleisztocénnek* és *holocénnek* is mondják.) A dilúviumot a harmadkor végén mutatkozó éghajlatváltozás erőteljes fokozódása jellemzi. A jég és a szél uralkodott a Földön, az átlagos hőmérséklet lecsökkent és hatalmas mennyiségű csapadék hullott hosszú évezredekken át a Földre. Európa északi része nagy kiterjedésű hó- és jégtakaró alá került, amely gleccseriszapot és rengeteg vándorkövet hordott magával. Ilyen jégkorszak nem is egy volt, hanem több a dilúvium alatt. Időnként megenyhült az éghajlat, a jég visszavonult észak felé s egymást váltogatták a jeges és enyhe időszakok, amelyek hatása azonban a Föld más és más helyén másképp és másképp nyilvánult meg. Nyilvánvaló, hogy a bibliai özönvíz valamelyik dilúviumbeli eljegesedés korszakának emlékét őrzi. A nagy éghajlatingadozások hatását meglátjuk az állat- és növényvilágon is. A melegebb időhöz szokott állatok délebbre vonultak s helyüket elfoglalták az északi állatfajták, és jobban el voltak terjedve azok az állatok, amelyek ma már csak inkább magasabb hegyeken élnek. A dilúvium végének a mi szempontunkból legnagyobb jelentőségű eseménye az ember megjelenése.

Az allúviumnak nevezett korszak már magában foglalja a történelmi korszakokat, és joggal nevezhetjük *jelenkor*-nak is. Az allúvium rossz magyar szóval áradmányt jelent s onnan ered, hogy az alluviális képződmények legnagyobb része folyóvizek árterületein képződött. Az alluviális kőzetek úgyszólván az ember szemeláttára képződtek, bár persze sokáig nem vett észre semmit sem belőle, és nyilvánvaló, hogy a kutató tudomány is elsősorban ezeket a képződményeket kezdte vizsgálni. A lerakódásokon kívül azonban idetartoznak a tűzhányók által kivetett és felszínre hozott anyagok, a hamu és láva, a korallszigetek, tőzegtelepek és szó szoros értelmében minden talaj, amely a történelmi időben képződött. Mivel a Föld története itt már szorosan egybekapcsolódik az ember történetével, meg szokás még

különböztetni egy régebbi és egy újabbi allúviumot, az emberi kőkorszakot és bronzkorszakot véve ó-allúviumnak, a vaskorszakot és a mait új-allúviumnak. Mondanunk sem kell, hogy az első komoly geológiai kutatások az allúvium tanulmányozására vonatkoztak s az allúviumos képződmények megismerése vetette meg a helyes földtani következtetések alapját.

A kőzetek

A földtan kétségtelenül a legbonyolultabb, szinte azt mondhatnánk, a legkuszáltabb tudomány. Nem lehet úgy elkezdni valahol, hogy fokozatosan haladunk tovább benne és egy-egy fejezetét a többitől függetlenül tárgyaljuk, legvégére bízva az áttekintő összefoglalást. Az előző lapokon a Föld korszakairól volt szó és lépten-nyomon beszélnünk kellett kőzetekről, habár még nem szóltunk egy szót sem arról, hogy mi a kőzet. Viszont ha a kőzetekkel kezdtük volna, folyton korszakokról kellett volna közben beszélni, vagy amikor a régmúlt korszakokat jellemeztük, érinteni kellett a tengerek és szárazföldek viszonyát vagy az éghajlatot, pedig nem volt előbb alkalmunk az ősi földrajzról kiderített tényeket ismertetni. Ha azonban fordítva kezdtük volna s azt mondjuk el, hogyan változtak a Földön óceánok és kontinensek, hiányzott volna hozzá a földtörténeti korszakok ismerete. És még hozzá mindeddig sikerült óvatosan elkerülni a geológia legfontosabb területét, a kővületek világát, pedig végeredményben az egész modern geológiát nekik köszönhetjük. A Földön minden összefügg egymással, úgy szólva semmit sem lehet különválasztani és a többitől függetlenül nézni. Ebből pedig elkerülhetetlenül adódik, hogy csak fokozatosan tudunk tájékozódni a földi világban és bizony csak az lehet a módszerünk, ha egyelőre nem törődünk sorrenddel, rendszerrel, hanem megyünk végig az utakon, amerre látunk és későbbre bizzuk, hogy az igazi átfogó képet megalkothassuk magunknak, talán csak azzal, hogy amikor mindent végigolvastunk, újra kezdjük s másodszorra aztán állandóan látjuk, érezzük a kapcsolatokat.

Vegyük most sorra a kőzeteket.

Kőzeteknek azokat az ásványtömegeket nevezzük, amelyeknek a Föld szilárd kérgében jelentős szerepük van

s amelyek hatalmas hegyeket, hegységeket alkotnak vagy nagy kiterjedésű tereket foglalnak el a Föld mélyében. Kőzet számtalan fajta van, és hogy áttekinthessük őket, kénytelenek vagyunk csoportokba foglalni, osztályozni őket.

Az osztályozás legáttekinthetőbb, ha *keletkezésük* szerint, azaz genetikai alapon történik. Az eredet végeredményben nem lehet más, mint eruptív vagy üledékes. Tudván azt, hogy a földkéreg maga is a magma felszínének megszilárdulásából keletkezett, nem lehet kétségünk afelől, hogy végeredményben minden kőzetet vissza lehet vezetni az eruptív kőzetekre. A kőzetek a Föld felszínén lassanként elpusztulnak, elmállanak és a mállási termékek sokszor egészen nagy utakon vándorolnak el, amíg valahol leülepednek, s ilyenkor már kénytelenek vagyunk üledékes kőzeteknek nevezni őket. Mind az eruptív, mind az üledékes kőzetek lesüllyedhetnek a földkéreg alsó részeibe, ott elvannak temetve fiatalabb üledékekkel, a mélységben nagy nyomásnak és magas hőmérsékleteknek vannak kitéve, ami aztán lényeges változásokat idézhet elő bennük. Ilyenek a metamorf kőzetek, amelyek tehát végelemzésben eruptívok voltak, de anyagukban, szerkezetükben egészen másokká váltak.

A Föld kérgét bizony csak nagyon kis mélységig ismerjük. A bányák alig jutnak lejjebb másfél kilométernél, s a mélyfúrások sem igen hatolnak le 3 km-nél mélyebbre, ez pedig valóban elenyészően kevés, nemcsak a Föld egész nagyságához képest, hanem a szilárd kéreg vastagságához mérten is, hiszen alig két-három százalékát teszi ki annak. A geológiai kutatás kiderítette a földkéreg töréseinek, vetődéseinek törvényszerűségeit és ezek felhasználásával bátran mondhatja, hogy a Föld szilárd kérgét körülbelül 16 km mélységgel meglehetősen bizonyossággal sikerült feltárni. Ennek a 16 km vastagságú rétegnek súly szerint a litoszféra, vagyis a szilárd rész 93%-át teszi ki, az óceánok víztömege 6.9 százalékát. A kőzetek alkotta szilárd rétegben az eruptív kőzetek tömege 95% a metamorfoké 4%, az üledékesek közül a homokkőzet 0.75, a mészkőzet 0.25%. A szilárd kéreg tehát ma is túlnyomó. részben eruptív kőzetekből van. Ezeknek a kőzeteknek az anyagában kielemezhetjük

a kémiai elemeket s azok egymáshoz viszonyított arányát. Az eredményt ismerjük, mikor a Föld anyagával foglalkoztunk, felsoroltuk a Föld anyagának alkotórészeit. Láttuk, hogy a kéregnek szinte felét *oxigén*, negyedrésztét *szilícium* alkotja. Az oxigén nyilván nem gázalakban szerepel, hanem vegyületekben megkötve, oxidokban. Meglepő, hogy oly nagy arányban szerepel a szilícium, az az elem, amelyet közönséges halandó egyáltalán nem ismer. A szilíciumnak hasonlóan fontos a szerepe a szervesvilágban, mint a szénnek a szervesben s kémiailag van is rokonság kettejük között, csak az a különbség, hogy a szilíciumatomok nem tudnak olyan változatosságban egymáshoz is kapcsolódni, mint a szénatomok s ezért aránylag kevés a szilíciumvegyületek száma a szénvegyületekhez képest. Éppen azért, mert szilíciumot legfeljebb a vegyészek látnak önmagában, nem árt, ha közbevetően elmondunk róla egyetmást a későbbiek könnyebb megértésére. A szilícium kétféle alakban fordul elő a vegyészek laboratóriumában: kristályos és amorf alakban. A kristályos szilícium sötét, fényes, átlátszatlan kristályokat alkot, az amorf vörösbarna por. Az amorf alak sokkal könnyebben alkot vegyületeket, mint a kristályos. Levegőn hevítve a szilícium könnyen elég és szilíciumdioxid (SiO_2) lesz belőle.

Ez a szilícium dioxid igen sokféle alakban fordul elő a természetben, részben kristályosan, mint kvarc, részben amorf alakban. A víztiszta kvarckristályokat *hegyi kristálynak*, nálunk *mámmaros gyémántnak* nevezik, a vasvegyületektől sárgára festetteket *citronnek*, *arany topáznak*, a mangánvegyületektől ibolyára színezetteket *ametisztnek*, a szerves vegyületektől tisztátalan szürkésbarnákat, *jüsttopáznak*. E közismert kristályokon kívül számos kőzetnek kvarc a főanyaga s túlnyomó részben kvarc a közönséges homok is. Az amorf szilíciumdioxid legszebb fajtája az *opál*, mely vizet is tartalmaz megkötve. Az achát, ónix, jáspis, tűzkő, karneol stb. olyan amorf szilíciumdioxidok, melyekbe kristályos SiO_2 is keveredett. A legtisztább amorf szilíciumdioxid az *infuzóriaföld*, mely történelemelőtti idők mikroszkopikus kicsiny állatainak fennmaradt kvarcpáncélja.

Ha még hozzáképzelnünk a szilíciumdioxidba vizet is, megkapjuk a *kovasavat*, melynek vegyi képlete H_2SiO_3 .

A kovasav gyenge sav, lúgokkal alkotott sóit *szilikátoknak* nevezzük. A Föld kérgében ezek a szilikátok igen nagy szerepet játszanak. Legfontosabbak a nátronföldpát, kálium - földpát, a kalciumföldpát. Ezek azonban mind kettős szilikátok, a nátrium, kálium, kalcium mellett mindegyikben van alumínium is, tehát vegyi szerkezetük sorjában KAISi_3O_8 , $\text{NaAISi}_3\text{O}_8$, $\text{CaAISi}_3\text{O}_8$. Ne vegye rossz néven az olvasó, hogy felsoroltuk ezeket a vegyi képleteket, de nem árt az ilyesmi, hiszen alapjában véve nagyon könnyű olvasni őket és nagyon világosan mutatják a vegyület szerkezetét. A felsorolt kettős szilikátok, földpátok, akár tisztán fordulnak elő a természetben, akár más anyagokkal keverve a kőzetekben, amilyen a bazalt, trachit, gránit, a víz és a széndioxid hatására lassú mállásnak vannak kitéve. Így például a káliföldpátból a víz lassanként káliumszilikátot old ki s végül víztartalmú alumíniumszilikát marad meg belőle. Ha ez az így keletkezett alumíniumszilikát megmarad tisztán, keletkezése helyén, nem keveredik össze más anyagokkal, akkor azt kaolinnak, porcellánföldnek, fehéragyagnak nevezik. A víz azonban legtöbbször tovasodorja s közben összekeveri idegen anyagokkal, közettörmelékekkel, homokkal, mészkövel, vasoxiddal s ha ez az anyag "valahol aztán lerakódik, az lesz belőle, amit közönségesen *agyagnak* hívnak.

Az eruptív kőzetekben nagyon sok fajta földpát szerepel és sok másfajta szilíciumvegyület, a fél ásványt meg kellene ismételnünk, ha mindet fel akarnók sorolni. Fontos érc azután a vasérc az eruptív kőzetekben. Leginkább elterjedt a *mágnesevaskő*, vagy *magnetit*, mely vasnak oxidja, fekete, fémesfényű, nyolcszögletű kristályokat alkot. Ritkább a *hematit*, vagy *vörös vasérc*, mely ugyancsak vasoxid. Hatszögletű pikkelyei villogó sötétkékek és fémes fényűek, pora azonban vérvörös. Hozzája hasonló a titvánvasérc, melyben titán is van. Minden vulkáni eredetű kőzetben elő szokott fordulni az *apatit*, melynek hatszöges oszlopai olyan aprók néha, hogy szabad szemmel észre sem lehet őket|venni a kőzetben. Ez az ásvány egyike a legfontosabb ásványoknak az élet szempontjából, mert az egyetlen foszfát|(kalciumfoszfát-klorid), mely a természetben általánosan el van terjedve és belőle kapják a növények és közvetve általuk az állatok is foszfátszükségletüket.

Az eruptív kőzetek osztályozásában legcélszerűbb a kémiai összetételt venni alapul. A főcsoportok beosztásában legfontosabb a kovatartalom. Vannak kovában gazdag és kovában szegény ásványok. Ennek alapján megkülönböztünk túltelített kőzeteket, melyek a magmából való kvarcot tartalmaznak, telített kőzeteket, melyek csak kovával telített ásványokat tartalmaznak, végül telítetlen kőzeteket, melynek elegyrészei már nincsenek mind kovával telítve. Ebbe a csoportba olyan kőzetek tartoznak, amelyek olivin és más, úgynevezett földpátpótló ásványokat tartalmaznak: Túltelített kőzetek a gránit, grandiorit, diorit, kvarcporfir, riolit, dácit. Telítettek a szienit, trachit, andezit, bazalt, telítetlenek a nefelinszienit, ijolit, fonolit, limburgit. Sajnos, a kőzetnevekben is ugyanolyan összevisszaság van, mint a korszaknevekben. Vannak ókori eredetű elnevezések, mint a bazalt, porfir, mások a bányászatból származnak, vagy népi eredetűek, például a gabbra toscanai népi elnevezés. Némelyik kőzet valami jellemző tulajdonságáról kapta nevét, például a trachit az érdes tapintásáról (trachys = érdes). Újabban pedig elkezdték a lelőhelyekről nevezni a kőzeteket, például az andezit az Andokról kapta nevét. Az amerikai geológusok most megpróbálják félretenni a régi neveket és olyan rendszerrel megszerkeszteni a neveket, amelynek egyetlen alapja a kőzet vegyi összetétele. Európában nem igen akarják elfogadni az új neveket s így az a helyzet, hogy nemsokára külön szótárra lesz szüksége az európai geológusnak, ha egy amerikai geológus munkáját olvassa.

Most pedig nézzünk meg közelebbről néhány fontos kőzetet.

A *gránit* a legelterjedtebb és legősibb eruptív kőzet. Szemcsés, kristályos szövete van, lényeges alkotórészei a földpát, a csillám és a kvarc. Az előbbi kettő kristályos, a kvarc amorf alakban van benne. Mellékes alkatrészekként lehet a gránitban turmalin, cirkon, apatit, vasérc, ónkő, topáz, grafit. A gránit kitűnő épületkő, utcaburkoló kő, s szelvében használják szoboralapzatoknak is. Gránit az egész Földön mindenütt előfordul nagy tömegekben és vagy dombos vidékeket, vagy nagy táblás fensíkokat, vagy meredek szirtet alkot. Gránitból vannak a Kárpátok övében a Kis-Hárpátok, Lajtahegység, Fáttra, a Tátrák, a Fogarasi havasok.

A *trachit* néven ma már csak a szienitmagmából keletkezett vulkáni kőzeteket értik, míg azelőtt minden érdes tapintású harmadkori lávát annak mondtak. A trachitok elegyrészei a szanidin nevű földpát és valami színes elegyrész, leginkább biotit, vagy augit, vagy amfibol. Világos színű, porfiros szövetűek. Hazánk területén nincs igazi trachit, de bőségesen található Közép-Itáliában, az óceáni szigeteken, Németországban a Siebengebirgében s a francia Auvergneben. Ipari tekintetben nagyon fontos kőzetek a trachitos tufák, melyekből kitűnő építőanyagokat készítenek. Megőrlik őket, porukat mésszel keverik és így olyan habarcsot kapnak, mely vízzel gyorsan cementálódik, puzzolanföld néven szerepel ez a nyersanyag, melyet különösen vízi építkezéseknél használnak fel, például kikötőket, gátakat építenek belőle.

Az *andezit* és a *bazalt* a legjobban elterjedt lávatípusok. A kettőt főképen az különbözteti meg, hogy az andezitekben a világosabb színű elegyrészek uralkodnak, a bazaltokban a színeesebbek túlsúlyban vannak. Az andezit legfőbb alkotórészei nátrium-mész-földpátok. Nevüket az amerikai Andes-hegyláncolattól kapták. A Csendes-óceánt környező ma is működő vulkánok főképen andezitlávát öntenek magukból? A Kárpátok, a Balkáni hegyek, a Kaukázus andezittömegei a harmadkorban törtek fel. A Kárpátok belső oldalát végigkísérik az andezites kítőrések. A Szentendre—Visegrád közötti Dunazúg-hegység, a Börzsöny, a Mátra, az Erdélyi érchegység egy része a legtipikusabb andezitekből van.

A bazalt nevet már *Plinius* is használta, állítólag etiópai eredetű szó és fekete vastartalmú követ jelent. Körülbelül egyenlő arányban vannak benne a világos és sötét színű ásványok, világos a nátrium-mész-földpát, színesek az augit, olivin és a vasércsek. A bazaltos kőzetek az effúziós kőzetek legközönségesebb fajtái, földünk egyes vidékein hatalmas területeket fednek. Az indiai félszigeten 600.000 km² területen, 1.000 m vastagságban fedik bazalttakarók a Dekkánt. Amerikában a Columbia és Snake River síkságai óriási méretű bazaltterületek. Európában ismert bazaltvidékek Izland és a Faröe-szigetek. Ma is vannak működő bazaltvulkánok, ilyen a Vezúv és az Etna is. Magyarországon is számottevő bazalttömegek vannak. Közismertek a Balaton



bazalttakarói, a Badacsony, Szentgyörgy, Gulács, Tótihegy, Csohány, Tátika, Haláp. Nagyobb bazaltvidék a nógrádgömöri. A bazaltos kőzetek igen gyakran pompás oszlopokban váltak szét a láva lehülése közben. Különösen útépitésre alkalmasak a bazaltok.

A belőlük készült kockák négyzetcentiméterenként 1.100—3.500 kg megterhelést is elbírnak s legnagyobb előnyük, hogy a kocsiforgalomtól egyenletesen kopnak, felületük sima marad, a csúcsok nem töredeznek le. Budapesten a főbb utak mind bazalttal vannak köveztve.

Az eruptív kőzetek a magma megmerevedett anyagából keletkeztek s ezért szokás elsődleges kőzeteknek nevezni őket. A Föld felületén azonban előbb-utóbb minden kőzet elpusztul. Vannak hatások, amelyek mechanikai úton hatnak, felaprózzák a kőzeteket, mások kémiaiag bontják el őket. A kőzeteknek ezt a pusztulását mállásnak nevezzük. A mechanikai mállás nem több, mint felaprózás, a kémiai mállás azonban már megváltoztatja a kőzetek anyagát is. A mállás ermőkei maradhatnak egészükben szilárdak, de lehetnek oldhatók is vízben. A kőzetek felaprózásában szerepük van a hőmérsékletváltozásoknak, a fagynak, a hullámverésnek és az élőszervezeteknek. A vegyi bomlás főtényezői a víz, oxigén és a szénsav. A szétmállott kőzetanyag megmaradhat ott helyben is, ahol a mállás végbement, de el is szállítódik, elviszik a patakok, folyók, tengeráramok, elhordja a szél. A helyben megmaradt mállástermékeket *maradéküledékek* nevezük. A szilárd alakban, leginkább igen finom porként jelentkező mállástermékeket a víz szállítja el, benne lebegnek a részecskék, majd valami medencében lerakódik, leülepedik a szállítmány, ezek a tulajdonképeni üledékek. A kémiai mállásból származó anyagok a vízben oldódnak fel s azután vagy úgy kerülnek elő, hogy a víz elpárolog, vagy pedig olyan vegyi folyamatok jönnek közbe, amelyek kicsapják szilárd alakban az oldottakat. Ezeket az üledékeket kémiaiaknak nevezzük. Élő szervezetek is leválaszthatják a vízben oldott anyagokat s ezeknek szerves üledékek a nevük. Hozzájuk szokás venni az elhalt és megszzenesedett növényi

törmelékek felhalmozódásait is, habár ezek szigorúan véve nem tekinthetők kőzeteknek. Ez az osztályozás természetesen megint nem tökéletes, mert sokféle átmenet is lehetséges és a természet nem sokat törődik az ember skatulyázásával.

A maradékküledésekben kétféle anyag szerepel. Egyrészt benne vannak az eredeti kőzet el nem mállott alkotórészei, másrészt az elbontásból visszamaradt oldhatatlan anyagok. Ez az oldhatatlan maradék rendszerint igen finom szerkezetű, mint például az agyag. A kőzetek különféle ásványokból vannak s ezek különféleképpen viselkednek a mállás folyamán. A gránit például főleg kvarcból, földpátból és csillámból van. A földpátot nagyon hamar kikezdi a mállasztó erők s ezért ennek mállása indítja meg a gránit szétesését. A kvarc viszont a legellentállóbb ásványok közé tartozik, hosszú szállítás alatt is legfeljebb lekopnak élei, szögletei és ezért gömbölyűek általában a homokszemek. A gránitot általában elég időálló kőzetnek tartják az emberek s ezért is készítették belőle minden időben szobrokat, emlékműveket. Vele szemben a mészkő a legkönnyebben málló kőzet, aminek az az oka, hogy kellő mennyiségű vízben feloldódik, tehát ha valami különösebb véletlen nem védi meg



a víz beszivárgásától, idővel teljesen feloldódik és csak némi agyag marad belőle, mint oldhatatlan maradék.

Ha valahol olyan kőzetek fordulnak elő együtt, egymás mellett, vagy egymás felett, melyek különbözően viselkednek a mállasztó hatásokkal szemben, a kevésbé ellenálló hamarabb pusztulnak el, a szilárdabbak érintetlenül megmaradnak egy ideig s végül is kiemelkednek a puhább, kevésbé időálló kőzetek közül. Sok helyütt látunk különös alakú, magánosan álló, kiemelkedő sziklákat, hatalmas ingó köveket, amelyekről az ember azt hinné, hogy mindjárt eldőlnék, gombaformájú sziklákat, piramisokat, s ezek csaknem kivétel nélkül

úgy keletkeztek, hogy körülöttük elmállott minden más kőzet s ők még megmaradtak.

A mállás mindenütt folyik, földön, földalatt, tengerfenéken, ha imitt-amott kevésbé feltűnően is. Laza, termékeny talajaink épúgy mállás termékei, mint a kietlen karszterületek. A mállást előidéző okok és körülmények mindenütt mások és mások, s ezért mindenütt egészen egyéni alakban történhetik a mállás. Néha meggyorsul, néha meglassul, sőt meg is áll egy ideig, de végeredményben egyetlen kőzet sem menekülhet sorsa elől, még a legkeményebb, legszilárdabbnak képzelt sem. Mintha minden erő azon játszana össze, hogy elpusztítsa, lehordja a szárazföldeket, másrészt pedig újakat építsen fel anyagukból valahol másutt.

A kőzetek elmállasztásában és ami ugyanolyan fontos, a mállástermékek szállításában a víz játssza a főszerepet. A víz ismert körforgalma szorosán együtt halad a kőzetek életének és pusztulásának körforgalmával. Ahol víz van, ott állandóan párolog is. Vízgőzök szállanak fel a levegőbe, eljutnak a magas légrétegekbe, ott megint cseppfolyósakká lesznek és eső vagy hó alakjában visszahullanak a Földre. A lehullott csapadék egyharmada megint elpárolog, másik harmada beszivárog a talajba, harmadik harmada a földterületen folyik le és a folyókon át beomlik a tengerekbe. Ez a beosztás természetesen nem pontos, egyik helyen több párolog el, másikon több folyik le, vagy többet szív be a talaj. A csapadéknak az a része, amely beszivárgott a talajba, a mállasztás szolgálatában dolgozik, a lefolyó víz pedig szállítja a mállástermékeket.

Bármilyen keménynek, szilárdnak, tömöttek gondoljuk a kőzeteket, mind likacsosak s a leszivárgó víz ezeket az apró likacsokat tölti ki. Ha a víz megfagy, térfogatának egytizedével kitágul s ha a fagyás zárt térben történik, hatalmas feszítő erőt gyakorol az edény tartó falára. A vízvezetéki csőben megfagyó víz egészen könnyen repesztí szét a vastag vascsövet. A sziklák likacsaiban megfagyó víz ugyanolyan könnyörtelenül feszíti szét a követ, mint a vízvezetéki csövet s ahol nagyok a hőmérsékletkülönbségek, ott minden olvadáskor mállik minden kőzet. S ne felejtjük el, hogy magas hegységekben sokszor még a legmelegebb nyáron át is minden éjjel fagy. Szerepe van azonban a víznek a kémiai mállásban

is. Nem is szólva a közönséges oldásról, tudnunk kell, hogy minden vegyi folyamat csaknem kivétel nélkül legalább is sokkal könnyebben megy végbe, ha a benne résztvevő vegyületek



oldott állapotban vannak. A meleg is elősegíti a vegyi átalakulásokat, tehát magától adódik, hogy több a vegyi mállás, ahol több a víz és nagyobb hőmérsékletek fordulnak elő. Ezért a sarkvidékeken lassúbb minden mállási folyamat, mert a víz is csak szilárd hó és jég alakjában van jelen s hiányzik a vegyi átalakulás motorja, a hő. A száraz vidékeken viszont hiába van elég meleg, nincs víz. Ezért van az, hogy sivatagokban meredek lejtőket találunk sok törmelékkel, a mérsékelt égöv alatt, ahol nagyobb a csapadék és enyhébb az időjárás, lankás lejtőket, termőfölddel borítva. A mállás fizikai és kémiai feltételei mások azután a nagyobb magasságokban s a magasság növekedésével a fagy felaprózó hatása lesz nagy. Ezért oly éles körvonalúak a magas hegycsúcsok s ezért van felhalmozódva lábuknál a sok törmelék. Általában azon ismeri meg a fizikai és a vegyi mállás hatását, hogy a fizikai erők által termelt törmelékek szögletesek, élesek, a vegyi mállasztás pedig sima, legömbölyödött, finomabb anyagot hoz létre.

A lehulló esőcseppek egyrésze a többivel egyesülve kis erecskében kezd lecsurogni a magas helyekről s ezek az erek még a szikláknak is tudnak kimélyíteni maguknak kis csatornákat. Az apró vízerek egyre nagyobbak lesznek, végül patakokká, folyókká, folyamokká egyesülnek. Minden víz elsősorban a nehézségezőnek engedelmessékedik és igyekszik mindig alacsonyabb helyre jutni, útját végül a tengerekben fejezni be. Útja közben felszed magával mindent, amit a mállás eléje táal, szállíthatóvá tesz. Feloldja az oldható anyagokat, görgeti a kavicsokat, sodorja a homokot, iszapot s közben még kivájja, kimossa a talajt, újabb mállást, töredevezést is idézve elő. Vannak svájci hegyipatakok, amelyek 20—30 mázsás sziklatuskókat tudnak görgetni ma-

guk előtt. Mivel a folyók vize útközben is állandóan oldja a kőzeteket, nyilvánvaló, hogy mennél hosszabb utat tett meg a tengerig, annál több oldott anyagot, főképpen sókat szállít magával. Nem csupán azért, mert több alkalma van rá, hanem azért is, mert mennél több anyag van oldva a vízben, annál hatásosabb oldószer, annál többféle anyagot tud még feloldani.

Geológiai szempontból különösen a mészkőből való hegységek területén van nagy jelentősége az áramló víz vegyi hatásának. A mészkő ugyan szinte egyáltalán nem oldódik tiszta vízben, de szénsavas vízben igen, márpedig még az esővízben is van oldva szén-sav, hiszen a levegőben mindenütt van széndioxid. A víz behatol a mészkövek apró repedéseibe s ezeket folyton tágítja, mélyíti s ezek a hasadékok lassanként az egész kőzettömeget átjárják. Néhol aztán a víz egészen a kőzet mélyén vág végül utat magának, a felszín alatt folyik tovább s esetleg csak néhány kilométernyi távolságban tud felszínre törni. Számos olyan barlangot ismerünk, amelyet a víz oldott ki mészkőben, s a cseppkőbarlangokban ma is saját szemünkkel láthatjuk a víz munkáját. Az átszivárgó mészkőoldat cseppenként hull le a barlang tetejéről s közben állandóan mész válik ki belőle, ami fokozatosan csapokká, cseppkövekké meredek meg. Ahová pedig a barlang fenekére lehullanak, ott is kicsapódik belőlük a mész és alulról felfelé nő és terebélyesedik a cseppkőoszlop, míg végül összetalálkozik a fentről lefelé növekvővel és oszloppá nő össze azzal.

A rövidéletű ember nehezen tudja elhinni, hogy geológiai időtartamok alatt mi mindenre képes a víz. Hegyeket tüntet el, völgyeket ás, tengereket töm be, kilométer vastag rétegeket rak le. Még ha megfigyelhető számadatokat mondunk, akkor sem talál megfelelő támaszpontot képzeletünk. Megállapították, hogy a Reuss nevű folyó a Gotthard és a Vierwaldstättener tó között annyi törmelékkel vis naponta, hogy sima országúton csak kétezer kétlovas szekér tudná elszállítani. Hány ember munkája kellene csak ahhoz, hogy ezt az anyagot lefejtse a sziklákról! És hány évezred kell a természetnek, hogy lehordasson egy-egy hegyet, több-száz méter mély szakadékokat vájasson a vízzel.

Alaposan bele kellene merülnünk az ásványtanba, ha meg akarnánk ismerkedni a jelentősebb üledékes kőzet-

fajtákkal s ezért alig tehetünk mást, mint hogy nagyjában felemlítünk néhányat a fontosabbak közül. A durva töredékekről nem is szólva, legismertebb üledékfajta a *homok*.

Vannak tengeri, torkolati, tavi, folyami, sivatagi, vulkáni és gleccsereredetű homokfajták s általában annál jobban osztályozódnak, mennél hosszabb ideig tartott a szállításuk. A gleccserek végén összegyülemlő homok a legösszetettebb s nagyon élesszélű szemcsékből van. A



sivatagi homok a leggömbölyűbb szemcséjű s nagyon tiszta, mert a szél kifúj minden port belőle. A homok uralkodó anyaga a *kvarc*. A homokszemcsék összeragadhatnak s ilyenkor homokkő lesz belőlük. A ragasztó cementanyag lehet kovás, meszes, agyagos, gipszes. Kitűnő homokkő van Budapest határában a Hárshegyen, a Nagy Kevély oldalában, a Balaton északi partján, különösen Almádiban, Révfülöpön csaknem minden, ház a permkorbeli piros homokkőből épült. A homokkövek közé sorozzák a *lősz*t is, azt a kőzetet, mely a legjobb termőföldet szolgáltatja. Lényegében porfinomságú kvarchomok, miben a szemcséket szénsavas mész burkolja körül s van benne kevés agyagos, vashidroxidos kötőanyag is.

Az *agyagfajták* közös tulajdonsága, hogy rendkívül finom szemcsékből vannak, anyaguk túlnyomórészen alumíniumoxid és kvarc, vízzel megkötve. Ezenkívül azonban sok más elegyrészt is találunk bennük. Legérdekesebb és legfontosabb az agyagnak a vízzel szemben való viselkedése. A kiszáradt agyag mohón szívja magába a nedvességet s ilyenkor képlékennyé lesz, könnyen lehet gyúrni, formálni. Ha teleszívja magát vízzel, több vizet nem ereszt át magán, tehát a vízzel telt agyag vízelzáró réteggé szerepel a földben. Általában vízi képződmények az agyagok, anyaguk

iszap alakjában főképpen a tengerekben, néha folyókban és tavakban rakódott le. Csaknem bizonyosra vehetjük tehát, hogy ahol vastagabb agyagréteget látunk, valamikor tengerfenék volt, még ha most hegy. van is ott. Az agyagokban néha 15%-nyi víz van, ha ennek nagyobb részét elveszti, szilárdabb kőzet, *pala* lesz belőle. A timsós agyag érdesebb tapintású, mint az úgynevezett zsíros agyag és rendszerint finoman eloszlott pirit (vasszulfid) van benne, amely lassan elbomlik, oxidálódik, miközben kénsav szabadul fel, ez oldja az agyagot s timsó keletkezik. A budai keserűvízforrásoknál az történik, hogy a piritből alakuló kénsav kioldja az agyagból a keserűsót, a magnéziumszulfátot és a gipszet, a kalciumszulfátot. A keserűsó könnyen oldódik a vízben s benne is marad oldott állapotban, a gipsz viszont alig oldható s ezért kikristályosodik s az agyagban marad. Az agyagokat sokféle célra használják fel, általában úgy, hogy kiformálás után kiégetik, amikor is elveszti kötött víztartalmát is és szilárd anyag lesz belőle. Cserép, téglá, fazekasáru készül így belőle.



A kémiai eredetű üledékek közül legfontosabbak a *karbonátok*, azaz a szénsav által képzett sófajták. Legelterjedtebbek a kalcium és a magnézium karbonátjai (CaCO_3 és MgCO_3), melyeket *szénsavas* mésznek és *szén-*

savas magnéziumnak is neveznek. Szénsavas mész, mészkő a folyó- és tengervízből is leülepedhet, de az ilyen szeretlen eredetű mészkő ritkább, mint a szerves eredetű. Inkább az édesvizekben gyakoribb a kalciumkarbonát kicsapódása. A tiszta víz egy literje mindössze 13 ezredgramm kalciumkarbonátot tud feloldani, de ha a vízben széndioxid is van, jóval többet, mert kalcium-hidrokarbonát $\text{CaH}_2(\text{CO}_3)_2$ keletkezik. Ez a vegyület aztán könnyen elbomlik ismét a víz párolgása, felmelegedése vagy a nyomás csökkenése alkalmával s ilyenkor lecsapódik a kalciumkarbonát, amit már nem tud oldva tartani a víz s idővel mészkővé keményedik. A szénsavas mész lecsapódását szépen láthatjuk a cseppkőbarlangokban, mint már emlí-

tettük. A kalciumkarbonát kicsapódásánál azonban a növények is közrejátszhatnak. Tudvalevő, hogy minden növénynek széndioxidra van szüksége, mert annak szélbontásából kapja meg a testének felépítéséhez szükséges szén-dioxidot. A növények, felszívva a kalcium-hidrokarbonátos vizet, kiválasztják belőle a széndioxidot s meghagyják a kalciumkarbonátot, amely kicsapódik. Az így keletkezett mészköveket *mészufáknak* vagy travertinóknak hívják. Ilyen travertino fedettség néhány méter vastagságban a budai Várhegy tetejét, benne vannak a barlangok, és az óbudai, kiscelli fennsík tetejét. Ez a budakörnyéki travertino fagyálló, jól fűrészelhető és faragható kőzet s belőle épült a Halászbástya, a rakpart, a várpalota, az Országház.

Elterjedt és fontos kőzet a *dolomit*, melynek normálalakja a kalcium- és magnéziumkarbonátból álló kettős, képletben $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Néha több kalciumkarbonátot tartalmaz s ekkor dolomitos mészkőnek nevezzük. Minden földtani korszakban keletkezett dolomit. A dunántúli dolomit harmadkori eredetű. A Balaton-felvidéken húzódik végig, de megvan még a Pilisi és Budai hegységben is. Belőle van a Gellérthegynek a Duna felé néző lejtője, a Hármashatárhegy és a Jánoshegy nagy része.

A Földön található mészkőtelepek túlnyomó részben szerves eredetűek, kisebb-nagyobb lények meszes vázainak maradványaiból gyűltek össze. Az egysejtű foraminiferák, korallok, tengeri liliomok, csigák, kagylók, rákok azok az állatok, amelyek elsősorban szerepelnek a *mészkő* termelésében, a növények közül a meszet kiválasztó moszatok. A meszes vázrészecskék rendszeresen be vannak ágyazva meszes iszapba de maga ez az iszap sem egyéb, mint a vázrészecskék finomra apiózódott törmeléke. A mai óceánok fenekét nagy területen borítja a *Olobigerina-iszap*. A Gkbigerinák a foraminiferák csoportjába tartozó egysejtű állatok, melyeknek meszes vázuk van. Az óceán vizének felső rétegeiben élnek, szabadon úszkálva, elhalásuk után vázuk leüllyed a tengsr fenekére s ott felhalmozódik. Süllyedés közben azonban a váz feloldódik, mert a mélységgel együtt nő a nyomás és ez növeli a víz oldóképességét. Az Atlanti-óceán fenekét nagy mennyiségben borítja el a *glebigerina-iszap* s más óceánokban is akad. Az Atlanti-óceán forró-

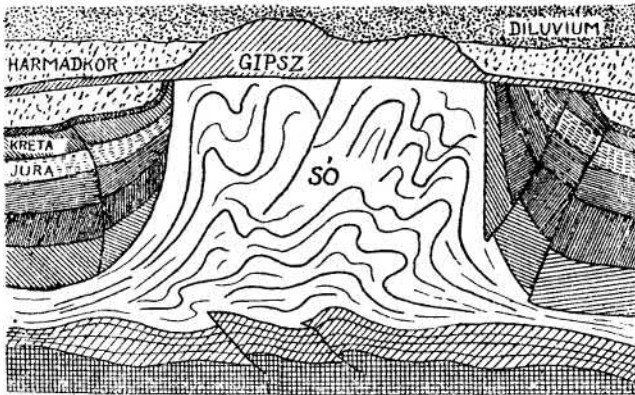
égövi tájain a pteropódák héjtöredékeiből halmozódott fel a *pteropoda-iszap*. Természetes, hogy ezek az iszapok rendkívül lassan halmozódnak fel, hiszen egészen parányi állatok megszámlálhatatlan sokaságának pusztulása kell hozzá. Az *író kréta* megszilárdult meszes iszap, melyben a héjtöredékek igen apróra morzsolódtak össze.

A kőszénkori üledékek között Európában nagy szerepet játszik a *Fusulina-mészkö*, mely az ugyancsak egysejtű *fusulina* vázait tartalmazza. Magyarországon legfontosabb az eocénkorból származó *Nummulites mészkő*, mely a nummulinának nevezett egysejtű, de tekintélyes nagyságra megnövekvő apró lények héjából rakódott össze. Meszes héjukat a magyar nép Szent László pénzének hívja.

Határtalanul nagy tömegekben halmozódhatnak fel a tengerek fenekén a kagylók, csigák, karlábúak és tüskébőrűek vázai és törmelékei. Különösen a sekélyvizű partokon találni hatalmas tömegeket. Ezek között a kagylós mészkövek között sok igen kitűnő építőanyag. Vannak moszatok, melyek — mint már említettük — a kalciumhidrokarbonátból ki tudják választani a széndioxidot s ezzel kicsapják belőle a meszet, amely lerakódik magára a növényre s szinte megkövesíti. Nemcsak tengerben, hanem édesvizekben is találkozunk ilyen moszatokkal. A *korallok* kőzetalkotó tevékenységét régóta ismeri az ember. Ezek az állatok csak melegebb és tisztavízű tengerekben élnek, mindenkor csak sekély vízben, legfeljebb negyven méter mélységig. Hatalmas, összefüggő telepeket alkotnak, a hullámverés állandóan zúzza a váztömegeket, s egyre nagyobb tömegekben halmozódik fel az állatok meszes váza. Az így keletkező korallzátonyok nem rétegezettek, hanem egyetlen összefüggő tömeget alkotnak.

A Föld számos pontján fordulnak elő nagy *kősótélepek*, tömbök, melyek minden bizonnyal egykori elzárt tengeröblök beszáradása folytán keletkeztek. A tengervíz elpárolgása következtében az oldott só kivált és kristályos tömegben megszilárdult, majd a tengeri iszaptól keletkezett agyagtakaró megvédte a víz oldó hatásától. Egy liter tengervízben átlag 35 gramm különféle só van oldva, a legtöbb a közönséges konyhasó, nátriumklorid, 27.213 g, rajta kívül magnéziumklorid 3.807 g, magnéziumsulfát 1.658 g,

káliumszulfát 0863 g, kalciumszulfát 1.260 g, kalciumkarbonát 0.123 g, magnéziumbromid 0.076 g. A sótelepek keletkezésének megértésére élő példaként szokás felhozni a Kaspi-tenger Karabugasz nevű öblében ma is végbemenő folyamatot. Ezt az öblöt hosszú, keskeny földnyelvek zárják el a Kaspi-tengertől s a földnyelveket csak egyetlen csatorna szeli át. Az öböl környékének száraz, meleg éghajlata van, ezért a párolgás igen erős. Az elpárolgott vizet a Kaspi-tengerből beáramló tengervíz pótolja, mely, természetesen, sótartalmú. Az öböl vize tehát egyre töményebb lesz és ma már elérte azt a töménységet, hogy a gipsz (kalciumszulfát) és a glaubersó (nátriumszulfát) már kezd lerakódni a fenekére, azonban a kősó kiválása még nem kezdődött meg. Valószínű, hogy a Föld múltjában sokhelyütt keletkeztek hasonló körülmények között sólerakódások, de hogy azokból valóságos sótelepek legyenek, még különlegesen kedvező körülményekre volt szükség. Nyilván-



való, hogy az öbölnek valamilyen gáttal elzárva kell lennie a nyílt tengertől, különben a töményebb oldat alul kiáramlana a tengerbe. Ha aztán ilyen gát zárja el az öblöt, a só lerakódhatnak egészen a gát pereméig feltömve az öböl medrét. Igazi sótelep azonban csak akkor lehet ebből ha a gát idővel kiemelkedik a tenger szintje fölé s az öböl végleg lefűződik a tengertől. Még ekkor is szükség van arra, hogy valamilyen vízelzáró réteg borítsa el a sótómege-

ket. Leghíresebb sótelep a németországi Stassfurt közelében lévő, melynek keletkezése azonban minden bizonnyal bonyolultabb volt, mint az átlagos telepeké, mert olyan sók is vannak benne, amelyek nem fordulnak elő a mai tengervizekben, például a műtrágyának használt *kálisó*, mely a telep felső rétegét alkotja.

A sótelepeken valóban másféle sók is vannak, mint amelyeneket a tengervizekben találunk. Természetesen, kísérleteket is végeztek, hogy ha mesterségesen bepárolgatjuk a tengervizet, milyen sók keletkeznek s a vizsgálatoknak meglepő eredményük volt, amennyiben kiderült, hogy csak részben kapjuk meg ugyanazokat a sókat, amelyeket a sótelepeken bányászni lehet, másrészt, másfajta egyszerű, kettős, sőt hármas sók is keletkeznek a bepárlás alatt, amelynek magában a tengervízben nincsenek jelen. A kálisó, más néven szilvit is ilyen és nyilvánvaló, hogy ezek a sók utólag keletkeztek a telepen, úgy hogy víz tört be & kész sótelepbe, feloldotta a sók egy részét s az oldatból aztán nem a régi sók, hanem másfélék válnak ki. így például a *karnallit* (káliumklorid és magnéziumklorid kettős sója) oldatából nem kristályosodik ki újra a karnallit, hanem *szilvin* válik ki, a magnézium klorid pedig megmarad oldatban. Vannak aztán a stassfurti sótelepekben olyan sók is, amelyek csak magasabb hőmérsékleten keletkezhetnek, így például az úgynevezett *keménysó*, melynek keletkezéséhez legalább 72° hőmérsékletre van szükség. Bizonyos, hogy & tenger vize nem lehetett ilyen meleg, tehát nem történthetett más, mint hogy az egész sótömb idők folyamán olyan mélyre süllyedt, ahol már ily magas hőfokok uralkodnak s azután került ismét a felszín közelébe a maga teljes tömegében. Azt kell hinnünk, hogy a nagy sótelepek keletkezéséhez elengedhetetlen feltétel, hogy a medence, melyben a sókiválás lefolyt, állandó lassú süllyedésben legyen. A sótömegek egyébként meglehetősen pasztikusak s szinte felfelé fűrják magukat a süllyedő kőzetek között.

A szerves eredetű kőzetek közé kell soroznunk a *kőszenet* is, mely sokmillió évvel ezelőtt élt növények anyagából keletkezett s tudvalevően nagy tömegekben fordul elő egyes helyeken. A növények szénvegyületekből építik fel testüket s pusztulásuk után az a sorsuk, hogy »elszenesednek«.

Ez az elszenesedés azonban sokféleképpen mehet végbe, aszerint, hogy milyen körülmények között történik. Levegő, víz, nedvesség hatása alatt a növény elkorhad s ebben az esetben alapanyagának csak nagyon kis része halmozódhat fel később is felhasználható tüzelőanyag formájában. Levegőtől elzárva, de nedvesség jelenlétében tőzegesedés áll be s a mai kőszéntelepek kezdete az ilyen tőzegesedésre vezethető vissza. Ahhoz, hogy élő növényből kőszén legyen, millió és millió esztendőre van szükség, tehát geológiai korzakokra. Sokmillió évvel ezelőtt, amikor még nemcsak ember nem élt a Földön, hanem a mai állatformákkal sem találkozhattunk volna, hatalmas erdők éltek és pusztultak el a még véglegesen meg sem állapodott Föld felszínén. Ezek az erdők azonban nem is hasonlítottak a mai erdőkhöz, egészen másféle növényekből alakultak s a geológusok kutatásai szerint a tengereknek a szárazföldekről való fokozatos visszahúzódása nyomán maradt medencékben keletkező óriási kiterjedésű mocsarak voltak őshazái a gazdagon fejlődő növényzetnek. Ezek az Ősnövények még virágtalanok voltak, elkorcsosult maradványaik a harasztok, zsurlók, korpafüvek, de ezeket messze túlszárnyalták méreteikben. A mai jelentéktelen korpafű őse, a *sigillaria* például 25—30 méter magas, két méter átmérőjű óriásfa volt s hasonló arányban nőttek meg a zsurlók, harasztok is. Gondoljunk a mai trópusi növényzetre s arra, hogy négyszázmillió évvel ezelőtt Európában is trópusi hőség uralkodott, az erdőségeket pálmák, fügefák, kámforfák alkották, amint azt a magyar barnaszemekben is ki lehet mutatni.

A legnagyobb fák sem élnek örökké, a növények is pusztulnak s az őskori buja növényzet pusztulása után elsüllyedt a mocsarakban az iszap alá. Itt aztán, elzárva a levegőtől, de víz jelenlétében, megkezdődött a maradványok eltőzegesedése, később elszenesedése. Tehát ahol valaha erdő volt, ott széntelepeket találhatunk a föld alatt. Előfordul azonban elég gyakran, hogy az elsüllyedt növényanyagot közben elsodorta a vizek árja, s a mai széntelepek másutt vannak, mint ahol az ősi erdő húzódott, de könnyen meg lehet különböztetni az ott helyben keletkezett széntelepeket az elsodortaktól. Az eredeti helyükön elszenesedett erdőkben sokszor álló helyzetükben találunk

óriási fatörzseket, az elsodortakban pedig kusza összevisszaságban látjuk a törzseket, gyökereket és ezenkívül a vándorlás közben sok idegen anyag is keveredett közéjük.

Levegőhiány és víz azonban még nem minden. Nagy szerepe van az elszenesedés folyamatában a hőmérsékletnek és a nyomásnak is. Magasabb hőfokon és nagyobb nyomás alatt ugyanis gyorsabban történik az elszenesedés és még jobb minőségű is lesz a szén. Hő fejlődik a bomlás közben, de közrejátszhatott a Föld belső hője is, különösen ha mélyebbre süllyedt a növénytömeg, a nyomás pedig attól függött, hogy milyen kőzetrétegek rakódtak le az idők folyamán a széntelepre. A helyi adottságok és viszonyok rendkívül változatosak lehettek s ez a magyarázata annak, hogy nincs a világon két szénbánya, amelyben egyforma szenet termelnek, sőt még ugyanabban a széntelepben is egészen eltérő minőségű szenek fordulnak sokszor elő.

A szenek különbözőségének azonban legelső oka az, hogy különböző korból származnak, tehát különböző fokú bennük az elszenesedés. A geológia csak ritkán mer megadni pontos évszámokat, ha régi korszakokról van szó, de elég biztosra mondja, hogy a szén korát 40—80 millió évre kell becsülnünk, tehát az ókorban kellett megindulnia a szénképződésnek. Eleinte azt hitték, hogy csak a karbonkorszakot kell tekintenünk a szén korszakában, de ma már tudjuk, hogy vannak jóval fiatalabb széntelepek is, négy-ötmillió évesek is. Valóban a karbon korszakból származnak a jó fekete szenek a moszkvai medencében, az Uraiban, a Fekete-tenger mellékén, Lengyelországban, Csehországban, Németországban, Belgiumban, Franciaországban, Angliában, az Egyesült Államokban, Kínában lévő széntelepek. A magyarországi szenek közül csak a tiszafa-újványaí ésakrassó-szőrénybeli kemenceszéki szenek karbonbéliiek. A középkori jura idejében keletkezett a mecseki feketeszen és az aninai, a többi mind újkori.

A szenek tulajdonságai fokozatosan változnak korukkal párhuzamosan, tehát kézenfekvő, hogy a kor szerint osztályozhatjuk legjobban őket. Eszerint a legfiatalabbnak, a *tőzeg*-nek kell megnyitnia a sort, utána következik a *lignit*,

a barnaszén, feketeszén, antracit. A tőzeg színe a legvilágosabb, a lignit már sötétebb barna, a barnaszén legtöbbször már egészen fekete, még ha barnának nevezzük is, az antracit kékes árnyalatú fekete. A tőzeg és a lignit könnyűek, a barnaszén nehezebb és még nehezebb a feketeszén és az antracit. Az elszenesedés alatt tehát a szén egyre tömörebb lesz, úgyhogy például egy három méter vastag tőzegtelepből csak egy-két méter vastag barnaszénréteg, majd ennél is vékonyabb feketeszénréteg lesz az idők folyamán. A rétegek vastagsága nagyon változó, a különböző telepekben. Néha csak néhány centiméter vastag a szénréteg és a legtöbb esetben számos széntelep változik közbeiktatott egyéb üledékek rétegeivel. A Mecsekben például száznál több szénréteget ismernek, összes vastagságuk kitenne 50 métert, de a legtöbbet nem érdemes kifejteni, mert vékonyabb fél méternél. A Ruhr-vidéken is mintegy száz telep van egymás fölött, mindegyik egy-két méter vastag. A Donyec-medencében 225 széntelep ismétlődik egymás felett.

Habár nem igen lehet önálló geológiai rétegnek, üledékes kőzetnek nevezni, mégis idetartozik a *kőolaj* is. A kőszén növényi maradékokból keletkezett, a kőolaj állati eredetű, Földünk ókorában elhalt szerves lények maradákaiból származik. Ezt igazolja az a tapasztalat is, hogy soha sincs kőolaj olyan geológiai rétegekben, amelyekben még nincs nyoma semmiféle szerves életnek. Az olaj megjelenése nyilván egybeesik az állatvilág megjelenésével s ma már szinte kísérletileg be tudjuk bizonyítani, hogy állati eredetű anyagokból még mesterségesen is lehet kőolajat csinálni.

A kőolajat és egyúttal mindig földgázt is tartalmazó rétegek sohasem fordulnak elő széntelepek társaságában, ami nyilván azt jelenti, hogy mindkettő keletkezésének mások voltak a feltételei. A kőszén növények maradványaiból keletkezett, a kőolaj állati maradványokból. Azonban olaj csak akkor keletkezhetett az állati fehérjékből, zsírokból, ha az elpusztult állati testek nem oxidálódhattak, nem éghettek, rothadhattak el. A nyílt tengerek vizében aránylag mindenkor sok oldott oxigén van, az ott élt és elhalt állatok teste oxidáció útján bomlik el s ezért csak zárt tengerekben, vagy nyílt tengerek majdnem zárt öbleiben történ-

het meg, hogy az elhalt és a fenékre süllyedt állatok maradványai nem oxidálódtak, mert ezekben a vizekben a felszíntől már alig pár méternyi mélységben már nincs semmi oxigén sem.

A tengerekben rengeteg élőlény él, halak, csigák, de különösképpen az apró, mikroszkopikusan kicsiny lények billiói, amelyeket összefoglaló néven a tenger *planktonjának* neveznek. Rendes körülmények között az óceánok vizének egy köbcentiméterében 10—20 lebegő lényt lehet megszámolni, ezek összes súlya azonban alig tesz ki pár tized grammot. Sok kicsi azonban sokra megy s hogy milyen nagy tömegben vannak ezek a planktonlények, annak legeggy-



Olaj a likacsos homokrétegekben

szerűbb bizonyítéka, hogy a bálnák kizárólag velük táplálkoznak s szépen meg is nőnek belőlük.

A plankton-lények elhalálkozásuk után lesüllyednek, a tetemeik a vízbe jutott porral keveredve, végül a fenéken hatalmas vastagságú rothadó iszappá gyűlnek össze s ebben a tömegben oxidáció nem következhet be, mert oxigén nincs. Ezt a rothadó iszapot *sapropél-nek* nevezik. A tengerfenék süllyedés következtében a sapropélrétegek egyre mélyebbre kerültek, az évezredek, évmilliók alatt agyagos mélytengeri üledék lepte el őket s a hosszú-hosszú idők alatt nagynyomás, magas hőmérséklet és nem utolsó sorban a baktériumok bomlasztó hatására, végül olaj és gáz lett az állati maradványokból. Ez a folyamat ma is szemünk előtt megy végbe a mocsarakban, legalább részben, mert a metán, a mocsárgáz pontosan így keletkezik. A sapropélréteg lényegében bomló szerves anyagokat tartalmazó homok. Az olaj és a gáz, mely

a szerves anyagokból keletkezik, könnyebb a víznél, tehát felszáll a víz színére, ha nem zárja el valamilyen újabb, vízáthatatlan réteg. Alul-felül elzárva kell maradnia a sós vízzel és állati maradványokkal átítatott homokrétegnek, hogy a geológiai változások során is együttmaradjon az olaj és a gáz. Eredetileg nagyjában vízszintesen feküdt az iszapüledés, melyben az olaj keletkezett, de évmilliók alatt rengeteg változás történik a földrétegekkel. Feltolódnak, egymásra türemlenek, megtörnek, összegyűrődnek s eközben bizonyára nagyon sokszor történt meg, hogy megszökik az olaj és a gáz, mert út nyílt meg előtte felfelé.

Leggyakoribb és legkedvezőbb eset az, amikor a Föld mélyében alulról, vagy két oldalról ható nyomás következtében a földrétegek felpúposodnak, boltozatokat alkottak. A geológusok az ilyen hullámossá vált területeken *antiklinálisok*-nak nevezik a boltozatos feldudorodásokat, *szinklinálisoknak* az előbbiekkal szabályosan váltakozó teknőket, mélyedéseket. Olaj és gáz természetesen csak a boltozatos, kupolás részekben lehet, hiszen kisebb fajsúlya miatt mindkettő felfelé igyekszik. Az olajréteg likacsos homok, amelyben a homokszemcsék közti hézagokat tölti ki az olaj, illetve a gáz s a mindig velük együtt szereplő sós víz. Mennél likacsosabb a homokkőzet, annál több olajat tartalmazhat, mennél tömörebb, annál kevesebbet. A finom homok likacsossága 50%-os is lehet, a durvábbé 30—35%, de ebből még nem következik, hogy minden rétegben annyi az olaj és a gáz, amennyi belefér.

Az eredeti olajréteg sok mindenféle változáson mehet keresztül. Megtörténhet, hogy a réteg kettészakad, egyik fele feltolódik a Föld felszíne felé, sőt egészen fel is bukkan s ekkor kiömlik a gáz, kiszivárog az olaj s legtöbbször meg is gyullad magától. Régebben csak az ilyen eseteket ismerték s a kőolajkutatások kezdetén is legfeljebb az ilyen szivárgó helyeken ástak, vagy fúrtak mélyebbre, hogy dúsabb rétegeket találjanak s nyissanak meg. Ma már külön tudomány az olajtelepek felkutatása. A geofizika és geológia együtt dolgozik, hogy a Föld felszínén végzett megfigyelésekből és mérésekből minél biztosabban megállapítsa, hol remélhetünk olajat a mélységekből. A tudomány nagyon sokat köszönhet is az olajvállalatoknak, mert egy-

egy területnek olajkutatás szempontjából végzett átkutatása teljesen felderíti a vidék mélyének geológiai szerkezetét, akár találnak olajat, akár nem.



teknő

boltozat

Olajos földgáz az antikinálisban

A földkéreg alakulásai

Minden kőzetnek az a sorsa, hogy szétmálljék, elpusztuljon s ebből önként adódik az a következtetés, hogy a legörökkévalóbbnak látszó hegynek sem lehet más a sorsa. A szilárdnak hitt földfelület bizony egyáltalán nem állandó alakulás és ha az emberi élet tartamához képest öröknek látszanak is a hegyek, völgyek, folyók, tengerek, mihelyt csak kevésbé is kezdünk tudni tájékozódni a geológia megfigyelései között és hozzászokunk a földtörténeti korszakok méreteihez, tudomásul kell vennünk, hogy a hegyek, sziklák világa is mulandó. Néhány megfigyelés közvetlenül igazolja, hogy a földkéreg ma sincs nyugalomban, még rövid emberi életünk néhány esztendeje alatt is tanúi lehetünk észrevehető eltolódásoknak, elmozdulásoknak. Említettük, hogy Stockholm a tenger szintjéhez képest 50 év alatt 19 cm-nyit emelkedett. Ez nem sok, csak pontos mérésekkel lehetett megállapítani, de a Thirreni tengerben levő Palmarola-sziget 74 év alatt 64 m-t emelkedett ki a

tenger fölé, tehát évente csaknem egy méterrel, amit könnyű, minden mérés nélkül észrevenni. Dalmácia partvidéke süllyed, a Salamon-szigeteken korallzátonyokat találunk több száz méter magasságban, holott a korallok csak a tenger szintje alatt pár méterrel tanyáznak. Sok folyó medrét lehet követni az Atlanti óceán fenekén, jeléül annak, hogy nagy szárazföldrészek kerültek víz alá. És hogy még bonyolultabb példát mondjunk, Kréta szigetének nyugati része rövid idő alatt 5 m-t, déli része 8 m-t emelkedett, keleti része pedig 1 m-rel süllyedt. Szembeötlő a Skandináv-félsziget fokozatos emelkedése. A norvég partvidékek fjordjai tulajdonképpen tengerbe fült völgyek, a hatalmas nyugati hegylánc olyan állapotban van, mintha az Alpokat részben víz alá süllyesztenénk. Nyilván az történt valamikor, hogy az egész vidék lesüllyedt a tengerbe, most pedig kezd fokozatosan kiemelkedni, még pedig tekintélyes sebességgel, évente körülbelül fél méternyivel. Az emelkedést először a halászok vették észre, mikor rájöttek, hogy az apáik által használt kikötők szúkek és sekélyek lettek, olyan sziklák pedig, amelyek veszedelmes zátonyokként voltak ismertek, most már egészen kiemelkedtek a tengerből s nem veszélyesek többé.



Stockholm és a finnországi

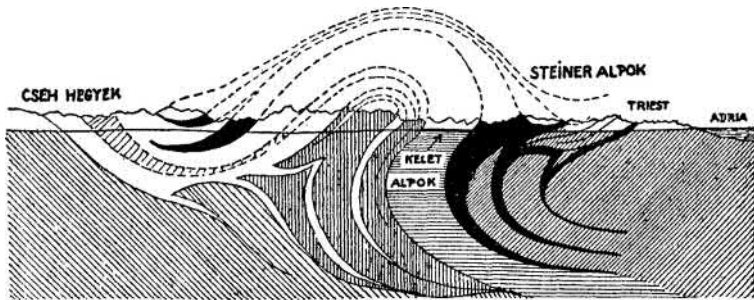
Turku között jelenleg mintegy 14.000 apró, úgynevezett *sér-sziget* emelkedik ki a tengerből s számuk évről-évre néhány százszal szaporodik.

Ebből a néhány példából feltétlenül kiviláglik, hogy a földkéreg nyugalma csak látszólagos. Mozgás, élet ma is van benne, természetesen mindenkor volt is és a geológiának az a célja, hogy a ma megfigyelhető, megvizsgálható állapotból, a szerepet vivő erők ismeretében kiderítse, hogyan alakult ki a földkerekség.

Az üledékes kőzeteknek nyilvánvalóan vízszintesen kellene elhelyezkedniök, alul illenék lennie a legrégebb

rétegek, fölöttük sorban a fiatalabbaknak. Valóban, talá-
lunk olyan helyeket a Földön, ahol az egymástán követ-
kező rétegek szép vízszintesen fekszenek egymáson, de a
minden kutató szándék nélkül nézelődő turista is számta-
lan példáját láthatja annak hegyoldalban, vízmosásokban,
agyaggödrökben, hogy a rétegek legtöbbször összegöbül-
tek, egymásra türemlettek, megszakadnak, elcsúsznak, a
tervszerűen kutató geológus pedig nagy arányokban is meg-
állapíthatja, hogy a földrétegekkel rengeteg változás történik
a földtani korszakok folyamán. Az eredetileg vízszintesen
fekvő rétegek részben vagy egészükben kimozdulnak, egyik
részük lesüpped, másik felemelkedik, az egész eldőlhethet,
összegyűrődhet. Mindezeket a mozgásokat visszavezethet-
jük függőleges és vízszintes eltolódásokra, habár sokszor
nem lehet megmondani, hogy melyik rész mozdult el fel-
felé vagy oldalra. A függőleges elmozdulások abban nyilván-
valóan meg, hogy az egész rétegsor megtörik s a törések
mentén a földkéreg valahogyan alkalmazkodik a Föld bel-
sejében megnyilvánuló feszültségeknek. A függőlegesen ható-
erők hatása lényegében igyekszik megrövidíteni a földkérget,
míg a vízszintesen ható húzófeszültségek kitágítják, szét-
húzzák a rétegeket. A természetben ezernyi változatát talál-
juk a vetődéseknek, gyűrődéseknek. Egy helyütt beszakad
a terület, minek következtében széles völgy keletkezik
s a közepén a fiatal rétegek kerülnek egyvonalba a két szélén
megmaradt részek idősebb rétegeivel. Másutt megmarad
közepén az eredeti helyzet s köröskörül lesüppednek a réte-
gek, sokszor lépcsőzetesen, mint azt az úgynevezett sas-
bérceknél látjuk.

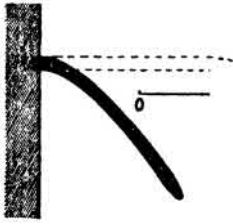
Magától értetődnek, de mégsem felesleges emlékeztet-
nünk arra, hogy geológiai méretekről van szó, nemcsak
geológiai korokról. Vízszintes erő hatása következtében
például egy összetüremlett réteg ráborulhat a réteg nyuga-
lomban maradt folytatására s egymás fölé kerülhetnek a
földkéregnek olyan részei, amelyek eredetileg talán 500
km-nyire vagy még messzebb feküdtek egymástól. Az
Alpesek tulajdonképpen feltüremlett hegylánc, mely dél
felől ható nyomás következtében gyűrődött fel. Ma mint-
egy 150 km a szélessége, ha azonban megint kisimíthatnánk
és kivasalnék a redőket, 800—1200 km széles földszávot



Az Alpok keresztmetszete

földnek el. Ha közben nem történnék annyi minden, a mai hegységek rétegeit feltárva, a földtörténet lapjainak egyszerű lapozgatásáról lenne szó a geológiai kutatásokban. A geológiai erőkn kívül azonban működnek a mállasztó hatások és a hegységekké gyúrt kőzeteket lecsorbítja, letarolja az eső és a fagy, annyira, hogy ma már nagyon sok minden hiányzik az eredeti rétegekből és meglehetősen gondot okoz a geológusnak, ha a mai helyzetből rekonstruálni akarja a teljes múltat.

A földkéregben végbemenő és kétségtelenül megállapítható gyűrődések, vetődések, átalakulások elképzelését megnehezíti a közönséges ember közvetlen tapasztalata, mely annyira keményeknek, szilárdaknak, változhatatlanoknak mutatja a sziklákat, hegyeket. Nehéz elhinni, hogy összefüggő kőzetrétegek úgy gyűrődjenek, mint a papiros, úgy változtassák alakjukat, mint a puha agyag. Aki valóban nem hiszi el, annak ajánlunk egy kísérletet, melyhez nem kellenek ugyan geológiai idők, de mégis rá kell szálni vagy félesztendőt. Tessék venni egy rúd pecsétviaszt, melyről jól tudjuk, hogy elég kemény és törekeny. Egyik végét szorítsuk be valamilyen tartóba, hogy a másik vége vízszintesen kiálljon s aztán tegyük fel valahová, a szekrény tetejére s hagyjuk ott pár hónapig. Habár egyik napról a másikra nem igen veszünk észre semmi változást, idővel mégis fel kell tűnni, hogy a rúd szabadon álló vége hajlik lefelé, saját súlyának hatása alatt, pedig ez a súly nem is több néhány dekánál. Ha ugyanolyan közönséges fehérviaszból való rúddal ismételnénk meg a kísérletet, meglepődnénk rajta, hogy ugyanannyi idő alatt harmincadannyit hajlott meg, habár a viaszt plasztikusabb anyagnak



hisszük, mint a kemény pecsétviaszt. Viszont, elegendő nyomással valóban rákényszeríthetjük a viaszt, hogy olyan alakot vegyen fel, amilyent akarunk, de a pecsét viasznál hiába igyekszünk erősebb nyomással gyorsabb alakváltozást előidéznie, inkább eltörik. Nyilvánvaló, hogy kétféle tulaj-

donságot kell megkülönböztetnünk: a *plasztikusságot* és azt, ami a pecsétviasznál inkább megvan s amit *fluiditásnak*, folyóképességnek, folyékonyságnak nevezünk. Félreértések megelőzése céljából jobb lesz megmaradni a latin szónál és fluiditásról beszélni. A pecsétviasz tehát nem olyan plasztikus, mint a fehér viasz, de fluiditása harmincszor akkora.

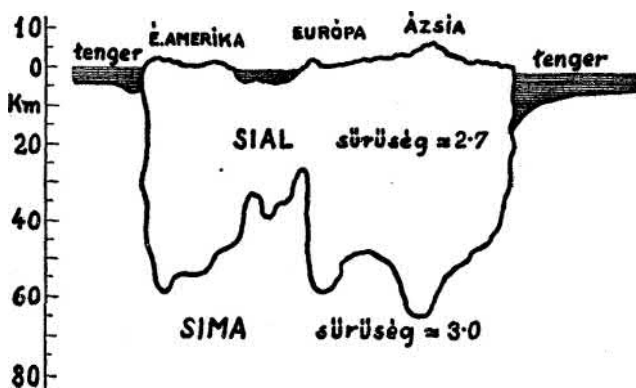
A földkéreg rétegeit vizsgálva, rá kell jönnünk arra, hogy minden kőzetanyagnak is van fluiditása. Egyiknél-másiknál, például a márványnál, agyagnál, kősnál, igen nagy nyomás alatt minden alakot fel tudnak venni, anélkül, hogy eltörnének. Sajnos, a kőzetanyagok plaszticitását és fluiditását nem tudjuk laboratóriumi mérésekkel meghatározni, mert olyan hosszú idők kellenének hozzá, mint általában a geológiai folyamatokhoz. Inkább csak a földtani kutatásokból leszűrt tapasztalatok állnak rendelkezésünkre s azokból állapíthatunk meg egyetmást. így például bizonyos, hogy a jégnek nagy a fluiditása és egyúttal a plaszticitása is, amit a gleccserek simulékonyságánál látunk legjobban. Ha semmiféle erő nem működne a Földön, csak a nehézségerő, bizonyos, hogy végül is tökéletesen elsimulnának a szárazföldek egyenlőtlenségei, már pusztán az anyagok fluiditása következtében is.

A jég fluiditása nagyobb, mint a pecsétviaszé, a hideg acélé viszont százezerszerre kisebb. A kőzetek általában a pecsétviasz és az acél közt állnak fluiditás dolgában. A szilárd anyagok fluiditása azonban növekszik a hőmérséklettel és még hozzá igen erőteljesen, ha az olvadáspontot megközelíti a hőfok. Az olvadás ugyanis átmenetet jelent a szilárd halmazállapotból a valóságos cseppfolyós állapotba, amelynél a legkisebb erők is el tudják távolítani egymástól az anyag kis részecskéit. A gleccsereknél például szépen

meg lehet figyelni, hogy felszínük összerepedezik, de a mélyebben levő és melegebb jég simul. Hasonlóképpen kétségtelen, hogy a Föld szilárd kérgének felszíne merevebb, mint a mélyebben fekvő és magasabb hőmérsékletű kőzetek, melyek még nagyobb nyomás alatt is állanak. Sok jel mutat még arra is, hogy a kristályos anyagok fluiditása nagyobb, mint az amorfoké, ezek inkább plasztikusak. Mind-ebből pedig az a fontos, hogy a Föld szilárd kérgét, bár szilárd, nem szabad merevnek, változhatatlannak tekintenünk, hanem mindenkor gondolnunk kell arra, hogy minden anyagnak van bizonyos fluiditása, aminek következtében engedelmeskedik a ráható erőknek, ha ugyan nagyon lassan is. Minden anyag előbb csak gyúródik, hajlik, formálódik és csak akkor törik is, amikor már nincs tovább, elérte a rugalmasság határát.

Elég sokszor kellett beszélnünk szárazföldről, kontinensekről, a Föld szilárd kérgének arról a részéről, amely kiemelkedik az óceánok szintje fölé s abból a kevésből, amit idáig is hallottunk a Föld felszínét alakító erők szívós hatalmáról, magunk is gondolhatjuk, hogy a mai világrészek nem igen lehetnek és lehettek kezdetről fogva kialakult, többé nem változó alakulatok. Ismételjük meg, amit a Föld belsejének szerkezetéről sikerült biztosan megállapítani. A Föld külső, szilárd kőzetekből álló kérgé aránylag nagyon vékony, 2—300 km mélységben már egészen bizonyosan folyósnyúlós állapotban van a Föld anyaga körülbelül 2000° hőmérsékleten. Ennek a csaknem folyékony második rétegnek a sűrűsége jóval nagyobb, mint a kéregé s hogy a következőkben egyszerűsítsük mondanivalónkat, fogadjuk el a két réteg tudományos nevét: a szilárd kéreg legyen *sial*, az alatta levő folyós *sima*. A sial sűrűsége átlagában 2.7, a simáéét 3.4-re becsülhetjük.

A sima összetétele is más, mint a sial-é, nevük is jelzi, a sima főképpen szilícium és magnézium, a sial szilícium és alumínium. Ma már általános a geológiában az az elképzelés, hogy a kontinensek tömege mintegy úszik a simában, mint vízen a fadarab vagy a jég. Bizonyos, hogy a sima távolról sem olyan könnyen folyós, mint a víz, de annyira okvetlenül, hogy a rajta nyugvó sial-tömegek bizonyos mélységig beléje süllyedhetnek. Hogy mennyire merülnek beléje, azt,



természetesen, a nehézségerő hatása szabja meg, mert nemcsak víznél érvényes Archimedesz híres törvénye:

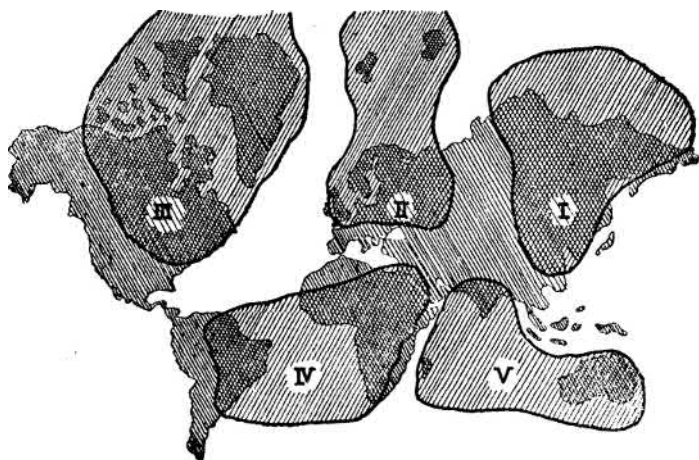
Minden vízben mártott test
 A súlyából annyit vesz,
 Amennyi az általa
 Helyéből kinyomott víz súlya

Ez azt jelenti, hogy a sial-rögök bizonyos mélységig lenyúlnak a simába, mint ahogyan a vízben úszó jéghegyeknek is csak egytizede emelkedik ki a víz szintje fölé, kilenc-tizede a vízbe merül, mert a jég egytizedével könnyebb a víznél. Azt az egyensúlyi állapotot, amelyre a Föld rétegei a nehézségerő következtében törekszenek, *izosztáziának* nevezik s ezt a szót tanácsos megtanulni, annyiszor fordul elő a geológiában. Az izosztázia elve azt mondja ki, hogy semmi-féle maradandó zavar nem következhet be a földrétegek állapotában anélkül, hogy azonnal ne nyüvánuljon meg a törekvés újabb állandó egyensúlyi állapot létrehozására. Hogy egy példát mondjuk, tegyük fel, Grönland pár ezer méter vastag jégpáncélja egyszerre csak elolvad. Jelenleg Grönland tömbje annyira van alul bemerülve a sima anyagába, amennyire Archimedesz törvénye alapján szüksége van az egyensúlyi állapothoz. Ha a jégtakaró máról holnapra elolvadna és elpárologna, Grönland hatalmas tömeget veszítene súlyából s az egyensúly csak úgy maradhatna fenn, ha letről a sima felnyomná kellő magasságra az egész szárazföldtömböt.

Nyilvánvaló, hogy az izosztázia követelte egyensúlyi állapot, ha megvan is, nem lehet örök. A szárazföldeken állandóan folyik a kőzetek mállása, a hegyek lehordása s ennek feltétlen következménye, hogy a megkönnyebbülő kontinensek igen lassan bár, de fokozatosan jobban kiemelkednek a simából. Másrésről a hegyekről lehordott anyag összegyülemlik az alacsonyan fekvő medencékben, ezek tehát súlyosabbak lesznek és mélyebbre kell süllyedniök & simába. Nem kell tehát azt következtetnünk, hogy a szárazföldek végül is tökéletes síksággá laposodnak el, hiszen a hegyek letárolása azzal jár, hogy a hegyek feljebb emelkednek s a medencék lejjebb süllyednek.

Amikor évmilliárdok előtt a még izzó Föld kezdett lehűlni, bizonyos, hogy egyelőre nagyon vékony szilárd hártya fejlődött a felületén. Alatta még forrt minden, nem várhatjuk tehát, hogy ez a hártya fokozatosan és egyenletesen kezdett vastagodni. Bizonyára lépten-nyomon kitört letről az izzón folyós láva, melyet aztán mindjárt elért a végzete, lehűlt és megszilárdult, ahol pedig kitört, ott vastagodott a szilárd kéreg. Mikor aztán utolsót lobbant a Föld, lezárult bolygónk csillag-élete, a megszilárdult felület nagyon göröngyös lehetett, imitt-amott jóval vastagabb, mint másutt. A kutatások arra a megállapításra vezettek, hogy öt hatalmas »heg«-nek kellett keletkeznie a Föld testén a megszilárdulás folyamata alatt s ezek a rögök lettek alapjai a mai kontinenseknek. Ezeket a hatalmas kiterjedésű hegeket *ősi pajzsoknak* nevezzük s ezeket az ősi pajzsokat, a mai kontinensek talapzatait, elég pontosan meg tudjuk állapítani közvetlen megfigyelésekből. Öt ilyen pajzsot különböztetnek meg a geológusok. Első az őszibériai pajzs, mely Szibéria keleti részét foglalja magában. Második a Fennoskandiának nevezett talapzat, Skandinávia és Finnországot foglalja magában, Európa egész északi felével együtt. Harmadik a Kanadai pajzs, Észak-Amerika északkeleti résével és Grönlanddal együtt. Negyedik a Gondwanai pajzs, mely Dél-Amerika keleti részétől át az Atlanti-óceánon Afrikát foglalja még magában, Arábiával együtt. Ötödik pajzs az Indo- ausztráliai.

Ezeket az ősi pajzsokon még alig lehet felfedezni a mai szárazföldek körvonalait. De a régi földtörténeti kor-



Az ősi pajzsok

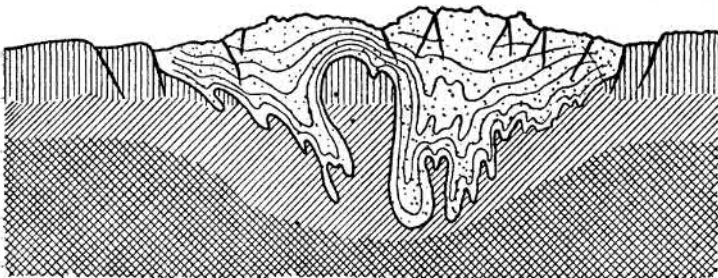
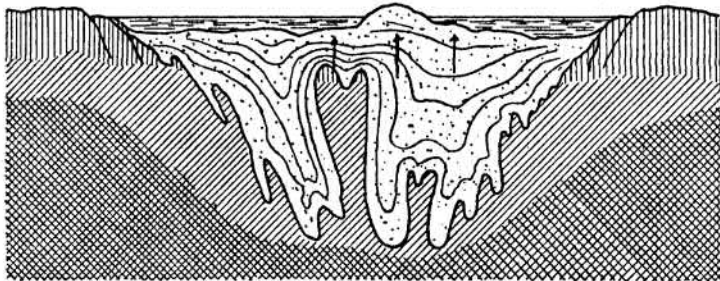
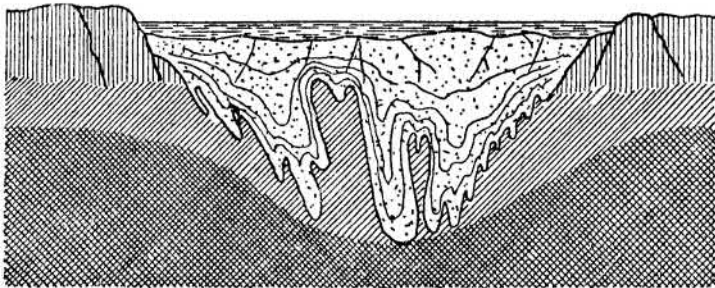
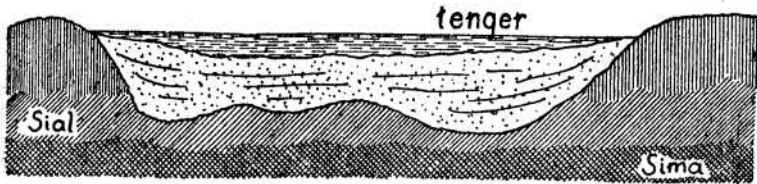
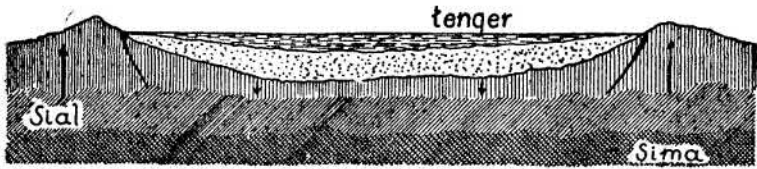
I. Ős-szibériai, II. Fennoskandia, III. Kanadai pajzs, IV. Gondwana, V. Indo-Ausztrália

szakokban is csak nagyon lassan alakultak, változtak a kontinensek. Az ókor elején valószínűleg csak három nagy kontinens volt a Földön. Európa és Ázsiának egy összefüggő része, a Gondwana-föld, mely Dél-Amerikától Ausztráliáig nyúlt és az Atlantisz, mely főképpen a kanadai pajzson nyugodott. A középkor elejére jócskán megváltozott az Atlantisz, mert lenyúlt kelet felé Izlandon át a brit szigeteket magába foglalva majdnem a Gibraltárig, kiterjedt az euráziai kontinensre is, most már a Fennoskandia talapzatot is magába olvasztva, míg a Gondwana-föld kelet és nyugat felé terjedt ki. A harmadkorban, a földtörténeti újkor elején, már-már nagyjában kezdtek kialakulni a mai világ-részek Eurázia kettévált, tenger választotta el egymástól a két részt egész Közép-Európán át. Csaknem mai alakjában látjuk már Afrikát és Ausztráliát s megvoltak már Amerika körvonalai is.

Itt kell megemlítenünk Alfréd *Wegener* híres elméletét az úszó kontinensekről, amely immár csaknem negyven éve elkeseredett vita tárgya a geológusok között. Ez az elmélet azt állítja, hogy a kontinentális sima tömegek, az őspajzsok eredetileg egyetlen egy összefüggő kontinenset alkottak, melyet *pangeumnak* nevezhetünk. Ez az őskontinens szét-

töredezett és roncsai, részei szétúsztak a nehéz sima-rétegen, az izosztázia elve alapján. *Wegenert* az indította elméletének kidolgozására, hogy Amerika keleti partvonala, másrésztől Európa és Afrika nyugati partvonala szinte pontosan egymás mellé illik, ha összehozzuk őket. A szétszakadásnak és az egymástól való eltávolodásnak történetét részletesen megírta *Wegener* 1919-ben írt könyvében s számos döntőnek látszó bizonyítékot hozott fel elméletének helyesége mellett. Megmagyarázta, hogy keletkeznek lánchegységek az úszó kontinensek homlokfrontján, mint Észak- és Dél-Amerika Cordillerái, az ázsiai lánchegységek pedig a gondwana szárazulat észak felé úszó részén torlódtak fel. A *Wegener*-elmélet magyarázatát tudja adni a hegyek keletkezése mellett a földrengések és a vulkánizmus jelenségeinek is és magától adódik belőle annak a titoknak a megfejtése is, hogy hogyan lehetnek oly feltűnő összefüggések egymástól távolfekvő szárazföldek geológiai felépítésében, a partoknak, éghajlatoknak, jégkorszakoknak meg egyezésében, az élőlények elterjedésében, amiknek magyarázatára egyébként kénytelenek vagyunk feltenni, hogy a mai világrészek között voltak szárazföldi hidak, amelyek közben elsüllyedtek, mint amilyen lehetett a mondabeli Atlantisz. *Wegener* elméletének legfontosabb bizonyítékául azt hozta fel, hogy Grönland jelenleg is nyugat felé úszik. Az 1823-ban, 1870-ben és 1907-ben végzett mérések valóban nagy eltéréseket mutattak s az tűnik ki belőlük, hogy Grönland évenként mintegy 32 méterrel közeledik Észak-Amerikához. Az elmélet ellenzői — szép számmal akadtak — nem tartották kielégítőnek e mérések pontosságát s tulajdonképpen még ma sincsenek teljesen megbízható adatok arra, hogy mennyiben igaz Grönlandnak ez a nyugat felé való vándorlása.

Az izosztázia elve közvetlenebb és biztosabb következtetéseket is lehetővé tesz a földtörténeti folyamatok megértésében, így például, könnyen le lehet vezetni a segítségével a hegységek keletkezésének törvényeit. A hegyképződés nem szorítkozik kizáróan a réteges üledékek többékevésbé erőszakos összenyomására, a fennálló nyugalom erőszakos felborítására, mondhatnánk, forradalmi átalakítására. Más erők is szerepelnek a hegyképződésben, mint

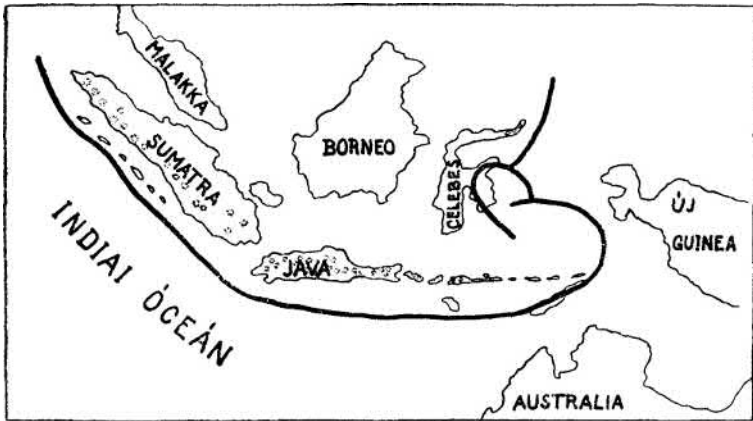


Hegyképződés a geosinklinálisban

azok, amelyek a tulajdonképpeni gyűrődéseket létrehozzák. A hegységek keletkezésében, növekedésében három nagy fejlődési szakaszt lehet megkülönböztetni. Az elsőben, amely előkészítő állapotot jelent, a tenger alatt fekvő jellegzetes medencék, az úgynevezett *geoszinklinálisok* lassanként és fokozatosan feltöltődnek üledékekkel. Az üledékek több kilométernyi vastagságot is elérnek és súlyuk következtében a medence fenéke is fokozatosan süllyed a mélységbe. Régebben fordítva is szerették megfogalmazni ezt a jelenséget, úgy mondván, hogy a geoszinklinálisok a földkéregnek azok a helyei, amelyek állandó és elég gyors süllyedésben vannak. Ebből viszont azt kellett következtetni, hogy csak sekély tengerek boríthatták a geoszinklinálisok medencéit. Bebizonyosodott egyébként az is, hogy a geoszinklinálisok süllyedése nem volt okvetlenül állandó, hanem időnként történtek bennük emelkedések is.

A hegyképződés második szakaszában a lesüllyedt rétegek olyan mélyre jutottak, hogy a nagy nyomás és a magas hőmérséklet övében már kezdenek benne nagyobb fluiditásúak lenni a kőzetek s nem tudnak ellenállni az oldalról jövő nyomásnak, amelynek hatása alatt kezdenek összeráncolódní, természetesen, még a tenger szintje alatt. A hegyek már itt kialakulnak, habár víz alatt vannak még. Most következik a harmadik szakasz, amikor az izosztatikus egyensúly helyreállása csak úgy következhet be, ha a geoszinklinális középvonalán összetüremlett tömegek feljebb emelkednek a simából. Ez, természetesen, csöndesen, lassaa végbemenő folyamat, a hatalmas rögök fokozatosan emelkednek fel, szétnyomva a tenger vizét.

Mindebből az következik; hogy a hegységek geoszinklinálisokból keletkeztek, a geoszinklinálisokat viszont ma már csak a gyűrt hegységekben lehet felismerni. Minden bizonyára ma is vannak geoszinklinálisok az óceán fenekén, de ezekhez nem férhet hozzá a megfigyelés, legfeljebb kivételes esetekben. Így például, a keletindiai szigetvilágon végzett nehézségerőmérések azt mutatták, hogy egy hosszú ív mentén, Sumatra és Jáva előtt végig kelet felé, majd több mint félkörben Celebesig feltűnően alacsony a nehézségerő értéke. Egyéb geológiai megfontolások alapján biztosra vehetjük, hogy a tenger mélyén itt húzódik végig egy



Egy születendő geoszinklinális



Európa szárazföldjének fokozatos gyarapodása az ó-, középkor- és újkor folyamán.

geoszinklinális, mely a hegyképződés második szakaszában van, amikor az aránylag könnyű üledékes kőzetek már összeszorultak s kezdenek felgyűrődni, mert ebben az esetben a szinklinális vonulatában kisebbnek kell lennie a nehézségerőnek, hiszen a könnyű sial anyag ideiglenesen a mélybe szorította a nehezebb simát. Hasonló gyanús vonalat Nyugat-Indiában is találtak. Természetesen, nem számíthatunk rá, hogy megérjük a leendő hegláncok megszületését ezeken a geoszinklinálisokon, hiszen bizonyára jó párszázezer esztendő kell majd hozzá.

Hatalmas geoszinklinális húzódott végig a régmúlt időkben a Gibraltártól kezdve Spanyolország keleti partjainak vonalában, a mai Pireneusokon, Alpokon, Kárpátokon körben s ebből türemlett fel az Alpok és a Kárpátok heglánca, a krétakorban és a harmadkorban. Az Égei-tengeren megnyilvánuló szeizmikus nyugtalanság pedig arra mutat, hogy Olaszország és Görögország partvidéke között, majd a Kréta-szigetet megkerülve szintén van egy geoszinklinális a tenger fenekén s majdan itt is megszületik egy új heglánc.

A hegláncok keletkezésének ez a magyarázata egyúttal magától értetődővé teszi azt a sokáig oly titokzatosnak látszó tényt, hogy magas hegyek tetején is garmadával találni a tengerfenéket jellemző maradványokat, főképpen kővületeket. Most már nem találhatjuk különösnek, hogy a hegycsúcsok valamikor a tengerfenekéről emelkedtek ki s természetesen magukkal hoztak mindent, ami ott lerakódott rétegeikbe. Másrésztől azonban ne felejtsük meg arról, hogy a hegyeket aztán könyörtelenül koptatja az idő, s anyaguk lassacskán megint lekerül a mélyebben fekvő helyekre, esetleg végeredményben ismét egy fiatal geoszinklinális töltődik fel vele, amelyből aztán évmilliók múltán újabb heglánc fog megszületni.

Az óceánok

A Föld egész felületének 510 millió négyzetkilométeréből 361 millió négyzetkilométernyi terület jut az óceánokra vagy mivel valamennyi tenger összeköttetésben van egymással s egyetlen hatalmas víztömegnek tekinthetjük, a *világtengerre*. Csaknem két és félszer akkora a világtenger felülete,

mint a szárazföldréké. A világtenger közepes mélysége 3.795 m, s ebből a két adatból, ha tetszik, kiszámíthatjuk, hogy annyi víz van benne, hogy 2.000 m magasán borítaná el az egész Földet, ha valamennyi szárazföldet és kontinentális talapzatot egyenletesen kisimítva képzelünk el. Ezt a kisimítást azonban nehéz lenne a valóságban is megcsinálni, mert a tengerben sokkal nagyobb mélységek vannak, mint amilyen kiemelkedések a szárazföldeken. A szárazföldön körülbelül 3 millió négyzetkilométernyi területen vannak 4.000 m magasságon felül emelkedő helyek, és csak félmillió km² kiterjedésük van az 5.000 m-es magasságoknak. Ezzel szemben a tengerben 195 millió km²-t foglalnak el a 4.000 méternél nagyobb mélységek és több mint 75 millió km²-t az 5.000 m-nél mélyebb területek. Fél európai terület jut még a 6.000 m-t meghaladó mélységekre is. A Föld legmagasabb hegycsúcsai alig néhány km²-nyi területet foglalnak el, viszont például csak a Mariának árkában a 7.000 m-nél mélyebb rész maga is 49.000 km² területű. Az úgynevezett Tonga-árokban pedig 123.000 km² kiterjedésűek a 7.000 m-nél mélyebb helyek.

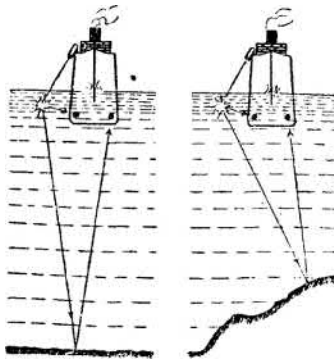
A tenger mélysége a szárazföldek partjain átlagosan 200 m, ameddig a kontinentális talapzat tart. A talapzat megszűnése után hirtelen elég meredeken kezd lejteni a tengerfenék, kezdődik a mélytenger, melynek átlagos mélysége 3.000 m. A kontinentális talapzat 200 m-es mélysége nagyon fontos határ, mert ezen a határon szűnik meg a tenger hullámvázának vajú, eróziós munkája a fenéken s ugyancsak eddig a mélységig jut le a napfény a vízben. így aztán a szárazföldi talapzat sekély tengerében egészen más feltételei vannak az állat és növényvilágnak, mint a mélytengerekben.

A mély óceánok feneké nem lapos, nagyon is sok egyenetlenség fordul elő. Határozottan találunk nagy kiterjedésű mélyebb medencéket a tengerfenekén is és ezeket kiemelkedések választják el egymástól. A gyakran igen nagy kiterjedésű kiemelkedéseket *küszöbnek* nevezik, ha enyhe lejtésűek, *hátságoknak*, ha meredekebbek, de hosszan elnyúlok. A Föld egyik legnagyobb hátsága az Atlanti-óceán nyugati és keleti medencéjét elválasztó csaknem 14.000 km hosszú és 10 millió km²-nyi területet elfoglaló kiemelkedés. Ha a



Az Atlanti óceán fenéke

küszöb nagyon széles, *fennsíknak* nevezik, a kisebb kiterjedésű kiemelkedéseket pedig *padoknak*. A padok sokszor veszedelmesen megközelítik a tenger szintjét, így például a Fidsi-szigetektől északra az Alexa-pad 4.000 m mélységből emelkedik ki meredeken 24 m-ig s lejtője 51° -os. A 15 m-ig felemelkedő részeket már *szirteknek*, *zátonyoknak* nevezik. A szirtek és zátonyok már átmenetet jelentenek a vulkáni és korallszigetekhez, amelyek nagyon meredeken szakadnak le nagy mélységekbe.



Az óceánok fenekét nagy részletességgel bizony még nem ismerjük. Igazán részletes mélységmérésekről alig két évtized óta lehet szó, amikor sikerült kidolgozni a *visszhangos mélységmérést*. Ezzel a módszerrel azt az időt mérik meg, amelyre a hanghullámoknak szükségük van, hogy a hangforrástól a fenéig s ott visszaverődve a felfogó készülékig megtegyék. A mérővel felszerelt hajón mesterséges hangot keltenek, a vízben terjedő hang leér a fenékre, onnan visszaverődik s a visszaverődött hangot a hajó másik oldalán felszerelt fülelővel felfogják s elektromos óraszervek segítségével megállapítják az időtartamot. Ismerve a hang terjedési sebességét a vízben, könnyű kiszámítani, hogy milyen mélyen van a tengerfenék. Végeredményben azonban nem olyan egyszerű dolog, mint amilyennek látszik, mert a hang sebessége változik a víz sűrűségével s ezért bonyolult mesterkedésekre van szükség, hogy kellő pontossággal előbb kiszámítsák a hangsebesség változó értékét a vízben. Ma már egész sor olyan berendezés van, amely könnyen kivihetővé teszi az akusztikai mélységmérést és a múlthoz képest összehasonlíthatatlanul több adatot kapunk máris a mély tengerek felszínéről, mint amennyit azelőtt évszázadokon át kikínlódtak a közvetlen mélységméréssel. A régi expedíciók esztendőig tartó útjukban alig 2—300 mérest tudtak végrehajtani, ezzel szemben a német Meteor-expedíció 1925—27-ben 67.000 mélységadattal tért vissza a Dél-Atlantióceánról, ahonnan mindössze 1.000 mélységadatunk volt. Most már hadi és kereskedelmi hajókon egyaránt rendszeresen végzik az óceánok mélységeinek felmérését s évente 100.000-nél több adat gyűlik össze, ami szinte már túlsók a jóból, mert a néhány oceanográfiai intézet képtelen feldolgozni ezt az adattömeget.

A tengerfenékről a gravitációs mérések alapján már tudjuk, hogy anyaga sűrűbb, mint a szárazföldi kőzeteké s úgy tekintjük, hogy már a sima-övhöz tartozik. Kétségtelen, hogy a kis alakzatoktól eltekintve, a tengerfenék sokkal egyenletesebb lejtésű, síkságokban sokkal gazdagabb, mint a szárazföld. Ha valamelyik óceán fenéke hirtelen felmerülne vagy kiürülne, bizony nagyon egyhangú, unalmas vidék kerülne szemünk elé. Ez az egyhangúság azonban könnyen érthető. A Föld szilárd kérgében működő hatalmas

erők a tengerfenék alatt is megvannak, működnek és létrehozhatnak nagyarányú kiemelkedéseket, süllyedéseket. Viszont hiányoznak a víz alatt azok a külső erők, amelyek oly nagy szerepet visznek a szárazföldön a szilárd kéreg felémésztésében. Nincs napsütés, nincsenek nagy hőmérsékletváltozások, nincs fagy, eső, hó, szél, nincsenek folyók, nincsenek gleccserek. A tengerfenék ki van véve a légkör minden hatása alól, nincs az az általános lepusztulás, amely a szárazföldeken állandó. Legfeljebb a szárazföldekről beömlő folyók csinálnak valami apró kimosást a partok közelében, helyenként akadnak örvények is a tengerben, amelyek üstszerű mélyedéseket igyekeznek kifaragni, de mindezek oly elenyészően jelentéktelen az óceánok hatalmas kiterjedéséhez képest, hogy a csipetnyi változások egyáltalán nem számítanak. Tény az, hogy a tengerfenéken nagyobb méretű csuszamlások is szoktak történni s erről elég gyakran szerzünk is tudomást a tengeri kábelek hirtelen elnégülése révén. És az ily kábelszakadások nem is olyan ritkák. Húsz év alatt 38 különböző kábelvonalon összesen 245 kábeltörést számláltak meg, valamennyi nyilván olyan fenékmegmozdulásnak volt következménye, amely igyekezett meredek lejtőket lesimítani, mélységkülönbségeket kiegyenlíteni.

A tenger fenekén minden erő arra törekszik, hogy feltöltse a mélységeket. A fenékre rakódik le a folyók hordaléka, a jéghegyekbe befagyott törmelékek, sziklák a melegebb égövek alá jutva töltögetik a mélységeket a jéghegy megolvadása után. Rengeteg szárazföldi port hord a szél is a tengerekbe s így nyilvánvaló, hogy a tengerfenék világának jellemző irányzata a feltöltődés.

A tengerfenék feltöltődésében, természetesen, nagy szerepük van a különféle üledékeknek. A nyílt óceánok fenekét, kétszer akkora kiterjedésben, mint a Föld szárazföldjei, a szerves maradványokból képződő globigerina iszap fedi, amelyet vörös' agyagnak is neveznek. Az apró állatkák hullái szakadatlan eső formájában hullanak a tengerfenékre s a mikroszkopikusan kicsiny lények földi maradványai Tégül vastag rétegben borítják el a mélytengerek fenekét. A szárazföldről nem túlnagy távolságokban hozzájuk keveredik még a szélhordta homok, por és a tűzhányók

kitöréseiből származó hamu. A mélytengeri lerakódások magyon lassúk. A legnagyobb mélységekről felhozott fénkmintákban elég gyakran akadnak olyan cápafogak, melyekről meg lehet állapítani, hogy a harmadkorban élt állatoktól valók. A harmadkor óta tehát nem képződött olyan vastag réteg a tengerfenéken, hogy ezeket a maradványokat elfedhette volna a nem is olyan mélyre lekatoló műszerek előtt. A híres Meteor-expedíció megpróbálta megállapítani az üledékképződés ütemét s arra az eredményre jutott, hogy a vörös agyag rétege *ezer évenként 12 cm-rel* vastagszik. A természet ráér. . .

HATODIK RÉSZ

AZ ÉLET A FÖLDÖN

A kővé lett élet

Azt a kétségtelen sikert, amit a földtani kutatások elértek a legutóbbi félszázad alatt, végeredményben néhány megkövesedett tengeri kagylónak köszönhetjük. Magas hegyek tetején, vagy közönséges homokba, mészkőbe beágyazva találták meg őket s a modern kor tudósa igyekezett megszólaltatni a régmúlt világé tanúit. Kőületeket találni nem volt új dolog, hiszen a legrégebb időkből is tudjuk, hogy felkeltették az emberek figyelmét. A kőkor embere dísznek, amulettnek viselte a földből kiásott régi állat- és növénymaradványokat és természetesen valami titkot sejtett bennük. A Himalája hegyomlásai nyomán napfényre került állati csontmaradványokat a bennszülöttek tiszteletben tartották, mert azt hitték róluk, hogy a földre kívánczó szellemektől származnak, a keletindiai szigetvilágban még ma is összegyűjtik és kifőzik a megkövesült csontokat és a levüknek különös gyógyítóerőt tulajdonítanak. Később, az európai kultúrában nem túlságosan tisztelték a kőületeket, egyszerűen úgy vették, hogy a természet szeszélyes játéka hozta őket létre s ezért tulajdonképpen semmi különös sincs bennük. Csak lassanként kezdtek arra gondolni, hogy a kövekbe ágyazott, kővé változott állati csontok, növényi részek lehetnek valóban élt lények különösképpen fennmaradt maradványai. Ezzel együtt azonban némi megdöbbenés is járt. Tengeri kagylót, vagy cápa fogat találni egy magas hegy gerincén, mindenképpen érthetetlennek látszott. Első pillanatban

azért adódott egy magyarázat: az vízözön. A biblia szerint a Noé-féle özönvíz a legmagasabb hegycsúcsokat is elborította, valamennyi künnrekedt állat elpusztult, tehát elképzelhető, hogy a cáfafog ottmaradt a hegyen. Akármilyen nagy volt is a biblia tekintélye, a komoly kutatók nem nagyon hittek a vízözön történetében, már csak azért sem, mert gyakorlatilag teljességgel lehetetlen megmagyarázni annyi vizet, hogy a többezer méter magasságban elborítsa a szárazföldeket. Mindegy volt, a hegyeken talált kövületeket ennek ellenére sokáig döntő bizonyítékául tekintették a bibliai vízözönnek, s ebben az irányzatban minden kövületet a vízözön maradványainak tekintettek, például egy szalamandra csontvázáról azt mondták, hogy az nyilván egy Sodomából és Gomorrhából származó bűnös ember maradványa. Sőt, az akkori geológusok odáig mentek, hogy ha a biblia nem is emlékezett volna meg a vízözönről, a kövületek alapján a geológiának kellett volna felállítania a vízözön elméletét.

Az egyre behatóbb földtani kutatások során egyre több és több kövület került napvilágra, másrészt egyre részletesebben kezdték megismerni a földkéreg réteges szerkezetét. Az újabb ismeretek mind nagyobb zavarba hozták a vízözön elméletének híveit. Egyre több földréteget találtak egymás felett, még hozzá nem egynek igen tekintélyes volt a vastagsága. Kétségtelen volt, hogy minden alul fekvő rétegnek előbb kellett letelepülnie, mint a felettelevőknek, tehát a rétegek különböző korokból származnak. Kövületek minden rétegben vannak, és így teljességgel megmagyarázhatatlan, hogy egyetlen, negyven napig tartó vízözön maradványai több, egymástól elkülönült rétegekben rakódtak le. Azt kellett gondolni, hogy nem egy vízözön volt a Földön, hanem előbb is pusztított, nem is egy s mindegyik egy-egy kövületekkel megrakott réteget hagyott emlékül a földkéregben. Mennél több réteget fedeztek fel, annál több vízözönt kellett feltételezni, úgyhogy már a negyvenötödiknél tartottak. Ekkor aztán mégis csak be kellett látni, hogy a vízözönelmélet nem állja meg a helyét.

Természetesen hamar feltűnt a geológusoknak, hogy a földrétegek nem fekszenek mindenütt vízszintesen, szép sorjában egymás felett, hanem vetődtek, gyűrődtek, egymásra türemlettek, pusztultak és olyasmi is előfordul, hogy egy-egy



rétegsor folytatását nem messzire éppen fordított sorrendben találjuk meg. Lassanként világossá lett, hogy valamennyi réteges kőzet, tehát üledék, a palák, homokkövek, mészkövek, agyagok határozott rendszerben fordulnak elő s szűkebb területeken sikerült is a rendszert kihámozni. Semmi mód sem volt még azonban arra, hogy messzebbi rétegeket azonosítsanak egymással. Már pedig amikor egy még ismeretlen terület földtani szerkezetét vizsgáljuk, nem tudjuk például az ott talált mészkő helyét megállapítani a rendszerben, amíg nem tudjuk összehasonlítani valamely már ismert mészkővel, melynek helyét már meghatároztuk. Kezdetben arra gondoltak, hogy a rétegek színe, szerkezete, anyaga, vastagsága, összetétele, keménysége s más fizikai vagy kémiai tulajdonsága elég ismertetőjelet szolgáltat a különböző helyeken talált kőzetek azonosításához s ezeknek a tulajdonságoknak az alapján követni lehet a rétegeket nagyobb távolságokra is. Hamarosan kiderült, hogy ezen az alapon nem lehet eredményt elérni. A rétegek oly szeszélyes összevisszaságban jelentkeznek néhol, hogy szó sem lehet az ilyen módon való azonosításukról.

Végre William *Smith*, angol tudós, a 18. század vége felé rájött a megoldásra. Akkortáiban rengeteg csatornát ástak Anglia területén, és ő fáradhatatlanul járkált mindenfelé az ásások nyomában s vizsgálta az újonnan lefejtett meredek falakat, közben összeszedve minden legapróbb kőületet, ami napvilágra került. Valamit sejtett és kutatásai teljes bizonyossággá tették sejtéseit. Saját szavaival így fogalmazta meg eredményeit: »A kőületeket már régóta tanulmányozzák, mint furcsa jelenségeket, nagy szorgalommal gyűjtötték őket és megőrizték, mint csodát mutogatva, de senki sem látta meg azt a csodálatos rendszert és szabályszerűséget, mellyel a természet a kőületeket rendezte s amelynek alapján minden egyes kőületcsoport bizonyos réteget határoz

meg.« Annyit akart ezzel mondani, hogy különböző kőzetekben különböző kövületek találhatóak, tehát minden réteget meghatároz a benne található kövületek összesége, elsősorban a nyilvánvalóan megállapítható vezérvölvületek, tehát azok, amelyek uralkodnak bennük. Hogy mit jelent ez a megállapítás, egyszerű példával tehetjük szemléletessé. Egy angol geológus Északamerikát járta és a Niagara vizesések környékén meglepődve vette észre, hogy olyan mészkő fordul elő, amely feltűnően emlékeztet egy hazájában előforduló mészkőre. A Niagara olyan messze van Angliától, hogy nem lehetett volna azt következtetni, hogy ugyanaz mindkét mészkő. *Smith* felfedezése után ismét arra járt egy angol geológus, aki mostmár alaposabban megvizsgálta a Niagara mészkövet és megtalálta benne ugyanazokat a kagylókat és korallakat, amelyek az angliai mészkőben is előfordulnak. Ebből nyilvánvaló lett, hogy mindkét helyen ugyanaz a mészkőréteg van, mindkettő ugyanabban az időben keletkezett, hasonló körülmények között ülepedett le. A kövület áthidalta a távolságokat, és a kőzetek lélektelen skatulyázása élő tartalmat kapott.

Az a földtani kor beosztás, amelyet már ismerünk a amelyről már elég sokszor volt szó, a kövületek tanulmányozása alapján született meg. Nagyjában ugyanaz ez a beosztás, mint amit ma használnak a geológusok, kibővítve azzal, hogy az őskort nem tekintik azoikumnak, azaz olyan korszaknak, amelyben nincs még nyoma állati életnek, mert a kambrium előttről származó rétegekben is sikerült már elég sok kövületet találni, bizonyosságául annak, hogy az élet előbb kezdődött. *Smith* és kortársai óta azonban nagy változás következett be a geológiai korszakok szemléletében. Kezdetben nem tekintették a kövületeket egyebeknek, mint útmutatónak a rétegek azonosításához. Magukat a kövületeket alig vizsgálták, nem törődtek a különbségekkel, nem érdekelt még senkit sem maga az élet, amelyről tanúságot nyújtanak. A Föld történetét nagyjában egész szépen ki tudták hámozni, de ez a történet hasonló volt olyan történelemkönyvhöz, amelyben csak évszámok halmaza van, vagy csak a háborúk és békekötések felsorolása.

A múlt század elején aztán bevonult a geológiába is a fejlődés, az evolúció forradalmi gondolata, mely fokozatosan olyan csodálatos világot tárt fel, amelyről azelőtt álmodni

sem lehetett volna. Rájöttek arra, hogy a földi élet hosszú idők folyamán fejlődött ki egészen kezdetleges formákból mai gazdagságáig és változatosságáig. Követni tudjuk a fejlődés vonalát az egymásután következő földtörténeti korokban, ki tudjuk mutatni, hogyan használta ki az élet a Föld felületi alakulásában, éghajlatváltozásaiban megmutatkozó lehetőségeket. Lassanként kiderítettük a szerves élet fejlődésének történetét s kimondhattuk azt a tételt, hogy a növények és állatok tökéletesedése azoktól a változásoktól függ, amelyek környezetükben végbemennek. Az éghajlat minden változása, a víz körforgalmának, a tengeráramlatoknak megváltozásai, általában minden tényező okvetlenül hatással van azoknak az élőlényeknek a fejlődésére, amelyekre a változások hatottak. Az életfeltételek rányomják bélyegüket az élőkre. Megfordítva ezt a felismerést, megismerve azokat a változásokat, amelyekben a szerves élet keresztülment a hosszú idők folyamán, megvan a mód rá, hogy következtethessünk az életviszonyokra, más szóval a megkövesült maradványokból magunk elé képzelhetjük azt a környezetet, azt a vüágot, amelyben az illető állat élt valamikor. Szibériában nagyon sok mammutot és orrszarvút találtak a jégbe fagyva. A geológia abból az alap gondolatból indul ki, hogy a régebbi korokból származó kőületeket össze kell hasonlítani a mai állapottal s abból a fejlődési állapotból, amelyben ma van valamely állat- vagy növényfajta: visszakövetkeztetünk arra, hogy minek kellett azóta történnie, mi volt akkor, amikor a megkövült állat még élt. Ma az elefántok és az orrszarvúk csak forró égöv alatt laknak. Szibériában nagy hidegek, kegyetlen fagyok uralkodnak ma, de mégis azt kell kimon-danunk, hogy amikor az ott talált mammutok és orrszarvúk éltek, trópusi melegnek kellett lennie Szibériában is. Az éghajlat hidegebbé válása során aztán egyre délebbre húzódtak azok az állatok, amelyek nem tudtak alkalmazkodni a változó életkörülményekhez, talán azért, mert már hanyatlásban voltak maguk is.

Nem árt még egy példát felhozni. Mondjuk, hogy a geológus valamilyen kambriumi rétegben megtalálja egy rák-szerű, három karéjú állat maradványait, melynek látszólag egyáltalán nem volt szeme. Trilobitáknak hívják ezt az állatfajta-t és rendkívül elterjedt volt hosszú korokon át.

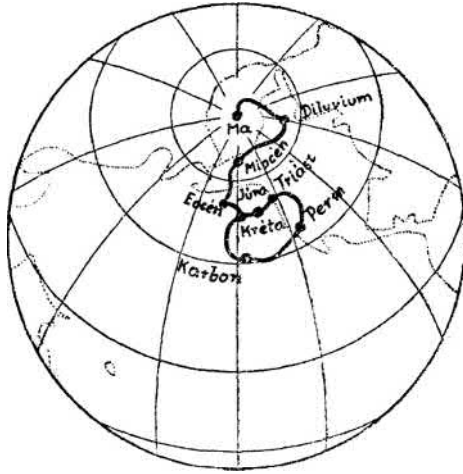
Előkerült már most egy olyan trilobita, amelynek nagyon fejlett és a mai légyéhez hasonló bonyolult szeme van. Ebből a két leletből azt kell következtetni, hogy az első, a vak trilobita homokban, vagy iszapban élt, oda ásta be magát és nem volt szüksége látásra, mint ahogyan a mai vakondok is csaknem vak, mert nincs szüksége szemre földalatti lyukai-ban. Utódai azután elvándoroltak a mélyebb tengerekbe, ahol alkalmazkodniuk kellett az új környezethez. A vízbe volt némi világosság, s a ráknak kellett látnia, tehát olyan szemrendszer fejlődött ki benne, amellyel a gyenge fényből annyit foghatott fel, amennyit csak lehetett. Ha valahol devonkorbeli kőzetek között megkövesedett korallszirtek maradványai bukkannak elő, ebből azt kell következtetnünk, hogy azon a helyen a devonkorban olyan körülmények uralkodtak, amelyek lehetővé tették korallak életét, tehát tenger volt, mégpedig nem mély és nem túl sekély, s a víz hőmérséklete nagyjából állandó volt, mert a koralloknak csak a& ilyen körülmények kedvezők.

Vagy nézzünk egy valamivel bonyolultabb példát. A mai Alpok helyén valamikor meglehetősen mély tenger volt, azt is említettük már, hogy egy hosszú geoszinklinális vonalát jelenti ma az Alpok hegyvonulata. Ettől az úgynevezett Thetisz-tengertől északra is, délre is nagy kiterjedésű szárazföldek terültek el, az északi szárazföldön pedig sekély mélységű beltenger volt. Természetesen a mélyebb tengerekben mindenkor olyan formákat kell találnunk, amelyek a nyílt tengeri élethez alkalmazkodtak, s a beltengereket is különleges fajták jellemzik. Ez a szóbanforgó beltenger Felső-szilézia helyén terült el s ott olyan ammonitát találtak maradványaiban, amely tulajdonképpen óceáni lény és semmi keresnivalója nem lenne a sekély beltenger egészen másfajta állatvilágban. A geológus arra következtetett ebből az eltévedt állatból, hogy mégis csak az óceánból kellett átjutnia a beltengerbe, ennél fogva arról a korról olyan térképet szerkeszt meg, amelyen összeköttetés van az alacsonyvizű beltenger és az azóta már eltűnt óceán között. Meglepő és érdekes szolgálat ez egy parányi rákfajta megkövesedett maradványától.

A kőületek tehát egyrészt az élet kutatója számára jelentenek bőséges anyagot a fejlődés törvényének igazolására és az állatfajták történetének leírásában, a geológus számára

pedig azért értékesek, mert az életformák változásából következtet a Föld állapotának, arculatának változásaira.

A Föld arculatának megváltoztatását előidéző erők között legfontosabb az *éghajlat*. A hőmérséklet, csapadék, légnyomás a maga módján hat a Föld felszínének alakulására, mégpedig nem csupán geológiai szempontból, hanem az élővilág szempontjából is. Hasonló éghajlati viszonyok között nemcsak ugyanúgy alakul ki a táj képe, hanem ugyanazok az állat- és növényfajták is alakulnak ki. Mikor a geológus a régi korok éghajlati viszonyait kutatja, pontos felvilágosí-



Az északi sark vándorlása a geológiai korszakokon át

tásokat kap az illető korokat jelentő kőzetek kövületeitől. Es itt már a legelső következtetés is rendkívül érdekes. A földtörténet valamennyi korszakából fennmaradtak élőlények maradványai s kétségtelenül bizonyos, hogy élet valóban a legrégebb időktől fogva volt a Földön, amióta csak megjelent. A szerves élet azonban csak bizonyos, elég szűk hőmérsékleti határok között lehetséges. Ennek alapján pedig ki kell mondanunk, hogy akármilyen nagyok lehetnek is az éghajlatváltozások a Földön, sohasem történhetett meg, hogy lehetetlenné vált az élet mindenütt. Nyilvánvaló tehát, hogy az élet megjelenése óta a Nap hősugárzása nem változott meg lényegesen, ami azonban nem jelenti azt,

hogy minden időkben ugyanazok voltak az éghajlati különbségek a Földön, mint amilyenek ma. Hollandia és Észak-németország területén hatalmas vándorkövek jelzik, hogy valamikor ezeket a ma mérsékelt égövi helyeket jégár lepte el, s a hatalmas jégtömegekből olvadt ki s maradt vissza a magános sziklák sora. A francia és német kőszételepekben talált növénykövületek azt mondják, hogy a harmadkor folyamán itt olyan éghajlati viszonyok uralkodtak, amilyenekkel ma a Földközi tenger partvidékein találkozunk s a vidék fokozatos lehülését szépen lehet követni a későbbi korokból való növénymaradványokból.

Amikor a jégár terjeszkedni kezdett dél felé, a rénszarvas jött előtte, menekülve a melegebb vidékekre, s amikor a jég visszavonult, ment ő is vissza észak felé. A jéges korszakoknak ezt az ide-oda húzódását tehát pontosan ki lehet mutatni a rénszarvasmaradványokból. A geológusnak így sikerülhetett nagy vonásokban megírni a Föld éghajlatának egész történetét. Bizonyos, hogy már az őskorban is voltak éghajlati különbségek, megtaláljuk az őskori jégkorszakok nyomait, a sivatagi homokot, és a nedves, meleg éghajlatot eláruló kőszételepeket. A kambriumból is fennmaradt jégkorszakok emléke Norvégiában, Kínában, Ausztráliában, viszont az utána következő silur-korból nincsenek olyan maradványok, amelyek nagyobb jégtakarókra engednének következtetni, s ezért azt mondhatjuk, hogy a silurban nem voltak olyan kiáltó éghajlati különbségek a Földön. Mind a silur, mind a devon mészköveiben találtak korallmaradványokat, amikből ugyancsak arra lehet következtetni, hogy az egész Földön egyenletesen meleg éghajlat volt. Nem lehettek nagy hőmérsékletkülönbségek a karbonban sem, hiszen a messze északi Spitzbergáktól Délafrikáig mindenütt találunk kőszételepeket s az azokból előkerült növénymaradványok között nincs lényeges eltérés. E korban nagy csapadékbőség lehetett, mert csak úgy magyarázható meg a buja növényzet. A karbon-korszak vége felé és a perm-korszak elejére határozottan hűvösebb lett az éghajlat, de nem sokáig, — természetesen geológiai mértékkel mérve — és a perm második felében olyan szárazság lett Középeurópában, hogy egy egész beltenger elpárolgott. így keletkezett a stassfurti sótelep. A szárazság tartott az egész triászban,

aztán a jurában és krétában enyhébb, egyenletes lett az éghajlat. Az egész földtörténeti középkorból nem ismerünk jégkorszakot s nem találunk még olyan éghajlati különbségeket sem, amilyenek ma vannak. A harmadkorban változatosabb kezdett lenni a klíma, állandó nyugtalanság jellemzi s a negyedkorban egyre-másra követik egymást az eljegesedések, melyeket melegebb szünetek szakítanak meg.

Nyilvánvaló szabályosságokat nem igen tudunk kimutatni a földtörténeti éghajlatváltozásokban. Kétségtelennek látszik, hogy általában akkor volt nyugodtabb és hűvösebb az éghajlat, amikor nagyobb volt a szárazföldek kiterjedése, s ezek az időszakok egybeesnek a földtörténeti korok végével és kezdetével. Ezt természetesen, helyesebb lenne fordítva mondani: a korszakok éghajlatváltozás következtében nyilvánulnak meg oly határozottan a geológiai és élettani alakulatokban.

A kövületek vizsgálata megbecsülhetetlen segítséget nyújt a geológusnak, mikor az a régmúlt időkben bekövetkezett földrajzi változásokat próbálja kihámozni. Minden időben előfordult, hogy hatalmas hegységek keletkeztek, melyeket aztán az idő lehordott, mindenkor előfordult, hogy nagy területek lettek szárazföldekké és más nagyok tengerré s mindennek a nagyjában való megállapítása csak addig a múltig lehetséges, ameddig kövületek állanak rendelkezésünkre. A kambrium térképét még felvázolhatjuk, de alig mondhatunk valamit az őskori Föld földrajzáról, mert ebből az időből még az eredeti kőzeteket sem igen találjuk meg s élet nyomát csak nagyon elvétve.

Az élet eredete

Az élő és élettelen világ között csodálatos, mélyreható különbség van. Habár lényegében minden élet vegyi és fizikai folyamat, ezeket az egyébként az élettelen világban is lehetséges folyamatokat valami irányítja bizonyos. célok érdekében. Az állati szervezet magába veszi a levegő oxigénjét, felhasználja arra a célra, hogy elégesse a szénét s az így keletkező széndioxidot visszaheli a szabadba. Oxidálás, égés ezerféle változatban megy végbe a szervetlen világban is, például a fémek rozsdásodása is az, de nem meghatá-

rozott, mondhatjuk önző célokra történik. A szerves lény felvesz testébe idegen anyagokat, azokat feldolgozza, átalakítja a maga céljainak megfelelően s a felesleget, az elhasznált vagy használhatatlan anyagot kidobja magából. A táplálkozás és anyagcsere mellett másik különös képessége az élőlénynek a szaporodás, amihez alig hasonlít valami a szervetlen világban. Még a növekedés, fejlődés is kizáróan élő működés, amihez egyáltalán nem hasonlít például a kristályok növekedése, amit a kémikus könnyen be tud mutatni lombikjában.

Ősidőktől fogva izgatta az értelmes ember tudásvágyát az a kérdés, hogy hogyan keletkezett, hogyan keletkezik az élet.



Legközvetlenebb tapasztalatunk, hogy születünk, élünk, meghalunk s e három jelenség közül kétségtelenül legtitokzatosabb a születés, a keletkezés. A folytatást már sokkal természetesebbnek, érthetőbbnek tartjuk. Nem csoda, ha az egész világban mindenütt keressük az eredetet, a keletkezést. Az eredet keresése azonban igen nehéz feladat. Bármilyen messzire jutunk el a múlt felé, rendszerint meg kell állnunk valahol, de nem úgy, hogy ott a kezdet, hanem azért, mert nem tudunk tovább menni, ha tudjuk is, hogy még mindig nagyon sok ismeretlen maradt titokban.

Az élet eredetének kérdése nem hagyja nyugton az embert. Feltesszük, hogy van eredet, kell eredetnek lennie. Minden jel arra is mutat, hogy a szerves élet valamikor az élettelen, szervetlen világból alakult kies ezért kitartóan keressük a feleletet arra a nagy kérdésre, hogyan jött létre az élő az élettelenből.

Az élet keletkezésének problémáját másként is fel lehet vetnünk. Egyszerűsíthetjük azzal, ha úgy kérdezzük: hogyan keletkezett, vagy honnan lett élet *itt a Földön?* Valamivel egyszerűbbnek látszik valóban így a kérdés, de nem lesz ezzel könnyebb. Tudatában annak, hogy a Föld mint égitest milyen jelentéktelen semmiség a világegyetemben, joggal merül fel mindjárt az a gondolat, hogy talán nem is itt

keletkezett az élet, talán más égitestről került ide. A nagy kérdésnek ez a megfogalmazása azonban tiszta önámítás. Mit érünk vele, ha kimutatjuk, hogy az élet csírái valamelyik távoli égitestről származtak át a Földre is, hiszen ezzel csak megnehezítjük a problémát, mert rögtön azt kell kérdeznünk: és hogyan keletkezett az élet ott, ahonnan idekerült? A felelet így nehezebbé vált. hiszen igazán nem remélhetjük, hogy felfedezzük az élet keletkezésének titkát, ha az ott keletkezett, ahová nem juthatunk el, sőt azt sem tudhatjuk, hogy hol volt az a hely, ahol megszületett az első élő sejt az élettelen anyagból. Másrésztől viszont felmerül az a nem-kevésbé fogas kérdés is, hogyha valóban idegen égitestről jött át a Földre az első életcsíra, hogyan bírta ki a világűr rettenetes hidegét és milyen erő hajtotta át, ki tudja hány millió kilométernyi távolságon. Akadtak tudósok, mint például Svante *Arrhenius*, akik bebizonyították, hogy ez lehetséges, de lényegében teljesen mindegy, semmivel sem leszünk okosabbak, ha megmagyarázzuk magunknak, hogy az élet máshonnan került a Földre.

Az életnek — földi tapasztalataink szerint — bizonyos feltételekre van szüksége. Egészen röviden és vázlatosan összefoglalva, nem tudunk elképzelni életet oxigén, szén, víz és még néhány anyag nélkül és azt látjuk, hogy csak bizonyos hőmérsékleti körben lehetséges. Mivel minden élő szervezetben van víz, a vegyi folyamatok általában oldatban folynak le, fagyponthoz alatti hőmérsékleten, amikor a víz jéggé fagy, nem mehetnek végbe az élet fenntartásához szükséges vegyi átalakulások. 100° -on gőzzé párolog a víz, ismét nincsenek oldatok, meg kell szünnie minden vegyi folyamatnak. Vannak baktériumok, amelyek nagy hidegeket is kibírnak, helyesebben szólva a zérus fok alatti hőmérsékleteken életük lappangóvá válik, nem pusztulnak ugyan el, de nem is nyilvánul meg bennük semmiféle életfolyamat. Ha aztán újból megfelelő hőmérsékletre melegszenek fel, az élet ismét megindul. Főképpen a víztelen spórák bírnak ki igen nagy hidegeket is, ami könnyen érthető. A növekedéshez rendszerint jóval a fagyponthoz fölötti hőmérséklet kell, jelétül annak, hogy a hó szolgáltatja hozzá az energiát. A meleg felső határa azonban elég alacsony. A kék moszatok megélnék 63° -os vizekben is és csak 73° -on pusztulnak el, sőt találtak

élőlényeket 89°-os forró vízben is. Általában viszont a 45—50°-os meleg látszik a felső határnak az élet számára.

Kémiai szempontból pontosan meg lehet állapítani, hogy milyen vegyi alkotórészekből vannak az élő testek. Legjellemzőbb az, hogy a szén, — természetesen a tiszta szén, a karbónium, melynek ismert jele C, nem a már bonyolult összetételű kőszén — minden élő anyagban előfordul, sőt nélkülözhetetlen. Kicsit nehéz elképzelni, hogy a feketeszínű szén annyira benne van mindenben, amit élőnek nevezünk, de gondoljuk meg, hogy a vegyületekben rendszerint nyomát sem lehet felfedezni az alkotó elemek egyéni sajátságainak. A szén, ha elég, széndioxiddá lesz, ami láthatatlan gáz, vannak folyékony és átlátszó vegyületei, vannak szilárd, fehér vagy színes szénvegyületek. A szén mellett legfontosabb elem az élők világa szempontjából az oxigén és a hidrogén, és főképpen a kettő legközönségesebb vegyülete, a víz. Mind-egyikből van bőségesen elég a Földön. Ugyancsak bőségesen van nitrogén is, amely lényeges alkotórésze minden fehérjének. A szerves testek felépítésében fontos szerepe van a kénnek, foszfornek, magnéziumnak, mésznek (kalciumnak), és a vasnak. Mindebből fölös mennyiség van a Földön.

Tudnunk kell azonban, hogy az élő szervezetek általában nem képesek a tiszta kémiai elemekből felépíteni azokat a bonyolult vegyületeket, amelyekből testük anyaga készül, hanem főképpen csak átalakítják a szervesetlen világból kapható vegyületeket. így például hiába van rengeteg nitrogén a légkörben, sem a növények, sem az állatok nem tudják felhasználni, pedig nitrogén nélkül nincs élet. Feltétlenül szükségük van bizonyos nitrogénvegyületekre, például ammóniákra, mert csak abból tudják aztán kiválasztani és átalakítani maguk céljaira a nitrogént. Az előbb felsorolt szilárd elemekkel is csak akkor tudnak valamire jutni, ha vízben oldható vegyületek alakjában kapják meg. Az élet kémiai feltételei tehát nem csak abban merülnek ki, hogy a felsorolt elemek meglegyenek, hanem az is kell hozzá, hogy feldolgozásra alkalmas vegyületek alakjában álljanak az élő szervezetek rendelkezésére. Ha tehát más égitesteken keressük az élet feltételeit, nem elég azt megállapítani, hogy a nélkülözhetetleneknek tartott kémiai elemek megvannak-e ott is. Teljes bizonyossággal tudjuk, hogy a Napban előfordul minden

kémiai elem, előfordul tehát a belőle leszakadt bolygók anyagában is, akárcsak a Földben, de más kérdés, hogy ezek az elemek előfordulnak-e olyan vegyületekkel is, amelyek alkalmasak a növény és állat számára a feldolgozáshoz. Közvetlenül nincs szüksége semmiféle élőlénynek hidrogénre, nem is tudnak mit kezdeni vele, de vízre, azaz már elégett hidrogénre okvetlenül szüksége van, s annak hidrogénjét használja fel az ezerféle szénhidrát és szénhidrogén felépítésében.

Naprendszerbeli bolygótársainkon így aztán hiába keresük a szerves élet feltételeit. Még a Földhöz leginkább hasonlító Marson is bajok vannak, mert alig találjuk meg biztosan a víz nyomát, de még az oxigén is legfeljebb elenyészően kis mennyiségben lehet a légkörében. Kétségtelen, hogy a Föld légkörének a kialakulása pontosan olyanná alakította a viszonyokat, hogy azok a legkedvezőbbek legyenek a szerves élet számára.

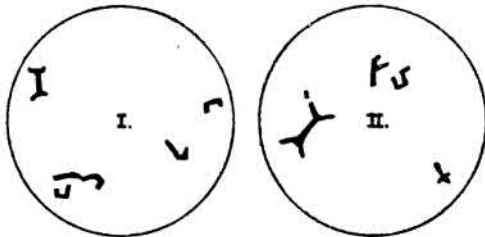
Nyilvánvaló, hogy amíg a Föld kellően le nem hűlt, szó sem lehetett arról, hogy kialakuljanak rajta az élet feltételei. Ezer-ezeröttszáz millió esztendővel ezelőtt lehetett, amikor nagyjában már megszilárdult a Föld kérge, ha vékony is volt még, de a légkör hőmérséklete még meghaladta az 1000° -t. Ez a légkör természetesen egészen más anyagokból állott, mint a mai. Minden víz, ami a Földön volt, akkor még gőz alakjában a légkörben volt s rajta kívül sok egyéb gáz is, például sósavgáz. Ahhoz, hogy a víz elkezdjen cseppekké sűrűsödve lehullani a földre, a hőmérsékletnek le kellett hűlnie a víz kritikus hőfoka, vagyis 364° alá. Bizonyára gyorsan hűlt le a légkör s egyszerre csak megeredt belőle az esőzés, a szárazföldi medencék megteltek vízzel, megjelentek az őstengerek, melyek nem voltak nagyon mélyek, de annál nagyobb kiterj. edésűek. Nagyon kevés adatunk van arról, hogy a legrégebbi őskorban hogyan alakultak ki a szárazföldek, de nagyon valószínűnek látszik, hogy eleinte csak egy, legfeljebb két hatalmas kontinens emelkedett ki a tengerből óriási sziget gyanánt.

Az óceánok sótartalmáról sokféle elméletet próbáltak ki. Voltak, akik azt mondták, hogy a tengerek vize eredetileg édes volt, és csak a folyók hordták bele a sókat. Mint említettük, meg is próbálták, nem lehet-e kiszámítani a Föld korát abból, hogy mennyi idő kellett hozzá, amíg a mostanira

nőtt meg sótartalma. Minden valószínűség mellett szól azonban, hogy már az ősóceán is mindjárt sós lett, mégpedig úgy, hogy az esőcseppek magukkal hozták a légkörben levő sósavgázt, a sósavas víz pedig a szilárd kéregben nagy tömeggével előforduló nátriumszilikátot megtámadta, közönséges konyhasót és tiszta szilíciumdioxidot választva ki belőle. így tehát a konyhasó lehetett az első szétmálló kőzet terméke s hasonló módon keletkezhetett mész, gipsz, agyag is. Nyilvánvaló, hogy sokáig tartott, amíg az óceánok vize annyira lehűlt, hogy élőlények tanyázhattak már benne, de kétségtelen, hogy az élet a vízben kezdődött el. Az is kétségtelen, hogy baktériumok voltak az első élőlények, szinte már csak azért is, mert a legkisebbek és nyilvánvaló, hogy az élet csak a legegyszerűbb alakból fejlődhetett a bonyolultabb szervezeteig. Ha megvolt a lehetőség arra, hogy a még élettelen világban megszülessék az élőlények legkezdetlegesebb alakja, bizonyos, hogy nem is egyetlen alakban jelent meg. Nem szabad azt hinnünk, hogy valahol az ősóceán egy pontján egyszer csak kiformalódott az élettelen anyagokból egyetlen parányi baktérium, amely kezdett sokasodni s ebből az egyetlen példányból népesedett be az egész Föld, fokozatosan külön fajokká alakulva át, a helyi viszonyok és életfeltételek szerint. Ha az óceán valamelyik pontján egy adott időszakban megszülethetett az élet, egészen bizonyos, hogy sok másik helyén is megszületett, vagyis számtalan helyen, számtalan alakban megjelenhetett az élet, legkezdetlegesebb alakjában. Egyébként nagyon könnyen meglehet, hogy ilyen módon ma is keletkezik új élet, kialakulhatnak egészen új-típusú baktériumok a mai Földön, a mai vizekben és ilyen merőben új parányok hirtelen való megjelenésének és gyors elterjedésének tulajdoníthatjuk azt, hogy időnként egészen új betegségek tűnnek fel. Néha valóban vannak olyan járványok, amelyek okozóját nem ismertük azelőtt s mintha valóban csak a legújabb időkben jöttek volna létre. így talán nem is jó az eredeti kérdésünk, hogy mikor és hol keletkezett az első élet, mert meglehet, hogy mindig és minden időben, ma is keletkezik.

Az, hogy baktériumok voltak a Föld első élőlényei, nem pusztán feltevés, vagy következtetés. Természetes, hogy nem kereshetünk megkövült baktériumokat az őskori kőzetekben,

hiszen olyan parányiak és olyan gyenge testűek, hogy nem maradhattak meg sem anyagukban, sem lenyomatukban. Mégis felfedezhetjük nyomukat a múltban. Ismerünk olyan baktériumfajtákat, amelyek vasvegyületek oxidációjából merítik élet energiájukat! Életük során oldhatatlan oxidok halmozódnak fel testükben, aminek következtében a hatalmas baktériumtelepek elhalta után vasfelhalmozódás marad vissza bizonyítékul életüknek. A kutatók egész sora mutatta ki, hogy a gypvasérccek ilyen vasbaktériumoknak köszönhetik létrejöttüket és a geológusok elég gyakran találunk hajnalkori eredetű gypvasércstelepeket, amelyek kézzelfogható bizonyítékai annak, hogy vasbaktériumok a nagyon távoli őskorban is éltek már. Tudjuk azt is, hogy van egy meszet kiválasztó baktérium, úgy is hívják, hogy *Bacterium calcis*, amelynek életműködése olyan, hogy különféle oldható mészsókból mészszipapot termel. Az őskorban is akadnak mészkőtelepek, nagyon valószínű, hogy óriási tömegű ilyen mészbaktériumsereg hozta létre azokat évmilliók alatt!



Baktérium-telepek nyomai őskori kőzetekben,

Azonban nem csupán működésük nyomai alapján szereztünk bizonyosságot az ókori baktériumokról, hanem úgyszólván saját szemünkkel is meggyőződhetünk, hogy valóban voltak baktériumok az őskor távoli homályában. *Walcott*, amerikai geológus talált olyan ősi mészkövet, amelyben a mikroszkópi vizsgálat kimutatta, hogy nitrogéngyártó baktériumtelepek vannak benne. Természetesen nem maradhattak fenn egyes baktériumpéldányok, de a sokmillió egyedből összeállt telepek olyan jellegzetesek minden baktériumfajára, hogy a már szabadszemmel is látható csoportok alakjáról meg lehet mondani, milyen fajta baktériumokból van-

nak. *Walcott* mészkövében pontosan ugyanolyan telepet alkotnak a *Nitrosococcus* nevű baktériumok, amelyeneket ma, és hasonló lelet akadt azóta több is.

Kétségtelen, hogy a baktériumfokozaton nagyon hosszú ideig vesztegelt az élők világa. A következő fokozat az egysejtű moszatok világa volt. A moszat azonban növény, és lényegesen különbözik életműködésében a baktériumtól. A növényi élet alapja a klorofil, a levélzöld, mely lehetővé teszi a növénynek a Nap energiájának felhasználását a szerves anyagok áthasonításában. A klorofil meglehetősen bonyolult vegyület, melyet szén, hidrogén, oxigén, nitrogén, foszfor és magnézium alkot, azonban működéséhez szükséges még vas jelenléte is. Szerepe az a növényben, hogy a napfény energiájának segítségével a levegő széndioxidjából keményítőt csinál, mely aztán különféle szénhidráttá alakul még át a növényben, cukor, cellulózé s más hasonló anyag lesz belőle. A klorofilnek ehhez a munkájához nincs szüksége valami különös életerőre, mert a folyamat egészen pontosan végigkísérhető kémiai és fizikai folyamatok láncolata. Minden életfolyamathoz energia szükséges és minden földi energia végeredményben visszavezethető a Nap sugárzó energiájára. Ebből a szempontból kell megítélnünk a klorofil fontosságát, hiszen ez a csodálatos vegyület az egyetlen, amely az élőlények számára le tudja kötni a Nap energiáját és tovább tudja adni azt. Az állati élet nincs olyan közvetlen kapcsolatban a Nap energiájával, a fejlettebb állatok azonban közvetlenül vagy közvetve mindent a klorofilnek köszönhetnek, mert minden táplálkozásra szolgáló szénhidrát növényi termék.

Felmerül természetesen az a kérdés, hogy a moszatok, az első növényfajták a baktériumokból keletkeztek-e, vagy pedig önállóan. Vannak olyan átmenetinek látszó moszatfajták, amelyekről szinte be lehet bizonyítani, hogy baktériumokból alakulhattak ki, de éppúgy ki lehet azt is okoskodni, hogy ezek a kékeszöld moszatok, a leginkább átmenetinek látszó lények előbb voltak, mint a baktériumok és ezek származtak belőlük. A moszatok számos fajtájának nagyon régi időkből megtaláljuk a nyomát. Tevékenységüket igazolják a grafittelepek, amelyeket őskori gránitokra lerakodva találunk sok helyütt s a legrégebb üledékes kőzetekben is sok a széntartalmú agyagpala. A széntelepek pedig minden

bizonytalán zöld növényekből keletkeztek. Moszatok tevékenységére kell visszavezetnünk a mészkőfeleségek magnéziumának eredetét s a mészkövek legnagyobb részét is vörösmoszatok csinálták. S e mészközetek egy némelyike arról tesz bizonyosságot, hogy a moszattfélék minden elképzelést meghaladó tömegekben éltek, hiszen például az északamerikai Grenville-réteg mészkője 16.000 m vastag. A moszatok vízben éltek, tehát valósággal nyüzsgöniök kellett az óceánokban, viszont a szárazföldről származó foszfor- és nitrogénvegyületek nélkül nem élhettek volna s ezeket baktériumok közvetítésével kapták.

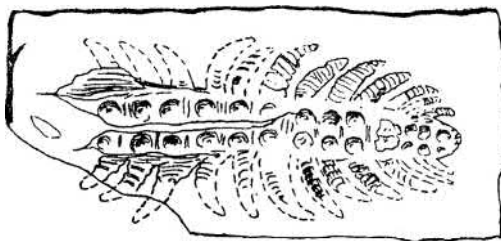
Még nem tudjuk eldönteni, hogy a baktériumok és moszatok világához mikor társult a szoros értelemben vett állati élet. Kétségtelen, hogy a legegyszerűbb állatok, a véglények, (protozoák) legszívesebben baktériumokkal táplálkoznak, s ebből azt kell következtetnünk, hogy már a baktériumos korszakban kialakultak. Az egyszerű hasadással szaporodó gombák megelőzték a legelső állati szervezeteket s az állatok világa nyilván csak a zöld növények nagy elszaporodása és fejlettsége révén juthatott igazi lendülethez. Az állati szervezet nem tudja asszimilálni a szervetlen anyagokat, tehát feltétlenül rá van utalva a növényekre, viszont felette áll a növényeknek abban, hogy idegrendszerük van, mozogni tud és így nem kénytelen olyan röghöz kötött életet élni, mint a növény, amely kénytelen minden tekintetben alkalmazkodni annak a helynek a viszonyaihoz, ahol van. Éppen ezért sokkal gyorsabban és teljesebben alkalmazkodik a megváltozott környezethez, mint az állat, amely a növényekből szabályozottan egyöntetű táplálékhoz tud jutni s fel tudja keresni azt.

Ha már itt tartunk, kicsit alaposabban meg kell mondanunk, hogy mit jelent az alkalmazkodás növénynél, állatnál. Azt jelenti, hogy az élő lény a külső körülmények megváltozása esetében igyekszik a célnak megfelelően átalakulni, módosulni. Általában az alkalmazkodás következménye a fejlődés, habár nagyon sok olyan esetet ismerünk, amikor nem sikerül, illetve egészen célszerűtlen az alkalmazkodás. Az alkalmazkodás nagyban is megfigyelhető, legalább is az alsóbbrendű szervezetek világában, amire érdekes példákat lehet felhozni. Az őstengerekben rendkívül sok volt a meszet

kiválasztó baktérium. A melegebb éghajlatok öveiben a lecsapott mész jóval több volt és nagyobb volt a fajok változatossága is, viszont az egyes fajok kisebb számban voltak elterjedve. Ennek az az oka, hogy a meleg tengerekben jól érezték magukat az úgynevezett denitrifikáló baktériumok, amelyek elszedték a nitrogént a moszatok elől, ennek következtében a moszatok tömege megcsappant, s nem tudott eléggé szaporodni a moszatokból élő egy- és többsejtű állatok tömege, a plankton. A hidegebb tengerekben nincsenek denitrifikáló baktériumok, ott az egyes fajták sokkal nagyobb tömegekben szaporodnak el, de viszont jóval kevesebb a faj, jelülül annak, hogy van valami egyensúlyra való törekvés a szervezetek és a környezet között.

Az őskort a szorosabb értelemben vett ókortól elválasztó, de mindenesetre sokmillió esztendeig tartó időszakot nevezik a geológusok hajnalkornak. Az elnevezés tulajdonképpen a állati élet hajnalkorát jelenti, mert régebben alig néhány állati maradvány volt ismeretes ebből a korszakból. A legutóbbi évtizedek alatt azonban oly jelentős mértékben szaporodtak meg a leletek, hogy ma már egészen benépesedettnek látjuk azt a kort, amelyről azelőtt úgy gondolták, hogy még csak elvéve kezdődött el benne az élet. A gerinctelen állatok csaknem valamennyi törzsének képviselőit megtalálták a hajnalkorban s bizonyos, hogy hatalmas léptekkel haladt előre az állati élet fejlődése. A hajnalkor képződményeit aránylag kevés helyen sikerült nagyobb kiterjedésben megtalálni, de ahol feltárták őket, mint Kanadában, Észak-Európában, Kolorádóban, Kínában, mindenütt ugyanazokat a maradványokat találták. Habár elég kevés a maradványok száma, de fontosságuk rendkívül nagy.

Csaknem valamennyi állati szervezet még vízben élő volt ekkor. Mindössze egyetlen olyan állat maradványa akadt, amely levegőből lélezett. Mondanunk sem igen kell, hogy ezek az igazán ősrégi maradványok meglehetősen gyenge állapotban vészelték át a sokszázmillió esztendőt, hiszen olyan hatalmas geológiai változások, hegyképződő folyamatok zajlottak le, hogy azok során nagyon sok minden véglegesen elpusztult s ami fennmaradt, az is csak halvány körvonalakban őrizte meg eredeti mivoltát. A növényvilágról a mészköretegek nyújtanak felvilágosítást, amennyiben a létrejöttüket



Xenusion Auerswaldae hajnalkori állat, mely valószínűleg már szárazföldön élt

csak baktériumoknak és moszatoknak köszönhetik. Állati eredetű mészkövéletek nem maradtak fenn, tehát az állatok kemény vázai csak szarúból, vagy kovaanyagból álltak. így például az egysejtű állatok a protozoák közül a hajnalkor maradványai csak a kovavázú sugárállatkárról, a radiolariákról árulnak el adatokat. Találtak kovaszivacsok maradványokat, nyomuk van a túskebőrűek közé tartozó tengeri liliumoknak, néhány pörgekarúnak, a puhatestűek közül csigáknak, kagylóknak, az ízeltlábúakat néhány rákfajta képviseli. Skandinávia hajnalkori rétegeiből került elő a *Xenusion auerswaldae* nevű ízeltlábú, ez az egyetlen olyan maradvány, mely esetleg már levegőből lélekző állattól származik.

Be ha aránylag kevés ősmaradvánnyal kell beérnünk a hajnalkorból, nem lehet azt a következtetést levonni, hogy szegényes volt valóban az élet. A következő korszakból, az ókor első szakaszából is már igen nagy bőségben kerültek elő magas fejlettségi fokon álló állatok maradványai s ezekből következtetni lehet az előző korszak állatvilágának fejlettségére is. Az ókor lényeinek kellett elődeiknek lenniök, még ha ezeket az elődöket nem is őrizte meg semmisen számunkra. Bizonyos, hogy az állatvilágban, a gerinceseket kivéve, minden típus kialakult már, viszont érdekes, hogy a növényvilág még alig haladta meg a soksejtű moszatok és a mohák színvonalát.

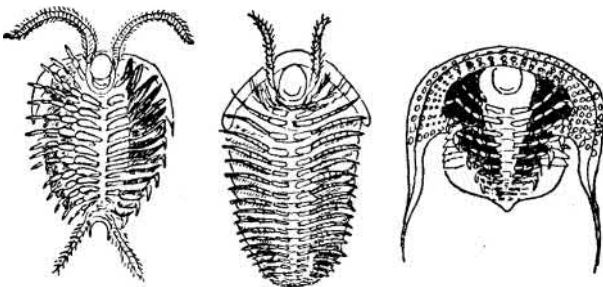
A földtörténeti ókor

A földi élet fejlődésének történetét igazában véve az ókortól kezdve tudjuk pontosan figyelemmel kísérni. Egyrészt azért, mert sokkal több ókori réteget találunk, másrészt

mert a kőületekben jobban megmaradtak a már fejlettebb élőlények maradványai. A földtörténeti ókort öt korszakra szokás beosztani, melyek közül legrégebb a *kambrium*. 800 millió esztendővel ezelőtt kezdődött és 200 millió évig tartott. Utána következik a *szilur*, mely ugyancsak 200 millió esztendő történetét foglalja magában, de két részre szokás bontani. A korábbinak *ordovicium* a neve, 120 millió év tartammal, a második részt vagy *szilumak* nevezik, vagy *gotlandi* időszaknak s 80 millió évet számítanak rá. A szilurt követő *devon* 70 millió évig tartott, utána jön az ókor végső szakasza, a *karbon* 90 millió, a *perm* 40 millió évvel. A földtörténeti ókor tehát 800 millió évvel ezelőttől 200 millió évvel ezelőttig tartott. Ez a 600 millió esztendő idõtartam irtózatosa nagy idõ; természetesen szó sem lehet arról, hogy elképzeljük, de azért tanácsos folyton gondolni rá, nehogy kísértésbe essünk emberi mértékkel mérni, vagy akár csak megbecsülni az idõk folyását. Emberi mértékkel ugyanis rettenetesen lassúnak látszik az élet fejlődése s könnyen vagyunk hajlandók lebecsülni a természet erejét. Ne felejtkezzünk meg tehát arról, hogy néhány millió év röpke pillanat a Föld történetében. Inkább azon lehet csodálkoznunk hogy milyen gyorsan tud dolgozni a természet az élõ egyedek életében. Két parányi sejtõl egy teljesen tökéletes embert tud kifejleszteni egészen rövid idõ alatt. Mielõtt az ókor élõ világát sora vennénk, fussunk át a kor geológiai történetén. A kambrium általában hatalmas vastagságú képzõdménysorozatokat foglal magában, az akkori tengerekbõl helyenként 10.000 m vastag üledéksorozat maradt ránk, habár az is igaz, hogy a szárazföldeken leülepedett rétegek vastagsága néhol csak 50 m-re rúg. A kambrium egyébként elég nyugalmas idõszak volt a Föld történetében. Nagy hegyképzõ folyamatoknak alig van nyomuk s a tûzhányók mûködése sem volt jelentékeny. Egy mondatban összefoglalva a legfontosabb folyamatot: nagyvastagságú tengeri rétegek rakódtak le. Ezekben a lerakódott rétegekben leginkább durva, összeragadt kavicszemekbõl álló kőzetek, homokkõvek, kvarcitok, agyagpalák, kova-palák és néha mészkõvek fordulnak elõ. Az õsi kontinensek nem nagyon változtak a kambrium kétszázmillió esztendeje alatt. Nem lévén komolyabb hegyképzõdés, a meglevõ

szárazföldekhez nem forrtak hozzá újabb szárazföldrészek. A kanadai pajzs magában foglalta Grönlandot is, a szibériai és kanadai pajzsok között tenger volt. Sekélytenger borította Dél-Amerika nyugati részét, ahol ma az Andok hatalmas hegylánca mered az égnek, s tenger volt Észak- és Dél-Amerika között is. Másrészt viszont hatalmas szárazföld terült el, Indiát, Afrikát és Dél-Amerika egy részét foglalva magában, amelyet a földtörténelemben Gondwana földrésznek neveznek,

A kambrium növényvilága alig haladhatta túl a hajnalkorét, úgyszólván alig akad valami növénymaradvány, bár fel kell tennünk, hogy az alsóbbrendű növények mind nagyobb tömegben szaporodtak el a Földön. Annál gazdagabbak a leletek állatmaradványokban s ma már csaknem 1200 különféle állatfajt ismerünk ebből a korból. Közöttük legbizonytalanabbak az egysejtűek maradványai; egyébként a gerincesek kivételével a többsejtű állatok minden törzse már jól felismerhető maradványokban mutatkozik meg. Kétségtelenül azok a legnevezetesebb és legfontosabb állatmaradványok a kamhriumból, amelyek a rákok közé tartoznak. Különösen a háromkaréjú rákok, a *trilóbiták* találhatók hatalmas tömegekben a kambriumi tengerek üledékeiben. Ezek a trilóbiták legjellemzőbb állatai a földtörténeti ókornak, mert a kor végén, úgyszólván, teljesen kipusztultak. Testüket páncél fedte s a páncél hátsó része három karéjra tagozódott: fejpajzsra, hátpajzsra és farkpajzsra. A fejpajzson volt hosszú nyélen a rovaroknál szokásos összetett szempár, s amelyik fajtánál ez hiányzik, arról tudjuk, hogy



Háromkaréjú ősrákok

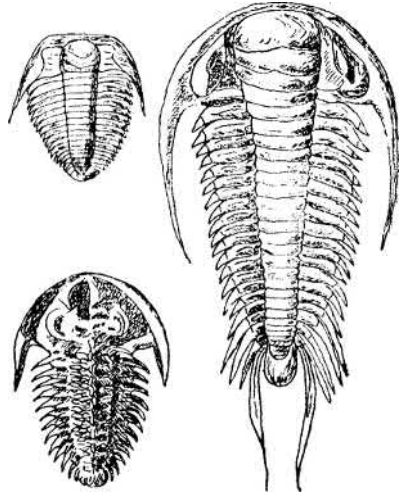
az iszapba befúródva éltek, míg a szemesek a tengerfenéken mászkálgattak. Valószínű, hogy a mély tengerekben élőknél világító szervük is volt, mert a nagy mélységekben áthatolhatatlan sötétség uralkodik s a szem csak akkor ért valamit, ha hozzá világítása is volt az állatnak. Néhány alakjuk alapján tájékozódni lehet a kambrium egymás után következő emeleteiben, mert a legalsó, tehát legrégebbi emeleten az *Ollinellus*, a középsőben a *Paradoxides*, a felsőben *Olenus* nevű ősrákfajták az uralkodók. E jellemző alakok mellett még nagyon sok fajtáját ismerjük ezeknek a sajátos rákoknak. A szem nélküli az *Agnostus* nevet kapta, « ez azért érdekes, mert hajnalkori ősenek még volt szeme s nyilván akkortól kezdve »építette le«, mikor beköltözött az iszapba s ki sem dugta többé onnan fejét. A rákok egy másik érdekes csoportja az óriás rákoké. Egyik alakjuk a *Stylonurus*, 120 cm hosszúra megnőtt, az *Eusarcus* is elérte az 1 m-t. A háromkarú rákok többsége azonban egész apró lény volt, mindenkor rengeteg sok lábbal. Néhol hihetetlen tömegben találtak trilobita-maradványokat, s ma már tudjuk, hogy ezek a helyek vedlőhelyek voltak, s a maradványok levetett páncélok. Az élettan szempontjából nagyon fontos, hogy sok fajtájuknak fejlődését nyomon lehet követni és életmódjukat is ki lehet találni, mert egy milliméteres pete állapotuktól a teljesen kifejlett alakig életük minden részéből van elég maradvány.

A trilobiták klasszikus lelőhelye Csehország, amelynek szilurrétegeiből milliószámra kerültek napvilágra. Úttörő bűváruk, *Barrande* ötven esztendő tiszteletére életéből a csehországi szilur-világ tanulmányozására és huszonöt kötetes munkában írta le az ókori rákok gazdag világát. A származástán egyébként a háromkarú rákokban látja a későbbi rovarok őseit.

A háromkarú ősrákokon kívül a kambriumban jelenik meg először a tüskésbőrűek legelső képviselője és egy tengeri uborka alakjában, s ugyancsak ebből a korból ismerjük a legősibb medúzát, a *Peytoiat*, amely körül tengeri férgek, szivacsok, puhatestűek, pörgekarúak nyüzsögtek. A pörgekarúak a tapogatók osztályába tartozó állatok. Nevük onnan van, hogy csavarodott karjaik vannak, amelyek nemcsak a táplálék megszerzésére szolgálnak, hanem velük is lélekzenek. A karok között van a szájuk. Az ősvilági pörge-

karúak sorát is alaposan megtizedelte az idő, de mégsem annyira, mint a trilobitákat. Ezeknek hírmondójuk sem él már, de a 6000-féle régi pörgekarúból ma is megvan még vagy 150-féle.

A felemlített állatfajok általában szélében-hosszában el voltak terjedve a kambriumi tengerekben, amiből azt kell következtetnünk, hogy a világtengerek állatvilága egységes volt s ez megint azt bizonyítja, hogy nagyjában egyforma viszonyok uralkodtak a Föld legnagyobb részén. Csak elvétve találjuk nyomát eljegesedésnek Norvégia, Kína, Ausztrália, területéről, csak néhol sejtünk sivatagokat.



A földtörténeti ókor második szaka a szilur, melyet

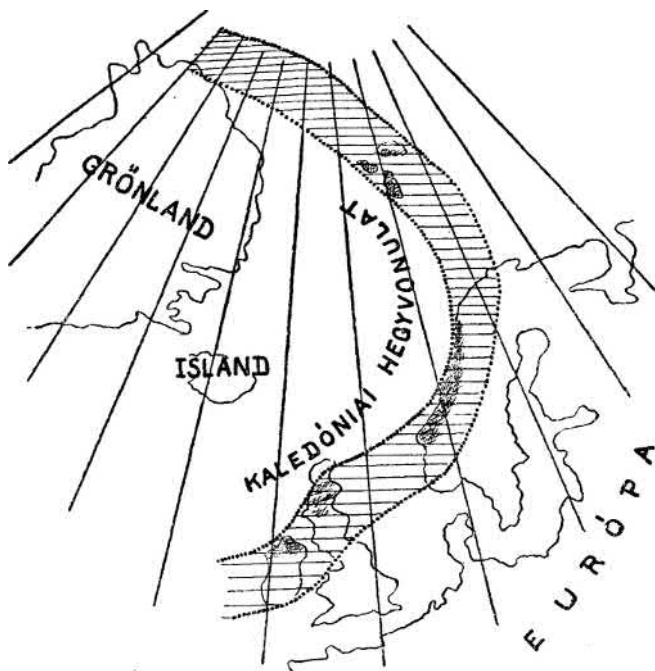
Kambrium-beli ősrákok

újabb két részre szoktak bontani, a régibb *ordovicire* és az újabb *gotlandira*. A szilur név annak az ősi kelta nép törzsnek a nevét őrzi, amely oly vitézül harcolt a mai Nagy-Britannia területére betörő rómaiakkal, az ordovici nép a mai Wales földjén lakott a római császárság idejében s mivel ennek a kornak az emlékeivel bőven találkozunk Walesben, a régi népről nevezte el *Lapworth* a korszakot. A gotlandi elnevezés Skandináviától ered, mert ott fejlődött ki legtipikusabban ez a korszak. A szilurt homokkövek, agyagos homokkövek és palák építik fel. A rétegződés meglehetősen különböző a helyek szerint, de mindenütt több ezer méter vastag rétegsorozatok jelzik. A Föld kérgének fejlődésében nevezetes kor a szilur. Hatalmas hegyképződés zajlott le benne, aminek következtében alakult ki a földtörténeti ókor első hatalmas lánchegysége. A Föld kérgén állandó, folytonos fejlődés figyelhető meg. Először igen nagymértékű tiledóklerakodás folyik a tengerrel borított nagy medencékben, a geoszinklinálisokban, ahol több ezer méter vastag

üledéksorozat gyűlik össze a hegyképződés legelső mozzanata gyanánt. Ebben a korszakban nincsenek nagy változások, a földtörténeti események lassan, nyugodtan folynak le. Utána következik a mozgalmas korszak, amikor a nagy geoszinklinálisokban lerakódott óriási üledéktömegek összenyomódnak, összegyűrődnek, kiemelkednek a tengerből, lánchegységekké lesznek s mintegy hozzáforrnak a már előbb megszilárdult, megmerevedett földkéreghez. Ha ez az összejáratott közettömeg a nagy hegyképződés idején nem merevedett meg eléggé, akkor újra geoszinklinális alakult ki azon a helyen s megismétlődött a hegyképződés rendes módja. A szárazföldre, természetesen, megszorodtak a tengerből kiemelkedő hegyláncok tömegével, a hegyképző mozgások tehát nagymértékben megváltoztatták a Föld kérgének szerkezetét és geológiai méretekben aránylag gyorsan is zajlottak le, sőt az egész Földön nagyjában egyidőben is mentek végbe. Van azonban a földkéreg mozgásainak egy másik fajtája is, amelynél függőleges irányban történnek az elmozdulások, vagyis nagyterjedésű területek emelkednek feljebb, vagy süllyednek mélyebbre. A hegyképző mozgások vízszintesen ható erők következményei, még ha a hegyek a magasba emelkednek is. A függőleges irányú mozgások, természetesen, nem változtatják meg a földkéreg belső szerkezetét és sokkal lassabban mennek végbe.

A szilur-kori hegyképződést *kaledóniai hegyképződésnek* nevezik, mert egyik leghatalmasabb képződménye az az óriási Kaledónia-hegyláncnak nevezett hegytömb volt, mely Írországon, Skócián kezdődve nagy ívben vonult végig a Skandinávia nyugati partjain át, majd északkelet irányba fordulva. Ennek a Kaledónia hegyvonulatnak ma már csak a töredékei vannak meg, de ugyanígy csak maradványok jelzik a másikat a Szahara mentén, és szintén csak nyomait találjuk meg a szilur-hegységeknek Braziliában és Ázsiában a Bajkál-tó körül. E hatalmas hegyláncok letárolása, lepusztulása már a szilur végefelé megkezdődött, úgyhogy az ókor következő korszakában a lánchegységek már csak tönkönként maradtak meg.

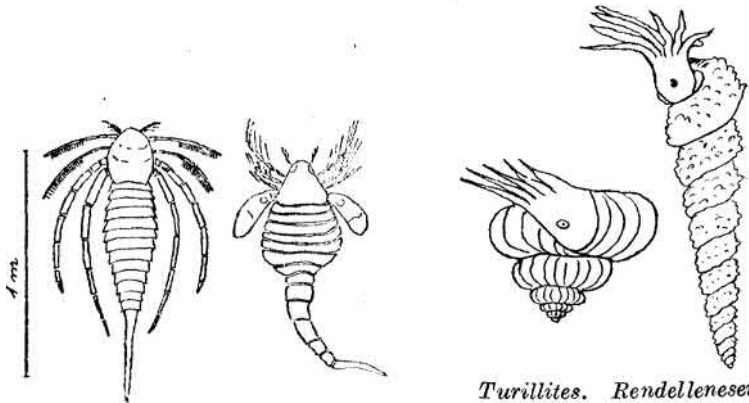
Ami mármost a szerves életet illeti, a növényvilágban is nagy haladást találunk, a moszatokon kívül megjelennek az első *szárazföldi* növények is, de az állatvilág még mindig



messze vezet a növények előtt. A háromkaréjú rákoknak nagy versenytársai akadtak a pörgekarúak képviselőiben. Idáig több mint két és félezer alakjukat fedezték fel. Egyik legérdekesebb képviselőjük a *Camephoraria*, amelyet Karintiában találóan neveznek Szent Lélek galambjának. Mellettük tengeri csillagok, tengeri sünök is megjelennek már, a tengeri liliumok pedig, az őstenger virágutánzó tüskésbőrűi, meglepő változatosságban szerepelnek. Ezek mészkőlemezekből építik fel a maguk gyönyörű, lilomszirmokra emlékeztető kelyhét. A mai átlagos méretű tengerililiumok külső váza harmadfélmillió remekbeszabott mészlemezekből van s ehhez járul még az állat belső váza. Az egysejtűeket a szilur első részében, tehát az ordovici időkben a radioláriák és foraminiferák képviselik, a szivacsokat a kovaszivacsok új állatcsoportot jelent a szilur tengereiben a korallok, a graptolitok és a lábaféjük tábora, és valamennyi felett az első magasabb szervezetű állat, a halak őse. Az ordovici időkben még csak elszórtan léptek fel a korallok, a gotlandi időkben

már hatalmas zátonyokat építettek. A mai korallok, tudvalevően, csak a meleg és egyenletes hőmérsékletű tengerekben élnek s így nyilvánvaló, hogy a földtörténeti ókor elején, amely időből az északi szélesség 70-ik fokának tájékáról is maradtak fenn korallzátonyok, jóformán az egész földkerekségen egyenletes, a mai trópusi tengerekéhez hasonló éghajlat uralkodott. Minél tovább haladunk a Föld történetében az újabb korok felé, annál délebbre szorulnak a korallok s a geológiai harmadkor vége felé teljesen eltűnnek az európai vizekről, jeléül annak, hogy az éghajlat azóta jelentékenyen hűvösebb lett.

A szilar-kor jellemző vezérkövületei a később kihalt *graptolitok*. Különösen a sötét, bitumenes palákban fordulnak elő milliószámra ezek a rejtelmes kövületek, amelyekről csak nagysokára lehetett megállapítani, hogy tömlősbelű állatok voltak, melyek részben szabadon úszkálva, részben helyhez tapadva népesítették be az őstengereket. Medúzához hasonló állatok voltak. A lábasfejűek, vagy fejlábúak, amilyenek a mai polipok és tintahalak, már a kambriumban felléptek. Első alakjuk a *nautilus*nak nevezett típus, amelynek vagy másfélezer fajtáját ismerjük. A mézhéjú állat legősibb alakjában még egyenes, tölcséalakú háza volt, a későbbiekéi fokozatosan becsavarodott a tölcsér, amíg a mai csigákhoz hasonló nem lett. Az állat a legbelső legkisebb kamrában kezdte el életét, amint fokozatosan nőtt, egyre nagyobb



Oriás tengeri skorpiók a szilurból

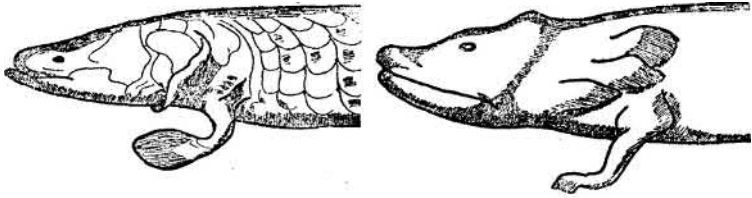
Turillites. Rendellenesen csavarodott és kicsavarodott ammoniteszek

kamrát épített magának, a régít pedig légmentesen elzárta, úgyhogy végül a legkülső és legnagyobb kamrában lakott, a többi, az elhagyott, üres maradt. A lábasfejűek egy másik ága a ma már teljesen kihalt *ammonites-félék*, melyek sokáig fennmaradtak a későbbi korokban is. Valamennyi ammonita tótágast úszkált, a gázkamrák felfelé meredtek, a lakókamra, amelyben az állat tartózkodott, lefelé nézett s az állat maga kinyújtott fogókarjaival ragadta meg táplálékul szolgáló áldozatait. Mozgása ugyanúgy történt, mint a mai tintahalaké. az állat tölcseréből hirtelen kitaszított víz visszaható ereje lökte hátrafelé, tehát olyasféle erőt használt fel, amellyel ma a rakétarepülőgépeket hajtják. A szüurszorból kereken 26.000 csigafajt ismerünk. Rajtuk kívül meg kell említenünk az őstenger óriásrákjait, amelyek hosszúsága néha meghaladta az egy métert is.

Az élet fejlődésének szempontjából fontos határkövet jelent a szilur, mert megjelentek benne az *első gerincesek*. Az első maradványok az ordovici időkből valók. Észtország homokjai őrizték meg azokat az apró halfogakat, amelyek ezeket az első halakat elárulják s a koloradói Canon City ugyanolyan kori rétegeiből előkerült zománc pikkelyek. A gotlandi időkből aztán már gazdag halfaunát találunk. Ezek a halak arról nevezetesek, hogy nincsen szilárd belső vázuk, hanem azt a bőr megcsontosodásából keletkezett páncél helyettesíti. Az első halak még mind édesvíziek voltak s ez a magyarázata annak, hogy élőbbről, még ha éltek is halak a kambriumban, nem tudhatunk róluk, mert a kambriumból csak tengeri üledékek maradtak fenn. A gotlandi időkből ismert halak nagyon furcsa megjelenésű állatok lehettek. Orsóalakú testük emlékeztet a rájakra, bőrüket sok különálló fog borította, ami egyébként nem is csoda, mert a halak pikkelye nem más mint bőrfog. Szemük a lapos test felső felületén volt, úszóik közül még csak a farkúszó volt kifejlődve.

A szilurkor elején a tengerek előrenyomulása jelzi az ősföldrajzi viszonyok változását, a korszak végefelé a tengerek általános visszavonulását figyelhetjük meg s ezzel a szárazföldnagyobboddással zárul a szilur története.

A szilurban lezajló hegyláncképződés után hosszú ideig nyugalom volt a Földön, a kéregmozgások tekintetében.



*A gerincesek lábának kialakulása
Bojtos kopoltyús hal őskétéltű*

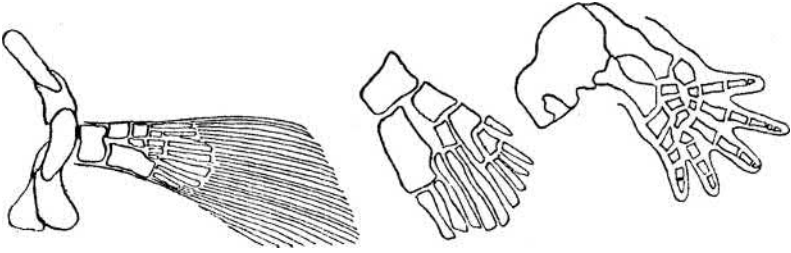
Ez a korszak a *devon*, melynek tanulmányozása Angliából indult ki, még pedig mint említettük, a Devonshire területén talált képződményekből. A devon elejére a tengerek visszahúzódtak, tehát kiterjedt kontinenseket látunk. Ilyen a déli Gondwana, mely most már Ausztrália nyugati felét is magában foglalja s hatalmas szárazföld volt a Déli-sarkvidék is. Északon összenőtt a fennoskandiai és a kanadai pajzs, s ezt a világtájat északatlanti kontinensnek nevezzük. A szibériai pajzs területét, mint Angara kontinenst emlegetik. A devon kőzetei között homokkővek, mészkővek játszó a főszerepet, de gyakran találkozunk palás képződményekkel is. A vulkáni működés sem szünetelt, úgyhogy sok a vulkáni eredetű kőzet is. Legelterjedtebb kőzete a devonnak a sötét, többnyire vöröszínű sokféle homokkő, melyeket a geológusok *régi vörös homokkőeknek* neveznek. Néha ezer méter vastag rétegekben fordul elő s a rétegek részben édesviziekből, részben felsósvízi medencékben üledtek le.

Nevezetes esemény a devonban a jégkorszak, az első a Föld régebbi korszakaiban egyszer bekövetkezett eljegesedés után. A növényvilág fejlődésében meglehetősen nagy haladást látunk, már ismerünk szárazföldi növényeket. Főképpen kétfélének vannak nyomai, az egyiket a mai növényrendszerben a telepes növények és a mohok közé lehet helyezni, a másik a páfrányok őse, több változatban is. Virágos növény azonban még nem volt.

Az állatvilág fejlődése is szembetűnő. A háromkarójú ősrákok száma már alaposan megcsappant s csak a korallok és tengeri liliumok állják a versenyt az új idők változásaiban. Az ammoniták fajtái szaporodnak, de a graptolitok teljesen kipusztulnak. A vezető szerepet pedig magukhoz ragadják

a gerincesek. Magasabb fejlettségű gerincest azonban hiába keresnénk a devon őstengerében, csak a legalsóbb rendűek, a halak szaporodtak el nagy tömegekben és nagy változatosságban. Legtöbbjük vértés hal. Egészen különös alakú halak nyüzsögtek az őstengerben. Egyiknek például két részre tagolódott a teste, mellső részét merev páncél burkolta, hátsó fele pikkelyekkel volt páncélozva. A mélytengeri halak vakok voltak. Legérdekesebb az első porcos hal, a skóciai régi vörös homokkőben talált *climatius*, amely azért nevezetes, mert megmutatja az úszók eredetét. Az őspikkelyes hal testén ugyanis tisztán felismerhető, hogy a mell- és hasúszók egy olyan összefüggő úszó maradványai, amely körülvette az egész testet a középvonalon.

Néhány kutató azon a véleményen van, hogy már a devonban megjelent az első szárazföldi négylábú állat, ennek maradványait azonban mindössze a Pennsylvániában talált *Thinopus antiquus*nak elnevezett lény lábnyomai őrizték meg. Hogy valóban négylábú szárazföldi állat lábnyomáról van-e szó, még elég kétséges.



Az úszósárny átalakulása ötüjju lábbá

Magyarország legősibb üledékes képződményei ugyancsak a devon-korszakból valók. Főképpen Vas megyében és Zemplénben vannak ilyen képződmények.

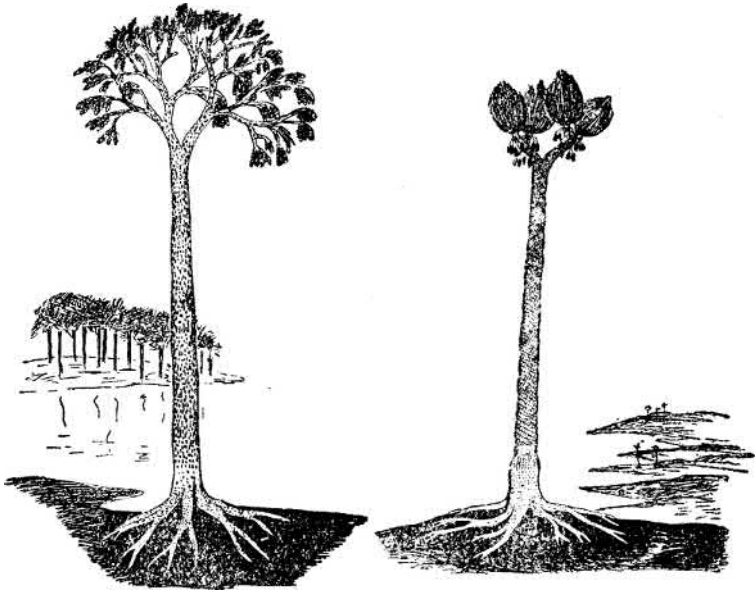
A földtörténeti ókor következő két szakasza mindenképpen új korszakot jelent. Kiterjedt erdőségek borították a szárazföldeket s ezekből született meg a kőszén. Ezért is kapta nevét a következő szakasz, *karbon-korszak*, habár kőszén nemcsak ekkor keletkezett, hanem később is, sőt ma is folyamatban van. A szénképződés mellett azonban más szempontból is nagyon fontos események történtek a karbon-kor-

szakban. Ekkor zajlott le ugyanis a második nagy hegyképződés. *Variszkuszi* hegyképződésnek nevezzük. A Balti-tenger Vogtland nevű szigetén éltek a variszkuszok, akikről ezt a hegyképződést elnevezték. Közép-Európának ez az egykor hatalmas lánchegysége a francia Központi fennsíkól indult ki az Ardennákon, Schwarzwaldon és a Vogézekon át, Közép-Németországon, a Szudétákon, a Szepes-gömöri éréhegységen, Radnai havasokon, Gyulai havasokon keresztül valószínűleg Dobrudzsáig vonult. Ma már csak nyomai vannak meg, mert a harmadkorig lepusztult, Összetöredezett. Természetes, hogy ez a hegyképződés is úgy történt, hogy az ókorban kialakult geoszinklinálisok feltüremlettek. Ennek a korszaknak a hegyképző folyamatából keletkezett az Ural is, Közép-Ázsia ősi röghegységei, az amerikai Appalachian-hegység is. A hatalmas hegyképződésnek mélyreható következményei voltak a szárazföldek és óceánok egymáshoz való viszonyában is. Európa összeforrt Ázsiával, a fennoskandiai és szibériai pajzs közt megszűnt a geoszinklinális, ugyanúgy a szibériai és kínai pajzs közt is, ezek is összeforrtak egymással, úgyhogy a kaledóniai és variszkuszi hegyképződések egészen megváltoztatták az ősföldrajzi viszonyokat.

A karbon-korszak élővilágában a növényvilágé volt a főszerep. A gotlandi időszakban a szárazföldre kilépett növényvilág minden elképzelést felülmúló arányokban vette hatalmába a szárazulatokat. Roppant buja növényzet fejlődött ki, a hihetetlen tömegű növénytömeg irratlan ősröngyekben borította el a földet. Ezeknek a túlnyomó részt mocsári erdőknek megkövesült maradványa a kőszén. A kőszénkorszak növényvilágának zöme örökzöld páfrányokból, őskorpa-füvekből és őszsurlókból került ki. A mai szerény zsurlók kőszénkori képviselői 7—10 méteres óriásokká nőttek, a most törpe korpafüvek ősei 24—27 m magasak voltak, törzsük átmérője 30—40 cm volt, levelük hosszabb volt fél méternél. Leghatalmasabb fajtája az őszsurlóknak a *Calamites* nevű. Harminc méter magasra is megnövő törzse mocsaras helyeken tenyészett és dúsan szerteágazott, mint valami karos gyertyatartó. Árnyékukban a füzérés, karcsú *Sphenophyllum*-félék húzódtak meg.

A karbon-kor őserdejének legtöbb fája a korpafüvek sorából kerül ki. Törpe dudvaktól 30—40 méteres óriásokig,

karcsú, hajlékony szálacszáktól vastos törzsekig fejlődtek a kőszénidőszak őskorparafüvei, a levélnyomos fák. Törzsüket és ágaikat egy-eres, szálas levelek borították ferde sorokban, s ha a levél lehullott, a kérgen megmaradt a levél nyoma. Innen van a »levélnyomos« fa elnevezés. Aszerint, hogy a levélnyom rombuszalakú és kiemelkedő, vagy hatoldalú pecsétgyűrűalakú és sima volt-e, *pikkelynyomos* és *pecsétnyomos* fákat különböztetünk meg. A terebélyes fák gyökérszete messze szétágazott a talajban s mindaddig, amíg a szén-



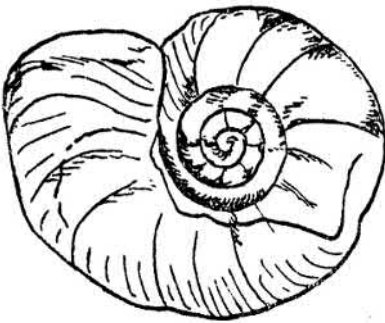
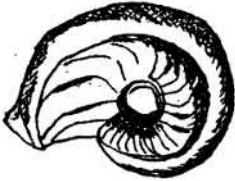
Pikkelynyomos és

levélnyomos fa

telepeken nem találtak ép, teljesen összefüggő levélnyomos fákat, a földalatti tőkéket külön növényfajtnak tartották. Az ősi zsurlók, korpafüvek mellett sokféle páfrány is volt, csillaglevelű, nyíllevelű, fésűlevelű és akadt köztük egy magésabbrendű, fedetlen magú virágos növény is, a *Cordaites*-fa, mely szintén igen nagytermetű volt és a mai *Araucaria*-félékhez hasonlított. Mindezeknek a növényeknek a maradványai nagy tömegben és nagy változatosságban kerültek elő a kőszéntelepekből, úgyhogy a karbon-korszak flórája a

legjobban ismert növényvilág a földtörténet múltjában. A karbon első idejében a növényzet elárasztotta az egész földet, a második felében azonban már csak az északi féltekére jellemzők a növényvilágnak ezek az alakjai. A déli féltekén ugyanis több helyen látjuk az eljegesedés nyomát a karbonkorszak második részében. Dél-Amerikából, Dél-Afrikából, Indiából és Ausztráliából ismerünk karbon-kori eljegesedést, úgyhogy ezek a déli területek az újabb karbonból már csak néhány pikkelyfa és pecsétnyomós fa maradványát őrizték meg. Itt főleg cserjékből és kisebb fákból állt a növényzet, melyeknek egyszerű, nyelvalakú leveleik voltak.

Jelentős változások következtek be az állatvilágban is a devonnal szemben. Legfeltűnőbb a háromkaréjú rákok rohamos megfogyatkozása, bár érdekes, hogy Magyarországról éppen a dobsinai felső karbonból ismerünk trilobitát. Letűntek már a páncélos halak is, és erősen megfogyatkoztak a Nautilus-félék. A kipusztuló állatfajtákat azonban nagy ráltozatosságban pótolják az új alakok. Nagy tömegben lépnek fel a gabonaszemekhez hasonló egysejtű állatok, a *Fusilinák* és a *Schwagerinák*. Meszes héjacskaiknak hatalmas

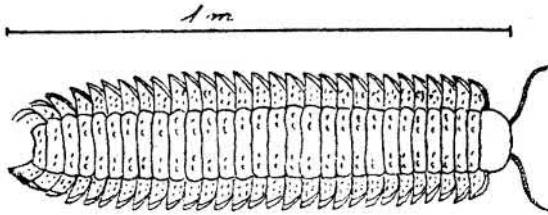


tömegét találjuk a Keleti Alpok, az Ural egyes helyein, Kína, Szibéria, Japán, Szumatra, Észak-Amerika ókorvégi mészköveiben. A pörgekarúak közül nagy változatosságban lépnek fel a *Productus-nemzet-ségbeliek*. A kagylók közül a korra legbiztosabban jellemzők a *Posidonia* maradványai. Számos szimmetrikus csiga is élt a karbonban és nagy arányokban lendült neki a fejlődésnek az ammonites-fajta.

Az őserdők árnyékában a bújó növényzettel kapcsolatban megjelentek a rovarok s egyre nagyobb szerepet is játszanak. Ellentétben azzal a fej-

Ős ammoniteszek a középkorból lődéstani tapasztalattal, hogy

az új típusok kistermetű fajokban jelennek meg, a karbon rovarai között sok volt mindjárt az óriás. Legérdekesebb a *Meganeura monyi-nek* elkeresztelt szitakötőféle, amely kiterjesztett szárnyakkal 70 cm széles volt. Ez az óriás mégis azt a feltevést teszi legvalószínűbbé, hogy ízeltlábú rovarok voltak már régebben is, és csak azért nem tudunk róluk, mert mint könnyen érthető, rovarok kövületei nagyon nehezen és kivételesen maradhatnak fel s valóban sok kedvező körülmény össze-



Óriás ötszázlábú

játszására van szükség, hogy egy rovar teteme ne pusztuljon el nyomtalanul. Kétségtelen, hogy későbbi korokból is ritkaságok a rovarmaradványok, kivéve a borostyánkőbe zártakat. Nagy számban került még elő a karbonból az *Anthropleura armata* nevű ötszázlábú rovar maradványa, mely egy méter hosszúra megnőtt, de egyik-másik rokonfajtajának kétméteres példányai is akadtak. Az ókorbeli rovarvilág egyébként nagyon idegen a maihoz képest. A bogártudósok sokat panaszkodnak is, hogy a kőszénkori rovarok nem illeszthetők bele semmilyen mai rendszerbe sem. A karbon-kori rovarok közül említsük meg, hogy 84-féle svábbogár élt már, tehát valószínű, hogy eredetük régibb időkre nyúlik vissza. Az a legérdekesebb, hogy mindmáig nagyjában megőrizték alakjukat s a forró égöv alatt ma élő fajták még termetre is nagyon közel állanak karbon-kori őseikhez.

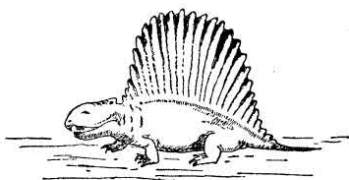
Hatalmas fejlődés következett be a gerincesek világában. Nemcsak a vizekben szaporodtak el, hanem már hajlandóságot árultak el a szárazföldi életre is. A mocsaras területek kiválóan alkalmasak voltak olyan állatok számára, amelyek vízben is, szárazföldön is boldogulni akartak. Erre megfelelő lélekzőszervek kellettek és olyan kettős mozgásszervek, amelyek az

úszás mellett a szárazon való mozgást is lehetővé tették. Rendszerint a mellső úszók alakultak át lábakká, még hozzá már elég hamar ötújjú, ötsugarú kézfélévé. Az első kétéltűek kisfejú, nyúlánk testű, rövid végtagokkal, de erőteljes farokkal ellátott állatok voltak. Leginkább azokon, amelyek lapátúszós halaktól származtak, pikkelyek voltak. A maradványok vizsgálata megállapította, hogy a farkos kétéltűek, a götte- és szalamandrafélék a kétlégzésű halakból, a békák a bojtos-úszósokból származnak. Az ókorvégi kétéltűek éppúgy iparkodtak alkalmazkodni a szárazföldi élethez, mint a velük együtt megjelenő csúszó-mászok. A két fajta külsőleg sokszor egészen hasonló alakban jelenik meg és néha elég nehéz megkülönböztetni az őskétéltűt az őshüllőtől. A rovarok elszaporodásával kapcsolatban indokolt volt a gyorsmozgású, rablótermészetű ösgyíkfélék megjelenése, melyek közül voltak főképpen szárazföldiek, rövid farokkal és inkább vízben élők, hosszú farokkal.

A földtörténeti ókor utolsó szakasza a *perm*, mely nevért az oroszországi Perm kormányzóságtól kapta. Régebb írásokban *diasz* néven is emlegetik, mert két részre volt szokás osztani. A perm-korszakot főképpen a nagymértékű eljegesedés jellemzi. Ez a jégkorszak zordságában messze felülmulta az újkori eljegesedéseket, de míg a permi jegesedés a déli féltekére szorítkozott, az újkori az északi féltekét tarolta le. A perm-ben meglehetősen nagy változások történtek a Föld arculatában is. A tengerek ismét nagyobb területeket hagytak szárazon, tehát a szárazföldek megnöttek, befejeződött a varisztikus hegyképződés folyamata. A perm első szakában Európa északi részeiben Angliától a német síkságon át az Uraiiig nagykiterjedésű beltenger volt. Tovább folytatódott a korszakban a heves vulkáni működés. Európa sivatagi vidékein nagykiterjedésű területeken és jelentős vastagságban rakódtak le ismét vörösszínű homokkőrétegek. A perm alatt erősen párologtak a beltengerek s ennek kapcsán hatalmas sótelepek keletkeztek. A sötömbök vastagsága néhol eléri az 1200 m-t is.

Az ókor utolsó időszakának növényvilága jóval szegényesebb a karbon buja növényzetéhez képest. Általában azok maradtak meg és terjedtek, amelyek jobban bírták a hűvösebb éghajlatot, úgyhogy már gyakoriak a tülevelű

fák maradványai. A
karbon-kori növények
nagy része kipusztul,
a pecsétnyomás és pik-
kelynyomos fáknak
már nyomuk sincs a
perm-korszak végén,
csak egyik utódjuk jelenik
meg meg egyszer a következő

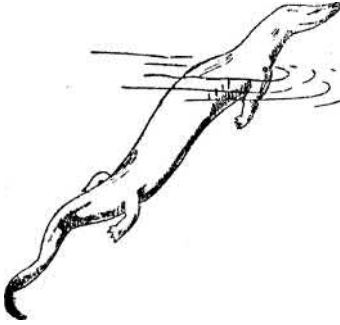


A 3 m. hosszú rövidfarkú tarajos sárkány

triász-korszakban. A kőszénképződés az egész permén át helyenként ugyanolyan méreteken, folyt mint a karbon-korszakban s ebből a szempontból nem is lehet éles határvonalat vonni a két korszak között.

A permii állatvilág a gerincesek sorában szolgál a legtöbb meglepetéssel. Dél-Afrika földjén, a Jóreménység fokától Transvaal határáig terjedő vidéken, melyet a bennszülöttek Karroo-nak, azaz száraznak neveznek, megjelennek az első hüllők, a halak és kételtűek után a gerincesek osztályának most már harmadik képviselői. Az otromba *Pareiosaurus* 3 m hosszúra is megnőtt. Törzsét eleinte gyenge, később egyre erősödő pajzsok borították s a nehéz páncél súlya szinte földhöz lapította ezeket a furcsa külsejű, alapjában véve azonban jámbor, növényevő őshüllőket. Megtalálták ezeket az őshüllőket Archangeleszk környékén is, ahol egész kocsirakományszámra ásták ki maradványait, úgyhogy sikerült az állat teljes csontvázát összeállítani. Észak-Amerikában is vannak őshüllők. Érdekes alakja volt a németországi mocsaraknak a *Branchiosaurus*, melyből szintén rengeteg csontmaradványt sikerült találni, az állat fejlődésének minden korszakából, és így teljesen tisztában vagyunk életmódjával is. Ivadékuk az ebihalra emlékeztet, ivarérett alakjukban megtévesztően götealakúak. Életük jó részében kopolyúval lélekzettek. A felnőtt példányok 10—13 cm-re nőttek meg. Lárvakorukban viselt kopolyúik közben elsorvadtak s attól kezdve tüdővel lélekzettek, akár csak a mai szalamandrák. Ugyanígy vízben töltötte ifjúkorát a kopolyúval lélekző másfélméteres *Archeogosaurus*, mely szárazföldre lépve szintén tüdővel lélekző lényvé alakult át. Említést érdemel még a hátán tüsketarajt viselő *Dimetrodon*, mely

szintén tekintélyes nagyságot ért el, 3 m-re is megnőtt. Kelet-Poroszország permii kőzeteiből előkerült egy állkapocs-maradvány is, amelyben néhány tudós az első emlős-maradványt véli felismerni, azonban minden kétséget kizáróan csak a következő korszakból származnak emlős-maradványok.



A földtörténet ókorának hatszázmillió esztendő tartama alatt hatalmas fejlődést látunk anyagban, életben egyaránt. A földkéreg alakulásában a két óriási hegyképződés már meghatározta a további fejlődés, átalakulás irányát, a növényvilág eljutott a tülelű, fákig, az állatvilágnak pedig már valamennyi törzse élt a Földön. Talán a gerincesek is megjelentek már.

*Az ókor végén élt Cricatus nevi
őskételtű*

A középkor

A földtörténeti középkor körülbelül 135 millió esztendő szakasza a Föld életének. *Mezozoikum*nak is nevezik és három korszakra osztják. Ez a három korszak a *triász*, *jura* és *kréta* nevet kapta, s ez a beosztás úgy látszik, minden tekintetben megfelel, mert kezdettől fogva elfogadták a geológusok és meg sem kísérelték mással helyettesíteni. A nevek eredete azonban nem olyan logikus, mint maga a beosztás. A triász név német eredetű. Németországban 2000 m vastag rétegsor őrzi a középkor ez első szakaszának emlékét s ezekben a rétegekben világosan meg lehet különböztetni egy hármastagozódást, ami indokolta a korszak elnevezését. A hiba csak az, hogy Németországon kívül sehol sincs meg világosan ez a hármastagozódás, már az Alpokban sem, meg a mi Bakonyunkban sem. Az angol és amerikai triász meg egyáltalán nem hasonlít a németre. Egyébként 200 millió évvel ezelőttre esik a triász kezdete s negyven millió esztendőig tartott. A középkor középső szakasza a svájci Jura hegységtől kapta nevét, ahol 1000 méteres rétegben tanul-

mányozható. Szintén negyven millió esztendeig tartott. A harmadik, a legfiatalabb szakasz a kréta, amely a kőzetekben nem is olyan gyakran és feltétlenül előforduló krétakőzetekről kapta nevét. 55 millió esztendeig tartott, tehát az egész középkor 200 millió évvel ezelőtt kezdődött és 65 millió évvel ezelőttig tartott, úgyhogy jóval rövidebb időt foglal magában, mint az ókor. Erről nem szabad megfeledkeznünk, mert különben könnyen lenézzük a Földnek ezt a korát, melyben aránylag sokkal kevesebb történt geológiai szempontból, mint az ókorban. Így például Európában alig volt mozgás a földkéregben a középkor első felében, de ez csak 50—60 millió esztendő szünetet jelent, s az ókorban is előfordult többször is ilyen tartamú nyugalmi időszak. A kréta végéig alig volt hegyképződés és a vulkáni tevékenység sem volt számottevő, viszont a geológiai szünet alatt annál érdekesebb dolgok történtek az élővilágban.

A triász ősföldrajzi viszonyait az ókor végével szemben főképpen a tengerek előnyomulása, újabb térfoglalása jellemzi. Ez természetes is, mert a középkorban folyt az előkészítése a későbbi, legfiatalabb hegyképződésnek, tehát ekkor volt a geoszinklinális időszaka. Különösen szembeötlő a tengerek térhódítása a Thetys kiterjedésében. Egész Közép- és Dél-Európát befödi ez a földközi tenger, sőt a Gondwana egy 'darabját is. Különösen jellemző Európában a triász korszak földrajzi viszonyaira, hogy Németország területét olyan beltenger borította, amelyet a variszkuszi hegyképződés alkalmával felgyűrt Vindeliciai hegység választott el a Thetysnek Közép- és Dél-Európát borító részétől. Itt alakultak ki azok a sekély tengeri üledékek, melyekben oly szembeötlő a triász hármas felosztása. Germán triásznak is nevezik a németországi rétegsorozatot, szemben a nyílttengeri alpesi triással. Ezért olyan feltűnő a különbség például Magyarország triász kori képződményei és a németországiak között, mert nálunk alpesi a triász. A germán triász alján tarka homokköveket találunk, helyenként kereszttrétegződéssel, ami arra mutat, hogy néhol kiterjedt sivatagok voltak. Később, a triászkor közepén a beltenger előrenyomult és a sivatagi képződmények teljesen megszűntek, helyettük tekintélyes vastagságú mészkőrétegek rakódtak le puhatestűek gazdag társaságát zárva magukba. Ezért is nevezik ezt a mészkövet

kagylós mészkőnek. A triász végső szakaszában színes márgákat találni. A germán típusú triászhoz hasonló viszonyokat látunk Francia- és Spanyolország némely pontján és Észak-Afrikában, a nyugatföldközi beltenger üledékeit.

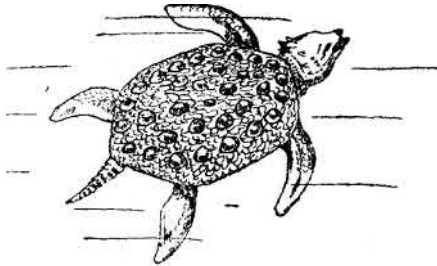
A legtöbb triászképződmény azonban az alpesi kifejlődéshez tartozik, amelynél túlnyomó részben a mészkövek és dolomitok uralkodnak.

A növényvilág fejlődésében újabb jelentős állomás a triász. Először is egyre jobban terjednek a tűlevelű és lomblevelű erdők, amelyek ugyan már a permben elkezdtek hódító útjukat. Ezek az erdők azonban már nem a karbonkorszak mocsárerdői, szárazabb területeken élnek, jeléül annak, hogy az éghajlat is szárazabb lett, amit egyébként a helyenként nagykiterjedésű sivatagok is bizonyítanak. Különös figyelmet érdemelnek a növényvilág alacsonyabbrendű szervezetei közül a tengeri moszatok, köztük a *Diplopora*-nemzetség. Csöves, páleikaalakú moszatok voltak, amelyek mézshüvelyt választottak ki maguk köré s ebből köröskörül hajszálvékony nyúlványok indultak ki. Fontos a szerepük a kormeghatározásban, mert a triász-korszaknak csak bizonyos emeleteiben fordulnak elő.

Magától értetődő, hogy az állatvilágban is nagy változásokat látunk a földtörténeti középkortól kezdve. A háromkaréjú ósrákok most már teljesen eltűntek és kipusztultak a négyes korallok is, átadva helyüket a mai is élő hatos koralioknak. A gerinctelenek között megfogytakozott a tengeri liliumok száma, de a megmaradt fajtákból néhol nagy tömegek éltek, sokhelyütt kőzetalkotó tömegben maradt vissza nyéltagjaik sokasága. A pörgekaruak egyik - másik nemzetsége is óriási tömegekben lép fel. Sok kagylófajta nagyon alkalmas arra, hogy pontos időmeghatározásokat lehessen csinálni segítségükkel a triász egyes korszakaira. Hihetetlen tömegben és meglepően nagy változatosságban találjuk a fejlábú ammonitákat. Némelyik fajuk csak rövid ideig élt s ezek jó szolgálatokat tesznek a kormeghatározásoknál. Apró alakoktól fél- és háromnegyedméteres arányokig változik az ammoniták nagysága, de akadnak köztük igazi óriások is. A legnagyobbak fajtája a *Parapacsydiscus*, melynek két legnagyobb példánya Westfáliában került elő. Az egyik teljesen egészben maradt meg 2 m az átmérője, a másik

csak részekben került elő, de kiszámítható, hogy átmérője meghaladta a harmadfél métert. Ezek az óriás alakok azonban csak ritkaságok és szinte a fajta kihalásának előjelei. Valóban, a kréta-időszak utolsó napjaival, illetve évezredekkel mintha kitörölték volna valamennyi ammonitát a középkor óceánjainak tükréről. A faj kiélte önmagát, nem bírta a versenyt a tengerek újabb lakóival. Jellemző arra, hogy hány fajtájuk volt, hogy a magyarországi triászából is több külön »magyar« ammonitát tart számon az őslénytan r *Arpadites arpadis*, *Balatonides balatonicus*, *Hungarites bocsa-rensis* s hasonló neven.

A hüllők közül legismertebb alakja a németországi triásznak a *Noihosaurus*. A krokodilus-féléket a *Belodon* képviseli s megjelennek az óriásgyíkok első példányai is. A teknősök közül ekkor élt a *Placodus gigás* és a magyarországi triásznak egyik nagy büszkesége a balatoni kavicsfogó ősteknős, a *Placochelys flacodonta*, melyet a veszprémi Jeruzsálem-hegy márgájában talált meg Laczkó Dezső.

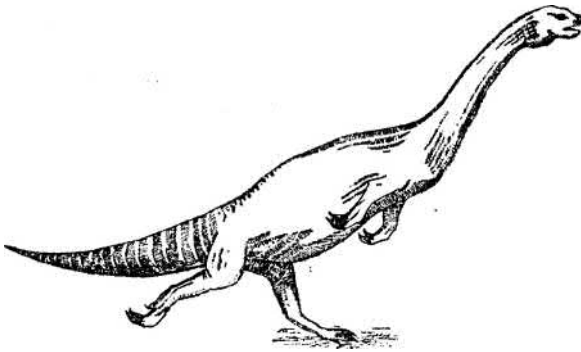


A bakonyi ősteknős

Ennek a nyelvtörő nevű állatnak csőrszerűen megnyúlt állkapcsa volt, fogai szélesek, nagyon erősek, innen a kavicsfog elnevezés, amikhez hasonló fogak a mai teknősöknél nem fordulnak elő. Ezek a fogak nyilván arra is jók voltak, hogy összeropogtassa velük a táplálékul szolgáló kagylók kemény héjját. Egyébként lábai tulajdonképpen úszólapátok voltak, tehát vízben élt, vagyis a szárazföldön kialakult fajoknak egyik olyan esete, amikor az állat kényszerűségből visszatért a vízi életre.

A triász sok gerinces maradványa közül talán a legérdekesebb az a furcsa ősellát, amelynek tulajdonképpen csak

hült helyét, a homokkőben maga után hagyott lábnyomát ismerjük és mégis sikerült a teljes állatot rekonstruálni, őssálatok lábnyomai elég gyakoriak. Rendszerint úgy keletkeztek, hogy egy-egy vulkáni kitörés elől menekülő állattársaság otthagya lábnyomát a homokkőben, a vulkáni hamu menten betemette a friss nyomokat s így azok megmaradhattak teljes épségükben. Legtöbbször a nyomok közelében megtalálják magának az állatnak is a maradványait, de például a híres thüringiai *Chiroterium* nyomaihoz sehohsem került elő az eredeti állat csontja. A tudományos név »kezes állatot« jelent, ezért nevezték el így, mert lábnyomai feltűnően emlékeztetnek a kövér emberi kéz öt ujjának körvonalaira. A lábnyomokat *Seorgel*, thüringiai geológus dolgozta fel és sikerült belőlük a szó szoros értelmében kiszámítani az egész állatot. A nyomokból közvetlenül látszott, hogy az állat hátulsó lábai jóval mélyebben süppedtek be az agyagos talajba, mint az első lábak, melyek néhol alig értintették a földet. Az ismeretlen állat tehát csaknem két lábon járt. Pontosan meg lehetett állapítani, hogy mekkora teher jutott a hátsó lábakra és az első karokra s a tehereloszlásból nyilvánvaló lett, hogy az állat testének



Anchisaurus, madárlábú gyíksárkány

súlypontja mennyire hátra esett. Ebből azt kellett következtetni, hogy hosszú farkának kellett lennie. Karjai rövidek voltak és gyengék, lábai viszont erősek és térdben előre csuklók, mint a mai hasonló lényeké. A léptek nyomának aránylag

keskeny volta arra vall, hogy az állat testhosszúsága nagy volt és lábai hosszúak. Az állat nagyságát is ki lehetett számítani lépteinek hosszúságából s az derült ki, hogy 6—8 m hosszú testének kellett lennie. Az első lábak halvány nyoma arra vall, hogy kis feje, vékony nyaka volt. A nyomokon látható erő's karmokból következtetni lehetett az állat életmódjára. Biztosan ragadozó fajta volt, abból a sokféle hüllőből élt, melyeknek nyomát megtaláljuk ugyanazokban a rétegekben.

A triász tengerében indultak hódító útjukra a halgyíkok, a középkori óceánok e félelmetes lakói. Körvonalaik a halakra emlékeztetnek, s olyan viszonyban vannak a hüllőkhez, mint a bálna a többi emlőshöz. Mindkettő szárazföldi ősök ivadéka és alakjukat csak fokozatos alkalmazkodással érték el. Végtagjuk úszóvá alakult át, testük torpedóalakot öltött, mint a delfineké, hogy könnyebben mozoghassanak a vízben. Mint ahogyan a bálna elveszítette szá-



Cymbospondilus, a halgyíkok őse

razföldi őseinek szőrözetét, a halgyík is felcserélte a hüllők pikkelyét és páncélját puha, nyálkás bőrrel. Sok fajukat ismerjük. A legkisebbek 80 cm-esek voltak, de akadt köztük 12 méteres óriás is. Testhosszuk negyede esett hegyes, kecsegeszerű orrban végződő koponyájukra, ez a hegyes orr volt a halgyík támadó fegyvere. Allkapcsukban 180—200 hegyes krokodilusfog volt, de a zsákmányt nem rágta össze, csak lenyelte. Habár vízben élt, tüdővel lélezett s ezért gyakran kellett felbukkannia a víz színére. A halgyíkok a triászban jelentek meg, de virágkorukat a jurában érték el. Minden tengert benépesítettek, de aránylag hamar el is tűntek. Egyik rokonuk volt a hattyúnyakú gyík, a *Plesiosaurus*, mely lényegében a fókákat képviselte az őstengerben. Inkább csak a partmenti sekély vizekben

tanyázott s onnan kapdosta el áldozatait, melyeket csak lenyelt egészben, akár a mai krokodilusok, fókák, struccok, s a rágást a lenyelt kövek végezték el gyomrában.

Rengeteg fajta tengeri sün, korall, és szivacsfajta élt még a triászban, töméntelen kagyló, rák és egysejtű hemzsegett mind az édes, mind a sós vizekben. Rendkívül nevezetes eseménye a triásznak az első emlősök megjelenése. A triászból már biztos leleteket ismerünk, amelyek kétségtelenül emlősöktől származnak. Az első emlősök csaknem egy időben lépnek fel Európában. Afrikában és Észak-Amerikában. Európában, főképp Németország és Anglia területéről még csak fogak, állkapocstörödékek kerültek napfényre, Afrikából azonban egész koponyamaradványok is. Ezeket az ősi emlősöket *Triglyphus*, *Plagiaulax* és *Thritylodon* néven írták le. Az európai maradványok legfeljebb patkány nagyságú állattól származhattak, az afrikai *Thritylodon* azonban már elérte a nyúl nagyságát. Az amerikai maradványok sokkal inkább képviselik a hullók és emlősök közti átmenetet, mint az európai és afrikai első emlősök.

A földtörténeti középkor középső szakaszát, a jurát, joggal nevezhetjük az európai vízözön korszakának, de ennek az vízözönnek semmi köze sincs a bibliaihoz. Különösen a jura közepén kezdett hozzá a Thetys, hogy elnyelje csaknem egész Európát, úgyhogy szinte csak néhány nagy sziget maradt meg Skandinávián kívül. Körülbelül 60 millió évig tartott az európai vízözön, ami után aztán megint kezdtek kiemelkedni a szárazföldek. Ha látjuk azt a sok vizet, mely elárasztotta egész Európát, könnyen arra gondolhatunk, hogy valami rendkívüli dolognak kellett történnie hozzá, de szó sincs róla. Mindössze az történt, hogy a szárazföld mélyebbre süllyedt ugyanolyan függőleges mozgás következtében, aminek során kiemelkedett. A szárazföldünket előntő tenger sekély vizű volt a keletkezéséhez elég volt a földkéregnek aránylag egészen kis behorpadása. Hiszen ha például a mai Európa csak 100 m-nyit süllyedne, ami igazán csekélység, eltűnnék a Föld felszínéről Hollandia, Dánia, a Balti-államok, Franciaország, Olasz-, Német-, Lengyel-, Oroszország, Románia, és Magyarország alföldje.

A földkéreg nem pihent a jurában, ez inkább abban nyilvánult meg, hogy nagy földségek végeztek emelkedő

vagy süppedő mozgást, mint a Thetys medencéje, mintha a geoszinklinálisok most gyűjtötték volna az anyagot a későbbi hegyképződéshez, a kigyúrendő hegyláncok tömegéhez. De voltak gyűrődések már a jurában is, az Alpok területén, Angliában, Kínában s Amerikában. A Mecsekben a pécsi kőszén is ebből a korból való kéreggyűrődésnek köszönheti keletkezését. A jura üledékei főleg mészkövekből, agyagokból, márgából, homokkövekből és kisebb arányokban dolomitokból vannak. Európában aránylag csekély volt a tűzhányóműködés. A Pécs vidékén található kőszéntelepek tengerpart közelében élt mocsárerdők maradványai, de vannak tengeri júraüledékek is hazánkban.

A növényvilág fejlődésében lassú, de folytonos átalakulás mutatkozik. Egyre több olyan növényfajta tűnik le, amelyek alig, vagy csak erőszakosan illeszthetők be a mai növények rendszerébe, és egyre szaporodik azoknak a növényeknek a száma, amelyek már közeli rokonságban vannak a mi növényeinkkel. Érdekes, de aránylag nem hosszú életű csoport alakult ki a jura folyamán a *Bennetites-éle*kben: de ez a csoport, mely a nyitvatermők közé tartozik, a következő korszakban, a krétában már ki is pusztul. Egyre nagyobb változatosságban lépnek fel a fenyők és a növényzet messze elterjed észak felé, úgyhogy még a 80-ik szélességi fokon is megtalálhatók a júrakorszak növénymaradványai s ugyanúgy lehűződött ez a flóra a déli sark felé is.

A jura, a legcsodálatosabb állatalakok időszaka volt. Habár a gerinctelenek sorozatában csak fokozatos a fejlődés, a gerincesekben szinte ugrásszerű fejlődést tapasztalunk. Az egyszettű lények közül ekkor jelennek meg azok a *Nummuliták*, amelyek a harmadkor elején milliárdszámra népesítik be az óceánokat, de fontos szerepet játszottak az ammoniták is. A szivacsok, korallok, pörgekarúak, kagylók, csigák részben a régi alakban, részben egész sereg új alakban található fel a jurából. Új alakjait látjuk az ammonitáknak, de a számos triászbeli fajta közül csak egy ment át a jurába s abból fejlődött ki a sokféle új ammonita. A fejlábúak egyik érdekes csoportja a szivarformájú *Belemmites-féle*ké. A jura arról is nevezetes, hogy alig van a földtörténetnek még egy korszaka, amelyből oly gazdag változatosságban és oly épségben maradtak volna fenn a kövü-

letek. Még az egyébként oly könnyen nyomtalanul elvesző lepkék, bogarak, szitakötők, szöcskék egész serege is előkerült.

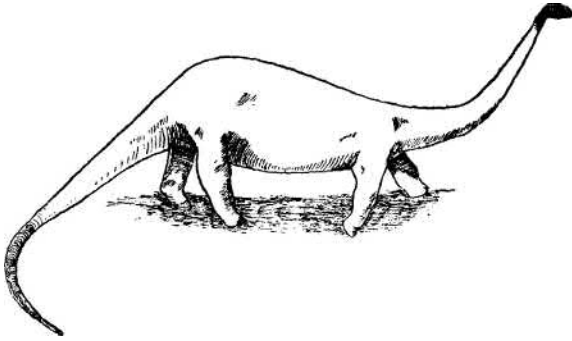
A gerincesek maradványai is sok érdekeset nyújtanak. A legjellemzőbb gerincesek a csúszó-mászok osztályából kerültek elő. A jura a csodálatos hüllők korszaka volt. Ekkor élt a mai delfinekhez hasonló *Ichtiosaurus* nevű halgyík, mely a vízi élethez tökéletesen alkalmazkodó ősi hüllő volt. De nemcsak tengerekben éltek ezek a furcsa és mai szemmel szinte hihetetlen csúszó-mászók, hanem benépesítették a levegőt is. Valóban, a jura hüllői meghódították a levegőt is, és valóságos repülő sárkányok rémítgették a többi állatot. A repülő hüllők közül az első maradványt, a *Pterodactylus*-nevűt már 1784-ben megtalálták a német júraközetekben, de azóta is sok példány került elő ebből a vércse nagyságú állatból. Eleinte azt hitték róla, hogy vízben élő teremtes volt, de már *Cuvier* kimutatta, hogy repülőgyíknak kellett lennie, amelynek megvolt az a képessége, hogy hosszú karmai segítségével kapaszkodjék. Később négylábón járónak képzelték el, amíg aztán *Ábel* kimutatta, hogy olyanféleképpen mozgott, mint a mai denevérek, tehát hosszú karmaival faágakon, vagy sziklákon megkapaszkodva fejjel lefelé lógott, úgyis pihent. Farka egészen rövid volt, míg a jura másik repülő-sárkányának, a *Rhamphorhynchusnak*. hosszú farka volt s ez bőrvitorlában végződött. Mindkét sárkányfajának csőrszerűen megnyúlt állkapcsa volt, benne hegyes fogak sora. A legnagyobb repülő-sárkány maradványai Kansasból kerültek napfényre. Ez a *Pteranodon* nevű hatalmas állat volt. Kiterjesztett szárnyai nyolc métert értek át, koponyája maga háromnegyed méter hosszú volt. Nagyon jellemző fejlődéstani szempontból, hogy az állat szinte szándékosan mindent elkövetett, hogy testét alkalmassá tegye a sokáig tartó repülésre. Elhagyott magáról minden felesleges terhet, például fogait, agyvelejét csak vékony csonthüvely borította, hátsó lába elsorvadt, csontjainak levegőtartalma viszont megnőtt, úgyhogy minden bizonyára naphosszat lebeghetett a tenger hullámai felett. Úgy látszik azonban, hogy a *Pteranodon* alkalmazkodása mégsem sikerült, különben nem pusztult volna ki olyan gyorsan, hogy átadja helyét a levegő igazi urainak, a tollruhá-



Az elképzelt legkezdetlegesebb ősmadár

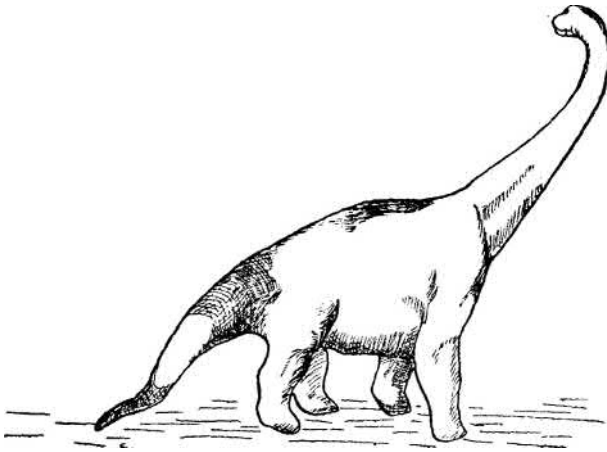
öltött madaraknak. Ezek legrégebb képviselője két példányban került elő Solnhofen világhírű litografikus paláiból. *Archeopteryx*nek, ősi szárnyasnak nevezték el. Bizonyos szempontból átmenetet képvisel a gyíkfélék és a valóságos madarak között. Madárszerű feje volt, de állkapcsában még fogak is voltak. Mellső végtagja szárnyá alakult át, de a végén megmaradt három szabad, karmokkal ellátott ujj. A láb és a medence felépítése madár jellegű, de kétoldalt homorú csigolyái hüllőkre jellemző. Kétségtelenül meglehetett állapítani, hogy volt tollazata, mert megmaradt a tollak lenyomata is. Egyelőre még eldöntetlen az a kérdés, hogy miből fejlődtek ki a madarak, hogyan jöttek rá a repülés módjára. Kétféle elmélet járja. A híres bécsi tudós, *Ábel* véleménye szerint az első repülő madár a fákról leugró kis termetű Dinosaurusokból alakult ki, a magyar *Nopcsa* szerint pedig a két lábon ugráló alakokból származtak az első madarak.

A szárazföld félelmetes urai a *Dinosaurusok*nak, »ijesztő hüllőknek« nevezett ősgyíkok voltak. Már a triászban megszülettek, különösen a jurában virágkorukat élték, aztán a krétakor vége felé kihaltak, nyomtalanul kipusztultak. Ezek sorába tartoznak a Földön valaha is élt legnagyobb szárazföldi állatok. Két csoportra osztják őket, aszerint hogy medencéjük szerkezete gyíkszerű, vagy inkább madarakéhoz hasonlít. Egyik legkülönösebb képviselője a dinosaurusoknak a hátán hatalmas pikkelytarélyt hordó *Stegosaurus*, melynek maradványai Amerikában kerültek elő. Testének



Diplodocus carnegiei, a leghosszabb gyíksárkány

hosszúsága 6—9 m, magassága 4—5 m volt. Valamennyi dmosaurusra érvényes az a megállapítás, hogy a keresztcsontban lévő gerincvelőjük tömege többszörösen felülmúlta agyvelejük súlyát, tehát nagyon buta állatok lehettek. Hosszú nyaka és hosszú farka volt a 25 m hosszúságot is elérő *Diplodocus carnegiei*-nek, amelynek óriási termetéhez képest egészen parányinak mondható volt a feje. Hasonló hozzá az *Atlantosaurus* és a *Brontosaurus*. Mindegyik ujjonjáró állat volt, s főleg mocsarakban tanyázott. Húsevő volt a *Laelaps* nevű dinosaurus, mely »csak« 7—10 m hosszúra nőtt meg. A legnagyobb állat azonban a *Brachiosaurus* volt, melynek legszebb maradványai Afrikából kerültek elő. Teljesen összeállított csontváza legfőbb ékessége volt a berlini természettudományi múzeumnak. Élősúlyban körülbelül 800 métermázsát nyomhatott, felkarcsontja maga 2 m 10 cm hosszú, tehát nagyobb egy embernél. Megközelítő számítások alapján joggal tehetjük fel, hogy például a *Diplodocus* száz esztendő alatt nőtt fel, ami nem is olyan nagy idő, ha meggondoljuk, hogy ez az óriási húskolosszus csupa vízinövényből, apró mocsári állatkából, rákból, rovarokból táplálkozott. Nyilván nagyon jól ki tudta használni táplálékának minden alkotórészét, legfőképpen a meszet, hogy saját hatalmas csontvázat felépíthesse. Sokáig bizonytalan volt, hogy ezek az ősgyíkok tojást tojtak-e, vagy elevenen születték meg magzatjaikat. A Gobi-sivatagban aztán megtalálták egyik ősgyíknak a *Protoceratops*nak a tojásait



Elefánt-zsiráf-sárkány, a legnagyobb ősgyík

is, ami eldöntötte a kérdést. Hatvanöt, 18—20 cm nagyságú tojást találtak, némelyikben benne volt az embrió csontváza is.

Az emlősök azonban még csak egészen jelentéktelen szerepet játszottak, és csak alacsonyabbrendűek maradványaik kerültek elő ebből a korszakból.

A geológiai középkor harmadik, utolsó szakasza a krétakorszak, mely nevét a korszak vége felé nagy mennyiségben keletkezett krétakőzet után kapta. Igaz viszont, hogy krétás üledékek tulajdonképpen csak Anglia, Franciaország és Németországterületén találhatóak, s ezért az elnevezés csak meglehetősen szűk területre illik, de mégis általánosan elfogadták. A krétakorbeli üledékek vastagsága eléri a negyedfél kilométert is, ami mind a triászhoz, mind a jurához viszonyítva tekintélyes vastagság. Az üledék alján és tetején legtöbbször édesvízi és felsővízi üledékek vannak. Az üledékekben mészköveket, márgákat, agyagokat, homokköveket találunk, gyakoriak a zátonymészkövek, melyeket korallok, moszatok, kagylók építettek fel. Jellemző kőzete a krétának az a homokköves üledék, melyet nálunk *kárpáti homokkőnek* nevezünk, de világszerte elterjedt. Ennek a homokkőnek a leülepedése a krétában kezdődött, de eltartott a harmadkor közepéig. Őslénytani szempontból azért nevezetes ez a kárpáti homokkő, mert csak nagyon

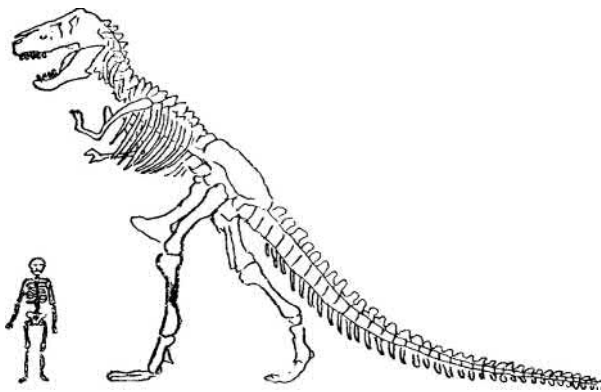
ritkán fordul elő benne kövület, legfeljebb néhány kagylómaradvány.

A tengerek a krétakorszak első részében a jurabeli nagy előrenyomulással ellentétben visszahúzódtak, a korszak második felében azonban ismét előrenyomulnak mindenfelé. Az alpesi geoszinklinális mentén tetőpontjára ért a hegyképződés folyamata s általánosságban azt lehet mondani, hogy a szárazföldek egyre nagyobb uralomra jutottak. A hegy képződést mutatja a jelentékeny tűzhányó tevékenység is. A nagy hegyképződésekkel aztán le is zárult a geológiai középkor anyagi fejlődése.

Fontos változások következtek be az élet fejlődésében is. Nagyon sok növénymaradványt találtak meg még az északi szélesség 70-ik foka alatt is. Grönlandban a krétakorszakban hatalmas kiterjedésű mammutfenyő, tölgyfa, kámforfa, magnólia, babérfa erdők maradványait látjuk. Ebben a korszakban jelentek meg egyszerre az egy- és kétszikű növények, habár a korszak első felében még csak szórványosan jelentkeztek, de a későbbi időkben már nagy változatosságban és mennyiségben szerepelnek a leletek közt. Dél-Anglia legrégebbi krétarétegeiben még megtalálhatók a jurában élt, de már a krétában ki is pusztuló *Bennenites-félék*.

Szörény megye területén egy pálmafajta maradványait találták meg. Általában már a mai típusú növényvilágot látjuk mindenfelé a Földön. Viszont Amerikában annyi krétakorbeli széntelep van, hogy az újvilág geológusai szemében a kréta épolyan kőszéntermő korszak, mint a karbon. Ez annak jele, hogy semmi okunk sincs a karbonbeli kőszéntelegek keletkezését úgy magyarázni, mintha különleges éghajlat lett volna abban a korszakban, ami annyira kedvezett a növényvilágnak.

A kréta talán a legnevezetesebb időszak a földtörténetben az állatvilág szempontjából. Elsősorban az az érdekes, hogy nagyon sok, addig virágjában levő állatfaj pusztult ki a kréta végével, úgyhogy a korszakot úgyis szokták emlegetni, mint sok állatcsoport temetőjét. Feltűnő az ammoniták és a dinosaurusok nyomtalan kihalása, de ez a kipusztulás nem hirtelen következett be, mert elkorszosulásukat szinte lépésről-lépésre követni lehet. A kihalás rend-



Tyrannosaurus rex

szerint néhány millió esztendő alatt pergett le lassan. Ezen nem szabad csodálkoznunk, szinte általános érvényű törvénynek vehetjük, hogy idővel minden állatfaj kiéli magát és fokozatos öregedés, satnyulás után eltűnik az élet színpadjáról, helyet adva újaknak.

A kréta állatvilágát sorra véve, kezdjük a legegyszerűbben. Az egyszettű állatok nagy tömegben éltek s ezek építették fel az írókréta rétegeit is. A szivacsok mintha ebben a korban érték volna el virágzásuk tetőpontját, annyira benépesítették a tengereket. Nagy tömegben éltek a korai - lok is. A kagylók és csigák között hatalmas termetű, vastaghéjú alakokkal találkozunk. A gerinces állatok közül még mindig a hüllők közül akadnak a legfeltűnőbb maradványok. Ilyen például a 12 méteres *Mosasaurus*, mely a Maas mentén került napvüágra. Ez a gyíkszerű állat teljesen vízi életet folytatott. A hüllők közé tartozik a mai rinocéroszra emlékeztető *Triceratops*, melynek volt egyharmadik szarva is az orrán. Érdekes alakja a krétának a kenguru módjára kétlábon ugráló ősi sárkánygyík fajta. A nagyfejű kengurusárkány 6—7 m hosszú lehetett, koponyája 88 cm-es volt. Nála is nagyobb volt a *Tyrannosaurus rex*, melyet az ősgyíkok királyának lehetne nevezni. Több mint 12 m-re nőtt meg, fogai 12 cm hosszúak voltak. Két lábon ugrált ez is, mellső végtagjai egészen elsatnyultak. Ezek az ősgyíkok ragadozók voltak, de akadnak növényevő fajták is.

A krétakori hüllők között nevezetes a kacsacsőrű ősgyík, melynek megmaradt múmiává aszott bőre is. Növényevő állat volt, szájában nem kevesebb mint 2072 fogat lehet találni. Érdekesek a kréta madármaradványai is, az emlősöket ebben az időben szintén még csak az alacsonyabbrendű csoportok képviselik.

Magyarországon legértékesebb krétakori kincs a *bauxit*. Habár még nincs tisztázva, hogy az alumíniumnak ez a fontos érce hogyan keletkezett, annyi bizonyos, hogy legalább is Magyarországon a krétakorban képződtek a bauxittelepek.

Az újkor

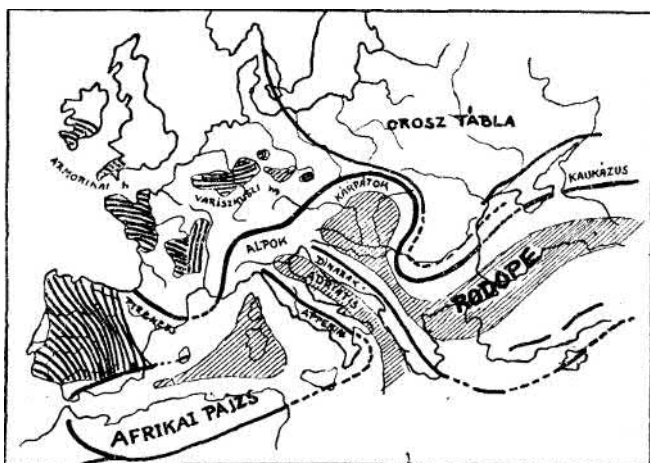
A földtörténeti újkorban szinte egészen más világ következett be a Földön s ennek a világnak végső kialakulása a mi mostani világunk. Természetesen, nem szabad azt gondolni, hogy a változás hirtelen következett be, hiszen elégszer kellett látnunk, hogy mennyire ráért a természet s mennyire nem számít egy-két millió esztendő a dolgok folyásában. Lassú, szinte észrevehetetlen átmenetek vannak, amikből végül kialakul az egészen megváltozott Föld és Élet. Az az idő, amely a földtörténeti középkor után következett s mindmáig tart, aránylag rövid korszak az előzőkhöz képest, mindössze 65 millió esztendőt foglal magában. Természetesen, nem tudhatjuk, hogy ezentúl meddig fog még tartani s mi következik utána. A klasszikus geológiai felosztás szerint két részre kell osztani az újkort, s mint már említettük, az elavult korbeosztás maradványaként rajtuk maradt ezeken a korszakokon a harmadkor és negyedkor elnevezés. A harmadkort magát is több részre osztják, de két csoportban. A régiebb a *paleogén*, melynek három szakaszát különböztetik meg, a *paleocént*, *eocént* és *oligocént*, ezek körülbelül 46 millió évet ölelnek fel. Az újabb, 18 millió évig tartó *neogént* két részre, *miocénre* és *pliocénre* osztják. A harmadkor tehát összesen 64 millió évig tartott. A negyedkorról bátran mondhatjuk, hogy csak az elején tartunk, ha valóban geológiai korszak lesz belőle, hiszen mindössze egymillió esztendő megy bele. Nagyobbik része a *dilúvium*, a legújabb, az *allúvium* mindössze 20.000 esztendő. Igaz, hogy a mi szempontunkból ez a

húszezer esztendő a legfontosabb, mert ennek elején alakult ki a mai emberfaj az előző hosszú idők ősemberfajtaiból.

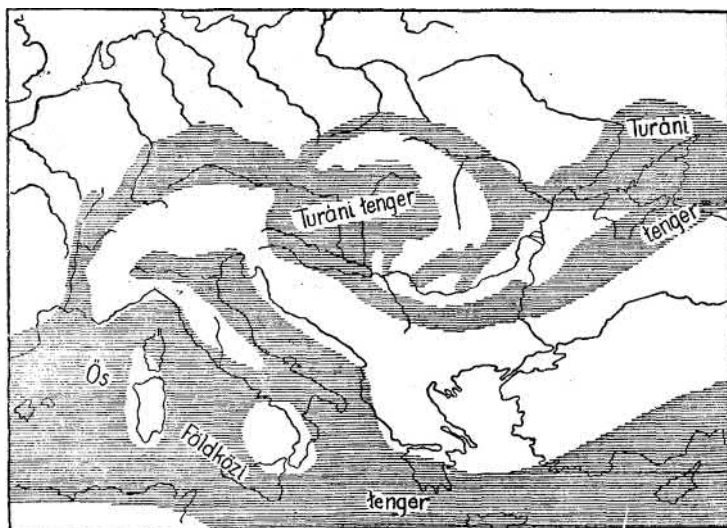
A tengerek és szárazföldek eloszlása a harmadkorban már megközelítik a Föld mai arculatának képét. Európa déli és keleti részén ugyan még megvan a Tethys, többször előrenyomul, visszavonul, de végeredményben már tűnőben van. Európa északi részeiben még benyomul az Északi-tenger, a harmadkor elején még tenger borítja Belgium, Franciaország és Dél-Anglia jelentékeny részét s Magyarországról csak a harmadkor végén húzódik vissza az utolsó tenger, a Tethys északi része. Utána félsósvízes beltenger, majd számtalan tó borítja a Kárpátok medencéjét. A kor végén aztán a tavak is eltűnnek s nagyjában ugyanolyan az ország, amilyen ma. Mozgalmas időszak a harmadkor hegyképződés tekintetében. Első felében gyűrődött fel a pireneusi és szávai lánchegység, második felében az Alpok öt nagy csoportja s ezzel meg a Kárpátok ívének erősebb kiemelkedésével Európa már megkapta mai ábrázatát, hiszen a Föld legjellemzőbb vonásait a lánchegységek adják meg, melyek Európában általában nyugat—keleti irányban, Amerikában észak—déliben futnak le. A hegyképző mozgásokkal kapcsolatban, természetesen, igen nagyarányú volt a tűzhányók tevékenysége. Különösen Magyarország területén működött sok vulkán, melyek rengeteg andezitet, bazaltot, iolitot s ezek tufáit szórták ki magukból. Érctelepeink is ezzel a nagy vulkáni működéssel kapcsolatban keletkeztek.

Az újkor elejének üledékeit is csak ritkán fedik vastag rétegsorok, s maguk az üledékek általában lazák. Legnagyobb szerepet a homokok, homokkövek, kavicsok, agyagok, márgák, mészkövek játsszák benne és csak a mészkövek és vulkáni kőzetek kemények. A rétegekben igen nagy a változottság, sokszor pár méternyi vastagságban tengeri, féligsós vízi, édesvízi és vulkáni képződmények tarka együttesét látjuk, de igazi mélytengeri üledék nagyon ritka. Magától értetődő, hogy az újkori rétegeket a lehető legalaposabban ismerik a geológusok, hiszen csak nagyon kevés helyen, például a mi Alföldünkön fedik jobb vastag rétegsorok.

A harmadkor növényvilágában már minden mai magasabbrendű növény képviselve van s erről megbízhatóan tudósítanak a széntelepek is. A sok növényi maradvány



Az újkorban felgyűrődött hegyláncok menetei



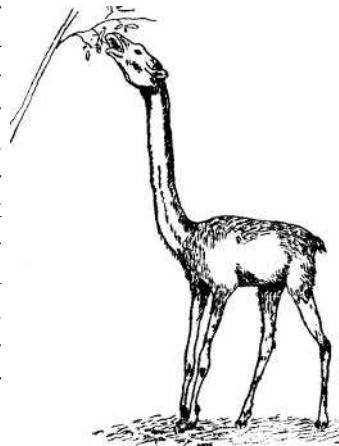
Közép- és Déleurlópa az újkor közepén

alapján pontos következtetéseket vonhatunk le a korszak éghajlatára is, és biztosan tudjuk, hogy jóval enyhébb volt a klíma, mint ma, messze északon még olyan növények éltek, amelyek ma már csak a meleg égöv alatt találhatók meg.

A harmadkor tengereit az egysejtűek egész sora népesítette be, köztük óriási tömegben a nummulinák. Ezek az általában lencseszemnél valamivel nagyobb korongalakú meszeshéjú véglények már az ókor végén feltűntek. Az újkor első részében elképzelhetetlen tömegben éltek, valóban kőzetalkotó mennyiségben. Maradványaikat Szent László pénzének nevezi a magyar nép, s érdekes figyelemmel lehet kísérni maradványaikat az egykori Tethys partjainak mentén. A gerinctelen állatok közül fontos szerepük van a csigáknak és kagylóknak, mert az ő segítségükkel lehet legjobban azonosítani a harmadkor egyes szakaszait. Rendkívül kimerítő felvilágosításokat kaptunk a harmadkor rovarvilágáról a borostyánkőbe zárt egykori állatkák révén. Az ősfenyők gyantája a legkitűnőbb konzerválószernek bizonyult s körülbelül 1.200-féle rovar és pókféle ragadt bele a fenyők gyantájába és maradt meg mindmáig teljes épségben. Szorgalmas statisztikusok összeszámlálták, hogy a Föld kisebb-nagyobb múzeumaiban és állattáraiban őrzött borostyánkővekben 5.000 recésszárnyú, 4.000 bogár, 20.000 légy és szúnyog, 1.000 molypille, 1.200 poloska és 150 százlábú került elő eddig. Ennek ellenére meglehetősen gyengén van feldolgozva az óriási anyag s még nagyon sok munka várna ezen a téren a tudósokra.

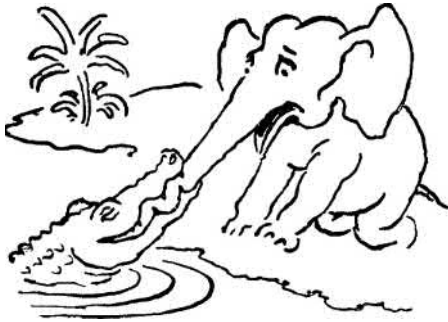
A harmadkor azonban legfőképpen az emlősök jegyében kezdte el alkotásait. A középkor óriásainak, melyek a földet, vizet és levegőt egyaránt uralták, a gyíksárkányoknak, úgy szólván, már leszármazottjai sincsenek. Teljességgel letűntek az élet színpadáról és átadták helyüket földön és vízen egyaránt az emlősöknek, melyek viszont csak a levegőt hagyták meg a madaraknak.

Az emlősök elég szerényen kezdték, de idővel közülük is kialakultak óriás típusok. Az Ázsiában talált



Zsiráfláma (Alticamalus)

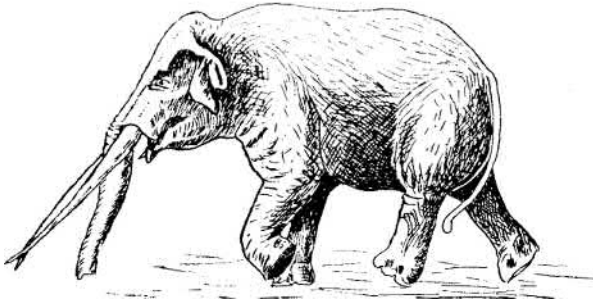
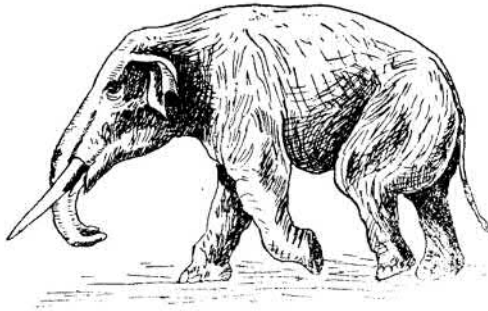
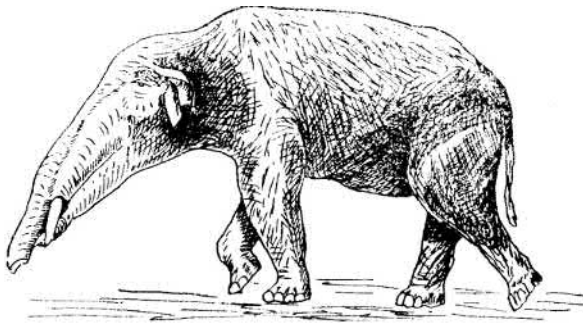
nyomokból ismert *Baluchitherium* nevű orrszarvú oly hatalmas állat volt, hogy amikor először találták meg koponyáját, a tudósok zavarban voltak, nem akarták elhinni, hogy komoly a lelet, annyira elképzelhetetlennek tartottak ekkora orrszarvút. A harmadkor négy milliárd esztendeje elég volt ahhoz, hogy az emlősök egész sora kifejlődjék és a rosszul sikerült fajták ki is pusztuljanak. Így például az elefántok családja valóban sokágú volt, amíg végül megmaradt belőle a mai afrikai és indiai elefánt. Első nyoma az elefántcsaládnak Egyiptom eocénelejei rétegeiből került elő, a tapir nagyságú *Moeritherium*. Már kifejlett agyara volt és felső ajka előrenyúlt, bár messze



volt még az ormánytól. (Afrikai legenda, melyet Rudyard Kipling is megírt: az elefántgyerek kérdezte anyjától egyszer, hogy mit eszik a krokodilus? Kérdezd meg tőle, felelte az öreg elefánt. A gyerek odament a Nílushoz s megkérdezte.

A krokodilus azt felelte rá, hogy hajolj le, majd megsúgom. A kis elefánt lehajolt a vízhez s erre a gonosz krokodilus bekapta az orrát, húzta, húzta, amíg egészen megnyúlt. Így lett ormánya az elefántnak.) Példa a rosszul sikerült fajra a *Dinotherium*, melynek agyara alsó állkapcsától nőtt ki, még pedig lefelé, úgyhogy szinte lehetetlenné tette számára a táplálékszerzést, s amellet általában nem volt alkalmas védekezésre.

Nagyon érdekes a lovak családfája. Fejlődésük legfontosabb bélyege az ujjas lábnak egyujjúvá, patássá válása s amellet az előzáfogaknak a zápfogakhoz való hasonlóná válása. Legősibb lóalak Észak-Amerikában került elő, ebből származott még a harmadkor legkezdetén az európai *Hyracotherium* és az amerikai *Eohippus*, melynek mellső végtagjain még 4, de hátsóin már csak 3 ujj van. Amerikában több átalakuláson ment át a lófajta, az Európába átvándorolt még 3 ujjú *Hipparioriból* pedig létrejött az *Equus*-nemzetség.

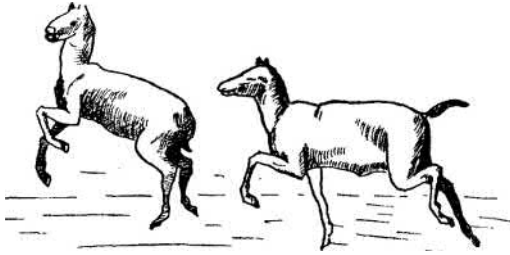


A disznófogú masztodonok fejlődése hárommillió év alatt

Már a harmadkor elején feltűnnek a majmok is, eleinte csak kezdetleges alakokban, de a kor vége felé már teljes változatosságban képviselik az állatvilág legmagasabb rendű faját. Emberi maradványokat azonban nem ismerünk a harmadkorból, habár vannak kutatók, akik felteszik, hogy már a harmadkor legvégén élt olyan lény, melynek fejlettebb

szellemi képességgel is voltak már és talán embernek lehetne tekinteni. Komoly adatok azonban nincsenek erre.

Magyarország területén földrajzi szempontból rendkívül mozgalmas volt a harmadkor. A Kárpátok felgyűrődése, természetesen fokozatosan ment végbe s az újkor derekán, a miocénben működtek utoljára a kéreggyűrő erők, aközépkorvégi felgyűrődés mentén. Amikor a gyűrődő övekben törések, beszakadások keletkeznek, az előtérben rendszerint besüpped a terep s ezt a kimélyülő területet el-elönti a tenger. Ilyen besüppedés helye volt az Alföld, melyet a geológusok ekkor Tisia néven neveznek. Magától értetődik, hogy a hatalmas gyűrődések alatt a feszültségek, törések nyomán



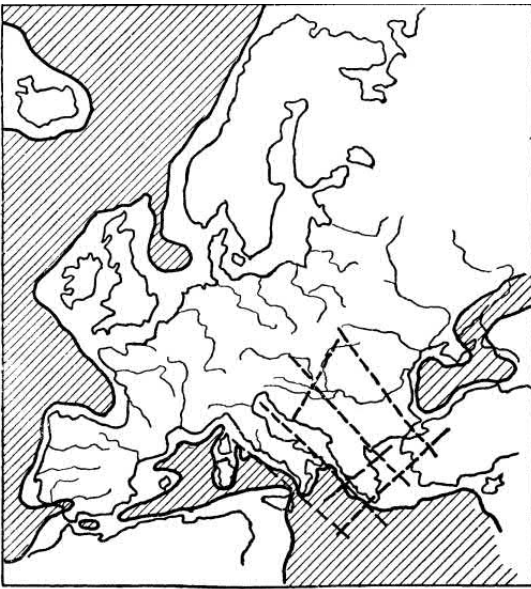
A lóöz (Thoaterium) a pliocen-korból

egészen az izzó magmaövig hatoló repedések támadhatnak a földkéregben s a repedéseken aztán nagy lávatömegek törnek a felszínre. Nemcsak Európában, hanem az Andok kivételével az egész Földön nincs még egy 30.000 km²-nyi földterület, ahol annyi tűzhányó lett volna valaha, mint Magyarország területén. Ennek a nagy vulkáni tevékenységnek az eredménye, hogy annyi nemesfém akad a Kárpátok medencéjének peremén a vulkáni kőzetekben. Az Erdélyi-érchegység szinte kifogyhatatlan aranytömege valóban indokoltá teszi, hogy már az emberi ókorban és a rómaiak is Arany országnak nevezték el Erdélyt.

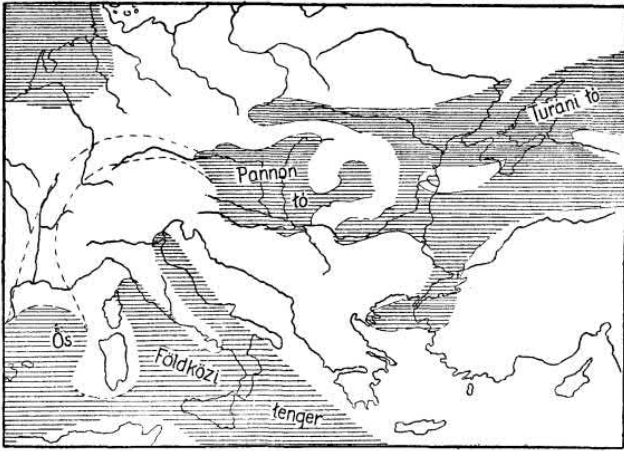
A nagy kéregmozgások színhelye rendszerint egyúttal széntelegek képződésére is vezet s ezért oly jelentős, aránylag a területhez képest, Magyarország barnaszénkincse. Tata és Dorog vidékének széntelegei az újkor kezdeti szakából valók, a salgótarjáni, várpalotai, sajóvölgyi barnaszénnek az újkor

derekán keletkeztek. Ugyancsak a kéregmozgások eredménye az erdélyi, mármárosi, galíciai kősótömegek kialakulása. A beszakadt és minden oldalról körülzárt medencékben elpárolgott a sós tengervíz és lerakódott belőle a só. Ugyanazok a földtörténeti események vetették meg alapját a kőolajképződésnek is. A zalai kőolajmezőkre 1.040—1.250 m mélységben bukkantak rá és a 210 m vastag ásványolaj os övben, ahol homok és kemény márgarétegek váltakoznak egymással, hat szinten találtak olajat.

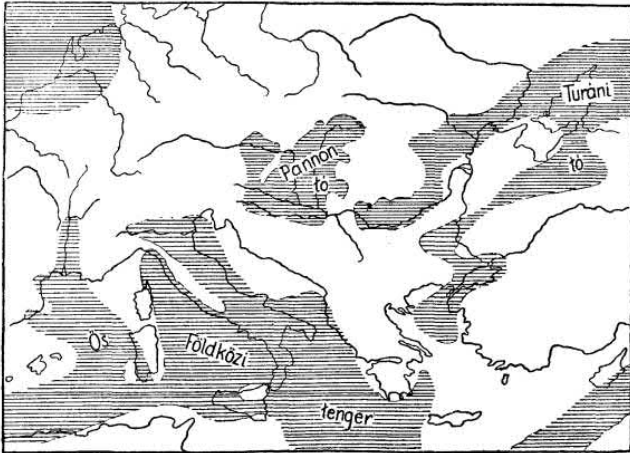
Eljutottunk a földtörténet utolsó szakaszához, a negyedkorhoz, ha megtartjuk a régi beosztást. Válasszuk azonban külön ennek első részét, amelynek két neve is van, dilúvium vagy pleisztocén, s magyarul legáltalában a jégkorszaknak nevezhetjük. Ugyan a Föld történetében többször találko-



Európa a jéges korszak közepén. (A szakgatott vonalak későbbi törések irányai)



Európa a szarmatikum közepe táján



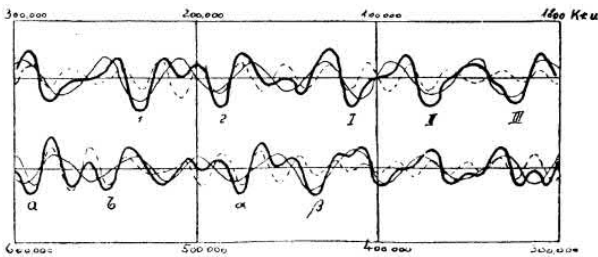
Európa a szarmatikum végén, félmillió év múlva

hatunk eljegesedésekkel, de a negyedkori a legismertebb, hiszen ez van legközelebb hozzánk. Hogy mi az oka az időnként bekövetkező eljegesedéseknek, még nem sikerült teljes bizonyossággal megállapítani. Legnagyobb valószínűsége annak az elméletnek van, amely csillagászati okokat keres és a Föld tengelyének változó helyzetére igyekszik visszavezetni az eljegesedéseket. A dilúvium nagyon rövid időtartam a Föld történetében, mindössze egymillió esztendő foglalt magában, de az az utolsó millió év magában is rendkívül mozgalmas, főképpen azonban azért fontos, mert már az ember korszaka.

Az óceánok és szárazföldek eloszlása nagyjában ugyanaz volt a dilúviumban, mint ma. Mivel ismét azok az idők következtek a hegyképződések kora után, mint mindig, vagyis aránylag nyugalomban alakulnak ki a geoszinklinális területek, nagyobb földmozgások nem voltak, csak egyes területek emelkedtek vagy süllyedtek a kéreg lassú kiegyensúlyozódásakép. A dilúviumban vált el Európától az angol szigetcsoport, ekkor keletkezett az Északi-tenger s valószínűleg a Keleti is s ekkor kapta mai alakját és mélységét a Fekete-tenger és az Egei-tenger. A dilúviumban szakadt el Szicília Afrikától, a Spitzbergák Skandináviától, Ázsia a Behring-szorossal Amerikától. Viszont emelkedett az Alpok nyugati része és a Balkán-hegység.

A dilúviumbeli eljegesedések időpontját és tartamát meglehetősen pontossággal sikerült megállapítani, sőt összefüggésbe hozni a csillagászati számításokkal is. Kétségtelen, hogy az éghajlat változásával kell kapcsolatba hozni a jég hatalmas térhódítását, de az általános lehülés nem volt állandó, hidegebb időszakok váltogatták egymást enyhébbekkel. Maga az eljegesedés két irányból történt. Egyrészt a sarkok vidékéről terjedt délfelé, másrészt a havasok gleccserei, hőmezői terjeszkedtek lefelé a völgyekbe. A hó és jégmezők, természetesen, sok mindent cipeltek magukkal, s a hordalékukat aztán lerakták ott, ahol a következő nyhe időszak megolvasztotta őket. A lerakódásokból csaknem mindent világosan látunk és pontosan rekonstruálhatjuk az eljegesedések lefolyását. Legalaposabban az Alpokban lehetett feldolgozni a jégkorszakok maradványait s lerögzíteni idejüket évszámokban is. Az Alpokban négy eljegesedést

különböztetnek meg, melyeket sorjában *Günz*, *Mindel*, *Biss*, *Würm* néven neveznek. Legnagyobb volt a Riss eljegesedése, legkisebb a legutóbbi, a Würm, mely három egymásután következő eljegesedést foglal magában. A jeges korszakok kialakulásában nem az a döntő, hogy az átlagos hőmérséklet alacsony legyen, hanem az, hogy hideg nyarak és aránylag enyhe, de csapadékos telek sorozata kövesse egymást. A csillagászati számítások alapján elmondhatjuk például a legutóbbi jeges korszak lefolyását. A Würmöt megelőzően 11.800 esztendeig, vagyis visszafelé számolva az éveket 133.800-tól 122.000-ig a nyarak még rendkívül forrók voltak, a telek átlagos hőmérsékletűek. Ezután beállott az első jeges szakasz, a WL, amely 122.000—110.000-igtartott, vagyis 11.400 évig. Az volt az oka, hogy az évi közepes hőmérséklet lejjebb szállt, s az évszaki különbségek is elmosódtak, vagyis a nagyon hűvös nyarakat enyhe, csapadékos telek követték. Erre, 110.600 és 99.700 között közepes nyarak, de nagyon kemény telek sorozata következett, ami azonban nem alakított ki jeges korszakot. Most 11.500 évig mérsékelt nyarak és nagyon enyhe telek következtek, úgyhogy 88.200-ig a meleget kedvelő állatfajok is elterjedhettek. Tíz évezred múlva, 77.700-ban rohamosan kezdett kialakulni az eljegesedés számára kedvező csillagászati helyzet, az eredmény 11.200 esztendeig, azaz 66.500-ig tartó jeges korszak, a W II. Ezután azonban 35.000 éven keresztül nem alakult ki igazi forró nyarakkal és enyhe telekkel váltakozó éghajlat, mint szokott két-két jégkorszak között, s ezért a W II. jégtakarójának egy részét még átörökölhette a Würm III. körülbelül 30.000-ben s ennek jég töme-



Az eljegesedések hullámzás.

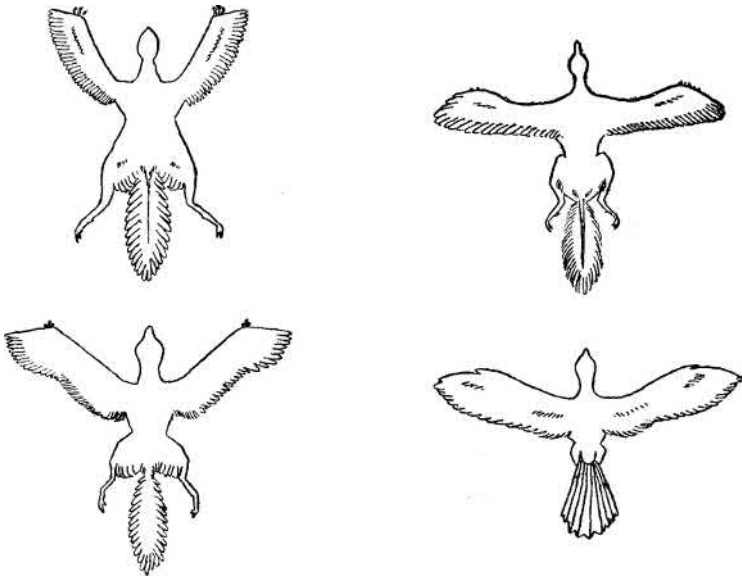


Az északi sark jégpáncélja a dilúviumban

gét aztán már elolvasztotta a rákövetkező és máig is tartó »interglaciális« szakasz meleg éghajlata.

A dilúviumbeli eljegesedések területe az északi féltekén elég különös. Jég borította Európa északi részét legalább az 50-ik szélességi fokig, de Szibéria nem esett bele a nagy eljegesedésbe. Annál nagyobb volt a jégborította terület Észak-Amerikában. Ennek ellenére Észak-Amerikában nem lehetett megtalálni az európai jégkorszakok mását, mintha csaknem nyomtalanul eltűntek volna a bizonyítékok. Viszont az is kétségtelen, hogy az Alpokon kívül a Mindéi és a Günz jeges szakaszainak nyomát ma már alig találjuk meg Európa más helyein s felvetődik az a kérdés, hogy mi marad majd meg ezekből a nyomokból 10—20 millió év múltán. Habár a szerves élet szempontjából igen nagy volt az eljegesedések jelentősége, kétségtelen, hogy földtörténeti méretekkel mérve szinte jelentéktelen időszakoknak mondhatjuk őket. Hiszen a leghosszabb jeges korszak sem tartott 11—12.000 évnél tovább s a két jég közti enyhe időszakok háromszor ilyen hosszúak voltak. Könnyen meglehet, hogy a tízezer esztendő kis időszakok alig hagytak nyomot legtöbb helyen. Ha mármost kicsit merészebben következtetünk, elfogadva azt az elméletet, mely szerint a jégkorszakokat csillagászati periódusok sza-

bályozzák, azt kell mondanunk, hogy nagyjában 42—45.000 esztendőnként ismétlődnek meg az eljegesedést előidéző éghajlati helyzetek. Ha így van, akkor természetesen így lesz a jövőben is, tehát számítanunk kell arra, hogy a jövőben is lesznek jégkorszakok és a legközelebbi már 10—12.000 esztendő múlva esedékes lesz.



A madarak kialakulásának fokozatai

Mivel a harmadkor végére már a mai növénycsaládok legnagyobb része kialakult, a dilúvium-ban nemigen találkozzunk nevezetesebb jelenséggel a növényvilágban, mely akkor is úgyszólván teljesen ugyanolyan volt, amilyen ma. Csak az elterjedésben voltak különbségek, mert az éghajlatváltozásokat követve hol délebbre szorultak a meleget jobban kedvelő fajták, hol északabbra a hideget jobban tűrők. A jégtakarók elől is menekültek a növények s eközben néhol nagyon érdekes dolgok történtek. Így például Dél-Németországban kétfelől jött a jég, észak felől Skandinávia jege, dél felől az Alpok jégárjai. így aztán a két jég között fenn-

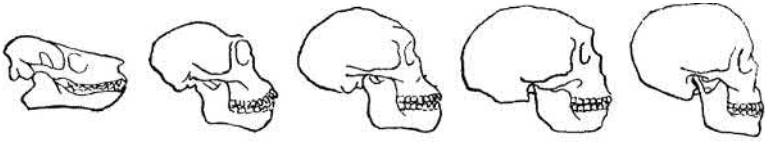
maradt 300 km széles övben összekeveredtek a sarkkörü növényfajták az Alpesekől levándoroltakkal s mikor a felmelegedés bekövetkeztével megkezdődött a visszavonulás, az északi fajok közül néhány feljutott az Alpesekre, az alpesi fajok egyik-másika pedig elvándorolt északra. Különös aztán az, hogy az annyira jellegzetes alpesi növénynek tartott havasi gyopár és a cirbolya-fenyő hogyan került oda eredeti hazájából, Szibériából.

Az állatvilág is ugyanolyan volt a negyedkornak már az elején, amilyen ma, habár azóta is kipusztult néhány akkor nagyon elterjedt faj. A kipusztultak között legnevezetesebb az elefántfélékhez tartozó mammut. Négy méter magasra is megnőtt behemót állat volt, testét vöröses színű bunda védte, amire szüksége is volt, mert csordástul élt még Szibéria északi vidékén is. Nálunk is sok maradványát találták meg, de Szibériában több jégbefagyott példányuk került elő szőröstől-bőröstől. Agyaruk súlya átlag 50—80 kg volt, de akadt száz kilogrammos mammutagyar is. Elképzelhetjük, micsoda hatalmas állat lehetett az, amely kétmázsányi súlyt cipelt szájában. Mint a mammut, a gyors orrszarvú és a legendás orrszarvú is vastag prémbundával tudtak védekezni a hideg ellen. Bundát viselt az őstulok és az ősbövény is. Azok az állatok, amelyek nem tudták megszervezni ekképpen a védekezést a hideg ellen, délebbre költöztek, a barlangi medve pedig egyrészt sziklafülkékben keresett védelmet, másrészt hosszantartó téli álomba menekült a fagy elől. Általában a barlangokból kerül elő a legtöbb állati maradvány a jégkorszakból. Nálunk is rengeteg barlangimedve csontvázát találták meg s minden valamirevaló múzeumban van is legalább egy teljes csontváz. Gyakoriak a többi ragadozóknak, a barlangi oroszlánnak, hiénának és farkasnak is a maradványai. Ne csodálkozzunk az oroszlánon, hiszen Hérodotosz leírása szerint Krisztus előtt 480-ban a Balkánon még oroszlánok támadták meg Xerxes seregének málnákat vivő tevéit.

Ezek az állatok már kortársai voltak az ősembernek, aki meg is örökítette őket, hiszen a barlangok falairól számtalan rajz került elő, mely a mammutot, medvét, oroszlánt ábrázolja.

Az ősember

Bennünk emberekben sohasem merül fel kétség abban a tekintetben, hogy mi vagyunk a teremtés koronája vagy valamivel tudományosabban mondva, mi vagyunk a leg-tökéletesebb élőlény a Földön. Büszkeségünk valóban jogosult, hiszen kétségtelen, hogy többet tudunk, többre vagyunk képesek, mint akármelyik állat, habár ha pusztán a szervezetet nézzük, a legegyszerűbb baktériumtól sem tagadhatjuk meg, hogy a maga nemében tökéletes alkotása



Az emlősök koponyájának fokozatos fejlődése

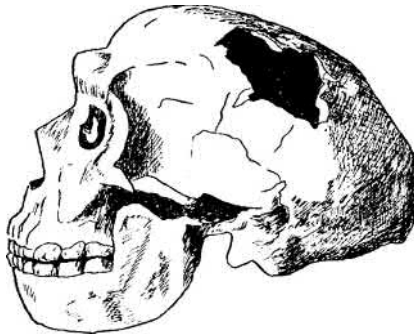
Bárról jobbra: 1. eocénkori ősmajom, 2. csimpánz, 3. majomember, 4. homo primigenius, 5. homo sapiens

a természetnek. Az összehasonlító élettan és anatómia szerint az embernek egyetlen porcikája sem tér el semmiben sem a felsőbbrendű emlősökétől. A különbség kétségtelenül abban van, hogy az ember nem csak ösztönös lény, hanem önmaga által kitűzött céllal is tud gondolkodni. Az agyunkban székelő elme tanyája, az agyvelő azonban ugyancsak nem különbözik élettanilag semmiben sem a közönséges állati agy velőtől. Az emberi és állati szervezet azonossága annyira nyilvánvaló, hogy már *Linné* is az állatvilág, illetve a főemlősök élére volt kénytelen beállítani az embert, *Homo sapiens*-nek nevezvén el, holott ő még elfogadta a bibliai teremtés meséjét. Eleget is támadták érte.

Amióta csak tudatában van az ember a maga felsőbbrendűségének, állandóan foglalkozik azzal a kérdéssel, hogy honnan származik. Kezdetben természetesen pusztán spekulálgatással próbálta kitalálni s mindenkor, minden kultúra megalkotta a maga elméletét az ember származásáról. A régi indiai fejedelmek csodálatosképpen már majmoktól származtatták önmagukat s ezért szent és sérthetetlen Indiában még ma is a hulman-majom. Egy régi tibeti mese szerint is úgy történt, hogy egy majompár otthagya az erdőt, kiment a síkságra, utódai elvesztették farkukat, szőrzetüket,

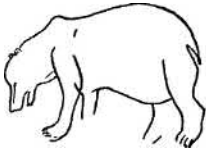
rátértek a földművelésre s így lett ember belőlük. Az ausztráliak szerint gyíkokból csinálta meg az embert a Teremtő, a régi görög felfogás szerint halakból lett az ember. Később egyre inkább pedzették a görög filozófusok a majomtól való eredetet. Arisztotelész is elmélkedett az ember és a majom hasonlóságán, de aztán a középkorban, a skolasztika idejében, amikor mindenben szentírásnak vették Arisztotelészt, csak éppen ezt hagyták ki műveiből, mert nem lehetett összeegyeztetni a bibliai teremtéssel. Pedig a Mózes-féle teremtésben is mintha felfedezhetnők a fejlődés kezdetleges elméletét, hiszen az emberre csak a legvégén került sor a teremtésben, amikor már minden megvolt.

Lamarck, Darwin, Ruxley kutatásai végül is elsepertek minden legendás elképzelést, s ma már mindenki megegyezik abban, hogy az ember is fokozatos fejlődés eredménye. A kutatásnak természetesen az lett a célja, hogy megtalálja az ember kifejlődésének kézzelfogható bizonyítékait is a Föld múltjából, mint ahogyan az állatvilág történetét is oly meggyőző részletességgel lehetett kimutatni sokszázmillió éven át a kőületekből és maradványokból. A múlt század elején még *Cuvier*, az egyébként oly kitűnő tudós, határozottan kijelentette, hogy »ősember nincs«, és valóban, akkor még egyetlenegy olyan lelet sem akadt, amely az ember múltja mellett tanúskodott volna. A fordulatot azok az ősembercsontok hozták meg, amelyeket 1859-ben fedeztek fel Düsseldorf mellett, a Neander-patak völgyé-



*Homo Primigenius koponyája
(La Chapelle aux Sainte)*

ben, egy kis barlangban. Habár mindjárt akadt néhány tudós, aki felismerte a lelet jelentőségét, jellemző az akkori tudományos világ gondolkodására, hogy még mindig inkább tagadták az ősember lehetőségét, minthogy meghajoltak volna a tények előtt. Csak 1901-ben dolgozták fel a neandervölgyi ősember maradványait *Schwalbe* és *Klaatsch* s ettől kezdve vonult be a tudományba végérvényesen a *Homo Primigenius*. Azóta gyorsan szaporodtak a leletek s pontosan tudjuk, hogy a jeges kor közepe táján barlangokban meghúzódó, legfeljebb 160 cm magas, rövidlábú és rövidkarú, zömök testű, megroggyant lábbal járó, kevesebb agyvelővel bíró, legfeljebb csak dadogó ősember csakugyan a mai ember fajához tartozó lény volt, aki már tudott néhány kőszerszámot készíteni és tudott tüzet gerjeszteni.



*Barlangi medve
jégkorszaki rajza*

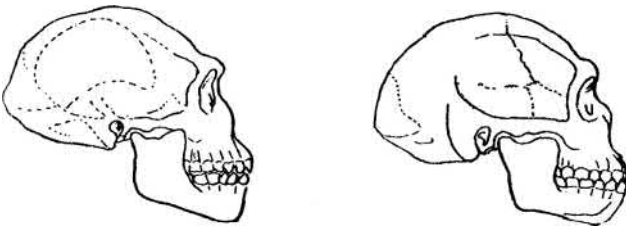


*Vadászokat ábrázoló rajz a
spanyolországi Alpera-barlangban*

Ez a *Homo Primigenius* a Würm-jégkorszakot megelőző enyhe korszakban kihalt. Helyette más emberfajok maradványait találjuk Európában is. Könyvünk célját és kereteit is meghaladná, ha részletesen belemerülnénk az ősemberkutatás eddigi eredményeibe, tehát elégedjünk meg a futólagos áttekintéssel, annál is inkább, mert sok tekintetben a tudósok közt is folyik még mindig a vita. Kétségtelen, hogy a diluviumban nem is egyetlen, hanem már több emberfaj élt a Földön s ezek egyike-másika utódok hátrahagyása nélkül kihalt. A fajkülönbséget lényeges csontrendszeri különbségek is mutatják. Egyik-másik ősfaj értelmi fejlettsége meghaladta a mai vad népekét. Bizonyos tehát, hogy több ősemberfaj volt, nyilván mindegyik másutt keletkezett, tehát az ember több ágon származott le s ezen az ágon egymástól függetlenül született meg.

Ha pedig nyilvánvaló, hogy voltak ősfajok, amelyek a mai emberfajtáknál alacsonyabb fejlettségi fokon álltak,

magától felmerül a kérdés, hogy volt-e *ezek előtt* az ősfajok előtt egy fokkal még kezdetlegesebb, még alsóbbrendű ős is? A fejlődéstan logikája azt mondja, hogy ez bizony nagyon valószínű, de kérdés, hogy van-e nyoma az ősemberelőtti ősnek a Föld kérgében. Van. 1891—92-ben *Dubois* holland orvos talált a jávai Trinil közelében egy koponyatetőt, két zápfogat és egy combcsontot. A csontok vizsgálatának első eredményei meglehetősen eltérőek voltak. Egyik tudós majomnak minősítette, mások azt mondják, hogy kezdetleges ősember s ismét mások az embert a majomfélékkel összekötő láncszemnek vélték. Ezek az eltérő vélemények maguk is valószínűvé teszik, hogy valóban átmeneti lény ez a *Pithecanthropus erectus*nek nevezett ősemberféle. Már nem volt majom, de még nem volt ember, tehát minden-



A jávai és a pekingi ember koponyája

képen a hiányzó láncszemet képviseli az ősemberfajok és a majmok között. A jávai majomember homlokürege már vetekszik a neandervölgyiével, agyában már ki volt alakulva, bár kezdetlegesen a Broca-féle mező, vagyis a beszéd középpontja, tehát valamiképen már beszélt is. Agyüregének köbtartalma 1000 cm³, tehát messze felülmúlja a gorilla-agyüregének köbtartalmát is és eléri a legkisebb, még normális emberi koponyáét. Ma már bizonyosnak vesszük, hogy nem is volt az egyetlen átmeneti lény, hanem voltak más hasonló fajok is. Valószínű, hogy az afrikai majomember, az *Antcanthropus* is ugyanaz a faj. Ez is a diluvium legrégebb lakói közé tartozott, mint a jávai.

Ugyanabban a korban, amelyben a jávai *Pithecanthropus* élt, élt Kínában egy másik ősünk, akit *pekingi embernek* nevezünk; latin neve: *Sinanthropus pekinensis*. 1929-

ben találták meg csontmaradványait. Legalább olyan régi, mint a jávai, de az emberreválásnak magasabb fokán volt. A pekingi őst mérhetetlen idők választják el tőlünk. A harmadkori majmok fellépésétől az ő koráig körülbelül 20 millió év telt el s majdnem egymillió évvel ezelőttre tehető az a kor, amelyben élt. Így tehát legalább 400.000 nemzedék élete van közte és a mai Homo sapiens között, melynek története legfeljebb 20.000 évvel ezelőtt kezdődött meg, igazában az utolsó jégkorszak után.

Az eszes ember

Az emberreválásnak több jellemzője van. A kétlábon való járás mellett legfontosabb a mellső végtagnak kézzé való átalakulása, ami már a majmoknál is megtörtént. Nagyobb jelentősége van az agyvelő kifejlődésének, ami nélkülözhetetlen feltétele volt annak, hogy az ember úgy ki tudja használni az eszét, mint azelőtt egyetlen állat sem. Az állat kénytelen megelégedni azzal, amit készen kap a természettől, az ember eszének köszönhetette, hogy a természet adottságait tervszerűen is ki tudja aknázni. Nincs olyan állat, amely ne félne a tüztől, az ember volt az egyedüli, aki fel tudta használni, utánozni merte és tudta. A tűz gerjesztése talán a legdöntőbb bizonyíték arra, hogy valamely ősemberfajta már ember. Ha egy átmeneti majomemberről beigazolódnék, hogy tudott tüzet gyújtani és felhasználta a tüzet, minden anatómiai érv ellenére is embernek kellene tartanunk. Az emberi kultúrának — úgy tetszik — a Tűz az egyik alapja. Elsősorban a tűz segítségével tudta a legkezdetlegesebb, szinte védtelen ember távoltartani magától az éhes fenevadakat s legalább ebből a szempontból biztosítani életét és barlangját. A tűz segítette át a jégkorszak, sőt a mindenesztendei tél éghajlati viszontagságain s végül a tűz tette lehetővé később a fémkultúrákat.

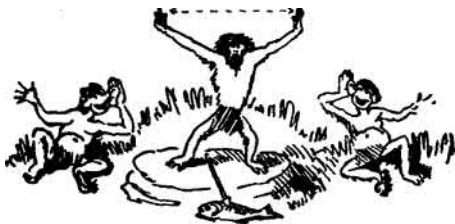
Joggal tehetjük fel, hogy nem valahol egy ember, vagy emberfajta jött rá, hogyan lehet megőrizni, tovább szítani azt a tüzet, amelyet talán egy villámcsapás gyújtott fel és ugyancsak valószínű, hogy egymástól függetlenül különböző helyeken találta fel, talán valami szerencsés véletlen segítségével, hogy száraz fadarabok egymáshoz való dörzsölésével

tüzet lehet csinálni. A régi leletek alapján valószínűnek tarthatjuk, hogy egy kihegyezett pálcikának egy fadarabon való gyors, fúrászerű forgatásával gerjesztett tüzet az ősember. Az így képződő finom fapor megfelelő gyakorlat mellett aránylag gyorsan, egy-két perc alatt tüzet fog s azután csak a továbbélesztéséről van szó.



Az eszes ember hamar megtanult szerszámot, fegyvert készíteni, kezdetben kőből. Nagy felfedezés volt, mikor rájött arra, hogy kövekkel agyon lehet verni az éhes vadállatot, vagy el lehet ejteni a vadat, amelyet meg akart enni, vagy amelynek bundáját fel akarta öltetni magára a hideg ellen. Azután rájött arra, hogy éles kődarabokkal vágni, szűrni lehet s ha a természetben nem talált céljainak megfelelő kődarabokat, hozzákezdett azok megmunkálásához.

Minden egyéb siker, minden technikai képesség, bátorság, leleményesség eltörpül azonban ahhoz képest, hogy mit jelent az, mikor az ember elkezdett beszélni. Természetesen nem tudhatjuk, hogy mikor kezdte tudni felhasználni agyának azokat a sejtjeit, amelyek a Broca-féle mezőben vannak, de nagy dolog volt, hiszen a fejlettebb majmok agyában is ott vannak már készen ennek a beszédközpontnak a sejtjei, azok máig is csak nagyon kezdetlegesen tudják azokat értékesíteni. A beszéd lehetővé tette, hogy az ember közölje tapasztalatait társaival, tehát közkinccsé lehetett minden



felfedezés, minden ötlet, minden gondolat. Közölhették egymással terveiket, szándékaikat, szövetkezettek egymással olyan vállalkozásokra, amelyek meghaladták egy ember képességeit.

Az előző hosszú fejezetben geológiával foglalkoztunk, benne lehetünk még a geológiai méretekből, éreznünk kell még a természet hatalmas és kérlelhetetlen törvényszerűségeit. Az emberiség sorsát is természeti törvények irányítják, de az emberi természet adottságai lehetővé teszik, hogy az ember maga is beleszóljon saját evolúciójába, természetesen társadalmi téren is. A geológiai korszakok sem voltak örökkévalóak s a társadalmi rendszerek sem azok. A dolgozó tömegek ma már nem engedik, hogy kiváltságos osztályok kerekedjenek fölélük. Nem tűrik, hogy ezek az osztályok korlátlan hatalmat szerezzenek maguknak a dolgoztatott tömegek felett, s már eltökélték, hogy az elaggott régi társadalmi rend helyébe újat építenek maguknak és az egész emberiségnek: a szocialista társadalmi rendet.

VÉGE