

A FÖLDMÁGNESSEG

Kovács Péter Heilig Balázs

PhD, tudományos főmunkatárs,
Magyar Földtani és Geofizikai Intézet
Földfizika Főosztály
kovacs.peter@mfgi.hu

tudományos munkatárs,
Magyar Földtani és Geofizikai Intézet
Tihanyi Geofizikai Observatórium
heilig.balazs@mfgi.hu

Csontos András

obszervatóriumvezető
Magyar Földtani és Geofizikai Intézet Tihanyi Geofizikai Observatórium
csontos.andras@mfgi.hu

Bevezető

A Naprendszer legtöbb bolygójának – Földünkhöz hasonlóan – önálló mágneses terük van. A legjelentősebb a Jupiteré, a földi tér ennek csak töredéke. Mégis, ez a tér is elegendő ahhoz, hogy az élőlények számára káros, a Nap felől érkező nagy energiájú töltött részecskéket akár a pályájukról való kitérítéssel, akár befogásukkal a Föld közvetlen környezetétől távol tartsa. A mágneses mező ezáltal lényeges szerepet játszott és játszik jelenleg is abban, hogy az élet a Földön kialakulhatott, és mindmáig fenn is maradhatott.

A földi mágneses tér felismerésének első, az utókor számára is egyértelmű jele az iránytű felfedezéséhez köthető. Az iránytű használatát először egy, az i. e. 3. századból származó kínai dokumentum említi, jöllehet az eszközt a dokumentum szerint már jóval korábban is ismerték. Kezdetben elsősorban a jóslások során vették hasznát, később azonban a navigációban is felismerték jelentőségét. Az iránytű megkezdte hódító útját Földünk felfedezésében.

Miközben az utazók egyre újabb földrészeket fedeztek fel az iránytű segítségével, a mágneses irányok földrajzi szélesség és hosszúság szerinti változásáról is egyre árnyaltabb kép rajzolódott ki. A mágneses elhajlás (*deklináció*, a földrajzi észak és az iránytű által mutatott irány különbsége) korai felismerése után, a 16. század végén angol tengerészek a lehajlás (*inklináció*, a vízszintes irány és a vízszintes tengelyen elfordulni képes mágnesű irány különbsége) jelenségeire is felfigyeltek. A lehajlás jelenségét *Robert Norman* angol tengerész ismertette először *The Neue Attractive* című könyvében (Norman, 1581). Az összegyűlt ismereteket elsőként *William Gilbert* (1544–1603), Erzsébet királynő udvari orvosa foglalta össze 1600-ban megjelent latin nyelvű, hatkötetes *De Magnete* című könyvsorozatában (Gilbert, 1600). Gilbert az észlelések alapján elsőként vetette fel, hogy az iránytű azonos irányba való állását nem valamiféle misztikus erő, nem is a csillagok hatása, hanem a Föld egészének mágnesezettsége okozza. Ennek igazolására egy gömb alakú mágnesből egy modellt is

létrehozott, amely mentén mozgatva az irányítót, az mindig a pólusok felé mutatott. Ez volt a *terrella* („földecske”) modell. Gilbert könyvében felvetette – egyébként tévesen – azt is, hogy a Föld forgását és mágnességét egyazon hatás okozza. Gilbert könyvének megjelenése után nem sokkal a területi változás mellett a földi tér időbeli változásának ténye is egyértelművé vált, azonos londoni állomáson 1580-ban és 1630-ban mért mágneses irányok közötti jelentős eltérés alapján. *George Graham* londoni órásmester 1722–23-as mérései révén pedig nemcsak a tér hosszá- idejű, hanem rövid, szabályos, napi változását is felismerték.

A mágneses tér vektoriális mennyiség, pontos leírásához ezért minden ponton három független komponensének ismerete szükséges. Gilbert idejében mindhárom komponens egyidejű mérésére még nem volt lehetőség, többnyire csak a *deklinációról*, illetve az *inklinációról* voltak elképzelések. A tér három független komponensének mérésére 1832-től van lehetőség, amikor *Carl Friedrich Gauss* (1777–1855) a tér abszolút értékének mérésére is eljárást dolgozott ki (Gauss, 1839). A földmágneses tér szisztematikus mérésére szolgáló obszervatóriumok is ekkor kezdtek elterjedni (Jankowski – Sucksdorff, 1996).

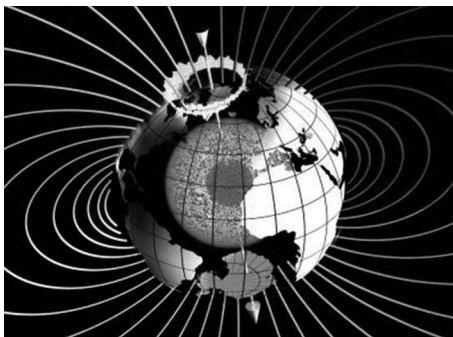
A földmágneses tér eredete

Gilbert *terrella* modellje az iránytű eltérülésének valódi magyarázatára csak részben volt helytálló. A Föld felszínén és a felszínhez közel ugyan valóban vannak olyan kőzetek, amelyek mágnesezettsége az iránytű irányultságát adott távolságon belül meghatározhatja, de a földmágneses tér domináns részének kialakításában bizonyosan nem ezek játszzák a döntő szerepet. A felszíntől a Föld középpontja felé haladva ugyanis az uralkodó hőmér-

séklet kb. 40 km-es mélységtől bármely anyag Curie-hőmérsékletét meghaladja, ami a mélyebb tartományokban az anyag mágnesezettségének lehetőségét teljes mértékben kizárja. A Föld egésze tehát nem lehet mágneses, a kéregbeli kőzetek mágnesezettsége a tapasztalt mértékű és irányú földi teret pedig nem alakíthatja ki.

Mi okozza akkor mégis a Föld mágneses jellegét? Ismeretes, hogy mágneses hatást nemcsak mágnesezett anyag, hanem mozgó elektromos töltés (például a vezetékben folyó áram) is létrehoz környezetében. A Föld esetében éppen erről van szó. Az elektromos vezető a Föld – felszíntől számított – 2900 és 5100 km közötti gömbhéjában helyet foglaló külső mag zömmel vasból álló olvadt anyaga, amely – hasonlóan az alulról melegített víz vagy a földfelszín által fűtött légréteg mozgásához – a külső mag felső és alsó határa közötti hőmérséklet-különbség miatt folyamatosan cirkulál. A szabályos cirkulációt a Föld forgása révén ébredő Coriolis-erő is módosítja. A kialakuló, viszonylag összetett mozgás mágneses tér jelenlétében olyan elektromos áramokat ébreszt, amelyek együttesen az eredeti mágneses teret fenntartják, sőt akár erősítik is. A tér fennmaradásához, erősödéséhez energiára van szükség, amit a vázolt modell szerint a külső mag anyagának mozgási energiájából nyer a rendszer, az elektromos dinamóhoz hasonlóan. A földi mágneses tér fenntartásáért felelős folyamat ezért a *földmágneses dinamó* néven vált ismertté.

A dinamó által keltett mágneses tér a felszíntől nem túl nagy távolságban egy, a Föld középpontjában lévő, de a Föld forgástengelyével mintegy 11 fokos szöget bezáró rúd mágnes dipólterével közelíthető (*1. ábra*), amelynek déli pólusa jelenleg észak felé, északi pólusa pedig dél felé mutat. Ha ezt a mágneszt a Föld



1. ábra • A Föld belső és külső magja (sötét és világos területek), valamint a külső mag áramlásából származó mágneses tér dipólközelítésének erővonalai (Forrás: GFZ, Potsdam)

középpontjába tennénk, a mágneses pólusok (az a pont, ahol az erővonalak a felszínre merőlegesek) a Föld két átellenes pontján helyezkednének el. A valóság azonban ettől eltérő; jelenleg az északi félteke pólusa Kanadától északra, a $85,9^\circ$ északi szélesség és 148° nyugati hosszúság, a déli pedig Antarktisz partjaihoz közel, a $64,4^\circ$ déli szélesség és a $137,4^\circ$ keleti hosszúság közelében helyezkedik el. A deklínáció elsősorban abból adódik, hogy a mágneses pólusok nem a Föld forgástengelyére esnek. A legerősebb, $65\ 000\text{--}70\ 000\ \text{nT}$ értékű mágneses tér a pólusoknál mérhető. Ez a tér hétköznapi értelemben nagyon kicsinek számít, hiszen például egy közönséges hűtőmágnes közelében ennek akár ötszázszorosa is mérhető.

A felszínhez közeli földmágneses tér komponenseinek (pl. deklínáció) pontosabb területi leírásához a rúd-mágnes terének megfelelő dipólközelítés már nem elégséges. Ennek egyik lényeges oka, hogy a földmágneses dinámó tere a dipóltér mellett magasabb mágneses momentumú, azaz többpólusú, kisebb erősségű tereket is tartalmaz, amelyek helytől függően torzítják a dipól szabályos erővonalait.

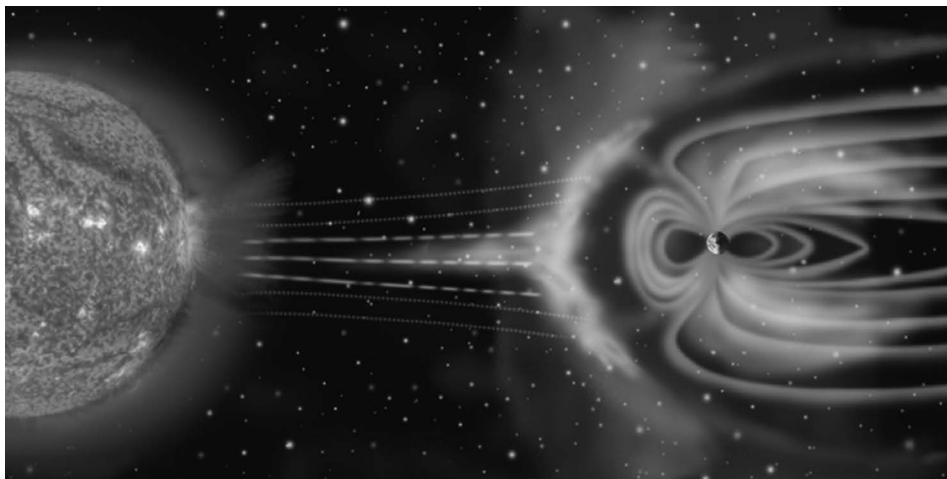
Lokálisan jelentős torzítást okozhatnak azonban a kéregben a Curie-hőmérsékletnél hidegebb rétegek mágneses közei is, sőt eltemetett vagy felszíni mesterséges mágneses anyagok (csövek, vezetékek, épületrészek stb.) is.

A felszíntől távolodva néhány földugár távolságban a mágneses tér szerkezete a rúd-mágnes teréhez képest szintén lényegesen torzul. A torzulás oka itt nem belső eredetű, hanem a Nap felől érkező nagy energiájú töltött részecskék árama, a napszél, amely a Nap felőli oldalon összenyomja, az ellenkező irányban pedig elhúzza a mágneses erővonalakat. Összességében a napszél az erővonalakat egy zárt üregbe kényszeríti, amelyet *magneto-szférának*, határát pedig *magnetopauzának* nevezzük (2. ábra). A magnetopauza – kivételes esetektől eltekintve – ellenáll a napszélnek, annak töltött részecskéit bolygónk közeléből eltéríti. Ezzel lényeges szerepet játszik a földi élet feltételeinek biztosításában.

A földmágneses tér időbeli változása

Belső eredetű változás • A dinámó által fenntartott tér nemcsak térben, hanem a külső magban zajló áramlások módosulásai miatt időben is változik. A legdrasztikusabb változások a kiszámíthatatlan időközönként fellépő *pólusváltásokhoz*, azaz a mágneses tér polaritásának előjelváltásaihoz köthetők. Köznapi értelemben ez a folyamat az iránytű ellenkező irányba való átfordulását jelenti.

A pólusváltások tényére egyebek között a vulkanikus láva közeleinek mágneses vizsgálatai alapján következtethetünk. Amikor egy vulkán kitör, a felszínre ömlő magmában található vastartalmú ásványok a lehűlés során rögzítik, „befagyasztják” az éppen akkor fennálló földi mágneses tér irányítottágát és intenzitását. Megfigyelték, hogy az óceánok mélyén feláramló és az óceáni lemezen a fel-



2. ábra • A földi magnetoszféra a napszéllel átjárt interplanetáris térben (sematikus kép, forrás: <http://sec.gsfc.nasa.gov/popscise.jpg>)

áramlás helyétől távolodó kőzetekben (többnyire bazaltok) ez az irány hol a jelenlegi földi tér irányába mutat, hol pedig azzal éppen ellentétes. A lemezek mozgási sebességének és egy-egy vizsgált terület kitérésétől mért távolságának ismeretében a kőzet keletkezésének ideje, a kőzet mágnesezettségéből pedig az abban az időben érvényes mágneses irány is meghatározható. A földtörténeti múltba visszanyúló vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy a pólusok átfordulásának előfordulásában semmilyen szabályszerűség nem figyelhető meg, két átfordulás között esetenként csak néhány ezer, máskor akár több millió év is eltelik. A legutóbbi pólusváltás 780 ezer évvel ezelőtt, tehát viszonylag hosszú ideje zajlott le. Ezt a tényt, illetve azt, hogy a földi tér erőssége (dipólmomentuma) Gauss első méréseitől fogva fokozatosan csökken, sok kutató (és szenzációra éhes újságíró) egy következő pólusváltás előjeleként értelmezi. A szenzációt keresők azt is feltételezik, hogy a hirtelen bekövetkező pólusváltás a mágneses tér megszűnését és a napszél elleni védelem

összeomlását is jelentené, ami így az élővilág jelentős pusztulásához is vezetne. Ezzel kapcsolatban fontos megjegyezni, hogy a dipólmomentum időszakos csökkenése azonos polaritás mellett más időszakokban is előfordult már, önmagában tehát ez a tény még nem tekinthető egyértelműen a pólusváltás előjeleként. Az élet fennmaradása szempontjából lényeges még megemlíteni, hogy a mágneses védelem a pólusváltás időszakában is megmaradna, hiszen ilyenkor a tér feltételezhetően nem szűnne meg teljesen, hanem átrendeződne, azaz a domináns szerepet a dipóltértől időlegesen a magasabb momentumú, több (4–8–16) pólusú terek vennék át. Ha azonban még ez sem lenne elegendő, a töltött részecskéket tartalmazó ionoszférában a napszél hatására további mágneses tér is indukálódik, amely a napszél részecskéit így is távol tartaná a Föld felszínétől.

Kevésbé drasztikusan ugyan, mint pólusváltás idején, de a földmágneses tér adott pólusirány mellett is változik, jellemzően évtizedes-évszázados időléptékkel mérhető

módon. Ez a dinamó által keltett tér ún. *szekuláris vagy évszázados változása*. Szekuláris változás során a mágneses tér erőssége (a földi tér mágneses momentumai) és a pólusok helye egyaránt változik. A domináns földi teret előállító dipólmomentum erősségének változásáról volt már szó, ennek értéke az utóbbi kétszáz évben közel 5%-kal csökkent. A mágneses tér pólusai a Föld forgási tengelye körül vándorolnak, az északi pólus helyének változási üteme jelenleg -55 km/év, a déli ennél valamivel kisebb. A mágneses pólusok több évezred átlagában a Föld forgástengelyére esnek.

Külső eredetű változások • A földi mágneses regisztrátumokon a szekuláris változáshoz képest jóval gyorsabb mágneses változások is tapasztalhatók. Ezek amplitúdói jelentősen elmaradnak a teljes tér nagyságától, a változási ütem gyorsasága miatt azonban mégis meghatározó szerepet játszanak a felszínen észlelhető tér jellegének formálásában. A gyors változások zömmel az ionoszférában és a magnetoszférában folyó elektromos áramok mágneses hatásai, kisebb részben pedig a földkéregben folyóké; egy részük időről időre visszatérő, periodikus jellegű, más részük pedig szabálytalan lefolyású.

A szabályos változásban döntő szerepe van az ionoszférának, amely a felső atmoszféra kb. 50 és több száz km közötti, részlegesen ionizált tartománya, amelyben a különböző töltések – elektromos áramot létrehozva – egymáshoz képest elmozdulhatnak. Az elektronok és ionok eloszlása a napszakoktól, illetve az évszakoktól, valamint a magasságtól függően más és más. A legmarkánsabb szabályos mágneses variáció a *nyugodt napi változás*, amelynek amplitúdója és időbeli lefutása a mágneses szélesség és az évszakok függvényében térben és időben is változik. Több observa-

tórium nyugodt napi észlelései alapján felépíthető egy olyan ionoszférikus áramrendszer, amelynek felszíni mágneses hatása a nyugodt változásokat közelítően mindenütt és mindenkor magyarázza. Ennek az ún. *ekvivalens áramrendszernek* alapvetően három eleme van; két áramörvény, amelyek fókusza hozzávetőleg a $\pm 30^\circ$ mágneses szélesség fölött, a 11–12 óras meridián mentén helyezkedik el, valamint egy, az egyenlítő felett nyugatról keletre folyó áramvonal, az ún. egyenlítői *elektrojet*. Az áramokban résztvevő elektromos töltések zömét a napsugárzás termeli a semleges atmoszférából fotoionizáció révén, amiből következik, hogy az áramok intenzitása és elhelyezkedése a napsugárzás beesési szögétől, azaz az évszaktól is függ. A nyugodt napi mágneses menetek évszakok szerinti eltérései ezzel magyarázhatóak.

A szabályos napi változásokat időnként nagy és gyors mágneses ingadozások váltják fel, amelyeket *mágneses viharoknak* nevezünk. A viharok a Föld mágneses terének a napszéllel való kölcsönhatása során keletkeznek. A legnagyobb viharok forrásai alapvetően a Nap felszínén kialakuló napkitörések vagy a Nap ún. koronalyukaiból kiáramló gyors és lassú napszélfolyam között kialakuló kompressziós zónák lehetnek. Napkitörés esetén nagy energiájú részecskenyaláb indul ki radiális irányban a Napból, az átlagos napszélsebesség akár két-háromszorosával, ami azt jelenti, hogy a nyaláb a Földet a szokásos négy nap helyett két-három, extrém esetben akár kevesebb mint egy nap alatt is elérheti. A napkitörések a napfoltok mentén alakulnak ki, előfordulási gyakoriságuk tehát a tizenegy éves napciklust követi.

Mágneses viharok akkor jelentkeznek, ha a Napból érkező gyors részecskeáramlás által szállított mágneses tér iránya dél felé mutat,

ilyenkor ugyanis a napszél erővonalai és a földi erővonalak egymásba átkötődhetnek, és a napszél energiája a magnetoszférába hatolhat. A viharok alapvetően két, illetve három fázisból épülnek fel. A beérkező nagy energiájú részecskenyalábok nyomásának hatására a viharok néhány órás *kezdeti fázisában* a magnetoszféra összenyomódik, és a felszínen a mágneses tér – vihartól függően – hirtelen kezdettel vagy fokozatosan megemelkedik. A vihar *fő fázisában* az egyenlítői síkban a felszíntől 4–7 földugár távolságra a magnetoszférában lévő töltött részecskék koherens mozgása révén egy ún. *gyűrűáram* alakul ki, amelynek hatására a felszíni mágneses tér vízszintes komponense kis és közepes szélességű helyeken jelentősen (nagy viharok esetén 200–300 nT, extrém esetben akár 1000 nT értékben) lecsökken. A jellemzően hat-nyolc óráig tartó fő fázist követi a több napig is elhúzódó *visszatérési fázis*, amelynek során a gyűrűáramot felépítő részecskék fokozatosan elvesztik energiájukat, és kiürülnek az áram tartományából.

A mágneses viharok során a magnetoszférába bejutó nagy energiájú részecskék energiájuk nagy részét a magnetoszférában, az ionoszférában, vagy legvégső soron az atmoszféra felső rétegeiben elveszítik, a felszíni életre ezért csak igazán kivételes esetben lehetnek veszélyesek. Az űrben dolgozó asztro-nauták, illetve a sarkvidékeket megközelítő repülőgépek személyzete és utasai számára azonban a viharok előfordulása már egészségi kockázattal is járhat. Az emberi életen kívül veszályban vannak továbbá az űrben keringő távközlési, navigációs vagy Föld-megfigyelő műholdjaink is, amelyek meghibásodásai közvetlenül a földi életet is befolyásolhatják, és akár veszélyeztethetik is. A viharok azonban nemcsak az űrbeli, hanem a földi tech-

nikai infrastruktúrát is károsíthatják. A viharokat kísérő hirtelen mágneses változások ugyanis komoly áramokat kelthetnek a hosszú elektromos vezetőkben vagy csövekben, amelyek áramkimaradásokhoz, illetve a vezetékek váratlan korróziójához vezethetnek. A veszélyek a technikai eszközök kikapcsolásával, vezetékek lekapcsolásával, repülési útvonalak megváltoztatásával, űrprogramok áttervezésével jelentős csökkenthetőek. Ennek feltétele azonban a mágneses környezetünk változásainak, egyre közismertebb néven az ún. *űridőjárásnak* a minél pontosabb előrejelzése. Az űridőjárási változások előrejelzése műholdak, földi obszervatóriumok, illetve észlelési hálózatok adatainak (lásd például Heilig et al., 2012) együttes elemzésével, modellekkel való egybevetésével valósítható meg, egyre pontosabban.

A földmágneses tér vizsgálata, az obszervatóriumok szerepe

A mágneses deklináció változásának rendszeres megfigyelése csillagászati, meteorológiai obszervatóriumokban már a 18. században megindult. A tér irányának és intenzitásának változását szisztematikusan megfigyelő földmágneses obszervatóriumok Gauss kezdeményezésére a 19. században kezdtek elterjedni. Korábról kampányszerű megfigyelések alapján lehet közvetlen tudomásunk a tér változásáról. A magyar vonatkozású megfigyelések közül jelentős *Hell Miksa* (1720–1792) csillagásznak a Vénusz-áthaladás megfigyelésére szervezett norvégiai útja, amelynek során mágneses észleléseket is végzett. A mágneses deklináció időben és térben pontszerű megfigyelései hajónaplók, bányatérképek vagy hordozható napórakon feltüntetett adatok alapján már a 15. század közepétől ismertek. Közvetett mágneses adataink több évszázad-

dal vagy évezreddel korábbi időkből régészeti leletekben (például égetett kemencék vagy agyagtárgyak) rögzült mágneses irányok pontos laboratóriumi mérése alapján nyerhetők. A földtörténeti idők mágneses irányai pedig, ahogy korábban említettük, a mágneses anyagokat tartalmazó kőzetek keletkezésekor megszilárdult mágnesezettségének megméréseivel rekonstruálhatók.

A földön manapság viszonylag sok mágneses obszervatórium működik, amelyek a tér időbeli változását pontosan monitorozzák. Amint az előzőekből már kiderülhetett, a hosszú idejű, szekuláris változások alapján a külső magban zajló áramlásokra, a gyorsabb változások alapján pedig az ionoszféra, magnetoszféra dinamikai folyamataira, illetve a napszél és a magnetoszféra kölcsönhatásaira következtethetünk. Az obszervatóriumi adatsorok tehát egyaránt alkalmasak Földünk, illetve űrkörnyezetünk kutatására is.

A mágneses tér területi változásának térképezéséhez az obszervatóriumok sűrűsége és eloszlása azonban még a kontinentális területeken sem elegendő. A területi változás meghatározására ezért az utóbbi évszázadokban több országban mágneses hálózatok létesültek, amelyeken szabályos időközönként végeznek méréseket. A hálózati mágneses értékek azonos időpontra, *epochára* való vonatkoztatásában az obszervatóriumi idősorok nélkülözhetetlenek. A hálózati kampányok alapvető célja egy-egy terület regionális mágneses modellje, az ún. *normáltér* meghatározása. Az alkalmazott mágneses geofizikai kutatások a normáltérhez viszonyított mágneses változások, az ún. *mágneses anomáliák* alapján következtetnek a felszínről közvetlenül nem látható földtani szerkezetek (üledékrétegek, vulkanikus kőzetek, telérek) jelenlétére, területi elterjedésére. A mágneses módszer

a természetes anomáliák mellett a mesterséges hatók kimutatására is alkalmas. Mesterséges anomáliák például olajvezetékek, utak, személerakók, történelmi kultúrák területén jelentkezhetnek. Erősségük és térbeli kiterjedésük a földtani eredetű anomáliáknál általában kisebb, ennek ellenére – speciális mérési elrendezéseket és feldolgozási módszereket alkalmazva – a mágneses mérésekkel ezek az anomáliák is pontosan kutathatók.

Az 1960-as évektől kezdődően a POGO, a MagSat, az Ørsted, később a CHAMP, jelenleg pedig a SWARM műholdak segítségével a földi mágneses tér alacsony pályákon (300–900 km magasságban) keringő műholdak segítségével is megfigyelhető. A műholdak megjelenésével az obszervatóriumok szerepe szerte a világon átvértékelődött. A műholdak révén ugyanis napról napra hatalmas mennyiségű mágneses adat válik elérhetővé, amelyekből egyre részletesebb globális földmágneses modellek szülehetnek. A modellek azonban továbbra sem nélkülözhetik az obszervatóriumok adatait, hiszen a műholdas mérések egy adott pályamagasságra vonatkoznak, ezért a felszínre nézve jelentős bizonytalansággal terheltek. Az obszervatóriumi adatok szükségesek ezért egyrészt a műholdas adatok kalibrációjához, másrészt a felszínre való vonatkoztatás pontosításához is. Időben folytonos, azonos helyen mért mágneses adatsorokat továbbra is csak az obszervatóriumok szolgáltathatnak.

Műholdakat nemcsak a Földtől származó mágneses tér megfigyelésére, hanem a magnetoszféra, az ionoszféra dinamikai folyamatainak kutatására is egyre nagyobb számban állítanak pályára. A műholdas és földi észlelések az űrkutatásban ezért ma már együttesen, egymást kiegészítve szerepelnek. A műholdak az űrkörnyezet különböző régióiban

közvetlen és ezáltal pontos észleléseket végeznek, mozgásuk azonban lehetetlenné teszi egy adott terület folyamatos monitorozását. A felszíni észlelések ezzel szemben alkalmasak a magnetoszféra egy-egy régiójának hosszú idejű megfigyelésére is, sőt a különböző földi pontokon végzett észlelések egy széles tértartomány feltérképezését is lehetővé teszik. A földi mérések e tekintetben természetesen az *in situ* méréseknél pontatlanabbak, ebben az esetben ezért éppen a földi mérések kalibrálása szükséges a műholdas regisztrátumok alapján. A műholdak megjelenése tehát nem szüntette meg, inkább átalakította és megerősítette az obszervatóriumok szerepét és jelentőségét akár a Föld, akár annak űrbeli környezete kutatásában.

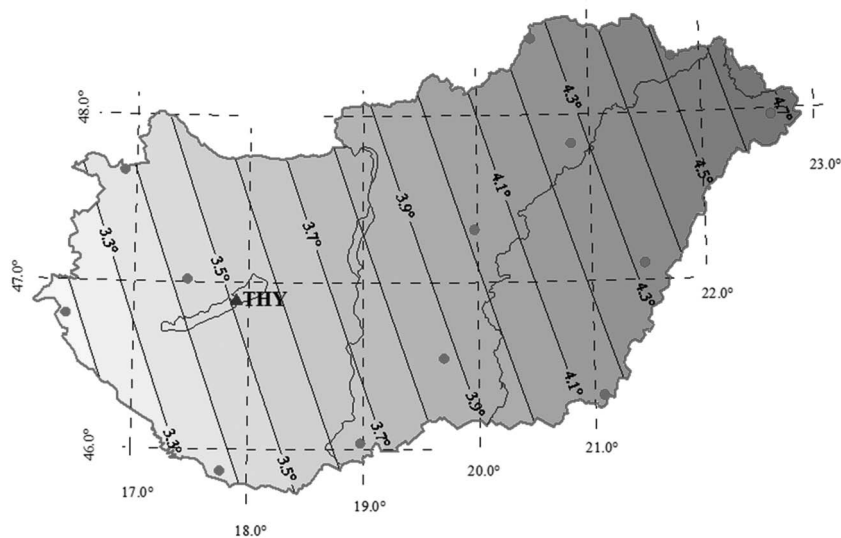
A földmágneses tér hazai vizsgálatának rövid összefoglalása

Magyarországon a földmágneses méréseknek komoly szakmai és történeti múltja van. Szisztematikus obszervatóriumi mérések Hell Miksa kezdeményezésére elsőként Nagyszombaton zajlottak, 1768 és 1777 között. Az észlelések később Budán folytatódtak, *Sajnovics János* (1733–1785) vezetésével. A feladat 1870-től a *Schenzl Guidó* (1823–1890) által vezetett Meteorológiai és Földdelejeességi Magyar Királyi Központi Intézet keretei között intézményesült. 1893-ban *Konkoly Thege Miklós* (1842–1916) – az egyre nagyobb városi zajok elkerülése miatt – Ógyallán (jelenleg Szlovákia területén) alapított új obszervatóriumot, amely az I. világháború után egy ideig, a II. világháború után pedig tartósan is csehszlovák fennhatóság alá került.

1945 után *Barta György* (1915–1992) irányításával először Budakeszin létesült új, ideiglenes obszervatórium. Ennek szerepét 1954-től a szintén Barta által alapított Tihanyi Geofi-

zikai Obszervatórium vette át, amelynek fenntartója az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet jogelődje) lett. Nem sokkal később, 1957-ben, az MTA alapításával Nagycenken a Széchenyi István Geofizikai Obszervatórium is megnyílt, földmágneses obszervatóriumi adatsora 1961-től indul. A két obszervatórium egymást kiegészítő mérési tevékenységgel jelenleg is üzemel, a mágneses tér monitorozása mellett jelentős szerepük van többek között az ionoszféra és plazmaszféra dinamikusan változó állapotának megfigyelésében, villámkiülések által okozott rezonáns jelenségek észlelésében, obszervatóriumi műszerek fejlesztésében, valamint a regisztrátumok értelmezésében. Mindkét obszervatórium tagja az INTERMAGNET nemzetközi obszervatóriumi hálózatnak, valamint nemzetközi űridőjárási szervezeteknek és projekteknek.

A hálózati mágneses méréseknek szintén több évszázados hagyománya van Magyarországon. *Luigi Ferdinando Marsigli* (1658–1730) és *Johann Christoph Müller* (1673–1721) 1696-ban, a töröktől visszafoglalt ország nyolc pontján végzett deklinációmérése világszerte az egyik legkorábbi hálózati mágneses mérés. A tér minden komponensére kiterjedő hálózati méréseket a Monarchia időszakában elsőként *Karl Kreil* (1798–1862) végzett 1847 és 1857 között ötvenkét ponton (Szabó, 1983). Később Schenzl Guidó (1867–1879, 117 állomás), majd *Kurländer Ignác* (1846–1916) vezetésével indultak újabb kampányok (1892–1894, 38 állomás). *Eötvös Loránd* (1848–1919) a gravitációs kutatások helyszínein szintén végzett mágneses méréseket, sőt új mágneses műszereket is fejlesztett. A II. világháború utáni Magyarország első országos mágneses felmérésére Barta György vezetésével került sor, 1949–1950-ben, 290 ponton. 1995-ig a



3. ábra • A mágneses deklináció modellezett változása Magyarországon 2010 közepén, a szekuláris hálózati méréseink alapján. A piros pontok a szekuláris hálózatunk állomásait jelölik.

mérések tizenöt éves rendszerességgel ismétlődtek az eredeti hálózathoz képest eltérő, háromszáz (1964–1965; 1979–1982), illetve 195 (1994–1995) pontot tartalmazó hálózatokon (Aczél – Stomfai, 1968; Kovács – Körmendi, 1999). A kampányok során mindig meghatározták a magyarországi mágneses normáltér modelljét, illetve térképezték a normáltérhez viszonyított anomális területeket. 1965-ben egy kisebb, tizenöt pontból álló, ún. *szekuláris* hálózat is létesült (Aczél – Stomfai, 1969), amelynek célja a tér eltérő időbeli változásának monitorozása az ország különböző területein. A mai gyakorlat szerint a szekuláris hálózat pontjait páros években, kétéves rendszerességgel mérjük. A deklináció 2010-ben végzett méréseink alapján kapott területi változását a 3. ábrán mutatjuk be. Szekuláris méréseinkkel csatlakoztunk a 2003-ban lét-

rejött nemzetközi hálózati együttműködéshez, a MagNetE-hez, amelynek keretében egyrészt vállaljuk az együttműködés által meghatározott mérési standardok betartását, valamint adatainkat egy közös adatbázis számára is szolgáltatjuk.

A földmágneses tér megfigyelését a Tihanyi Geofizikai Observatóriumban, illetve a felszíni és műholdas megfigyelések együttes értelmezése alapján zajló úrkutatási tevékenységeinket többek között az EU-FP7/2007-2013 263218 (PLASMON) és az EU-FP7/2007-2013 313038 (STORM) projektek, valamint a K75640 sz. OTKA pályázat támogatja.

Kulcsszavak: *geofizika, földmágnesség, obszervatórium, Tihany, magnetoszféra, geomágneses dinamó, ionoszféra*

IRODALOM

Aczél Etelka – Stomfai Róbert (1968): Az 1964–65. évi magyarországi földmágneses alaphálózatmérés. *Geofizikai Közlemények*. XVII, 3, 5–17.

Aczél Etelka – Stomfai Róbert (1969): A földmágneses elemek változása az 1966-os szekuláris mérés szerint. *Geofizikai Közlemények*. XVIII, 1–2, 3–11.

Gauss, Carl Friedrich (1839): *Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus*. Leipzig

Gilbert, William (1600): *De magnetie, magneticisque corporibus et de magno magnete tellure*. • <http://books.google.hu/books?id=MbozoDsnrAAC&printsec=frottcover#v=onepage&q&f=false> angolul: <http://www.gutenberg.org/files/33810/33810-h/33810-h.htm>

Heilig Balázs – Kovács P. – Csontos A. (2012): A földmágneses észlelések szerepe az úrkutatásban. *Magyar Tudomány*. 12, 1435–1442. • <http://www.matud.iif.hu/2012/12/05.htm>

Jankowski, Jerzy – Sucksdorff, Christian (1996): *Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice*. IAGA, Warsaw • http://iugg.org/IAGA/iaga_pages/pdf/IAGA-Guide-Observatories.pdf

Kovács Péter – Körmendi Alpár (1999): Geomagnetic Repeat Station Survey in Hungary during 1994–1995 and the Secular Variation of the Field between 1950 and 1995. *Geophysical Transactions*. 42. 3–4, 107–132.

Norman, Robert (1581): *The Neue Attractive*. London 1720-as reprint: • http://books.google.hu/books?id=j9A4AAAAMAAJ&pg=PP7&clpg=PP7&dq=Norman,+Robert+The+Neue+Attractive.+London&source=bl&ots=Uhgsi99nSf&sig=Qv1HupNdfYIS2_HnPoh2IVYj9Rc&hl=en&sa=X&ei=cPjUruDL4XfygPImoHoDw&ved=0CFQ6AEwBg#v=onepage&q=Norman%20Robert%20The%20Neue%20Attractive.%20London&f=false

Szabó Zoltán (1983): A mágneses deklináció változásai Magyarországon 1850–1980. *Geodézia és Kartográfia*. 35, 6, 436–442.

