

13. GEOTEKTONIKA

A Föld mai állapota évmilliárdokig tartó fejlődési folyamat eredménye, melynek során óceánok, kontinensek, hegységek születtek és pusztultak el. A Föld dinamikai folyamatai napjainkban sem szüntek meg, a földkéreg és a Föld belső részei jelenleg is szüntelen mozgásban vannak. Erről tanúskodnak a napjainkban is gyakori földrengések és vulkánkitörések.

A következőkben a Föld azon globális tektonikai mozgásaival foglalkozunk, amelyek a geológiai korok alatt kialakították a Földünk mai arculatát: a kontinenseket, az óceánokat, a hatalmas hegységrendszereket és a különféle földtani képződményeket – és amelyek napjainkban is döntő szerepet játszanak a Föld életében. Először röviden a kontinensek vándorlásával és az óceáni medencék tágulásával foglalkozunk, majd a lemeztektonika elméletét tekintjük át.

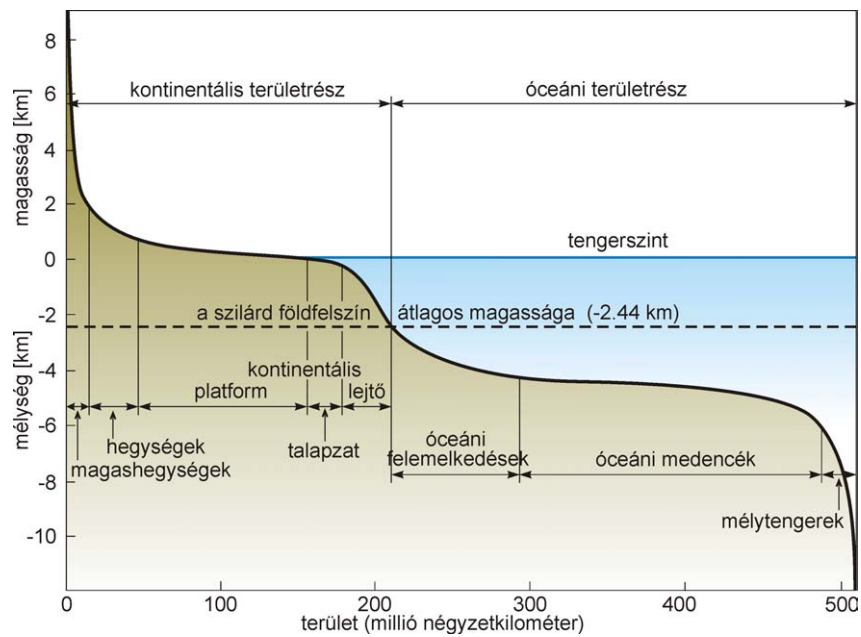
A KONTINENSEK VÁNDORLÁSA

Francis BACON angol filozófus már 1620-ban felhívta a figyelmet Afrika és Dél-Amerika partvonalainak hasonlóságára, később Alexander HUMBOLDT is foglalkozott a kérdéssel. Ugyanebből kiindulva a XX. század elején Alfred WEGENER fejében fordult meg a gondolat, hogy a jelenlegi kontinensek egyetlen ősi "szuperkontinens" széttöredezett darabjai, melyek a földtörténeti idők során vándoroltak ma ismert helyükre. Hipotézisét igyekezett tudományos érvekkel is alátámasztani.

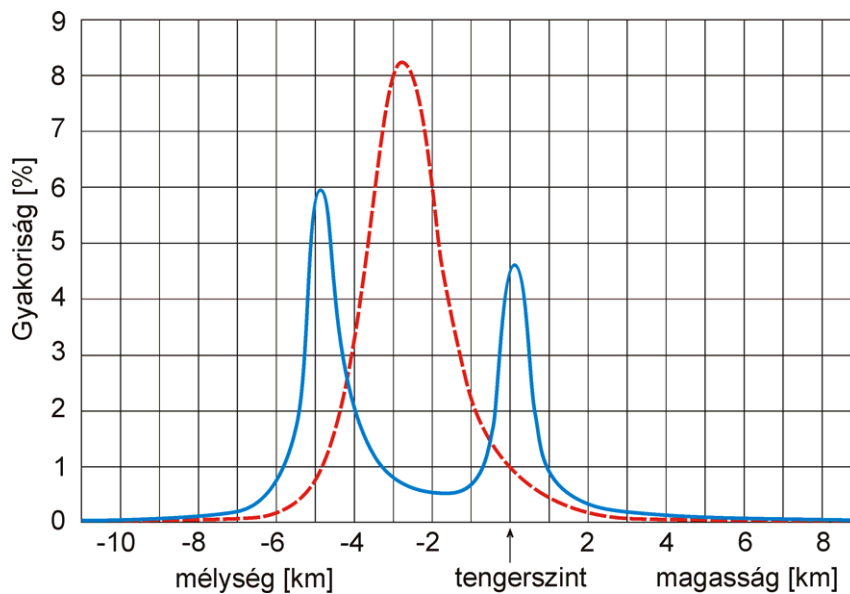
WEGENER az Atlanti-óceán két partját alkotó kontinensek partvonalainak hasonlóságából arra a következtetésre jutott, hogy a kontinensek valamikor egyetlen hatalmas őskontinens: az ún. *PANGEA*-t alkották amely a földtörténeti idők folyamán feldarabolódott és az egyes részek elvándoroltak egymástól. Elképzelésének igazolására különböző bizonyítékokat keresett. Igen érdekes az érvelése, amely a földfelszín különböző magasságainak gyakorisági előfordulásával kapcsolatos. Az *1. ábrán* a tengerszint feletti magasságok és a tengerszint alatti mélységek területi eloszlását mutatjuk be. A görbe úgy készült, hogy a Föld legmagasabb csúcsa és a legmélyebb pontja közötti szintkülönbséget 50 m-es közökre osztották, és meghatározták, hogy az egyes közökben előforduló magasságoknak mekkora az összterülete. Jól látható, hogy a teljes földfelszín kb. 510 millió km^2 -nyi területének legnagyobb részét az óceáni medencék és az ún. kontinentális platformok teszik ki.

Ha ezekből az adatokból, vagyis a kontinentális területek és a vízzel borított területek együttes adataiból megszerkesztjük a magasságok gyakorisági görbét: az ún. *hipszometrikus görbét*, akkor olyan görbét kapunk, amelynek két maximuma van (*2. ábra*). A kapott eredmény geofizikai szempontból azért rendkívül érdekes, mert azt mutatja, hogy a Földön a magasságok eloszlása nem véletlenszerű, hanem valamilyen törvényszerűséget követ. A magasságok két jellegzetes érték: a kontinentális területek átlagos +100 m-es magassága és az óceáni medencék -4800 m körüli átlagos mélysége körül statisztikus szórást mutatnak. Az összehasonlítás kedvéért a *2. ábrán* feltüntettük azt az esetet is, amikor a Földön a magasságok eloszlása véletlenszerű lenne. Ebben az esetben a tetszőleges magasságokra emelkedő kontinensekre és a tetszőleges mélységű óceánokra a magasságok gyakorisági görbéje egyetlen maximummal rendelkező Gauss-görbe volna, melynek -2440 m-nél – vagyis a szilárd földfelszín átlagos magasságában lenne a maximuma. WEGENER a kettős maximummal rendelkező görbét úgy értelmezte, hogy a föld-

kéreg két részből áll: a kontinenseket felépítő felső részét könnyebb kőzetek (pl. gránit); az alsó – egyben az óceánok fenekét felépítő – részét pedig nagyobb sűrűségű kőzetek (pl. bazalt, gabbró, peridotit) alkotják.



1. ábra. A földfelszín magasságainak területi eloszlása



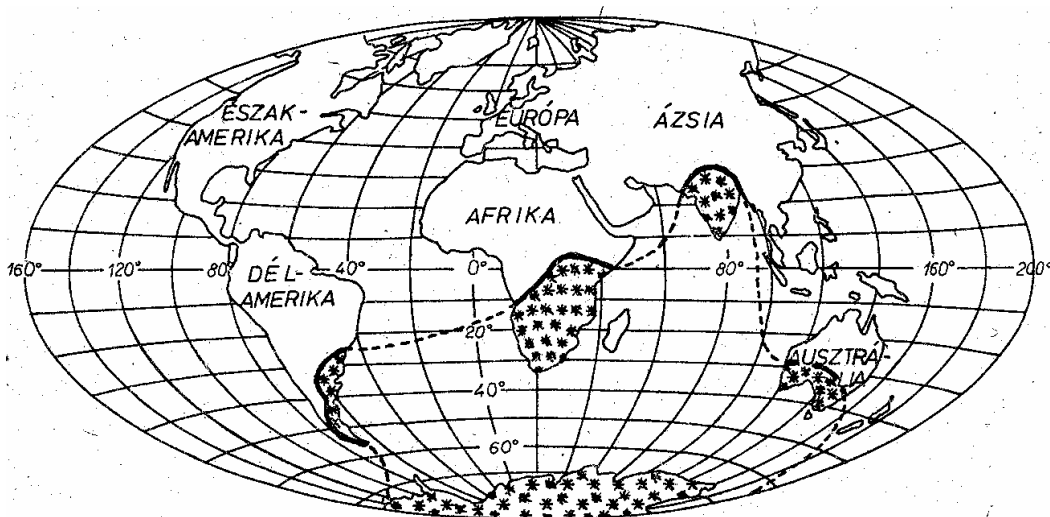
7.4 ábra. A hipszometrikus görbe

A két különböző sűrűségű alsó és felső kéregrészt között izosztikus (úszási) egyensúlyi állapot van. WEGENER tehát a Föld felszíni formáinak magassági eloszlásából a földkéreg izosztikus egyensúlyára, az izosztikus egyensúly fennállásából – vagyis az úszás tényéből – pedig az elúszásra következtetett. Valójában azonban nem ilyen egyszerű a szétúszás magyarázata. Ahhoz, hogy a kontinensek szétarabolódása és vándorlása bekövetkezzék, igen komoly erőhatásokra van szükség.

A geológiai és a paleoklimatológiai vizsgálatok eredményei

Az utóbbi időkben a különböző kontinenseken számos olyan kutatófúrást mélyítettek, amelyek több ezer méter vastag rétegsorokat harántoltak át és igen gazdag ismeretanyaggal egészítették ki a felszíni földtani kutatások eredményeit. Dél-Amerika, Afrika, India, Ausztrália, sőt újabban az Antarktisz bizonyos részein sikerült teljesen hasonló geológiai rétegsorokat kimutatni a devon és a triász közötti időszakból – pontosabban a 200-400 millió évvel ezelőtti időkből. Ezek a rétegsorok annyira jellegzetesek, hogy "Gondwana-rétegsoroknak" nevezik őket.

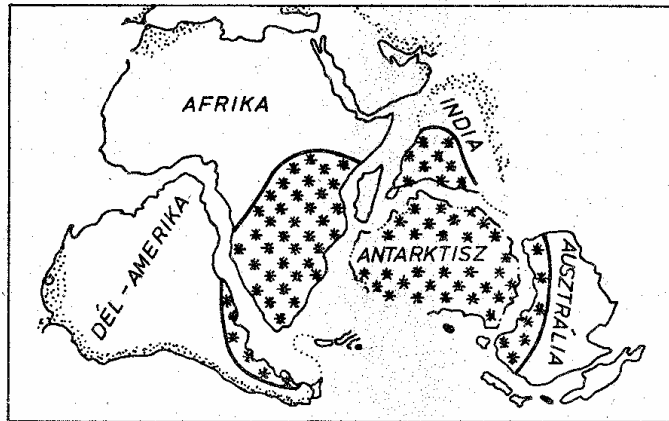
A különböző földtani, közettani és paleontológiai megfigyelések eredményeiből többek között következtetni lehet valamely terület földtörténeti, múltbeli éghajlatára. Így pl. a sóképződés száraz sivatagi éghajlatra, a korallak elterjedése egyenlítő környéki területekre, vagy pl. a kőszén elterjedése egykori meleg, nedves éghajlatra utal. Számunkra azonban most a tillitek előfordulása lényeges, mivel ez egyértelműen a régi idők hideg sarkvidéki klímájára, eljegesedett területekre jellemző. A Gondwana-rétegsorok jellegzetes tillit rétegei arra utalnak, hogy a karbon és a perm időkben Dél-Amerikában, Afrikában, Indiában és Ausztráliában déli részén, valamint az Antarktiszon hatalmas eljegesedés volt. A 3. ábrán csillagokkal jelöltük a permokarbon eljegesedések területeit a különböző kontinenseken. Ugyanakkor az északi félteke kontinensein biztosan meleg, páradús klíma uralkodott, hiszen ekkor keletkeztek a hatalmas karbon idők kőszéntelepei.



3. ábra. A permokarbon eljegesedés nyomai a különböző kontinenseken

DU TOIT dél-afrikai geológus szerint a permokarbon eljegesedés 3. ábrán látható szabálytalan területi eloszlása kétféleképpen magyarázható: a Földön a különböző éghajlatú területek eloszlása vagy a földrajzi szélesség függvénye és a kontinensek vándorolnak; vagy a kontinensek állandó helyzetben vannak és a különböző éghajlatú területek eloszlása független a földrajzi szélességtől. Mivel a tapasztalat szerint a Földön a különböző éghajlatú területek eloszlása a földrajzi szélesség függvénye és tekintélyes vastagságú jégtakaró csak a sarkkörökön belül képződhet, ezért csak az első lehetőséget választhatjuk. DU TOIT szerint a karbon időkben a kontinensek a 4. ábrán látható formában helyezkedtek el és csak utána vándoroltak a ma ismert helyzetükbe. Ezzel a kontinens rekonstrukcióval világosan megérthető a karbon jégkorszak 3. ábrán látható különös területi eloszlása.

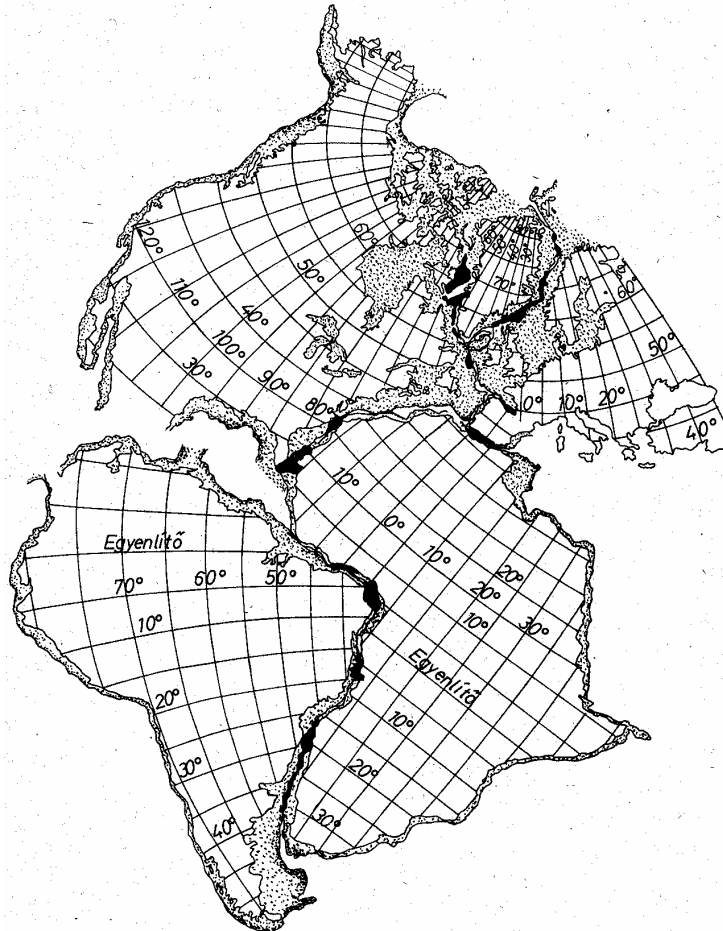
Ma már számos további geológiai bizonyíték is a rendelkezésünkre áll, ezek részletezésétől azonban eltekintünk.



4. ábra. A permokarbon eljegesedés magyarázata DU TOIT szerint

A BULLARD-féle kontinens rekonstrukció

Mivel a tengerek vízszintje a földtörténeti idők alatt különböző okok miatt változik, emiatt jelentősen megváltozhat a kontinensek partvonalainak alakja is. Ha tehát a kontinensek ilyen módon értelmezett széleit – vagyis magukat a partvonalakat – toljuk egymás mellé, akkor még abban az esetben sem kaphatunk tökéletes illeszkedést, ha a kontinensek valóban egyetlen tömbből származnak.



5. ábra. A BULLARD-féle kontinens rekonstrukció

Célszerű tehát nem a partszegélyeket, hanem a kontinensek valódi széleit, az ún. selfek vonalát illeszteni. Ez pedig az a rész, ahol a sekélytengeri részek átmennek a mély óceáni területekbe – vagyis az 1. ábrán látható kontinentális lejtő területe. Ennek megfelelően BULLARD és munkatársai a kontinenseket úgy igyekeztek egymás mellé helyezni, hogy a területeik közötti hézagok és átfedések a lehető legkisebbek legyenek. Ezt a minimum-feladatot a legkisebb négyzetek módszerét felhasználva – a lehetőségek igen nagy száma miatt – számítógéppel oldották meg. Az így elkészített kontinens rekonstrukciót az 5. ábrán mutatjuk be. A kontinensekhez tartozó sekélytengeri részeket pontozott területek mutatják; az illesztésnél adódó átfedéseket feketével, a fennmaradó hézagokat pedig fehérrel jelöltük. Mivel az egymás mellé helyezett kontinensek közötti rések és átfedések meglehetősen kicsik, ezért valójában igen jó illeszkedés adódott.

Érdekes megfigyelni, hogy melyek azok a helyek, ahol viszonylag rosszabb az illeszkedés. Pl. Afrika és Dél-Amerika esetében a legnagyobb átfedések éppen a Niger és a Kongó torkolatánál adódnak, ahol a folyók által szállított hatalmas mennyiségű hordalék évmilliók alatt utólagosan módosította az afrikai kontinens eredeti szegélyvonalát.

Paleomágneses bizonyítékok

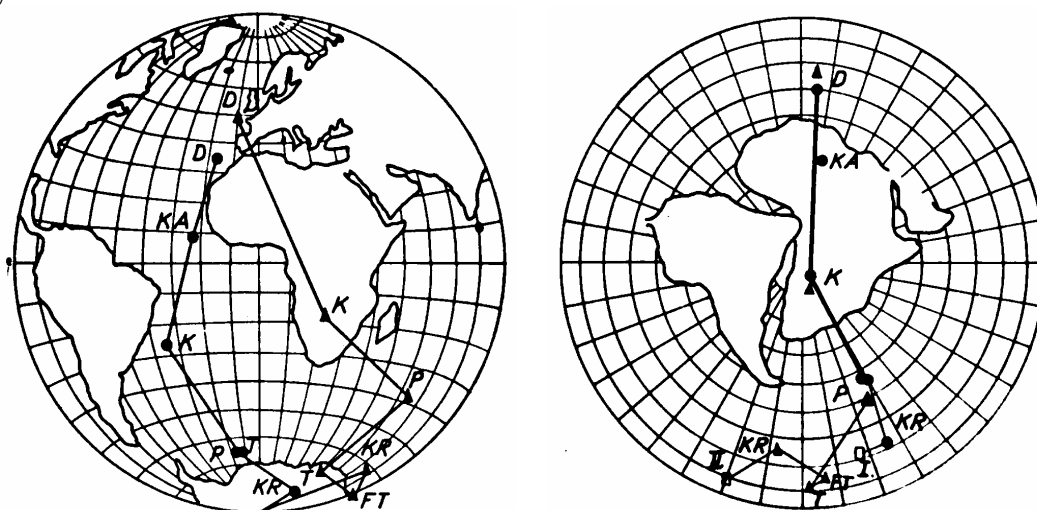
A korábbiakban már láttuk, hogy ha valamely vulkáni eredetű kőzetből mintákat veszünk és meghatározzuk ezen kőzetminták eredeti fekvését, valamint a mágnesezettségük irányát, akkor meg tudjuk mondani, hogy milyen volt a kőzet keletkezésekor a földi mágneses tér iránya és a mágneses pólusok hol helyezkedtek el.

Elsőként Angliában és Észak-Európában végeztek ilyen vizsgálatokat és arra a meglepő eredményre jutottak, hogy a kőzetminták mágnesezettségének iránya nem állandó, hanem amint visszafelé haladunk a földtörténeti múltba, a mágneses irányok fokozatosan a vízszintes irányhoz közelednek, majd el is érik ezt. A jelenséget kétféleképpen értelmezhetjük: vagy a mágneses pólus vándorolt úgy, hogy egykor Anglia és Észak-Európa területére esett a mágneses egyenlítő vidéke; vagy pedig maguk a kőzetek – tehát a kontinensek – vándoroltak el, amelyek egykor a mágneses egyenlítő vidékén voltak. Mivel a Föld mágneses tere és a Föld tengelykörüli forgása között kapcsolat van (a Föld mágneses tengelye mindig a forgástengely közelében kell legyen, és ezt jelentősen nem hagyhatja el) ezért a mágneses pólus nem vándorolhatott el számottevően, így a kontinenseknek kellett elmozdulniuk.

A további részletes paleomágneses vizsgálatok során még az is kiderült, hogy a különböző kontinensek kőzetei alapján más-más mágneses pólusvándorlási görbék adódnak. A különböző kontinensekre adódó pólusvándorlási görbék a földtörténeti múltba visszafelé haladva a 6. ábrán látható módon egyre jobban széttartanak. Ugyanakkor azonban tudjuk, hogy Földünk mágneses tere dipólusos szerkezetű, ezért csak egyetlen mágneses északi és déli pólusa van, aminek a Föld felszínén csak egyetlen nyomvonala lehet. Ezért a 6. ábrán látható különböző pólusvándorlási görbék csak azzal magyarázhatók, hogy a kontinensek ma nem azon a helyen vannak, mint ahol a vizsgált kőzeteik keletkeztek.

Így az időben visszafelé haladva, egyre jobban széttartó és közel azonos alakú mágneses pólusvándorlási görbék csak a kontinensek vándorlásával magyarázhatók. Ennél azonban jóval többet is mondhatunk; mivel az egyetlen pólusvándorlási görbe követelménye alapján meg tudjuk határozni az egyes kontinensek relatív helyzetét is a földtörténeti múlt különböző időpontjaiban. Ezzel minden eddiginél pontosabb és megbízhatóbb kontinens rekonstrukciót tudunk elkészíteni, sőt azt is pontosan meg tudjuk mondani,

hogy a kontinensek mikor váltak szét egymástól és milyen útvonalon jutottak a jelenlegi helyzetükbe.



6. ábra. Mágneses pólusvándorlási görbék a különböző kontinensekre

Igen jó példa erre Afrika és Dél-Amerika esete. A 6. ábrán látható, hogy a két kontinensre két különböző pólusvándorlási görbe adódik. Ahogyan időben közeledünk a földtörténeti jelenkor felé, a két görbe fokozatosan egyre közelebb kerül egymáshoz és végül a jelenkori vulkáni kőzetek vizsgálata alapján azonos pólus adódik – amely természetesen azonos a mostani mágneses pólussal. Ha a két kontinenst a BULLARD-féle rekonstrukciónak megfelelően egymás mellé toljuk, akkor a kontinensek vándorlásának legmeggyőzőbb bizonyítékát kapjuk: ugyanis így a mezozoikum előtti időkre a két kontinens pólusvándorlási görbéje a meghatározás pontosságán belül egybeesik, majd a mezozoikumtól a görbék két részre válnak és a jelenkor felé haladva egyre inkább eltávolodnak egymástól. Ebből egyértelműen megállapítható, hogy Afrika és Dél-Amerika a mezozoikum elején, kb. 200 millió évvel ezelőtt vált szét egymástól. A két kontinens pólusvándorlási görbéjének a perm és a jelenkor közötti időpontokra történő egybeesésével az is meghatározható, hogy Afrika és Dél-Amerika milyen útvonalon jutott a jelenlegi helyzetbe. – A vizsgálat természetesen valamennyi kontinensre egyaránt alkalmazható.

AZ ÓCEÁNI MEDENCÉK TÁGULÁSA

Az óceánok fenekének domborzatát nagy vonalakban már régebben ismerték, azonban a részletes feltérképezésük csak az 1950-es években kezdődött meg HEEZEN amerikai geofizikus vezetésével. Ezekben az időkben tárult teljes részletességgel a kutatók szeme elé az óceánok mélyén a 7. ábrán látható hatalmas méretű, egymáshoz kapcsolódó *hátságrendszer*, amely végighalad az Atlanti-, az Indiai-, és a Csendes-óceánon, valamint az Északi-Jeges-tenger alatt. Ez a Közép-óceáni – a továbbiakban röviden óceáni – hátságrendszernek nevezett, mintegy 60000 km hosszúságú, több száz km széles és az óceáni medencék 4800 m-es átlagos fenékmélysége fölé 1000-3000 m-rel kiemelkedő óriási, összefüggő szerkezet általában az óceánok középvonala mentén a partvonalakkal csaknem párhuzamosan halad. A hátságrendszer vonulatait számos, rá merőleges törés, ún. *transzform vetődés* szabdalja 200-2000 km hosszúságú darabokra. A térképezés során felfedezték, hogy a hátságok gerincvonalában vékony, mély hasadékszerű völgy található. Később megállapították, hogy ezen *középponti hasadék völgy* mentén igen sok sekélyfészű földrengés keletkezik és tengeralatti vulkánok működnek. (A 8. ábrán, a Közép-

Atlanti-hátság kinagyított képén jól kivehető a középponti hasadékvölgy és az említett transzform törések.)



7. ábra. Az óceánok fenekén végighúzódó világméretű hátságrendszer

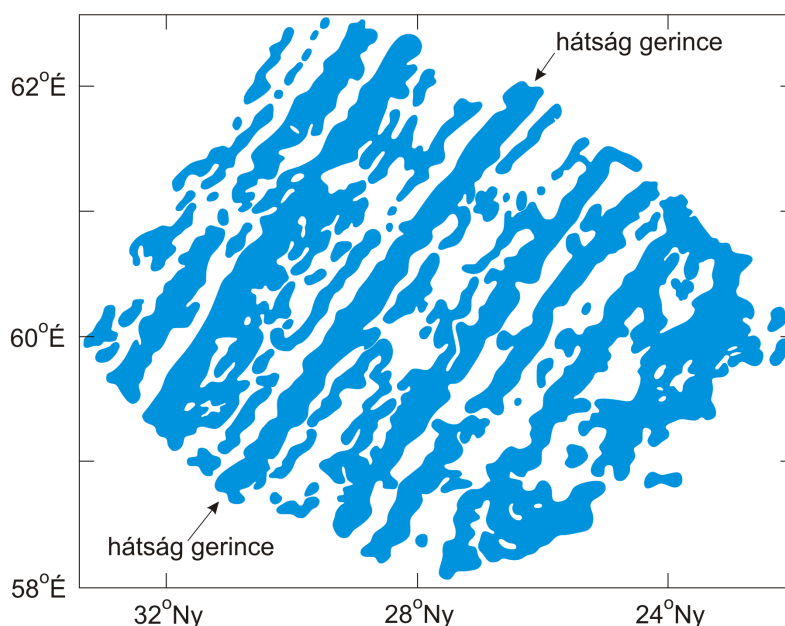


8. ábra. A Közép-Atlanti-hátság

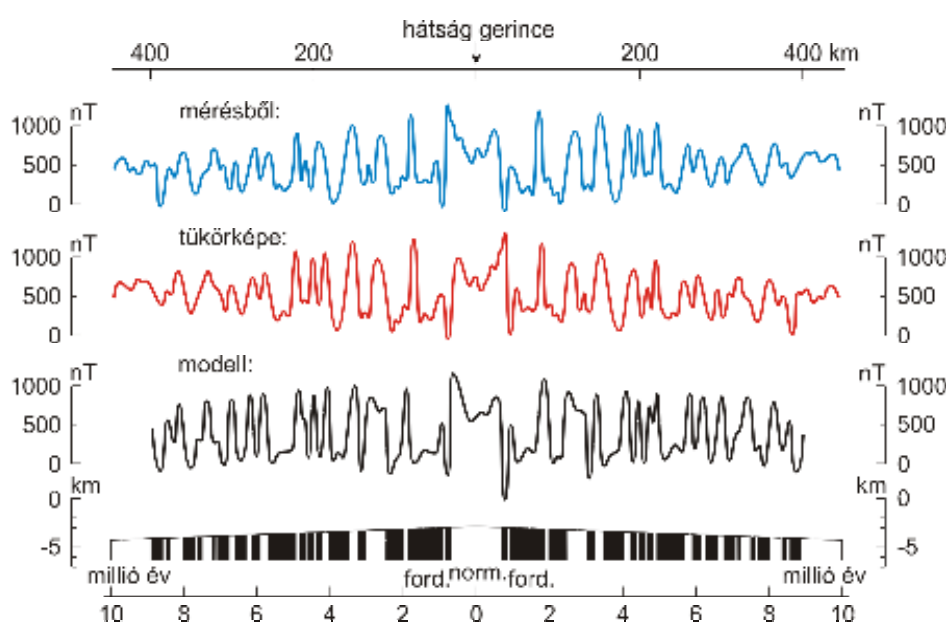
A tengeri mágneses mérések eredményei

Röviddel az 1960-as évek előtt erősen megnövekedett az érdeklődés az óceánok iránt. Ennek egyik következménye volt az óceánok felszínén elvégzett hatalmas mennyiségű mágneses mérés, amelynek alapján ezekről a területekről igen részletes mágneses anomália-térképek készültek.

1961-ben a SCRIPPS Oceanográfiai Intézet kutatói felfedezték, hogy Észak-Amerika nyugati partjainál addig ismeretlen, erősen elnyúló, a partvonalakkal párhuzamosan futó mágneses anomáliásáv-rendszer húzódik; de semmiféle olyan szabályos geológiai szerkezetet nem sikerült találni, mely létrehozhatta volna ezeket. Az ilyenféle mágneses hatóknak (mágneses kőzettesteknek) az eredete néhány évig teljesen titokzatos maradt.



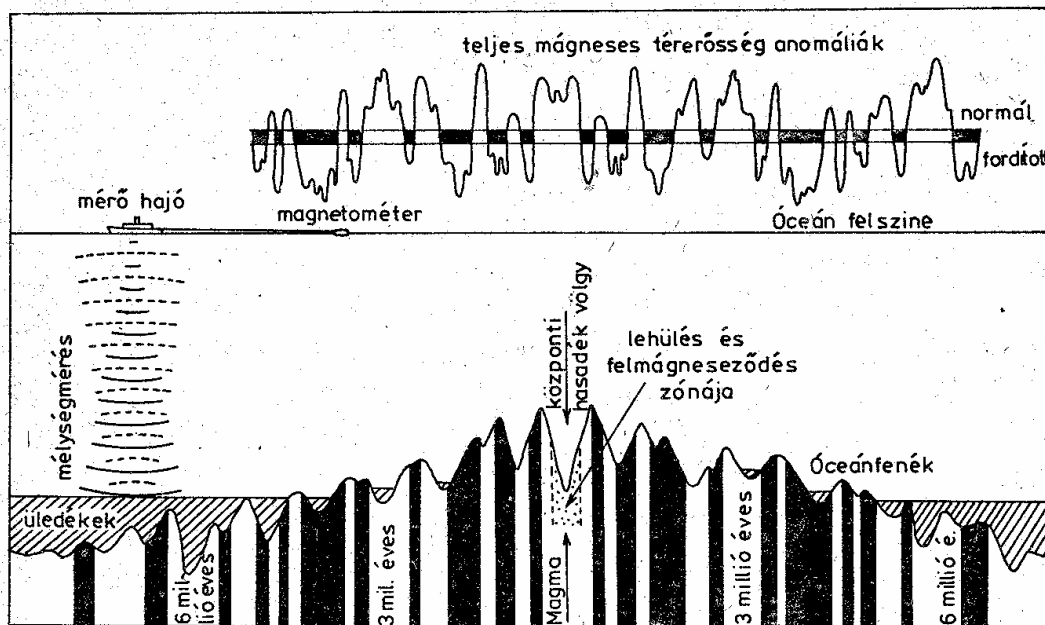
9. ábra. Mágneses anomáliák változása Izland környékén



10. ábra. Mágneses anomáliák a Csendes-óceáni-hátság egyik szelvényében

Közben más kutatók egészen hasonló mágneses anomaliasáv-rendszereket találtak az óceáni hátságok területén, ahol az anomália-térképek a hátságok gerincvonala feletti több száz *km* szélességű övben meglepő szabályosságot mutattak: a pozitív és a negatív mágneses anomáliák egymást szabályosan váltogatva, igen hosszú sávokban jelentkeztek. E sávok hossz tengelyei egymással és az óceáni hátság gerincvonalával párhuzamosak, sőt az egész mágneses anomáliatér a hátság gerincvonalára szimmetrikus. Ezt szemlélteti a 9. ábra, amelyen a Közép-Atlanti-hátság egy Izlandhoz közeli része feletti mágneses anomáliák láthatók (feketével a pozitív, fehérrel a negatív anomáliákat jelöltük). Ugyanezt a feltűnő szimmetriát láthatjuk a 10. ábra felső részén, a Csendes-óceáni-hátság gerincére merőleges egyik szelvényben. A szimmetria kihangsúlyozása céljából a felső görbe alatt (amely mérési eredmény) feltűntettük ugyanennek a görbének a hátság gerincére vonatkozó tükörképét is.

A földmágneses anomáliák ilyen mértékű szabályos eloszlása nem lehet a véletlen műve, tehát mindenképpen magyarázatot követel. A magyarázatot 1963-ban VINE és MATTHEWS, a Cambridge-i Egyetem kutatói adták meg. Magyarázatuk a mágneses térfordulások jelenségére épült. Elképzelésük szerint az óceáni hátságok gerincvonala mentén olvadt állapotú kőzetanyag áramlik a mélyből felfelé, mely a felszínre érve vagy a felszín közelében lehül és az aktuális mágneses térnek megfelelően felmágneseződik, miközben mindkét oldalról hozzáad a régi óceáni fenék anyagához (11. ábra). A folyamatos feláramlás következtében az óceáni hátságok gerince mentén állandóan új óceáni fenékanyag képződik, amely a régebbi kőzeteket a hátság gerincvonalától jobbra és balra szétolja. Ahogyan a korábban felszínre jutott kőzetanyag a hátságok gerincvonalára szimmetrikusan széttolódik, váltakozóan normál és fordított mágnesezettségű kőzetsávok alakulnak ki, annak megfelelően, hogy milyen polaritású volt a földmágneses tér az egyes kőzetrészek keletkezésének időpontjában. Az óceánok felszínén végzett magnetométeres mérésekkel ezeknek a normál és fordított mágnesezettségű kőzetesteknek megfelelő mágneses tér mérhető, azaz ennek megfelelően jönnek létre az óceáni hátságok gerincvonalával párhuzamos és erre szimmetrikus pozitív illetve negatív mágneses anomaliasávok.

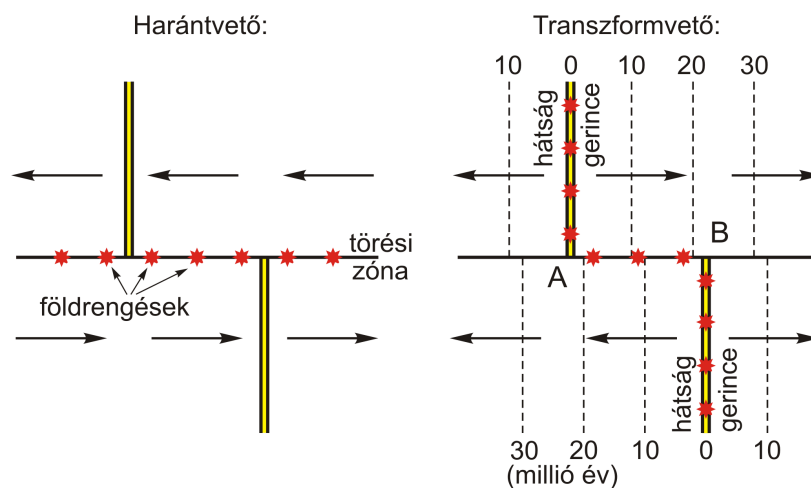


11. ábra. A mágneses anomaliasávok magyarázata

A Vine-Matthews-hipotézis igazolása

A Vine-Matthews-hipotézist nagymértékben alátámasztotta, hogy az időközben egyre gyarapodó tengeri mágneses mérések során az óceáni hátságok valamennyi szelvényében teljesen hasonló, szabályos mágneses anomáliásáv rendszereket találtak. Ha az egyes szelvényekben a Vine-Matthews-hipotézisnek megfelelő váltakozó mágnesezettségű kőzetmodelleket veszünk fel, akkor az ezekre számított mágneses anomáliák jól megegyeznek a valóságban mért anomáliákkal. Jó példa látható erre a 10. ábrán. Az ábra alján felvett néhány *km*-es vastagságú óceáni fenéklemezen fehérrel a jelenlegi mágneses térnek megfelelő "normál" mágnesezettségű, feketével pedig a fordított mágnesezettségű kőzethasábokat jelöltük. A modell felett látható a felvett mágneses hatókra kiszámított "elméleti" görbe, amely szinte tökéletesen megegyezik a valóságban mért és az ábra felső részén látható görbével.

A főleg mágneses anomáliák alapján levezetett hátságmodell jó összhangban van más geofizikai mérések eredményeivel is.



12. ábra. A földrengések kipattanási helyei

A legszembetűnőbb – szinte matematikai szigorúságú – bizonyítékot az óceáni hátságok mentén keletkező gyakori földrengések epicentrumainak eloszlása szolgáltatja. Amint a 7. és a 8. ábrán is láthattuk; az óceáni hátságok gerince nem folytonos vonal, hanem törések és vetődések által mintegy 200-2000 *km* hosszúságú szakaszokra tagolt lépcsős futású szerkezet. Ezek a törések olyan pontokat kötnek össze, amelyek egykor egymás mellett voltak. A törések egyébként pontosan jelentkeznek a mágneses anomáliásávokban is, mivel ezek szorosan követik a hátság szétszabdalt gerincét. Mivel a hátságok elvetődött gerince felett mindig a jelenlegi normális mágnesezettségű kőzeteknek megfelelő anomáliásáv található, tőle szimmetrikusan két oldalra pedig a váltakozó előjelű sávok, ez arra utal, hogy a szétszabdalt hátsággerincek ma is "élnek", azaz folyamatosan termelik az új óceáni fenékanyagot. Ekkor viszont – mivel a hátságok gerincvonala mentén mindenütt anyag áramlik szét – az elvetődött gerincrészek (a 12. ábra jobb oldalán látható A és B pont) között az óceáni fenékanyag egymással ellentétes irányban mozog. Ez az elmozdulás azonban nem folyamatos, hanem a jelzett A és B pont között a kőzetekben először rugalmas energia halmozódik fel, majd amikor ez eléri a kőzetek törési szilárdságát, az anyag a vetődési sík mentén eltörik, hirtelen elmozdulás lép fel és a rugalmas energia földrengéshullámok formájában szétterjed. A 12. ábra jobb oldalán világosan látszik, hogy az óceáni hátságok elvetődött gerincrészeit összekötő törési zónákban relatív elmozdulás kizárólag az A és a B pont között lép fel, ezen pontokon kívül a kő-

zettek már együtt mozognak; tehát a törési zóna mentén földrengések is csak kizárólag itt keletkezhetnek. Ezt a típusú törést *transzform törésnek* nevezzük.

Ha most az eddigiektől függetlenül, csupán a morfológia alapján gondolkodnánk, a törésvonalat látva a geológiában már jól ismert egyszerű harántvetődést gyanítanánk és – feltételezve, hogy a vetődési folyamat még ma is tart – bizonyára arra a megállapításra jutnánk, hogy a törési zónának teljes hosszában szeizmikus aktivitást kell mutatnia. (Ezt az esetet a 12. ábra bal oldalán láthatjuk, ahol a szeizmikus aktivitás területét keresztekkel jelöltük.

Az egyszerű harántvetődés és az óceánfenék széttolódását bizonyító transzform vetődés tehát szeizmológiai vizsgálatokkal pontosan elkülöníthető. Mivel az óceáni hátságok mentén a földrengések epicentrumainak eloszlása teljesen egyértelműen a vetődések transzform jellegét igazolják, ez tehát nem egyéb, mint a spreading (az óceánfenék szétterjedés) bizonyítása. Ugyancsak a széttolódást bizonyítja óceáni hátságok mentén kipattanó földrengések fészekmechanizmusa.

Megállapíthatjuk tehát, hogy a világ óceánjain áthaladó hatalmas méretű hátságrendszer Földünknek az a különös helyszíne, ahol a földkéreg állandóan születőben van. A felszínre ömlő és szétterjedő kéreg alatti olvadt kőzetanyag eredményezi az óceánok alatti ismert bazaltvulkánosságot és hozza létre a mágneses anomaliasávokat. Ugyancsak ez magyarázza a hátságok magas hőáramát és a rendszerint pozitív gravitációs Faye-anomáliákat, valamint a negatív Bouguer-anomáliákat. A hátságrendszer mentén keletkező földrengéseket pedig a szétszakadó és a transzform vetődések vonalán elmozduló – közben egymással súrlódó – kőzettestek okozzák.

A GLOBÁLIS TEKTONIKA (LEMEZTEKTONIKA) ELMÉLETE

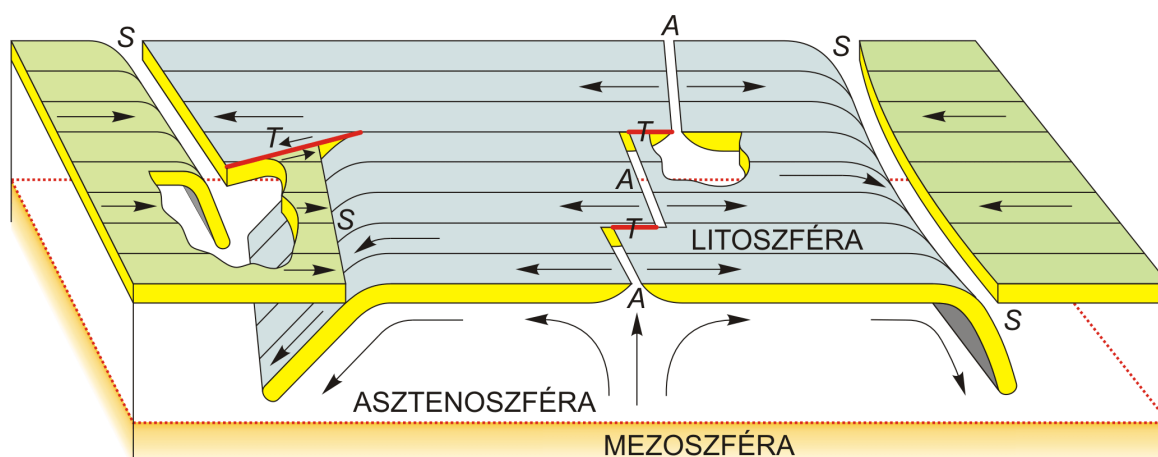
Az 1960-as évek derekán a földtudományokkal foglalkozó szakemberek bizonyítva láttak két különböző vándorlási elméletet: a kontinensek vándorlását és az óceáni medencék széttolódását. Tisztázatlan volt azonban, hogyan kapcsolódik egymáshoz e két mozgásrendszer, illetve van-e egyáltalán kapcsolat az óceánfenék széttolódása és a kontinensek vándorlása között. Ezekben az időkben a szakemberek érezték, hogy hamarosan nagy felfedezés fog bekövetkezni. Ez a felfedezés az 1960-as évek végén született meg, amikor a két mozgásrendszert sikerült egységbe hozni és létrejött a szintézis, amelyet lemeztektónikának nevezünk. A lemeztektónika elmélete szerint az óceáni medencék és a kontinensek nem külön vándorolnak, hanem olyan nagy egységek (ún. litoszféralemezek) mozognak, amelyek általában óceáni és kontinentális területeket egyaránt magukban foglalnak. A lemeztektónika alapvetően új utakat nyitott a földtudományokban, jelenleg a legátfogóbb és legjelentősebb geotektonikai elmélet, amely alkalmas arra, hogy megmagyarázza a földtudományok alapproblémáit.

A lemeztektónika alaptételei

A lemeztektónika elmélete szerint a Földünk felszíne hat nagy és több kisebb, kb. 60-120 km vastagságú *litoszféralemezre* osztható. Ugyanazon litoszféralemezek általában kontinentális és óceáni területeket egyaránt magukban foglalhatnak. Ezek a közel merevnek tekinthető lemezek egymáshoz viszonyítva mozognak. Közöttük három különböző mozgásforma lehetséges: két lemez vagy távolodik egymástól, vagy szembe mozog egymással, vagy elcsúszik egymás mellett. Ezt a 13. ábrán látható modell szemlélteti.

Az egymástól távolodó lemezszegélyek mentén a litoszféralemezek alatt levő asztenoszfériból állandóan új kőzetanyag tör a felszínre és nô hozzá a lemezszegélyekhez. Ezek az *akkréciós (növekedő) lemezszegélyek*. Ilyenek az óceáni hátságok és valószínűleg ilyen a most kialakuló Kelet-Afrikai-árok, a Vörös-tenger és a Bajkál tó vidéke.

A második mozgásforma esetében két lemez szembe mozog egymással. Attól függően, hogy milyen típusú lemezek ütköznek, két alapeset lehetséges. Amikor kontinentális lemez ütközik óceáni lemezzel, akkor az óceáni lemez a kontinentális terület alá bukik, lehatol több száz *km* mélységbe, majd feloszlik az asztenoszféra anyagában. Ha azonban két kontinentális lemez ütközik, akkor ennél lényegesen bonyolultabb kép alakul ki, mivel egyik lemez sem tud a másik alá hatolni. Ekkor olyan zóna jön létre, ahol a kőzetek összenyomódnak, meggyűrődnek, összetöredeznek, hatalmas alá- és fölétolódások alakulnak ki. Az egymással szembe mozgó lemezek határai a *konzumációs lemezszegélyek*, illetve az alátolódó lemezek esetében más néven a *szubdukciós zónák*. Ezek a területeken található a mélytengeri árkok, ezekkel párhuzamosan helyezkednek el az aktív szeizmikus és vulkáni övek és itt található az orogén (hegységképződési) övek is. Ilyen területek pl. a Csendes-óceánt szegélyező cirkumpacifikus öv és az Alp-Himalájai-Melanéziai övezet.



13. ábra. A litoszféralemezek mozgásformái

A harmadik mozgásforma két lemez között a közeledés vagy a távolodás nélküli horizontális elcsúszás, a *transzform vetődés*. A leghíresebb példa erre a kaliforniai Szent-András-törésvonal és a törökországi Anatóliai-vetődés.

A különféle lemezszegélyek és mozgásformák vázlatos képe a 13. ábrán látható; ahol *A* az akkréciós lemezszegélyeket, *S* a szubdukciós zónákat és *T* a transzform vetődéseket jelöli.

Az egyes litoszféralemezek belső részei tektonikai szempontból nyugodt területek, a tektonikai aktivitás zónái a lemezek szétszakadó, az egymással szembe mozgó és az egymás mellett elcsúszó szegélyei. A Föld kérgé és a felső köpenyének egy része összefüggő és együttmozgó részt alkot, amelyet *litoszféralemezeknek* nevezünk. A lemez elnevezést részben a merevségük, részben pedig az indokolja, hogy ezek vízszintes kiterjedése legalább tízszerese, de több esetben néhány százszorosa a vastagságuknak. A litoszféralemezek alatt levő több száz *km* vastag és igen kis merevségű övet *asztenoszférának* hívjuk, míg a földköpeny fennmaradó részét, amely ismét nagyobb merevséggel rendelkezik és a tektonikai folyamatokban már nem vesz részt, *mezoszférának* szokás nevezni.

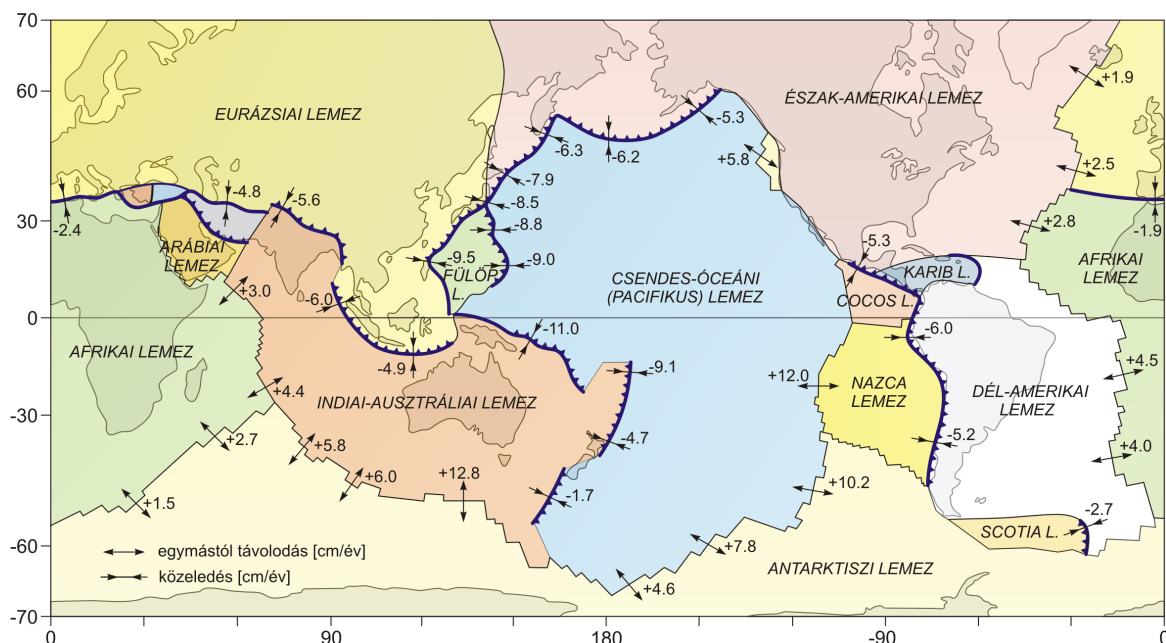
A lemezhatárok megállapítása

A litoszférelémezek határainak megállapítása az esetek jelentős részében egyszerű feladat, mivel ezek bizonyos felszíni formák alapján is felismerhetők. Lemezhatárok vannak pl. az "élő" óceáni hátságok, a mélytengeri árkok és a transzform törések mentén.

A kevésbé egyértelmű esetekben a lemezhatárokat a Föld tektonikusan aktív zónái jelölik ki, ezért a Föld szeizmicitás térképe a lemezhatárok megállapításához nélkülözhetetlen. Bizonyos esetekben azonban a szeizmicitás térképek sem adnak biztos segítséget a lemezhatárok meghatározásához. Az Alp-Himalájai öv nagy részén pl. a földrengések több száz *km* szélességű sávban pattannak ki, ezért itt a lemezhatárok helyének pontos meghatározása igen nehéz feladat. Bizonytalan lemezhatárok más helyeken is előfordulnak; a későbbiekben ezekkel még részletesebben foglalkozunk.

A litoszférelémezek mozaikja

Ma még nincs véglegesen lezárva az a kérdés, hogy pontosan hány litoszférelemez található a Földön, mivel egyrészt bizonyos lemezhatárok pontos megállapítása még nem történt meg, másrészt a válasz attól is függ, hogy a lemezek legkisebb méretének és a lemezhatárok menti legkisebb elmozdulásoknak mely értékét fogadjuk el. Így az alapkérdés inkább az, hogy mekkora azon litoszférelémezek minimális száma, melyek kielégítően meghatározzák a globális tektonikai modellt. LE PICHON 1968-ban hat lemezből álló modellt alkalmazott és meghatározta az egyes lemezek közötti relatív sebességeket. A hat legnagyobb lemez: az Amerikai-, az Eurázsiai-, az Afrikai-, az Indiai-Ausztráliai-, az Antarktisz-, és a Pacifikus-lemez. Később ezt a modellt további több mint 30 kisebb/nagyobb lemez, illetve tábla figyelembevételével finomították. A felsorolt lemezek elhelyezkedése és a lemezhatárok a 14. ábrán láthatók.



Ma már geodéziai mérésekkel a különböző lemezhatárok mentén bárhol meghatározható a lemezek egymáshoz viszonyított mozgási sebessége. A 14. ábrán a nagyobb litoszférelémezek legjellegzetesebb egymáshoz viszonyított mozgási sebességértékeit is

feltüntettük *cm/év* dimenzióban, (a pozitív értékek távolodást, a negatív értékek közeledést jelentenek). Látható, hogy a legnagyobb elmozdulások a Pacifikus-, és az Indiai-Ausztráliai-lemez határai mentén tapasztalhatók.

A Föld felszíni formáinak kialakulása

A földtudományokban régóta létezik néhány megoldásra váró alaprobléma. Ezek közül leginkább az a folyamat vár magyarázatra, amely a Föld felszínét kialakította és állandóan megújítja. Ezzel kapcsolatosan felmerül néhány igen fontos részletkérdés is, pl.: a nagy lánchegységek kialakulása, az óceáni medencék feltűnően fiatal kora, az ősmaradványok és a különböző kőzetek területi eloszlása stb. A lemeztectonika segítségével a földtudományok alapkérdéseinek nagy részére kielégítő magyarázat adható, ezek közül most csak egyetlen kérdéssel nagy lánchegységek képződésével foglalkozunk.

Érdekes, hogy a lánchegységek közeteinek nagy részét alkotó tengeri üledékek hogyan kerülnek több száz, sőt több ezer méter magasságra. Képzeljük el azt az esetet, amikor szárazföldi kőzetlemez alá olyan óceáni litoszférolemez tolódik, amely óceáni és kontinentális területet egyaránt tartalmaz. Az óceáni lemez a kontinentális talapzat közelében nagy mennyiségű olyan tengeri üledéket hordoz, amely a nyílt óceánon képződött és közvetlenül a bázisos, ultrabázisos óceáni kéreganyagra rakódott le. Amikor a szubdukciós zónában már az összes óceáni kőzetlemez alátolódott és a kontinentális területek ütköznek, akkor érdekes jelenségek történnek. Az összeütközési zónában bizonyos kőzetek, amelyek az óceánok mélyén terültek el (tehát a mélytengeri üledékek és az ún. párnás bazaltok) összetorlódhatnak és akár több ezer métert elérő magasságba gyűrődhetnek fel. Ha ehhez hozzávesszük az ütközés helyén kialakuló nagy nyomás-, és magas hőmérséklet-értékeket, akkor könnyen megérthetjük, hogy ebben a zónában miért jönnek létre kőzetátalakulások, hogyan fejlődnek ki a lánchegységek jellegzetes kőzetei.

A lemezek összetartó mozgását az ütközéseknél fellépő ellenálló erők előbb-utóbb megállítják. Valószínű, hogy a lemezek relatív mozgásának periodikus megváltozásában legfőbb ok a kontinensek összeütközése.