

HORVÁTH FERENC

100 éves a kontinensvándorlás elmélete

MÁSODIK RÉSZ



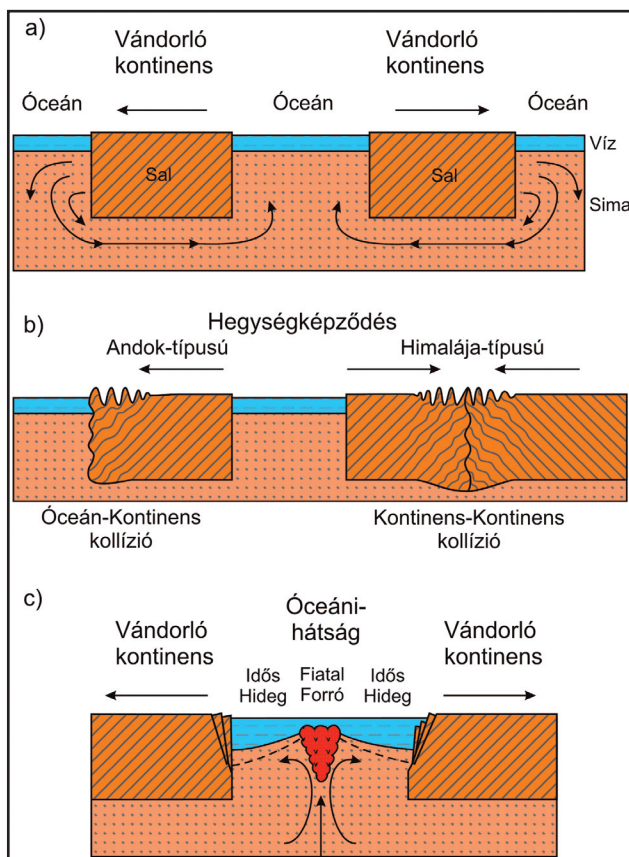
Alfred Wegener

A mint az első részben láttuk, a XX. század elején a nagy felfedezések és a feloldhatatlan ellentmondásban lévő elméletek jellemezték a globális geodinamikát. Érettnek látszott az idő egy új globális koncepció megszületésére. Ennek létrejötté egy különleges képességű tudós, a német Alfred Wegener nevéhez kapcsolható. Wegener 1880-ban született

Berlinben. Egyetemi éveit Heidelbergben, Innsbruckban és Berlinben csillagászatot, meteorológiát és fizikát tanult. Diplomadolgozatát 1905-ben írta meg égi mechanikai témából. Ezután érdeklődése a felsőlégköri időjárás megfigyelések felé fordult, és számos kalandos repülést végzett léghajóval és léggömbbel. Wegener 26 éves korára bátor és vállalkozó

szellemű férfi hírében állott. Ekkorra már európai szinten ismert meteorológus volt, akit 1906-ban meghívtak egy Grönlandra induló dán expedícióba. Ekkor jegyezte el magát ezzel a zord és számára végzetessé váló világgal.

1910 óta izgatta a mai kontinensek egykori összetartozásának, szétszakadásának és nagymértékű elmozdulásának a lehe-

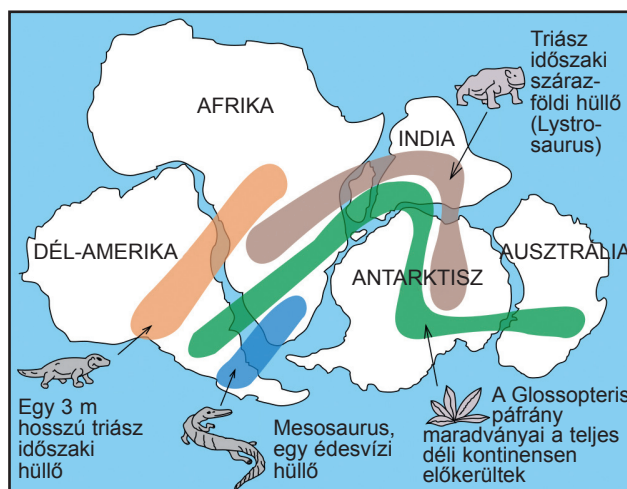


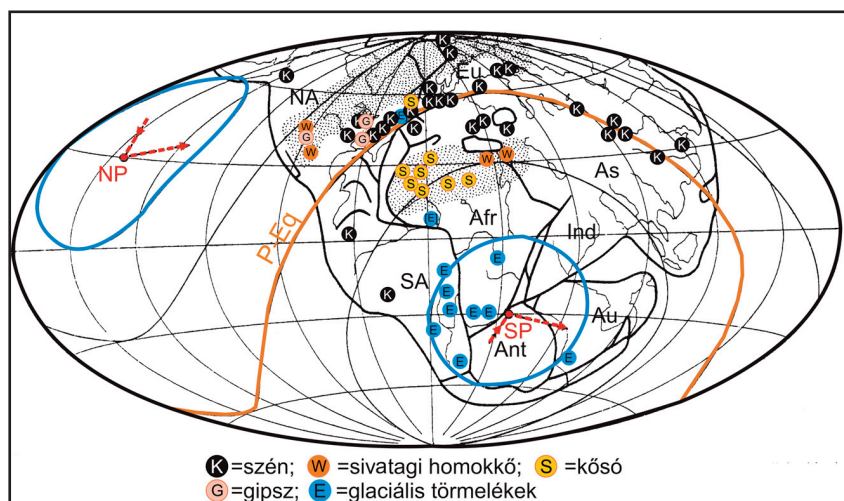
1a-c ábra. Wegener elképzelése a szilícium-alumínium (sal) összetételű kontinentális blokkok úszásáról a szilícium-magnézium (sima) összetételű magma rétegen (a. ábra).

A vándorló kontinensek frontján és az ütköző kontinensek között alakulnak ki a hegységek (b. ábra).

A c. ábra csak az 1912-es cikkében megjelenő elképzelést vázolja fel, ami szinte tökéletesen egyezik a mai ismeretekkel

2. ábra. A Wegener által javasolt egységes kontinens (Pangea) képe, amely könnyedén magyarázza az őslénytani kutatások eredményeit





3. ábra. Karbon-perm korú klímajelző képződmények (szén, sókőzetek, sivatagi képződmények és glaciális jellegzetességek) elterjedése az egységes őskontinensen. Az így kirajzolódó klímazónák egy a maitól jelentősen eltérő helyzetű forgástengelyt bizonyítanak. (NP – északi pólus, SP – déli pólus, P-Eq – az akkori Egyenlítő)

tősége. A témára valószínűleg úgy talált rá, hogy elméleti meteorológusként főleg a légkör dinamikája, nevezetesen a különböző skálájú légköri áramlások kialakulása és fejlődése foglalkoztatta. Meggyőződése volt ugyanis, hogy a nagyléptékű időjárási változások megértése, s ezúton az előrejelzések pontosítása ezúton érhető el. Ennek során figyelt fel arra, hogy mennyire változó volt a múlt éghajlata, és hogy az klímajelző geológiai képződmények térképezése segítségével globális skálán rekonstruálható.

Az akkoriban már rendelkezésre álló és az egész Földre vonatkozó földtani térképek és rétegtani leírások (pl. Suess könyvei) elemzése alapján meglepő eredményre jutott. A földtörténeti ókor végén (350–250 millió éve) a klímazónák annyira eltértek a Föld forgástengelyéhez kötött jelenlegi klímaövektől, hogy két választása volt: vagy az éghajlati zonalitás elvét veti el, vagy a kontinensek helyhez kötöttségében kételkedik. Képzett meteorológusként csak az utóbbi lehetőséget választhatta, és rövid idő alatt egy új világ tárult fel előtte...

A Geologische Rundschau-ban 1912-ben publikált cikk ezekkel a mondatokkal indult: „A következők első kísérletet jelentenek arra, hogy megmagyarázzuk a Föld nagyformáinak, azaz a kontinenseknek és az óceánoknak az eredetét egy átfogó elmélettel, a kontinensek vándorlásával. Mindenütt, ahol az egykoron folytonos szárazföldi jellegzetességeket tengerek szakítják meg, ott a kontinensek szétszakadását és elvándorlását fogjuk feltételezni. A Földünkre így kapott kép új, de ellentmondásos és nem fedi fel a fizikai okokat. Mégis, már az első érvek alapján több meglepő egyszerűség és

kölcsönös kapcsolat válik nyilvánvalóvá, tehát helyesnek látszik, ha ezzel az új és használhatóbb munkahipotézissel váltjuk fel az elsüllyedt kontinensek régi elméletét.”

Ezt követően a cikk azt tárgyalta, hogy a látszólag merev földkérgen miképpen lehetséges a kontinensek nagymértékű vízszintes elmozdulása, és ez hogyan magyarázza a hegységek kialakulását. Majd a kontinensek egykori helyzetének, összetartozásának és szétválásának történetét próbálta néhány markáns példával igazolni. Végül a kontinensek jelenlegi horizontális elmozdulásának közvetlen mérési eredményeit tekintette át. Ez utóbbival nem foglalkozunk, mert az akkoriban végzett asztrogeodéziai és rádióhullám-terjedési vizsgálatok még nem voltak elegendően pontosak a néhány cm/év nagyságú mozgások meghatározására.

Az elsőként felhozott geofizikai érvek alaptétele az, hogy a természetes radioaktivitás felfedezése érvényteleníti a hűlő földmodellt, s ezúton a földhéj folyamatos zsugorodását is. A Föld kérge valójában egészen másképp viselkedik. Az izosztázia elve alapján tudjuk, hogy a kisebb sűrűségű kontinentális kéregblokkok (sal) úsznak a nagyobb sűrűségű magma (sima) földrétegen úgy, mint a hajók, vagy a jéghegyek a tengerben (1a. ábra). Ha a kontinent megterheljük, akkor besüllyed, ha könnyebbé válik (pl. a jégkorszaki jégtakaró elolvadása miatt), akkor kiemelkedik. Mindig olyan mértékben, ahogy azt az úszási egyensúly megköveteli. A kontinentális blokkoknak ez a lassú vertikális mozgása az alattuk lévő magma fel- és lefelé irányuló áramlása nélkül nem valósulhat meg. A szilárd anyagoknak ilyen lassú folyásra való ké-

pességét Wegener a szurok példájával illusztrálta. Ez az anyag szobahőmérsékleten gyors erőhatásra (pl. kalapácsütésre) török, de lassú erőhatásra (pl. ráhelyezett súly alatt) úgy deformálódik, mint egy nagy viszkozitású folyadék.

Wegener feltette a kézenfekvő kérdést: ha a kéregblokkok függőleges mozgása megfigyelési tény, akkor miért kételkednénk a horizontális elmozdulás lehetőségében? Az 1a. ábrán látható, hogy azt képzelte, a mozgó kontinensek a frontjuknál lévő magma anyagot oldalra terelve haladnak előre, amint az úszó jéghegyek, vagy hajók a tengeren. A hajókhöz képest fontos különbség viszont az, hogy a kontinenseket felépítő anyagok is nagy viszkozitású folyadékként viselkednek. Így a mozgó kontinens frontjánál fellépő torlónyomás hatására a kontinensperem szélesebb sávban felgyűrődhet és ezúton hegységek alakulhatnak ki.

Véleménye szerint az Atlanti-óceán kinyílása és Dél-Amerika nyugati irányú vándorlása hozta létre az Andokot, s hasonló módon alakultak ki más kontinensperemi hegyvonulatok is. A lánchegységek kontinensen belüli, himalájai-típusára is látványos egyszerűséggel ad magyarázatot a wegeneri elmélet. A vándorló kontinensek közeledése és ütközése (esetünkben India és Ázsia kollíziója) felelős a két kontinensperem nagymértékű gyűrődéséért és egymásra torlódásért (1b. ábra).

Felismerte, hogy a kontinensek egykori szétszakadás olyan riftesedési folyamat volt, mint ami a Kelet-afrikai-árkok területén napjainkban zajlik. Az ottani gravitációs mérések alapján megállapította, hogy a szétszakadó kontinentális árkok alatt felemelkedik a magma, megolvad és intenzív vulkanizmust produkál. Ezt a megfigyelést kiváló érzékkel kiterjesztette a távolodó kontinensek között létrejövő óceáni területre is. Először és érthetetlen módon utoljára (!) az 1912-es munkákban mondta ki a következő megállapítást: „A Közép-atlanti-hátságot olyan zónának kell tekinteni, ahol az Atlanti-óceán aljazata folyamatosan szakad szét és ezúton ad helyet a friss és olvadt magma anyagnak, hogy a felszínre emelkedjen.”

De még ennél is továbbjutott érvelésében. Szerinte az óceáni aljzat regionálisan izosztatikus egyensúlyban van, ezért a fiatal, forró és kisebb sűrűségű aljzat magasabban, az idősebb, hidegebb aljzat mélyebben kell hogy elhelyezkedjen (1c. ábra). Tökéletes megfigyelés is hibátlan magyarázat, amivel Wegener ismét, legalább 50 évvel megelőzte korát (Jacoby, 1981).

Ezt követően az Atlanti-óceánt szegélyező kontinensek összekapcsolását a

partvonalak hasonlóságán túlmenően a geológiai képződmények és nagyszerkezeti elemek illeszkedésével támasztotta alá. Kimutatta, hogy így az addig különállóan feltételezett kontinenseken megfigyelt meglepő öséletani hasonlóságok egyszerű magyarázatot kapnak (2. ábra). Nem volt szükséges tehát arra a bizarr feltételezésre, hogy a triász időszak szárazföldi hüllők (pl. *Lystrosaurus*, *Cynognathus*) több ezer kilométert másztak a rejtélyes kontinentális hidakon keresztül, hogy elterjedjenek a másik kontinensen is!

A csodák azonban nem értek véget. A legmeglepőbb térképet a karbon-perm klímajelző képződmények ábrázolásával kapta. Ezt a munkát az évek során fokozatosan továbbfejlesztette és ebben meszesen erkölcsi és szakmai támogatást kapott apósától, Vlagyimir Köppentől, a meteorológia máig elismert nagy szakteknélyétől. A 3. ábrán látható térkép

a kontinensek 300-320 millió évvel előtti elhelyezkedését mutatja, klímaövelző geológiai képződmények feltüntetésével.

A nagy kőszéntelepek képződéséhez nyilván burjánzó trópusi erdők és mocsarak a kedvező területek, csakúgy, mint a tengeri eredetű sóközetek (kősó és gipsz) számottevő vastagságban való kicsapódásához. A nagy sivatagok megjelenése a trópusok peremén leszálló légmozgású, csapadékhányos területeken következik be. A sarkkörön túli területek jellegzetessége a vastag jégtakaró, amelynek a mozgása miatt a jégvájta völgyek alján karcos kővek, morénakaviccsok és nagyobb méretű szikladarabok halmozódnak fel. Amennyiben az egyes kontinenseket a 3. ábrán látható módon Afrikához illesztjük, akkor a különböző kontinenseken található klímajelző képződmények meglepően jól illeszkednek és klímazónákat határoznak meg.

A rekonstrukció azonban további meglepetéssel is szolgált: a kirajzolódó klímazónák nem a mai forgástengely körüli öveket határoznak meg, hanem egy jelentősen elvándorolt helyzetű forgástengely jelölnek ki. A déli pólus földrajzi koordinátái a mai rendszerben 32° keleti hosszúság és 30° déli szélességnél, az északi pólus pedig a Föld átellenes pontján, Hawaii közelében helyezkedik el (3. ábra). Wegener nem jött zavarba ettől a látszólag „vad” képtől és paleogeográfiai eredményeit szabatosan értelmezte.

Tudta, hogy forgó test, ha nem hat rá számottevő forgatónyomaték forgástengelyének átlagos térbeli irányát megtartja és a test maga is fix marad e forgástengelyhez képest. Kivéve, ha a testen belül tömeg-átrendeződés van, mert akkor a forgó test elmozdul a forgástengelyhez képest úgy, hogy a minimális tehetetlenségi nyomaték tengelye essen össze a forgástengellyel. A Föld esetében ez azt jelen-

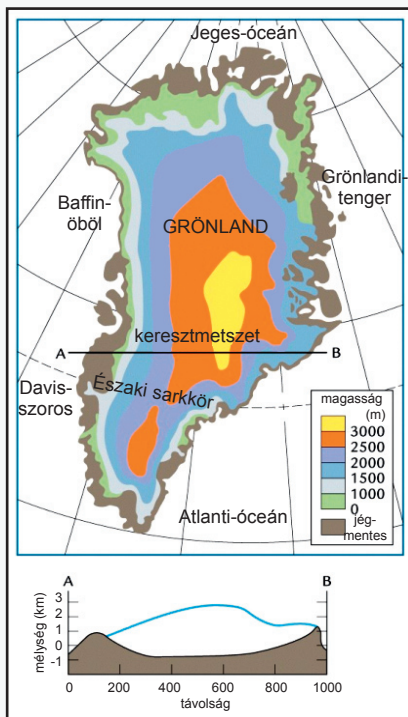
Wegener halála

Alfred Wegener gyermekkori álma volt eljutni Grönlandra a hó, a jég és a fagy birodalmába és ott valami világraszólót véghezvinni. Tudatos testedzéssel készült a nagy kalandra. Egyetemi tanulmányai után 1905-től csatlakozott bátyjához és vakmerő magasléggöri kutatásokat hajtottak végre ballonokkal. 1906-ban mindkettőjüket meghívták egy grönlandi expedícióba hasonló kutatásokra. Ettől kezdve nem volt visszaút: több expedícióval is visszatért Grönlandra és pontosan megismerte a fenyegető veszélyeket.

A negyedik nagyszabású expedíciónak 1930-ban már ő volt a vezetője és azt teljes mértékben Németország támogatta. Célja három meteorológia megfigyelő állomás felállítása volt a 71. szélességi kör mentén; egy-egy a sziget nyugati és keleti partján, egy pedig a jégvilág közepén (Eismitte), több mint 400 km-re a nyugati állomástól és 3000 m tengerszint feletti magasságban. Ezen az északi szélességen május 13. és július 30. között nem megy le a Nap, míg november 23. és január 20. között állandó a sötétség. Közlekedésre és szállításra propellerrel hajtott szánokat készítettek, amik csak akkor voltak jól használhatók, ha hihetetlen erőfeszítések árán felvonszolták azokat a meredek sziklás-jegecs partfalon a viszonylag sima jégplatóra. Sikeresebbek voltak a hat kutya által vontatott szánok, amik egyrészt kevesebb „üzemanyagot” fogyasztottak, másrészt végszükség esetén táplálékul szolgálhattak. Az utat fekete zászlókkal és 5 km távolságban cövekekkel jelölték ki, hogy visszataláljanak, vagy nyomukra bukkanjanak.

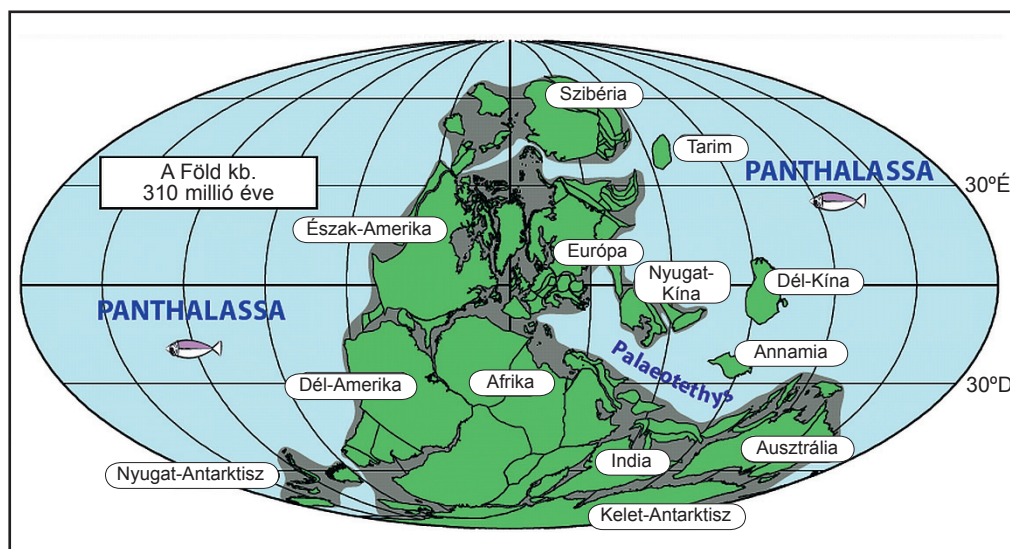
A váratlanul hosszú tél miatt az expedíció rosszul indult. Már 1930. április 15-én elérték hajójukkal a kikötő területét, de csak hosszas várakozás után, június 17-én tudták megkezdeni a 98 tonna rakomány kirakodását. Bár az időjárás továbbra is különlegesen zord volt, július 15-én meg-

Grönland térképe és az Eismitte állomás helye. A keresztmetszet a jég vastagságát mutatja, amelyet először Wegener mért meg az expedíció alkalmával



Wegener utolsó fényképe 50. születésnapján, mielőtt Rasmus Villesunnal elindultak volna utolsó útjukra

indult az első szállítmány a jégközepi állomás felállítására. Többszöri próbálkozás ellenére a tervezett állomásra a műszereken kívül nem érkezett meg szeptember elejéig elegendő élelem, a két kutató hosszabb tartózkodására alkalmas sátor és a rádió adó-vevő. Szeptember 21-én Wegener úgy látta, hogy megsegítésük „élet-hálál” kérdése, ezért vezetésével, egy német tanítványa és 13 grönlandi teherhordó társaságában 15 kutyaszánnyi anyaggal mentőexpedíciót indított.



4. ábra. A Wegener utáni 100 év minden földtudományi eredményét felhasználó mai kontinens-rekonstrukció (Torsvik és Cocks, 2012)

fugális erő miatt fellépő „sarki taszítóerő” megmagyarázhatja a kontinensek mozgását, különösen, ha összekapcsolja azzal, hogy az árapályúrlódás következtében a kontinensek elmaradnak a forgó földtesttől. A másik feltételezése az volt, hogy a radioaktív elemek által termelt hő a plaztikus földbelsőben konvekciós áramlásokat hoz létre, amelyek az egy-egy kontinens szétszakításában és az egyes darabok mozgásában jelentős szerepet játszhatnak. Wegener mindhárom mechanizmust elégtelennek tartotta és ezt a helyzetet maga jellemezte szellemesen úgy, hogy „...a kontinensvándorlás Newtonja még

Az időjárás katasztrofális volt, a hőmérséklet -50 és -60 fok között ingadozott. Félúton a grönlandiak megtagadták az út folytatását és 12-en elhatározták, hogy visszafordulnak a bázisra. Wegenernek drámai döntést kellett hoznia: tanítványa, Fritz Lowe és a grönlandi Rasmus Villesun társaságában, erősen megcsappant szállítmánnyal, folytatták az utat és végül október végén elérték a jégközépi állomást. Örömeük leírhatatlan volt, amikor meglátták, hogy az állomás kétfős személyzete csodálatos jégbunkert képezett ki magának, a méréseket beindították és élelmiszerkészletüket elegendőnek találták, hogy tavaszig végezhesék munkájukat. Wegener csodálatos formában érezte magát, szemben Lowevel, aki súlyos fagy sérüléseket szenvedett. Tettre kész volt a hűségese grönlandi is. Ezért ötvenedik születésnapját november elsején megünnepelve még aznap visszaindultak két kutyszánnal, minden élelmet hátrahagyva a sérült Lowevel kibővült kis csapat számára.

Soha nem érkeztek vissza a bázisra! Az ottaniak 1931 áprilisáig nem is keresték őket, gondolván, hogy ott maradtak a jégközépi állomáson. Majd ezután indultak nyomukba és félúton a hóba szúrva két sílécet és egy kettőtört síbotot találtak. Hosszas keresgélés után, 1931. május 12-én megtalálták Wegener jégsírba helyzet holttestét rénszarvasbőrre fektetve és hálósákba csavarva. Szeme nyitva, arckifejezése nyugodt és békés volt. A szemtanúk szerint szinte mosolygott! Holtteste fölé jég-sírt építettek és egy nagy kereszttel jelölték meg. Az akkor 23 éves grönlandi, Rasmus Villensun a megmaradt kutyszánnal és Wegener naplójával örökre eltűnt.

ti, hogy kettős oka van a „pólusvándorlásnak”.

Az egyik a kontinensek hosszúsági kör menti elmozdulása. Ha például India északra mozog, akkor India felől nézve a pólus közeledik. Ezt nevezzük „látszólagos pólusvándorlásnak”. (Néhány évtizedet kellett várni ahhoz, hogy a paleomágneses mérések segítségével minden kontinensre és kontinens-fragmentumra meg legyenek határozva ilyen látszólagos pólusvándorlási görbék.) A másik a kontinensek elvándorlása, azaz a földi tömegek átrendeződése miatt bekövetkező „valódi pólusvándorlás”.


A két hatás elkülönítése valójában nagyon nehéz, Wegener és Köppen számára mégis úgy volt lehetséges, hogy az afrikai kontinens stabilitását tételezték fel. Ennek a feltevésnek a helyességét és a kontinensek valós vándorlási történetét csak a lemeztectonika elmélet alapján lehet napjainkban pontosan rekonstruálni. Ehhez újabb és pontosabb mozgásindikátorokra volt szükség. Ilyeneknek bizonyultak az említett paleomágneses adatok, az óceáni mágneses anomáliások és a vulkáni forró foltok nyomvonalai. A 4. ábra a legújabb kontinensrekonstrukciót mutatja. Érdemes elgondolkodni, hogy 100 év alatt mennyit fejlődött a globális geodinamika, ugyanakkor látni azt, hogy mire tudott rájönni egy zseniális elme 100 évvel korábban, sokkal kevesebb adat alapján!

Megszületett-e kontinensvándorlás (és a lemeztectonika) Newtonja?

A kontinensvándorlás hajtómotorja Wegener számára pontosan nem megoldott kérdés volt. Arra gondolt, hogy a centri-

nem született meg.”

Wegener ismét zseniális előrejelző volt. Az általános elképzeléssel ellentétben világosan ki kell mondani, hogy sem a kontinensvándorlás, sem a lemezmozgások dinamikáját még mindig nem tudjuk pontosan magyarázni (Torsvik és Cocks, 2012). 100 év látványos fejlődése ellenére nincs általánosan elfogadott magyarázat a lemezek kinematikájának és a köpenybeli folyamatoknak az összekapcsolására.

Sokan úgy gondolják, hogy a megoldás nem késik sokáig. De ez már egy másik történet... 

HIVATKOZÁSOK

- England, Ph., Molnar, P. and Richter, F., 2007. John Perry's neglected critique of Kelvin's age for the Earth: a missed opportunity in geodynamics. *GSA Today*, 17(1):4-8.
- Jacoby, W, R., 1981. Modern concepts of Earth dynamics anticipated by Alfred Wegener in 1912. *Geology*, 9:25-27.
- Köppen, V. and Wegener, A., 1924. *Die Klimate der geologischen Vorzeit*. Borntraeger, Berlin.
- Oreskes, N., 1999. *The rejection of continental drift*. Oxford Univ Press, New York, Oxford
- Perry, J., 1895. On the age of the Earth. *Nature*, 51: 224-227, 341-342, 582-585.
- Torsvik, T. and Cocks, R. 2012. From Wegener until now: the development of our understanding of Earth's Phanerozoic evolution. *Geol. Belgica*, 15:181-192.
- Wegener, A., 1912. Die Entstehung der Kontinente. *Petermann's Mitteilungen aus Justus Perthes' Geographischer Anstalt*, 58, 185-195, 253-256, 305-309.
- Wegener, A., 1912. Die Entstehung der Kontinente. *Geol. Rundschau*, 3:276-292.