

A Balaton üledékeinek paleomágneses mérése¹

MÁRTON PÉTER²

A Balaton iszapjából vett két fúrómag mágneses tulajdonságait vizsgáltuk abból a szempontból, hogy az iszap remanenciája felhasználható-e a helyi földmágneses térirány holocén folyamán bekövetkezett változásainak nyomon követésére. A remanenciát hordozó ásványokat mágneses ásványtani módszerekkel azonosítottuk. A földmágnesség irányító hatására létrejött remanencia komponenseket váltóterű lemágnesezéssel előállított lemágnesezési görbék analízisével határoztuk meg. Azt találtuk, hogy — noha ezeknek a komponensek az átlag-irányai statisztikusan megegyeznek a helyi földmágneses tér holocénre vonatkozó átlagirányával — a finomabb részletek, vagyis a térirány időbeli változásai, az ún. évszázados változás az individuális irányok sorozatából nem ismerhető fel.

P. MÁRTON: Palaeomagnetism of the sediments of Lake Balaton

We tested the remanence of two short sediment cores of Holocene age from Lake Balaton for the secular variation of the geomagnetic field. IRM runs and S-ratio values point to a ferrimagnetic phase (magnetite, maghemite) as the dominant magnetic mineral present in the sediment. On the Wohlfarth–Cisowski test the behaviour is interacting single domain but there is an abundance of superparamagnetic particles as well as shown by the high degree of viscosity on AF-demagnetisation. Combined with linearity analysis the latter was applied to separate and identify those remanence components which were thought to have been imprinted by the geomagnetic field. After disposing of the severly outlying remanence directions, the mean direction in both cores agrees well with the local direction of the axial dipole field but the individual directions do not seem to follow any regular course expected for the secular variation.

Bevezetés

A helyi földmágneses tér időbeli (pontosabban évszázados léptékű) változásainak megismerésére az archeomágneses mérések szolgálnak, legalábbis arra a néhány ezer évre visszamenőleg, amelyekből napvilágra kerül(het)nek emberi kultúrák által hátrahagyott, keltezhető égett, illetve égetett agyag objektumok maradványai. Kissé távolabbi időkre, pl. a holocén egészére vonatkozóan a recens tavi üledékek paleomágneses vizsgálatával kaphatunk adatokat az évszázados mágneses változásra. A tavi paleomágnesség az ún. ülepedési (pontosabban az ülepedés utáni) mágnesezettségen alapszik. Ez a mágnesezettség az iszapban lévő mágneses ásványszemcsékhez kötődik, amelyek az üledékképződés folyamán momentumaikkal a földmágneses tér irányába rendeződve, az üledéknek a földmágnességgel azonos irányú mágnesezettséget kölcsönöznek, amelyet az hosszú időn át megőrizhet (feltéve, hogy a mágneses ásványok a későbbiekben nem alakultak át, és a bezáró üledék a mágnesezettség blokkolódása után zavartalan állapotban maradt). Az elmúlt mintegy harminc évben meglehetősen sok idevágó eredmény született, amelyek egy része magára az évszázados változásra, pl. [CREER 1985; FRANK, SCHWAB, NEGEDANK 2002], más része a tavi környezetre jellemző mágneses és egyéb vastartalmú ásványok keletkezésére és átalakulásaira vonatkozik, pl. [JELINOWSKA, TUCHOLKA, WIECKOWSKI 1997; SPADINI et al. 2003].

A Balaton sekély vízü, időszakos lefolyással bíró tó, messze nem ideális környezet zavartalan üledék felhalmozására. Ugyanakkor az eddig elvégzett közvetlen (fúrások) és közvetett (szeizmikus) vizsgálatok alapján az üledék-

gyűjtőben a holocén folyamán átlagosan mintegy öt méter vastagságú, finomszemű, szeizmikusan vízszintes rétegződéssel jelentkező, makroszkóposan zavartalannak tűnő üledék halmozódott fel, amelynek paleomágneses vizsgálatára most először került sor. Ehhez két fúrómag anyagát használtuk fel. Az egyiket a Balaton Ny-i medencéjében (Balatonlelle-4), a másikat a K-i medencéjében (Szabadi-11) vettük, a BARABÁS, SURÁNYI [2007] hivatkozásban leírt eszközökkel és módon.

Mágneses ásványtani vizsgálatok

A balatoni holocén üledék felfelé növekvő karbonát-tartalmú mésziszap, több-kevesebb finomszemű törmelékes elegyrésszel (aleurolit, homok, agyag) [BARABÁS, SURÁNYI 2007]. Mágneses ásványok törmelékek bemosása által vagy a hulló porból kerülhettek az üledékbe, illetve a tóban a víz–iszap határon jelenleg is élő mágneses baktériumok [PÓSFAL, ARATÓ 2000] által előállított magnetoszómák beépülése útján, valamint új mágneses fázisokat eredményező kémiai folyamatok eredményeképpen.

A Balaton üledékeiben várhatóan előforduló mágneses ásványok a magnetit és annak kis hőmérsékleten oxidált változata, a maghemit. Mindkét ásvány ferrimágneses és mind szuperparamágneses (SP) (szem nagyság < 0,03 μm), mind stabil egyszemű (SSD) (szem nagyság 0,03 – 0,2 μm), mind pedig többszemű (MD) (szem nagyság > 0,2 μm) méretben megjelenhet. Esetenként, alárendelt mennyiségben antiferromágneses hematit és goethit is várható. Az alább részletezett mágneses vizsgálatok célja az üledék mágneses ásványainak megismerése volt.

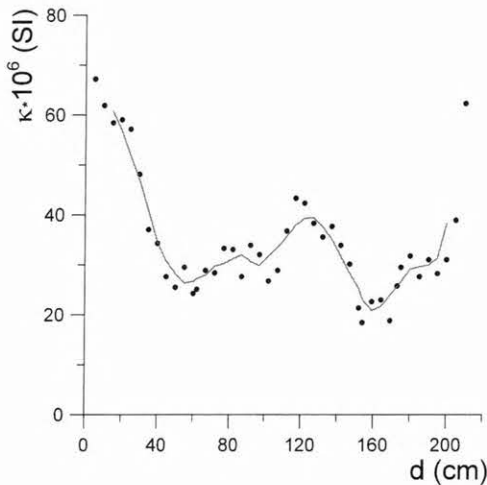
Mágneses szuszceptibilitás

A paleomágneses mérésekre kiválasztott két mag mágneses szuszceptibilitását először a Bartington MS2 mérő-

¹ Beérkezett: 2007. május 22-én

² ELTE Geofizikai Tanszék, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c. E-mail: martonp@ludens.elte.hu

eszközének fúróságok közvetlen mérésére alkalmas MS2C szondájával [DEARING 1999] határoztuk meg, a mag mentén 2 cm-es lépésközzel haladva. A Szabadi-11 mag holocén korú szakaszán mért értékeket az 1. ábra mutatja be.



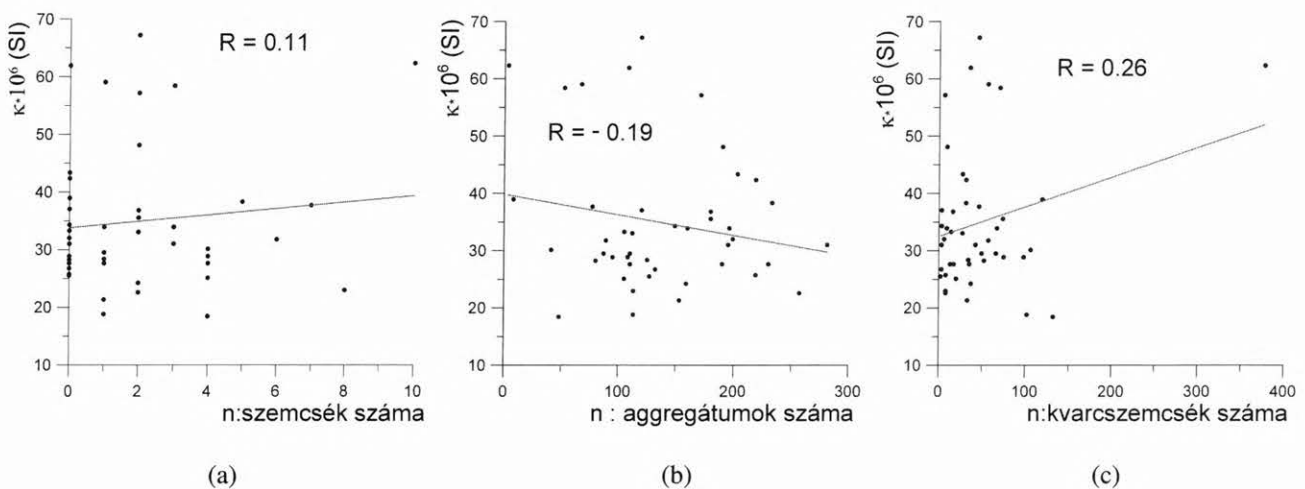
1. ábra. A mágneses szuszeptibilitás (κ) eloszlása a Szabadi-11 mag holocén korú szakaszán a mélység (d) függvényében. Pontok: 5 cm-es átlagértékek, folytonos vonal: 5 pontos futó átlag

Fig. 1. Susceptibility (κ) vs. depth (d) for the Holocene segment of the Szabadi-11 core. Dots: 5 cm averages, continuous line: 5 point running averages

Noha a mért szuszeptibilitásokban általában az üledék összes alkotójának hatása tükröződik, a szuszeptibilitást alapvetően a ferrimágneses ásványok mennyisége szabályozza. Ezen belül is az SP méretű szemcsék szuszeptibilitást alakító hatása kb. kétszerese a nagyobb szemcsék hatásának. Az SP tartományba eső szemcsék szuszeptibilitása frekvenciafüggő, azaz két különböző, egy kisebb és

egy nagyobb frekvencián elvégzett mérés alapján a szuszeptibilitás SP járuléka elvileg meghatározható lenne, ha a kisebb frekvencián mért szuszeptibilitás egy adott küszöb értéket meghaladna, ami a rendelkezésünkre álló Barington MS2B esetén sajnos, nagyobb, mint a holocénkorú üledékekben mérhető szuszeptibilitások. Bár az SP méretű szemcsék részarányát szuszeptibilitás mérésével nem tudtuk megbecsülni, jelenlétük az üledékekben a paleomágneses mérések folyamán szinte mindig tapasztalt mágneses viszkózitásból nyilvánvaló.

Az üledék mágneses ásványainak azonosítása céljából összevetettük a Szabadi-11 mag mikromineralógiai [BARABÁS, SURÁNYI 2007] és mágneses szuszeptibilitás (1. ábra) adatait. A mag holocénkorú szakaszára (0 – 2,1 m) szorítkozva megállapítható, hogy az adott szemmagyság tartományban és vizsgálati eljárás mellett egyetlen mágnesesnek tekinthető ásványt, a vas-oxi-hidroxidot lehetett azonosítani, noha ennek fajlagos szuszeptibilitása nem haladja meg a közönséges paramágneses ásványok (olivin, sziderit, piroxén, amfibol, klorit stb.) szuszeptibilitását [DEARING 1999, Table 2.2]. Valóban, a szuszeptibilitást a vas-oxi-hidroxid tartalom függvényében mutató 2.a ábrából világosan kivehető, hogy a két mennyiség között semmilyen kapcsolat nem létezik. Egyéb, ásványtanilag meghatározott mágneses ásvány híján a mágneses tulajdonságok hordozói az alkalmazott ásványtani módszer felbontóképességén kívül eső, szubmikroszkopikus méretű ferrimágneses ásványok (magnetit, maghemit) lehetnek. Arra nézve, hogy ezek kötődnek-e pl. az ásványtanilag azonosított agyag-aggregátumokhoz, a 2.b ábra alapján negatív válasz adható (hasonló a helyzet a kvarc esetén is, 1. 2.c ábra). Ellenkező esetben ui. a szuszeptibilitásnak szignifikánsan növekednie kellene az aggregátumok (illetve a kvarcsemmcsék) számával, minthogy a szuszeptibilitás lényegében a ferrimágneses ásványtartalomnak a függvénye.

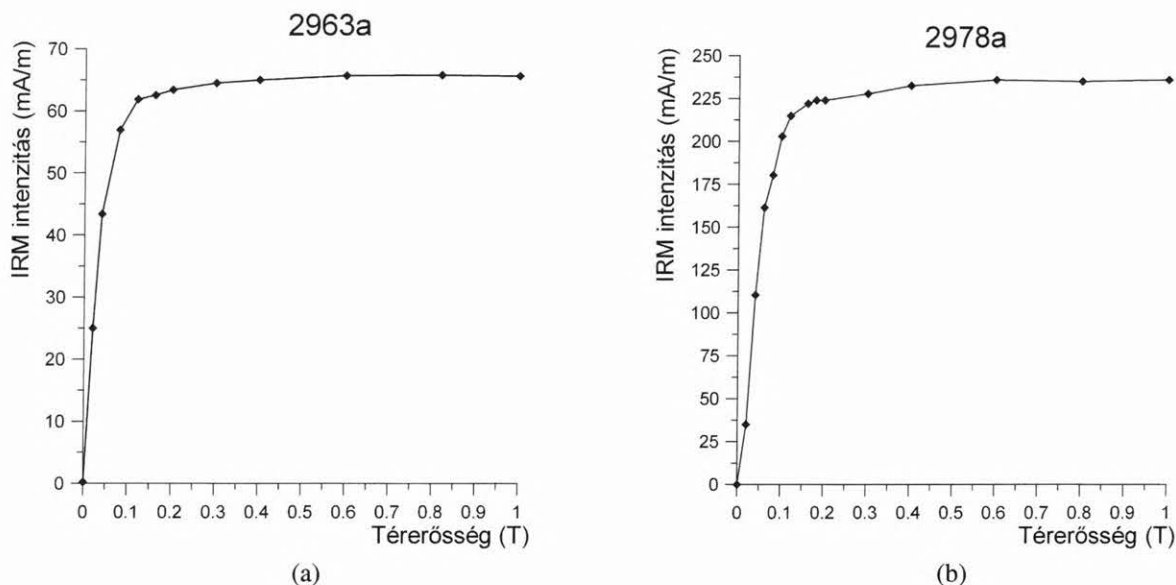


2. ábra. A Szabadi-11 mag holocén korú szakaszán vett mintákban a szuszeptibilitás nem korrelál sem a vas-oxi-hidroxid szemcsék (a), sem az iszapaggregátumok (b), sem a kvarcsemmcsék (c) számával (n). R : korrelációs együttható

Fig. 2. Susceptibility (κ) of the samples from the Holocene segment of the Szabadi-11 core showing practically no correlation with the number of grains of either the iron-oxihydroxide (a), or the mud aggregates (b), or the quartz (c). R : correlation coefficient, n : number of grains of iron-oxi-hydroxide, mud aggregates and quartz, respectively

Kiválasztott mintákon izotermikus felmágnesezést végeztünk, amelynek során a mintát fokozatosan nagyobb intenzitású mágneses térben mágneseztük, és minden felmágnesezés után mértük a felvett izotermikus remanens mágnesezettséget (IRM). A kísérlet a mágnesező tér függvényében egy darabig növekvő IRM-et eredményez, majd egy bizonyos, ásványtól függő felmágnesezés után az IRM telítésbe megy (SIRM). Minthogy az SP fázis nem hordoz remanenciát, az IRM görbe ennek mennyiségétől független. A mérési anyagból kiválasztott két reprezentatív IRM görbét a 3. ábrán mutatjuk be. A 3.a ábra görbéje a

Balatonlelle-4 fúrást reprezentálja. Az IRM kis terekben viszonylag meredeken növekszik, 0,2 T-nál eléri a telítési érték 96% át, ami domináns ferrimágneses fázist indikál, míg a görbe további lassú, mindössze 4%-nyi emelkedése alárendelten jelenlévő antiferromágneses ásványnak, valószínűleg hematitnak köszönhető (ui. a goethit még további emelkedést okozna). A 3.b ábra görbéje a Szabadi-11 fúrómagmintákra jellemző. Az IRM görbe kezdeti lassabb emelkedése (l. még a 4.a és a 4.b ábrákat is) egydomenű ferrimágneses viselkedés, csakúgy mint az, hogy az IRM 0,2 és 0,3 T között telítés közelbe kerül.



3. ábra. Reprezentatív IRM görbék. a: Balatonlelle-4 mag, b: Szabadi-11 mag

Fig. 3. IRM acquisition curves characteristic of the cores of Balatonlelle-4 (a), and Szabadi-11 (b)

Az S-hányados (-IRM₃₀₀/SIRM) mérések (először telítésig mágnesezzük a mintát, SIRM, majd fordított térben 300 mT-n, IRM₃₀₀) mindkét fúrás vizsgált mintáiban 0,96–0,97 értékeket adtak, aláhúzva ezzel a kis koercitív erejű ferrimágneses fázis dominanciáját.

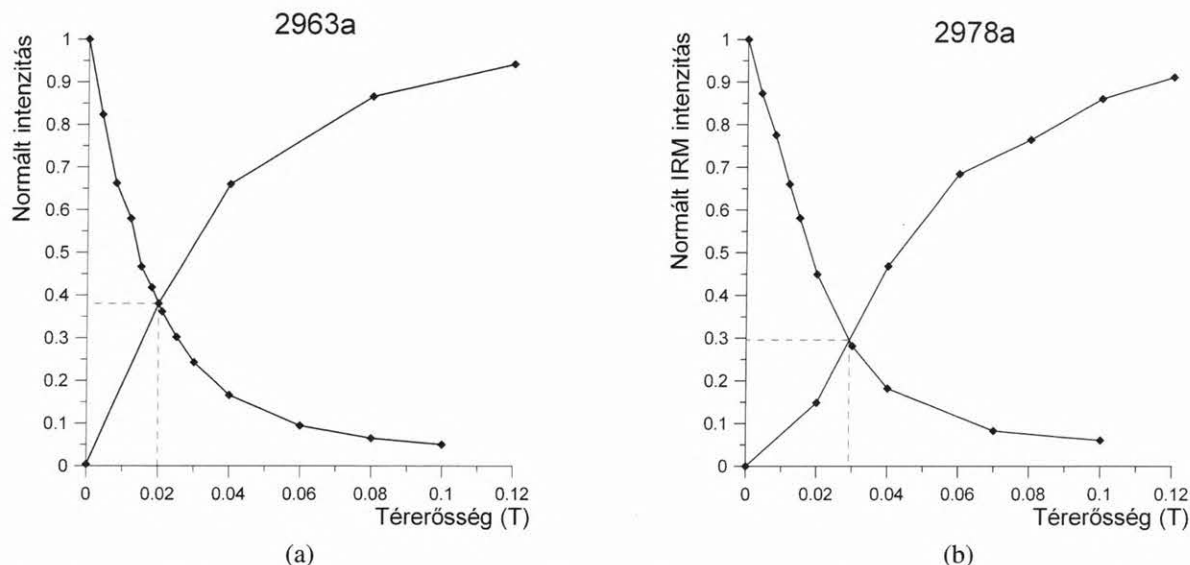
A Wohlfarth–Cisowski teszt az egydomenű ferrimágneses szemcsék közötti kölcsönhatás kimutatására alkalmas. Ennek során az izotermikus telítésig felmágnesezett mintát fokozatosan növekvő csúcsértékű váltakozó mágneses térben lemágnesezzük. A fel- és lemágnesezési görbéket a SIRM-mel normált diagramon ábrázoljuk (4. ábra). Egydomenű kölcsönhatás mentes esetben a fel- és lemágnesezési görbék szimmetrikusak, és a remanens koercitív erő (B_{CR}) értékénél metszik egymást. Kölcsönható egydomenű szemcsék esetén a görbék aszimmetrikussá válnak, a metszés továbbra is jó közelítéssel B_{CR}-nél van. A többdomenű szemcsék, amint láttuk, könnyebben mágneseződnek a kis terekben, és kisebb terekben mennek telítésbe, mint az egydomenűek. A 4.a ábra a Balatonlelle-4 fúrás anyagára jellemző. A vonatkozó diagram az antiferromágneses szemcsék jelenléte által módosított többdomenű viselkedést mutat, így B_{CR} értéke is a többdomenű szemcsékre jellemző 10 mT helyett 20 mT-nak adódott. A 4.b ábra a Szabadi-11 fúrás anyagát reprezentálja. A görbék pontosan megfelelnek az egydomenű, egymással köl-

csönhatásban lévő szemcséket tartalmazó üledéknek. További 11 mintát teszteltünk a mag mentén. Az ordináta metszetek 0,25 és 0,35 közé, az abszcissa metszetek, azaz a közelítő B_{CR} értékek 28 és 37 mT közé estek.

A fenti vizsgálatok szerint a Balatonlelle-4 fúrás üledékének fő remanencia hordozó mágneses ásványa az SSD méretet meghaladó szemmagyságú törmelékes magnetit (maghemit) lehet. A Szabadi-11 fúrással harántolt üledékben talált ásvány szintén magnetit lehet, de ennek a magnetitnek mind a szemmagysága, mind az eredete különbözik az előzőekben leírttól. A szemmagyságra az SSD mérettartomány adódott, az eredetet illetően pedig először bakteriális működésre gondoltunk, hiszen a szemcsék között erős mágneses kölcsönhatás mutatkozik, ami természetes a mágneses baktériumok által „gyártott” magnetitláncok (magnetoszómák), illetve aggregátumok esetében. Tudomásunk szerint azonban az eddig elvégzett egyetlen kísérlet magnetoszómák kimutatására a balatoni üledékből negatív eredménnyel zárult [PÓSFÁI 2006], úgyhogy a mágneses ásványok bakteriális eredetére vonatkozó elképzelést egyelőre fel kell adni. Elképzelhető, hogy ha eredetileg voltak is magnetoszómák az iszapban, azok a változó kémiai környezetben más vastartalmú ásványokkal együtt feloldódhattak és az oldatból többek között új ferrimágneses fázisok is kristályosodhattak, amelyek egyrészt SSD méretű kölcsönható

szemcséket, másrészt ennél kisebb, SP méretű kriptokristályokat eredményeztek (utóbbiak mindkét vizsgált magra jellemzők). Hasonló eredménye (magnetit, maghemit, hematit) lehetett a mészsizsából közvetlenül kicsapódó vaskar-

bonát oxidációjának is. A két fúrás magnetitjei valószínűleg azért különböznek egymástól, mert a K-i medence üledékgyűjtőjének közepére (Szabadi-11 fúrás helye) már nem jutnak el törmelékeny eredetű mágneses ásványok.



4. ábra. Jellemző IRM fel-, és AF-lemágnesezési görbék (Wohlfarth-Cisowski teszt). a: Balatonlelle-4 mag, b: Szabadi-11 mag

Fig. 4. Representative IRM and AF-demagnetisation curves (Wohlfarth-Cisowski test) for the cores of Balatonlelle-4 (a), and Szabadi-11 (b)

Paleomágneses mérések

1 mm falvastagságú, 25 mm átmérőjű és 22 mm magaságú, víztiszta plexiből készített hüvelyeket szúrtunk be a magok hossz tengelyére merőlegesen, átlagosan 5 cm-enként, egy-egy magdarabon belül azonos orientációban. Első kísérletről lévén szó, nem törekedtünk nagyobb mintasűrűsége. Az üledékkel telt hüvelyeket ugyancsak plexiből készült, azonos vastagságú és átmérőjű lapokkal zártuk le, ami biztosította az eredetihez közeli nedves állapotot a mérések idejére.

Az így előkészített minták mágnesezettségét JR-4 típusú magnetométerrel mértük. A kezdeti mágnesezettség leérése után váltakozó terű mágneses tisztítást alkalmaztunk a mágnesezettség analízise céljából. A mágneses tisztítást, a lemágnesező tér amplitúdóját fokozatosan növelve, több lépésben végeztük. Ennek során lehetőleg teljes lemágnesezésre törekedtünk (általában a kezdeti mágnesezettség 90%-ának eltűnéséig folytattuk a lemágnesezést). A mágnesezettség-méréseket jelentősen lelassította a minták mágnesezettségének viszkózus viselkedése (bizonyos mágnesezettségi komponens időbeli lecsengése), ami legtöbbször már a kezdeti mágnesezettség leérésekor és a lemágnesezési lépéseket követően is végig jelentkezett. A viszkozitást az SP mérettartományba eső ferrimágneses szemcsék okozzák, amelyek könnyen mágneseződnek a mindenkori, pillanatnyi mágneses tér irányába, majd (a mérés ideje alatt) nulla térbe kerülve, ezt az ún. viszkózus mágnesezettséget hosszabb-rövidebb idő alatt elvesztik. A mágneses tisztítás végeredménye az ún. lemágnesezési görbe, amelynek analízisével (a lineáris szakaszokhoz tartozó mágnesezettségi irányok meghatározásával), illetve értelmezésével állapítható meg a mért minta „eredeti” mágnesezettsége. A

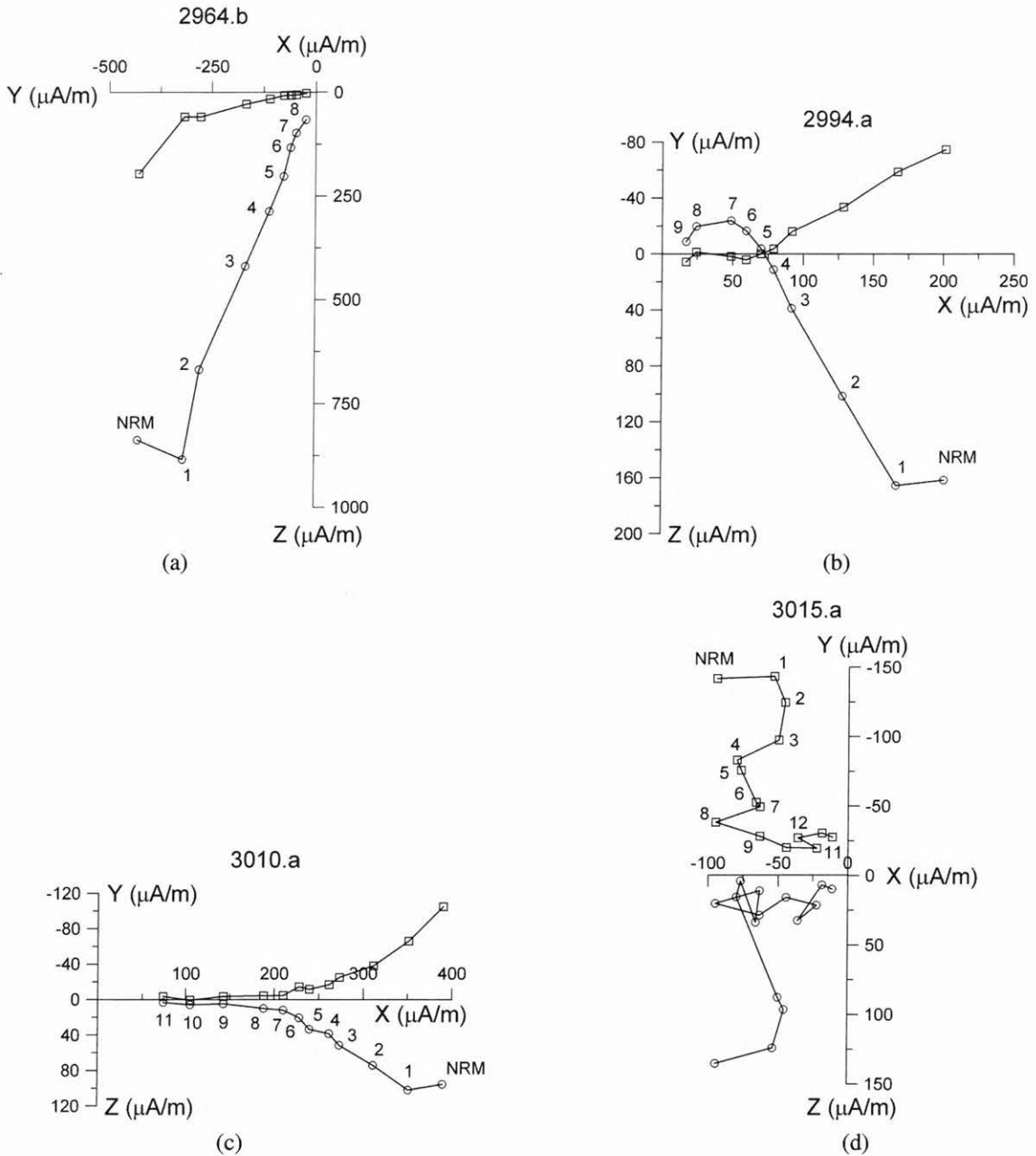
lemágnesezési viselkedés alapján a minták különböző csoportokba sorolhatók be (5. ábra). Az első egy-két lemágnesezési lépéstől eltekintve (amellyel valószínűleg az ún. tárolási komponens lehet eltávolítani), vannak 1) egyetlen remanencia komponensű minták (5.a ábra), 2) két remanencia komponensű minták (5.b ábra), amelyekben a kettő közül általában a kisebb terekben távozó (lemágneseződő) komponens a domináns és többé-kevésbé konzisztens (azaz hasonló irányú), 3) két remanencia komponensű minták, az első csökkent, a második zérushoz közeli inklinációval (5.c ábra) és 4) többkomponensű, illetve „zajos” minták, amelyekben egyetlen komponens sem különíthető el megnyugtatóan (5.d ábra). A Balatonlelle-4 fúrás mintáinak 1/3-a az 1), közel 2/3-a a 2) lemágnesezési csoportba esik. A Szabadi-11 minták közül az 1) csoportba mindössze egy esik, legtöbbjük a 2) és 3) csoportba sorolható, és viszonylag sok a hasznosíthatatlan minta (4) csoport).

A mérési eredmények értelmezése és következtetések

A mágneses tisztítással elkülönített mágnesezettségi komponensek értelmezésének céljából tekintsük át a földi mágneses tér várható átlagos irányát a holocén folyamán. Minthogy a tér ilyen hosszúságú idő átlagában centrikus axiális dipólus terével azonosítható, az átlagos térirány ennek helyi iránya lesz, ami nulla deklinációjú és 65 fokos inklinációjú. Ezt a tér évszázados változása időről időre valamelyest módosítja. A változás várható nagyságára az archeomágneses irányok adnak tájékoztatást [MÁRTON 2003]. Az elmúlt mintegy 2000 évben az archeomágneses irányok folytonosan változtak, a dekliná-

ció mínusz 20 fok és plusz 30 fok között, az inklináció pedig 54 fok és 74 fok között vett fel értékeket. Az irányok száz éves átlagainak középiránya pedig (1. táblázat)

statisztikailag azonosnak mutatkozik az axiális dipóltér helyi irányával már a holocén hosszának mindössze 1/5-ével egyenlő időtartamra is.



5. ábra. Változó terű tisztítással feltárt tipikus lemágnesezési viselkedések. *a*: egykomponensű mágnesezettség, *b* és *c*: kétkomponensű mágnesezettség, *d*: zajos lemágnesezési görbe. NRM: kezdeti mágnesezettség. Lemágnesezési lépések *a*-ban: 1-8 (40, 80, 120, 150, 180, 220, 250, 300 oe), *b*-ben: 1-9 (ua. mint *a*-ban, a 9. lépés 400 oe), *c*-ben: (1-9 ua. mint *b*-ben, a továbbiak 500 és 600 oe), *d*-ben: (1-10 ua. mint *c*-ben, a továbbiak 700, 800 és 900 oe)

Fig. 5. Typical behaviours on AF-demagnetisation. *a*: single component magnetisation, *b* and *c*: two component magnetisations, and *d*: noisy demagnetisation curve. Demagnetisation steps in *a*: 1-8 (40, 80, 120, 150, 180, 220, 250 and 300 oe), in *b*: 1-9 (same as in *a* plus 400 oe), in *c*: (same as in *b* plus 500 and 600 oe), *d*: (same as in *c* plus 700, 800 and 900 oe)

A következő két táblázatban a mágneses tisztítással izolált irányok átlagait számítottuk ki, a kiugró adatok elhagyása után azokra a magszegmensekre, amelyekből azonos orientációban történt a mintavétel. Kiugró adatoknak tekintettük az N_0 számú adatból számított átlagirány köré vont $3\alpha_{95}$ sugarú körön kívül eső irányokat, amelyek száma soronként $N_0 - N$ volt. Feltéve, hogy az átlagos deklinációk

a magszakaszok azimutális orientátlanságából adódó mesterséges értékek (ui. az axiális dipóltérnek megfelelő értékek nulla közelébe esnének), az egyes magszakaszok (illetve mágnesezettségi irányok) reorientálhatók, és előállítható a teljes magra vonatkozó középirány, amelyet a táblázatok utolsó sora tartalmaz.

Kor év	N/N_0	Deklináció D (°)	Inklináció I (°)	Pontosság k	Konfidenciaszög α_{95} (°)
(-250) – 1750	20/20	3	65	183	2.4

1. táblázat. Archeomágneses adatok (százéves átlagok) [MÁRTON 2003]

Table 1. Archaeomagnetic data (100 year averages) for Hungary (Budapest). [MÁRTON 2003]. $N_0 = N$: number of 100 year averages between BC 250 and AD 1750

Mélység cm	N/N_0	Deklináció D (°)	Inklináció I (°)	Pontosság k	Konfidenciaszög α_{95} (°)
0 – 84	13/16	236	65	48	6.0
100(?) – 187	14/15	152	62	147	3.3
0 – 187	27/31	0	64	74	3.3

2. táblázat. A Balatonlelle-4 mag két szakaszán mágneses tisztítással izolált mágnesezettségi irányok átlagirányai a kiütő irányok elhagyása után (1–2. sorok), illetve ezek átlagiránya a magszakaszok azimutális reorientációja után (3. sor)

Table 2. Mean directions of magnetisation isolated by AF-demagnetisation without the outliers for the two segments of the Balatonlelle-4 core (rows 1 and 2), and the mean direction of these after the azimuthal reorientation of the core segments (row 3). N_0 : number of samples, N : number of useful samples, N_0-N : number of outliers

Mélység cm	N/N_0	Deklináció D (°)	Inklináció I (°)	Pontosság k	Konfidenciaszög α_{95} (°)
0 – 60	11/12	20	64	19	10.6
62 – 173	19/24	322	58	11	10.5
175 – 261	11/17	268	67	18	11.2
0 – 261	41/53	0	62	14	6.1

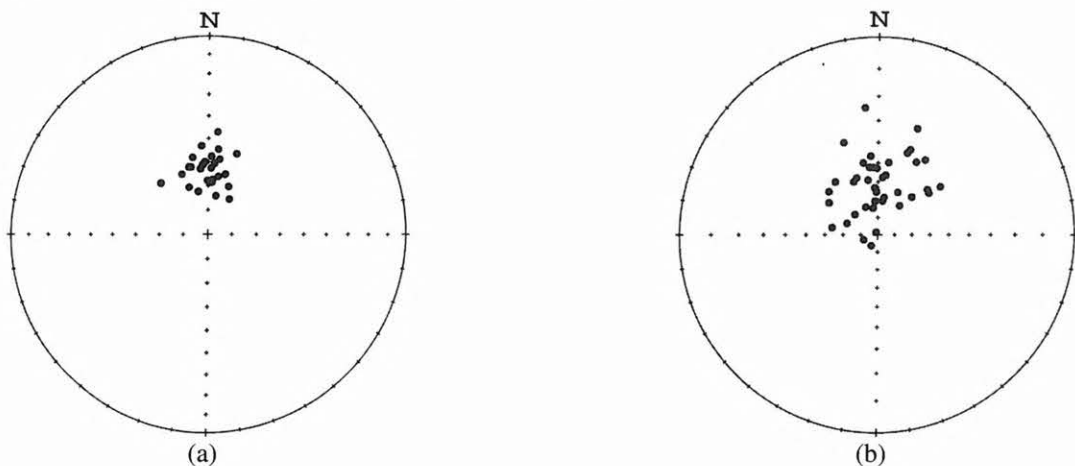
3. táblázat. A Szabadi-11 mag három szakaszán mágneses tisztítással izolált mágnesezettségi irányok átlagirányai a kiütő irányok elhagyása után (1–3. sorok), illetve ezek átlagiránya a magszakaszok azimutális reorientációja után (4. sor)

Table 3. Mean directions of magnetisation isolated by AF-demagnetisation without the outliers for the three segments of the Szabadi-11 core (rows 1, 2 and 3), and the mean direction of these after the azimuthal reorientation of the core segments (row 4). N_0 : number of samples, N : number of useful samples, N_0-N : number of outliers

(Az 1–3. táblázat a FISHER [1953] statisztika alapján készült).

A reorientált individuális mágnesezettségi irányok eloszlását a 6.a és 6.b ábra szemlélteti. Figyelembe véve a megfelelő konfidencia szögeket (3,3°, illetve 6,1°) látható, hogy a teljes magokra számított középírányok statisztikusan sem egymástól, sem az utóbbi 2000 évre vonatkozó archeomágneses irányok átlagától, sem pedig az axiális dipóltér helyi irányától nem különböznek. Az is kitűnik, hogy az individuális irányok koncentrációja a balatonlelle-i magban jobb, mint a szabadiban ($k = 74$, szemben a $k = 14$ -gyel).

tikusan sem egymástól, sem az utóbbi 2000 évre vonatkozó archeomágneses irányok átlagától, sem pedig az axiális dipóltér helyi irányától nem különböznek. Az is kitűnik, hogy az individuális irányok koncentrációja a balatonlelle-i magban jobb, mint a szabadiban ($k = 74$, szemben a $k = 14$ -gyel).



6. ábra. A váltóterű tisztítással izolált mágnesezettségek irányainak sztereografikus képe a kiütő irányok elhagyása és az egyes magszakaszok azimutális reorientációja után. a: Balatonlelle-4 mag, b: Szabadi-11 mag

Fig. 6. Stereographic plot showing the directions of magnetisation isolated by AF-demagnetisation without the outliers (directions falling outside the $3\alpha_{95}$ region) after reorienting each core segment to a common average declination and that to zero. a: Balatonlelle-4 core, b: Szabadi-11 core

Mindezekből az a következtetés vonható le, hogy a balatoni üledék remanens mágnesezettségének váltakozó terű lemágnesezéssel izolált komponensei a szóban forgó két fúrás anyagában lényegében (vagyis bizonyos perturbációktól eltekintve) a földi mágneses tér irányító hatásának következtében alakultak ki. Többségükre jellemző, hogy lemágnesezésre viszonylag könnyen eltávoztak (2. és 3. típus), így feltételezhető, hogy részben viszkózus eredetűek lehetnek, de nem zárható ki a kémiai eredet sem, a mágneses ásványok utólagos kémiai átalakulásának következményeként. Nem világos azonban, hogy ez mikor történt, illetve, hogy ez a komponens mikor fosszilizálódott. Ha ugyanis a fenti mágnesezettségi irányok az ülepedés után fosszilizálódtak volna egy utólag zavartalan üledékben (ülepedés utáni remanens mágnesezettség), akkor valamilyen késéssel követnék a földi mágneses tér helyi irányának változásait. Annak eldöntésére, hogy a balatoni üledék rögzített-e valamit az évszázados változásból, megvizsgáltuk a mágnesezettségi irányok deklináció és inklináció komponenseit (az idővel többé-kevésbé arányosnak vehető) mélység függvényében. 0,4 mm/év üledékfelhalmozási sebesség mellett egy minta mintegy 50–60 évet képviselhet. Átlagosan 6–7 cm-enként, azaz 150–170 évenként lenne egy-egy ilyen irányunk, ami — a zajoktól eltekintve — alkalmas lenne az évszázados változás adott mintavételi sűrűséghez tartozó leképezésére. Minthogy szabályos, az évszázados változásra jellemző menet sem a deklinációban, sem az inklinációban nem volt tapasztalható (a vonatkozó ábrák bemutatásától ezért eltekintettünk), a balatoni üledék mágnesezettségének kialakulása, illetve blokkolása a vizsgált két fúrás anyagában másodlagos, az ülepedéstől máig tartó ismeretlen időben lezajlott folyamatok eredményeként tekinthető.

Köszönetnyilvánítás

A fenti kutatást az OTKA támogatta a TS044765 nyilvántartási számú szerződés keretében. A 3–6. ábrák technikai kivitelezéséért FERENCZ Edithet illeti köszönet. A laboratóriumi méréseket POROSZ Mihályné végezte.

HIVATKOZÁSOK

- BARABÁS A., SURÁNYI G. 2007: Balatoni üledékek magmintáinak komplex vizsgálata. Kézirat, ELTE Geofizikai Tanszék
- CREER K. M. 1985: Review of lake sediment palaeomagnetic data. *Geophys. Survays* **7**, 125–160
- DEARING J. 1999: Environmental Magnetic Susceptibility (Using the Bartington MS2 System). Chi Publishing, Kenilworth, England, 1–54
- FISHER R. A. 1953: Dispersion on a sphere. *Proc. Roy. Astr. Soc. (London)*, Ser. A, **217**, 295–305
- FRANK U., SCHWAB M. J., NEGEDANK F. W. 2002: A lacustrine record of paleomagnetic secular variation from Birkat Ram, Golan Heights (Israel) for the last 4400 years. *Phys. Earth Planet. Int.* **133**, 21–34
- JELINOWSKA A., TUCHOLKA P., WIECKOWSKI K. 1997: Magnetic properties of sediments in a Polish lake: evidence of a relation between the rock-magnetic record and environmental changes in Late Pleistocene and Holocene sediments. *Geophys. J. Int.* **129**, 727–736
- MÁRTON P. 2003: Recent achievements in archaeomagnetism in Hungary. *Geophys. J. Int.* **153**, 675–690
- PÓSFAL M., ARATÓ B. 2000: Magnetotactic bacteria and their inclusions from Hungarian freshwater sediments. *Acta. Geol. Hung.* **43**, 4, 463–476
- PÓSFAL M. 2006: Szóbeli közlés
- SPADINI L., BOTT M., WEHRLY B., MANCEAU A. 2003: Analysis of the Major Fe Bearing Mineral Phases in Recent Lake Sediments by EXAFS Spectroscopy. *Aquatic Geochemistry* **9**, 1–17