

# A PALEOMÁGNESES (FÖLDMÁGNESES) IDŐSKÁLA

Márton Péter

az MTA levelező tagja, egyetemi tanár  
ELTE Geofizikai Tanszék – martonp@ludens.elte.hu

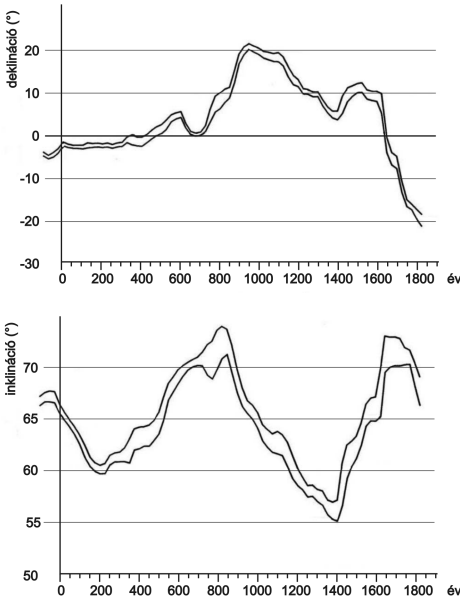
A paleomágneses adatok szerint a Föld belső eredetű mágneses tere legalább 3 milliárd év óta létezik. Eredete és időbeli változásai a Föld jól vezető külső magjában zajló magneto-hidrodinamikai regenerációs folyamatoknak köszönhető. Az alábbiak áttekintést nyújtanak az évszázados léptékű „kis amplitúdójú” variációkról és a hosszabb időközökben ugrásszerűen bekövetkező polaritásállapot-változásokról.

Stacionárius állapotában a földi mágneses téra felszínen centrikus dipól terével közelíthető, amelynek pólusai a földrajzi sarkok „könyékén” találhatók. A tér azonban magasabb rendű, ún. multipólus összetevőket is tartalmaz, és noha utóbbiak részaránya mindössze húszszázaléknyi, a tér pillanatnyi szerkezetét jelentősen módosítják. Elég hosszú időre (~10<sup>5</sup> év) átlagolva viszont a multipól-komponensek eltűnnek, az átlagos dipól pedig pontosan axiálisnak mutatkozik. Ezen átlagos dipólus normális (a maival egyező) vagy fordított (a maival ellentétes) polaritású lehet. A tér mindaddig stacionárius állapotban van, amíg időbeli változásai (oszillációi) nem vezetnek térfordulásra, azaz a dipólus polaritásának ellentétes értelművé válására.

A stacionárius földi mágneses tér időbeli, ún. évszázados változásai miatt a tér iránya néhány fok, intenzitása pedig több ezer nT amplitúdóval oszcillálhat, száztól sok ezer évig terjedő periódusokkal. A múltbeli változások megismerése azért lehetséges, mert bizonyos természeti (illetve ember által ké-

sztett) objektumok keletkezésük (használatuk) folyamán a helyi földmágneses tér erősségével arányos nagyságú és irányával párhuzamos mágnesezettségre tesznek szert, amelyet az idők folyamán többé-kevésbé változatlanul meg is őriznek (stabil remanencia). Az ilyen objektumok remanenciájának „leméréseivel”, amely a paleomágneses kutatások feladata, megismerhető a földi mágneses tér története. Maximum néhány ezer év távlatában a mérési anyag régészeti ásatások nyomán válik elérhetővé (innen az alábbi archeomágneses jelző), az idő meghatározására pedig a paleomágneses mérésektől független (<sup>14</sup>C, termolumineszcenciás, régészeti) módszerek szolgálnak. Minthogy az évszázados változás helyfüggő (ebben a felbontásban kb. 1000 × 1000 kilométeres területen belül tekinthető azonosnak), a Föld különböző régióira többé-kevésbé különböző évszázados változási, azaz *archeomágneses időskála* állítható fel. Példaként a franciaországi archeomágneses mérések eredményeiből megszerkesztett, az elmúlt kétezer évre vonatkozó mágneses deklináció és inklinációmenetek szolgálnak (*1. ábra*).

Sajnálatos, hogy világszerte viszonylag kevés hasonló hosszúságú és részletességű archeomágneses időskála áll rendelkezésre, pedig az ilyen skálák, eltekintve a földmágneses tér dinamikájára vonatkozó tartalmuktól, a hazai gyakorlat szerint jól használhatók a helyi, „ismeretlen korú” régészeti objektumok keltezésére is.

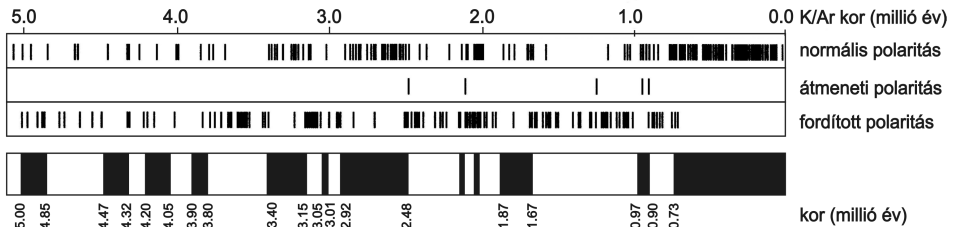


1. ábra • A mágneses deklináció és inklináció variációja Franciaországban az elmúlt kétezer évben (Bucur, 1994). A görbék a 95%-os konfidenciasáv határai.

A földmágneses tér időbeli változásairól a távolabbi múltban általában nem lehetséges olyan részletes képet alkotni, mint a közeli múltban. Különbőféle földtani korú kőzeteken végzett paleomágneses mérések eredményeiben ugyanis az évszázados változás nagyrészt vagy teljesen kiátlagolódik, vagyis egy-egy eredmény (centrikus) axiális dipóltérből vett

mintának tekinthető, amely többek között egyértelműen tükrözi az egykori (dipól) tér polaritását. Az idő meghatározására mind abszolút (radiometrikus), mind relatív (sztratiográfiai) módszerek alkalmazhatók. A paleomágneses módszerrel kimért földmágneses polaritások időben elrendezett sorozata a *földmágneses polaritás-idő skála*, amelynek első, véglegesnek tekinthető szegmensét a paleomágneses és K/Ar keltezési technika kontinentális vulkáni kőzetekre történő együttes alkalmazásával fejlesztették ki (2. ábra).

Az elmúlt ötmillió évben (azaz a plio-pleisztocén folyamán) átlagosan 0,25 millió évenként volt térfordulás, amely viszonylag rövid (ezer év nagyságrendű) idő alatt lezajló esemény volt, ugyanis átmeneti polaritást a feltüntetett 354 meghatározásnak mindössze 1,5 százalékában regisztráltak. A térfordulások időbeli eloszlása véletlen jellegű, azaz egy-egy térfordulás bekövetkezése nem jósolható meg. Az alkalmazások (magnetosztratiográfia) szempontjából fontos, hogy négy-öt egymást követő polaritásintervallum mintázata időben nem ismétlődik, vagyis az ilyen ujjlenyomatszerű polaritásmintázatok korrelációs fogózkodóként szolgálhatnak. Említésre méltó, hogy míg a paleomágneses kutatások nyomán már az 1950-es években bebizonyosodott, hogy a földmágneses tér polaritása időről időre megfordul, a térfor-



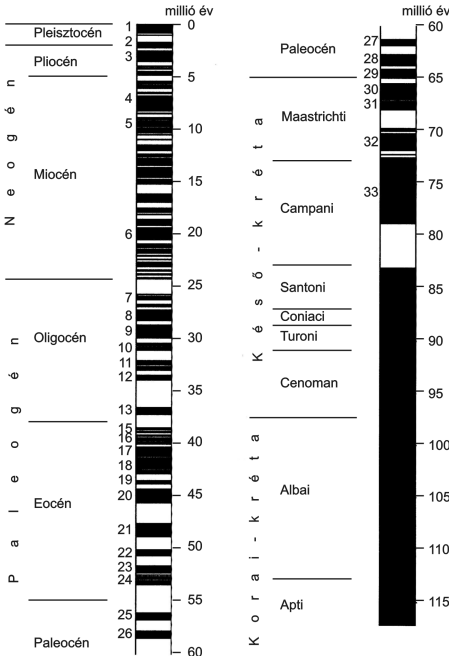
2. ábra • Földmágneses polaritás-idő skála a plio-pleisztocénre (Mankinen – Dalrymple, 1979). A bal oldali három oszlopban minden egyes vízszintes vonaldarab egy-egy K/Ar módszerrel keltezett paleomágneses polaritás meghatározásának felel meg. A jobb oldali oszlop a polaritás-idő skála (normál polaritás: fekete, fordított polaritás: fehér), amelynek jobb oldalán a térfordulások kora áll millió években.

dulás első, a dinamóelméletre alapozott numerikus szimulációjára egészen 1995-ig várni kellett. A térfordulás gyors lefolyását a numerikus modellezés is igazolta (Glatzmaier–Roberts, 1995, továbbá <http://www.psc.edu/science/glatzmaier.html>).

A földmágneses polaritás-idő skála kiterjesztésére a távolabbi földtani múltra a fenti technika nem volt alkalmazható, mert egyrészt ötmillió éven túl a K/Ar keltezés hibája eléri, majd fokozatosan meghaladja az azonos polaritású intervallumok átlagos hosszát, másrészt a vulkáni tevékenység megszakított jellegéből kifolyólag nem minden korból állnak rendelkezésre kontinentális vulkáni kőzetek. A skála kiterjesztéséhez szükséges technika alapját, amely a tengeri mágneses anomáliák értelmezésén nyugszik, maga a Föld szolgáltatva a vulkanikus eredetű óceáni kéreg folytonos képződése, a *sea floor spreading* jelenség révén. Történetileg először azt ismerték fel, hogy a közép-óceáni hátságokat harántoló mágneses szelvények anomáliarendszere szimmetrikus a hátság tengelyére, amely felett az anomália (közepes és nagy szélességeken) pozitív, és amelyet a hátságtól távolodva negatív, pozitív stb., azaz váltakozó értelmű anomáliák követnek. Minthogy a hasonló orientációjú szelvényeken regisztrált anomáliarendszer a fentivel azonosnak mutatkozott, kirajzolódott a tengeri anomáliáknak a hátság lefutásával párhuzamos sávos elrendeződése. A sávos anomáliák értelmezésére vonatkozó lehetőségek közül az bizonyult helytállóknak, amely az anomáliák forrását az óceáni kéreg mágnesezettségének polaritásával hozta kapcsolatba (pozitív anomália – normál mágnesezettségű kéreg felett, negatív anomália – fordított mágnesezettségű kéreg felett), és a váltakozó polaritású mágnesezettségű kéregblokkok képződését a *sea floor spreading*gel magyarázta (Vine – Matthews, 1963). Az eredetileg hipotézisként megfogalmazott elmélet szerint a kö-

zép-óceáni hátság (növekvő lemezhatár) mentén képződő (lehűlő és a peremekhez hegedő) vulkáni kéreg az aktuális polaritású földmágneses térben mágneseződik. Az egyszer mágnesezett kéreg azonban a húzóerők következtében a hátság mindkét oldalán attól távolodni fog, és helyébe a hátság vonalában folytonosan feltörő láva kerül, amelynek sorsa kéreggé szilárdulva és az aktuális polaritású térben mágneseződve, azonos lesz az elődjével.

A tengeri mágneses anomáliák fenti értelmezésén nyugvó első földmágneses polaritás-idő skála megalkotásakor (Heirtzler et al., 1968) a Dél-Atlanti-hátság két oldalán mért sávos anomáliákat használták fel. Kiindulva a hátság felett mért központi (pozitív) anomáliából, az első néhány tengeri anomáliát illesztették a fenti 2. *ábrának* akkor ismert, kevésbé részletes és még csak 3,35 millió évig visszamenő változatának megfelelő skálához. Ezzel meghatározták az óceáni aljzat (kéreg) növekedésének átlagos sebességét az elmúlt 3,35 millió évre nézve, amely az adott területen 9 cm/évnak adódott. Egyéb ismeret hiányában ezzel a sebességgel (illetve ennek felével) számolva helyezték el időben az idősebb anomáliákat létrehozó, váltakozó mágneses polaritású kéregblokkokat, amellyel földmágneses polaritás-idő skálát mintegy nyolcvanmillió évig (felső kréta, kampániai emelet) tudták kiterjeszteni. A pontosítást célzó későbbi vizsgálatok szerint (a DSDP, majd az azt követő ODP keretében), a Heirtzler-féle skála várakozáson felül jónak bizonyult; hetvenmillió évnél mindössze ötmillió évvel fiatalabb. Az első követően, főleg az említett két programnak és az újabb mágneses méréseknek köszönhetően, több biosztratigráfiai úton kalibrált polaritás-idő skála látott napvilágot. A 3. *ábrán* reprodukált polaritás-idő skála (Cox, 1982) egy nagyobb földtani időskála-program eredményeként jött létre. A forgalomban lévő kainozoós-felső kréta

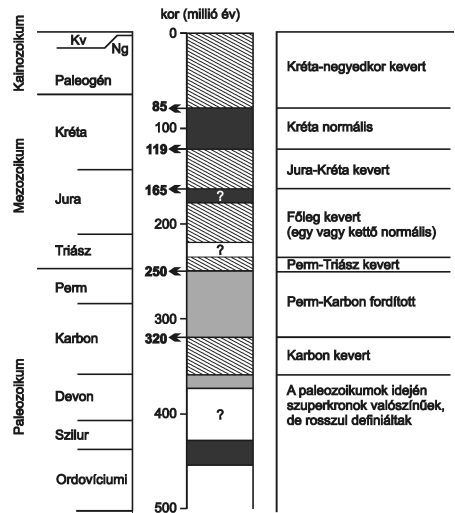


3. ábra • A 118 millió évig (kora kréta, apti emelet) kiterjesztett földmágneses polaritás-idő skála (Cox, 1982). Normál polaritás: fekete, fordított polaritás: fehér. A számozás az oszlop jobb oldalán az abszolút kor millió években, az oszlop bal oldalán pedig a prominens tengeri (pozitív) anomáliák, azaz a kronok sorszáma.

földmágneses polaritás-idő skálák alig különböznek egymástól. A kainozoikumban a polaritás *kronok*(a prominens pozitív tengeri anomáliák)  $\pm 2$  millió év pontossággal ismertek, a relatív komeghatározások pontossága pedig egy-egy skálán belül megközelíti a  $10^4$  évet. A kainozoikum folyamán a normális és fordított polaritású állapotok összideje csaknem egyenlő, egyik polaritásállapot sincs túlsúlyban. A térfordulások azonban egyre gyakoribbá válnak: míg a kainozoikum elején átlagosan egymillió évenként, addig a plio-pleisztocénben – amint láttuk – 0,25 millió évenként volt térfordulás. A skálák feltűnő jegye a 3. ábrán 118 és 83 millió év közötti normális polaritású intervallum, az. ún. *kréta szuperkron*, amelynek idején (35 millió évig)

a földmágneses tér polaritása egyszer sem változott meg. Tengeri mágneses anomáliákat idősebb óceáni kéreg felett is mértek („M anomáliák”). Ezek értelmezésével és biosztratigráfiai kalibrációjával a földmágneses polaritás-idő skála kiterjesztése mintegy 150 millió évig visszamenőleg (késő jura, oxfordi emelet) volt lehetséges. Ebben az időintervallumban (középső mezozoikum) azonban a polaritás kronok abszolút kora átlagosan csak  $\pm 5$  millió év pontossággal ismert. A pontosítás folyamatosan történik egyrészt szárazföldi paleomágneses mérések bevonásával, másrészt a biosztratigráfiai és abszolút kor kalibrációk mennyiségének és minőségének növelésével.

A földmágneses polaritás-idő skála fiatal (plio-pleisztocén) szakasza kizárólag a szárazföldi vulkáni kőzeteken mért paleomágneses adatok és abszolút korok felhasználásával készült el. Noha a skála korábbi (kainozoós-középső mezozoós) szegmensének megszerkesztésében a tengeri mágneses anomáliáknak volt meghatározó szerepük,



4. ábra • A dominánsan normál (fekete), a dominánsan fordított (szürke) és a kevert (ferdén vonalazott) polaritás állapotok eloszlása a földtörténet folyamán.

a szárazföldi vulkáni kőzeteken végzett paleomágneses mérések ehhez fontos kalibrációs pontokat szolgáltatottak, a hosszú üledékes sorozatokon történt mérések pedig lehetővé tették egyrészt az óceáni skála bizonyos szakaszainak ellenőrzését, másrészt az ún. *magnetosztatigráfiai korrelációt*, azaz a mért polaritásképletek elhelyezését (keltezését) a földmágneses polaritás-idő skálán. Minthogy juránál idősebb óceáni kéreg már nincs a Földön, a földmágneses polaritás-idő skála idősebb szakaszaira vonatkozó információ kizárólag szárazföldi kőzetek paleomágneses méréseivel szerezhető meg. Ilyen mérések mintegy negyven éve folynak világszerte, azonban – tekintettel a vizsgálandó idő hosszúságára, valamint a geológiai rekord hiányosságaira – a skála középső mezozoikumnál idősebb szakaszára vonatkozó ismereteink még ma sem

teljesek, illetve meglehetősen hiányosak. A 4. ábrán látható kép összefoglalóan mutatja be a földmágneses tér polaritáslapjait a földtörténet folyamán. A fent már említett kréta szuperkron mellett a perm-karbonban is volt egy mintegy hetvenmillió évig tartó, ezúttal azonban fordított polaritású szuperkron, és további szuperkronok is valószínűsíthetők az idősebb paleozoikum és proterozoikum folyamán. A földtani idő nagyobb részében viszont a normális és fordított polaritású térállapotok hosszúsága kb. egyenlő volt (kevert polaritású intervallumok).

Kulcsszavak: *K/Ar keltezés, archeomágneses és paleomágneses mérés, polaritás-idő skála, földmágneses dinamó, tengeri mágneses anomáliák, polaritáskronok és szuperkronok*

#### IRODALOM

- Bucur, I. (1994): The Direction of the Terrestrial Magnetic Field in France, During the Last 21 Centuries. Recent progress. *Phys. Earth Planet. Inter.* **87**, 95-109
- Cox, A. (1982): Magnetostratigraphic Time Scale in: Harland, W. et al. (eds.): *A Geologic Time Scale*. Cambridge University Press, Cambridge, 63-84
- Glatzmaier, G. A. – Roberts, H. (1995): A Three-Dimensional Self-Consistent Computer Simulation of a Geomagnetic Field Reversal. *Nature*. **377**, 203-209

- Heirtzler, R. J. – Dickson, G. O. – Herron, E. M. – Pitman, III, W. C. – Le Pichon, X. (1968): Marine Magnetic Anomalies, Geomagnetic Field Reversals, and Motions of the Ocean Floor and Continents. *Journal of Geophysical Research*. *J. Geophys. Res.* **73**, 2119-2136
- Mankinen, E. A. – Dalrymple, G. B. (1979): Revised Geomagnetic Polarity Time Scale for the Interval 0-5 M. Y B. P. *J. Geophys. Res.* **84**, 615-626
- Vine, F. J. – Matthews, D. H. (1963): Magnetic Anomalies over Ocean Ridges. *Nature*. **199**, 947-949

