



KÖZÖS PONTOK EÖTVÖS ÉS WEGENER MUNKÁSSÁGÁBAN

# Sarki taszítóerő és a kontinensvándorlás elmélete

Eötvös Loránd nevéhez számos tudományos és technikai újítás köthető. Az egyik legjelentősebb ezek közül a kapillaritás mérésére szolgáló Eötvös-törvény, valamint a modern geofizikai mérések elődjének számító torziós inga.

Az anyag tehetetlensége és gravitációs arányosságainak, azonosságainak vizsgálata Newton óta a természettudományok egyik sarkalatos pontja. A göttingeni egyetem 1906-ban pályázatot írt ki a tehetetlenség és súly azonosságának kísérleti igazolására. Ennek érdekében Eötvös Loránd 1906-tól kezdődően társaival, Pekár Dezsővel és Fekete Jenővel végzett méréseket, melyek 1909-ig tartottak, és 4000 órányi mérés adatait foglalták magukban. A mérések pontosságát 1/100 000 000-hoz adták meg, ezzel a kiírt pályázatot elnyerték.

Elsőként hasonlították össze a különböző anyagok Naphoz viszonyított gyorsulását. A további mérések az első világháború kitörése miatt elmaradtak, Eötvös Loránd 1919-es halálával pedig nem is folytatódtak. Az 1906-1909-es mérések eredményeit Pekár Dezső és Fekete Jenő publikálta 1922-ben.

Talán e kései publikációnak köszönhető, hogy Einstein nem tudott Eötvös és társai kutatásáról, pedig az általános relativitáselmélet egyik kiindulópontja a tehetetlen és súlyos tömegek ekvivalenciája.

Eötvösék mérési eredményeit Fischbach és társai 1986-ban újból felhasználták és kimutatták, az úgynevezett „ötödik erő” létezését.

Eötvös a torziós ingával végzett vizsgálatok és a gravitációs mező mérésén kívül nagy figyelmet szentelt a Föld orbitális pályaelemeinek (a Föld tengely körüli forgása és tengelydőlése) változására és hogy azok hogyan is befolyásolják a szárazulatokat.

A híres tudós foglalkozott még a kontinentális lemezek mozgásával, ezért tudománytörténeti jelentősége miatt jelen cikkben felelevenítjük az Eötvös-féle „sarki taszítóerőt”, valamint ennek hatását a korai földtudományi elméletekre.

## A földtan forradalma

Alfred Wegener a kontinensvándorlásról szóló elméletét 107 évvel ezelőtt, 1912. január 6-án ismertette. A Frankfurti Múzeumban, a Német Földtani Társulat előtt mutatta be elképzeléseit a Pangea szuperkontinensről, amely az évmilliók folyamán részekre tagolódott, majd mozgásuk révén a mai helyükre kerültek.

1908 April 17. Messen: Messenian nach Karpfen  
 0,108 in Rhein-Delta bis abwärts in einem fessig peris. in Karpfen.  
 Die Messenian nach Karpfen ist 1600m

I. allg. 242° (Karpfen)	
2h 0m	206,8
2h 24m	205,8
2h 30m	205,0
3h 15m	202,3
4h 15m	200,6
7h. 16m bei einem Karpfen	
129 in 317 Karpfen	
4h 29m 30. Karpfen 317 m. Karpfen	
2h 24m 200	205,8
2h 29m 200	200,7
2h 34m 200	209,0
2h 39m 200	201,4
2h 44m 200	199,6
2h 49m 200	199,3
2h 54m 200	199,2
2h 59m 200	199,2
II. allg. 242° 2°	
I	199,6
II	198,3 199,87 -24
III	198,2 199,00 -24
IV	197,6 197,63 -500
V	197,1 197,02 -513

1. ábra. Adatlap Eötvös hagyatékából

Nagy műve, *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (A kontinensek és az óceánok eredete) címmel, 1912-ben jelent meg. A harmadik kiadás 1922-ben látott napvilágot, amelyet sok nyelvre lefordítottak. Wegenernek e művét tekintik a lemeztektonika alapkövének.

Wegener ötletét az akkori szakemberek elutasították, mondván, hogy nem létezik olyan erő, amely a kontinenseket „feldarabolná”, továbbá olyanról sem tudnak, amely „szállítaná” őket. Nem mellékesen meg

kell említeni, hogy Wegener végzettségét tekintve sem volt geológus. Talán ez akadályozta a szakembereket abban, hogy elfogadják a meteorológus által ismertett elméletet.

A német tudós elképzelése számos kérdést hagyott nyitva. Ezek közül az egyik legfontosabb az elmélet bizonyítása. Nem tudta ugyanis semmilyen természeti erőhöz kötni a kontinensek „szétúszását”. Erről az oldalról érték a legsúlyosabb támadások. Úgy képzelte, hogy a kontinensek valamely sűrűbb anyag felszínén úsznak (ma már tudjuk, hogy a kontinensek az óceánokkal egyetemben a litoszféralemezekkel mozognak az asztenoszférán).

Ugyanebben az évben, 1912-ben Wegeneről függetlenül Eötvös Loránd is előállt egy hasonló elképzeléssel, s elméletben levezette, hogy bizonyos körülmények között a kontinensek a sarkok felől az Egyenlítő irányába elmozdulnak. Ez volt az Eötvös által felfedezett, de Wladimir Köppen 1921-ben kiadott, *„Ursachen und Wirkungen der Kontinentverschiebungen und Polwanderungen”* című művében leírt „sarki taszítóerő”.

E felfedezés kapóra jött volna Wegenernek, hogy képes legyen magyarázatot adni elméletére, ő azonban egy másik erőt tételezett fel, amelynek hatására a kontinensek keletről nyugati irányba sodródhatnak. Ezt az erőt Wegener a nyugati irányba való sodródás miatt „Westdriftnek” nevezte el.

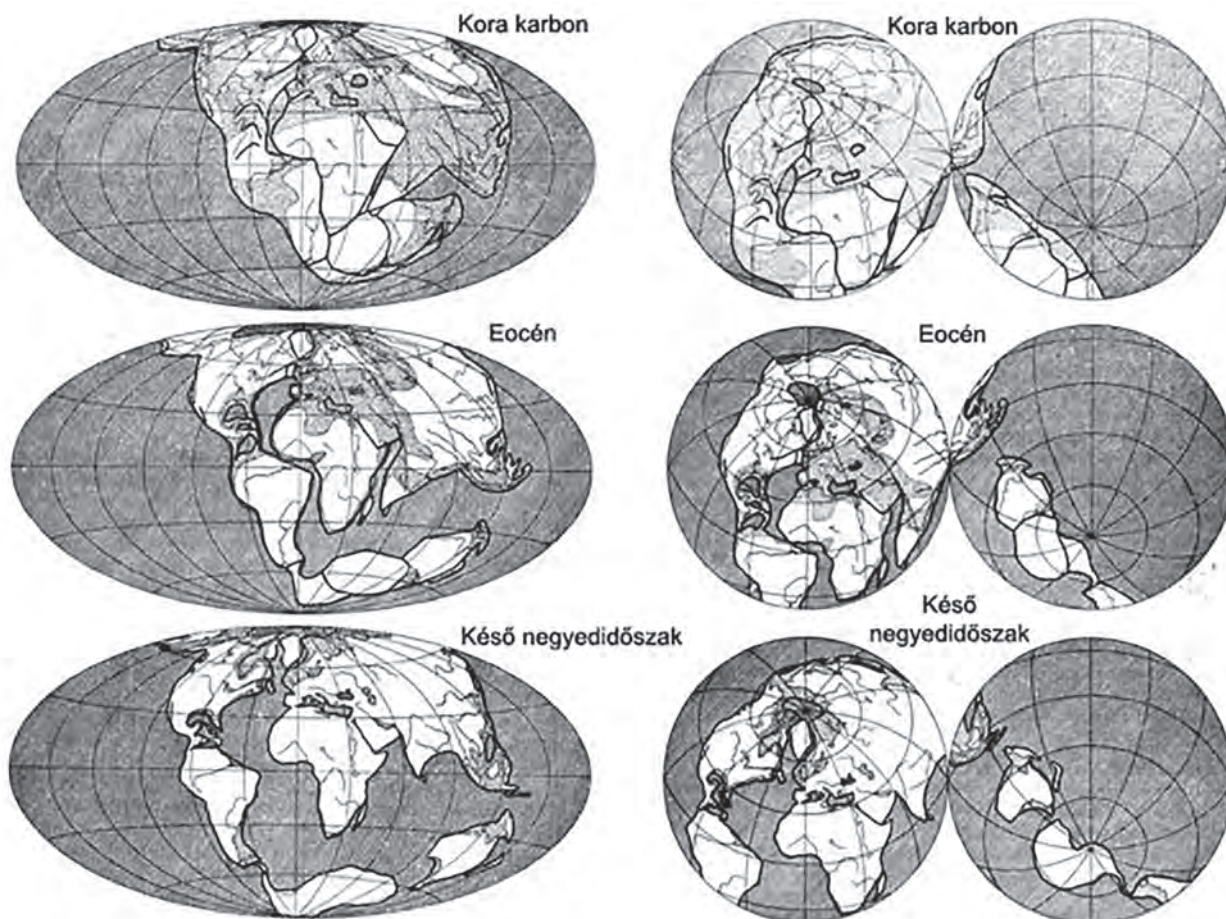
Számos korabeli kutató – többek között Jeffreys és a híres szovjet geográfus, Berg (1953) is – kijelentette, hogy az Eötvös-elmélet alátámasztotta volna a német

2. ábra. Alfred Wegener



3. ábra. Wladimir Köppen





4. ábra. Wegener elmélete a K-Ny-i irányú kontinensvándorlásról (Wegener, 1915)

tudós elméletét. Jeffreys (1924) geofizikus a következőket állapította meg: „*Semmiféle fizikai bizonyíték sem erősíti meg Wegener véleményét a világrészek vízszintes elúszásáról*”. Az ő és a többi geológus véleményével élve, a geofizika nem ismer olyan erőket, amelyek a szárazulatok ilyen természetű helyváltoztatását képesek volnának előidézni. A legnagyobb ismert vízszintes irányban működő erő legfeljebb arra volna képes, hogy a világrészeket az Egyenlítő irányába tolja, vagyis a kontinentális tömegeket, széles öv formájában az Egyenlítő köré tömörítse. A Jeffreys által ismertetett tények így ellene szóltak Wegenernek. A német tudós elmélete olyan anyagot tulajdonít a kontinentális tömböknek, amelyek csekély tapadóképességgel bírnak, és a Föld tengerjárásával szemben úgy viselkednek, mint a cseppfolyós test. E szerint – Jeffreys véleményével élve – nem az óceánokban állna be az apály és a dagály, hanem a magmában. Eszme-futtatása szerint már a tengerjárás is képes lenne elszakítani Észak-Amerikát Európától, erre azonban  $10^{17}$  évre lenne szükség, ez

pedig olyan hosszú idő, hogy az Univerzum kialakulására sem állt ennyi idő rendelkezésre.

Eötvös Loránd ezt írta az általa felfedezett erőről (Rédey, 1942):

„*A függővonal a meridiánsíkban egy oly görbe vonal, amelyik homorú oldalát a pólus felé fordítja. Az úszó test súlypontja magasabban van, mint a kiszorított folyadék-tömeg súlypontja. Ebből következik, hogy az úszó test két olyan, különböző irányba ható erő hatásának van alávetve, amelyek eredője a pólustól az egyenlítő felé mutat. A kontinenseknél tehát egy hajlamosságnak kellene mutatkoznia arra, hogy azok az egyenlítő felé mozogjanak, amely mozgás azután a szélességnek egy olyan szekuláris változását idézné elő, mint amelyet a pulkovói Csillagvizsgáló Intézetre vonatkozóan gyanítanak.*”

Évtizedek múltak el Wegener-, és Eötvös-elméletei között, egészen addig, amíg 1988-ban egy hazai kutató rá nem mutatott, hogy milyen szoros kapcsolat áll fenn a „sarki taszítóerő” és a Wegener által preferált „Westdrift” között.

## Eötvös-féle taszítóerő

Eötvös Loránd kísérletét Horváth Gábor gyakorlati úton le is tesztelte. Az elméleti teszt során olyan adatokat használt, amelyeket egy Eötvös és Wegener korabeli tudós nem ismerhetett.

A kutató a következő képletből indult ki:

$$S_{max} = \frac{z_o}{R} \times \frac{g_p - g_e}{g_p + g_e}$$

ahol  $z_o$  a kontinentális tábla súlypontjának függőleges távolsága a kontinens által kiszorított földköpenyanyag súlypontjától,  $g_e$  illetve  $g_p$  az Egyenlítőn, illetve a pólusokon lévő gravitációs gyorsulás,  $R$  a Föld sugara.

Horváth G. (1988) szerint e képletet felhasználva és kísérleti úton tesztelve azt kapjuk, hogy egy hosszúkas kontinens a sarki taszítóerőnek köszönhetően az Egyenlítő felé sodródik. Ám a kontinens alacsonyabb földrajzi szélességeire érve olyan forgatónyomaték hat, amely a szárazulatokat K-Ny-i irányba igyekszik beállítani.

Ha visszaemlékszünk Jeffreys és a többi geofizikus véleményére, akkor láthatjuk, hogy ők is az É-D-irányú kontinensmozgásokat, vagyis Eötvös-elméletét részesítették előnyben a Westdrift ellenében. Összességében kijelenthető, hogy Eötvös teóriáját felhasználva Wegener fizikailag megalapozhatta volna kontinensvándorlásról alkotott elméletét.

Az elképzelés kezdeti elvetését követően egyre többen kezdték el vizsgálták (Jardetzky, W., 1948), hogy vajon a tudós nem tévedett-e. Közülük leginkább Milutin Milanković emelhető ki.

## Milanković és a „sarki taszítóerő”

A szerb tudós nevéhez köthető az utolsó jégkorszak csillagászati okainak leírása. Szerinte a csillagászati ritmusszabályozásnak három összetevője van.

Az első a Föld forgástengelyének hajlásszöge. A forgástengely iránya jelenleg  $23,5^\circ$ -os szöget zár be a Föld keringési síkjára állított merőlegessel. Ez a szög 41 000 éves periódussal ingadozik a  $21,5^\circ$  és  $24,5^\circ$  szélességi fokok között. Minél nagyobb a hajlásszög, annál szélsőségesebbek az évszakok mindkét félgömbön: a nyarak melegebbek, a telek pedig hidegebbek.

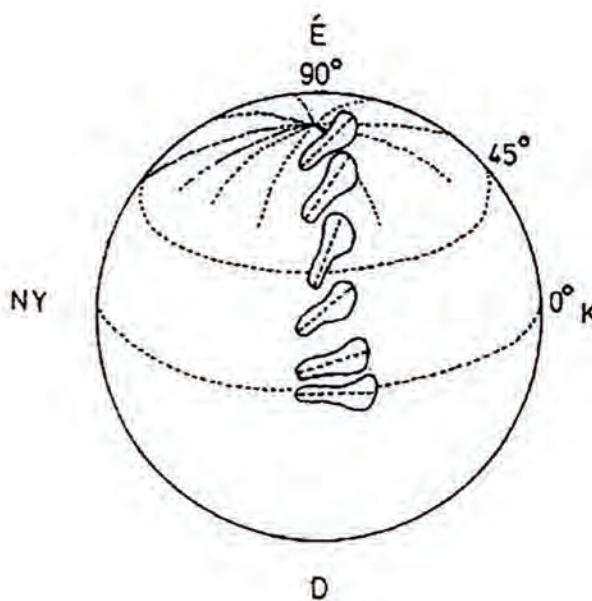
A második összetevő a Föld pályájának alakja, amely százezer éves periódussal változik. Egyszer megnyúlik, és nagy excentricitású ellipszis alakot ölt, majd ismét szinte kör alakúvá válik. Ha nő az excentricitás, akkor nő a különbség is a Nap és Föld legkisebb és legnagyobb távolsága között. Jelenleg a Földön a déli félgömb telén távolodik el legjobban a Naptól, ennek következtében ott a tél valamivel hidegebb, a nyár viszont valamivel melegebb, mint az északi félgömbön.

A harmadik összetevő a precesszió, vagyis a földtengelynek a Nap és a Hold forgatónyomatékának hatására bekövetkező elmozdulása. A forgástengely 23 000 év alatt ír le egy teljes kört a csillagokhoz képest. A precesszió határozza meg, hogy egy adott félgömbön a nyár a földpálya napközeli vagy naptávoli pontjára esik-e, vagyis, hogy a Föld éghajlatának a tengelyferdesége miatti évszakosságát erősíti vagy gyengíti-e a pálya excentricitása. Ha az évszakok váltakozásának e két meghatározója (a tengelyferdeség és a pályaeccentricitás) az egyik félgömbön szinkronban van egymással, akkor az ellentétes félgömbön aszinkronban kell lennie. Tehát a két pólus térségére vetítve az eljegesedési ciklusok ellentétesek.

A szerb tudós megvizsgálta, hogy az északi póluson miért nincs összefüggő szárazulat, mint például a déli féltekén, az Antarktisz esetében. Az Eötvös Loránd által felfedezett sarki taszítóerőt felhasználva, kiszámolta, hogy Eurázsia vagy Észak-Amerika mekkora erővel mozdult el az Egyenlítő irányába (1933). Milanković az iménti képletet felhasználva az alábbi értékeket kapta:

$$\begin{aligned} z_o &= 2,5 \text{ km,} \\ R &= 6371 \text{ km,} \\ g_e &= 9,78046 \text{ ms}^{-2} \\ g_p &= 9,83232 \text{ ms}^{-2}. \end{aligned}$$

5. ábra. Horváth Gábor modellkísérletén (1988) az Eötvös-féle sarki taszítóerő hatására egy, a pólustól az Egyenlítő irányába húzódó mikrokontinens a fellépő forgatónyomaték miatt K-Ny-i irányba áll be





6. ábra. Milutin Milanković

Így a sarki taszítóerő ( $S_{\max}$ )  $1/241000$  (alapjában véve a sarki erő rendkívül kicsi a nehézségi erőhöz képest). Eredményként azt kapta, hogy 300 millió évvel ezelőtt az Északi-sarki Amerika legészakibb pontjáról áthelyeződött a szibériai Pechora folyó torkolatához ( $65^{\circ} 16' \text{ É}, 49^{\circ} 34' \text{ K}$ ).

Milanković eredményeit Bilimović megvizsgálta, majd meg is erősítette ezeket, ám csak a későbbi kutatások mutatták meg Milanković számításainak hibáját (Prey, 1940).

### A kontinensvándorlás fizikája

Azt az eredményt kapta, hogy az Eötvös-féle sarki taszítóerő (ami lényegében nem más, mint a Föld forgásából eredő centrifugális erőnek az Egyenlítő felé mutató, a földfelszínnel párhuzamos, azaz vízszintes komponense, ha a Földet gömb alakúnak tekintjük) – és az általa keltett Coriolis-erő egy nagyon csekély erőhatást indukál, ami a kontinentális táblákat az Egyenlítő felé lökdösi, valamint K-Ny-i irányba (ez magyarázatot adna Wegener „drift” elméletére is), felhasználásával pedig sikerült volna választ kapni a Gondwana és a Laurázsia, majd a Pangea szuperkontinens kialakulására.

A geológia fejlődése révén ma már tudjuk, valójában nincs jelentősége az Eötvös-féle sarki taszítóerőnek, hiszen a kontinensek nem önmagukban, hanem a litoszféralemezekkel együtt mozognak e taszítóerőnél sokkal nagyobb erőt képviselő asztenozsférikus mélyáramlások hatására. A litoszféralemezek teljesen lefedik a Föld felszínét, ezért lehetetlen lenne az Egyenlítő felé való mozgás.

HÁGEN ANDRÁS

### IRODALOM

- Balkay B. 1979: Egyed László és a tektonika. – Földtani tudománytörténeti évkönyv 8. sz. pp. 165-181.
- Berg, I. Sz. 1953: Éghajlat és élet. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 528 p.
- Bilimović, A. 1934: Sur la rotation de la Terre qui est assimilée à un système avec six degrés de liberté. Glas de l'Ac. R. Serbe, 80, 155. Beograd 1934 u. a. Abh.
- Dobosi Z. 1973: Eljegesedések kifejlődése az új globális tektonika alapján. – Geonómia és bányászat, 6, 1-4.
- Egyed L. 1956: A Föld méreteinek változása a paleogeográfiai adatok alapján. – Földtani Közöny, 86, pp. 120-126.
- Egyed L. 1959: Zsugorodás, tágulás, vagy magmaáramlások? – Földrajzi Közlemények, 1959/1, 1-20.
- Eötvös, R. v. 1913: Verh. d. 17. Allg. Konf. d. Intern. Erdmessung, I. Teil.
- Horváth G. 1988: Az Eötvös-féle „sarki taszítóerő” a wgeneri kontinensvándorlás tükrében. – Fizikai Szemle. 31-34.
- Jardetzky, W. 1948: Bewegungsmechanismus der Erdküste. – Denkschriften Öst. Akademie d. Wiss. Bd 108. 1-38.
- Jeffreys, H. 1924: The Earth, Its Origin, History and Physical Constitution. – Cambridge University Press.
- Köppen, W. 1921: Ursachen und Wirkungen der Kontinentverschiebungen und Polwanderungen. – Petermanns Geograph. Mitteilungen 67: 145-149, 191-194.
- Milanković, M. 1933: Säkulare Polverlagerungen. – Handbuch der Geophysik, Bd 1, Lieferung 2, Abschnitt VII. Hrsg von Beno Gutenberg, Berlin, Gebrüder Borntraeger, 438.
- Prey, A. 1940: Über Polschwankungen und Polwanderungen. – Gerl. B. 56. 155.
- Szádeczky-Kardoss E. 1973: Szublitörális gőzpáramagmatizmus és klímaingadozás. – Geonómia és bányászat, 6, 163-169.
- Wegener, A. 1915: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. – Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig. 381.

### E SZÁMUNK SZERZŐI

**ABONYI IVÁN:** a fizikai tudományok kandidátusa, Budapest;  
**HÁGEN ANDRÁS:** földrajz-történelem tanár, Arany János Általános Iskola, Felsőszentiván; **GARAI IMRE:** egyetemi adjunktus, ELTE Neveléstudományi Intézet, Budapest;  
**HÄRTLEIN KÁROLY:** mesteroktató, BME Fizikai Intézet, Budapest;  
**HORVÁTH LÁSZLÓ:** klasszika-filológus, habilitált egyetemi docens, ELTE Görög Nyelvi és Irodalmi Tanszék, az Eötvös Collegium igazgatója, Budapest;  
**KISZELY MÁRTA:** Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Geodéziai és Geofizikai Intézet, Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium; **MARÓTH MIKLÓS:** akadémikus, az Eötvös Loránd Kutatási Hálózat Irányító Testületének elnöke; **MOLNÁR ANDREA:** magyar-történelem-latin szakos középiskolai tanár, tudományos titkár, MTA Könyvtár és Információs Központ, Budapest; **VARGA PÉTER:** Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Geodéziai és Geofizikai Intézet, Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium; **VÖLGYESI LAJOS:** akadémikus, egyetemi tanár, BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, Budapest; **VURAY GYÖRGY:** Magyar Turista Egyesület.

### KÖVETKEZŐ SZÁMUNKBÓL

**HOLLÓSI FERENC** – Az Év ásványa, a galenit  
**KERESZTY ZSOLT** – Minta az ősi Naprendszerből  
**SCHEURING ISTVÁN** – A zene szeretetének evolúciós háttere