

# A mágneses északi irány meghatározása geodéziai és navigációs célokra

Völgyesi Lajos – Csontos András

Az előző tanulmányunkban a földmágnesség geodéziai és navigációs jelentőségével foglalkoztunk, áttekintettük a földmágneses tér szerkezetét, térbeli és időbeli változását.

A földmágneses térrel kapcsolatos legáltalánosabb geodéziai és navigációs feladat a deklináció értékének meghatározása valamely kérdéses helyen és időpontban. A deklináció ismeretének hiányában az iránytűt nem tudjuk megfelelő pontossággal sem geodéziai sem navigációs célokra használni. Adott helyen és időpontban a deklináció valódi értékének mérésel történő meghatározása hosszadalmas és bonyolult feladat, ilyen mérésel éppen a mágnesű alkalmazásának nagy előnyét, a gyorsaságát és egyszerűségét veszítenénk el. A másik fennmaradó lehetőség a deklináció normálértékének meghatározása számítással. A gyakorlatban természetesen a deklináció valódi értékére lenne szükségünk, ehelyett a normálértékét csak közelítésként használjuk. A normálérték azonban igen ritka véletlentől eltekintve nem egyezik meg a valódi értékkel, a kettő különbsége a deklináció-anomália, vagy deklináció-rendellenesség. Számunkra a deklináció-rendellenesség az a hiba, ami terhelni fogja a mágnesű használata esetén a meghatározandó irányunkat. Tanulmányunkban a deklináció  $D(\varphi, \lambda, t)$  normálértékének számításával foglalkozunk és a meghatározás lehetséges hibáját próbáljuk megbecsülni.

## 1. A deklináció normálértékének meghatározása

A számítás első lépése a

$$D(\varphi, \lambda, t) = D_0(t) + a(t)\Delta\varphi + b(t)\Delta\lambda + c(t)\Delta\varphi^2 + d(t)\Delta\varphi\Delta\lambda + e(t)\Delta\lambda^2 \quad (1)$$

hatványpolinom felhasználásával a deklináció  $D(\varphi, \lambda, t)$  normálértékének meghatározása a kérdéses  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta\lambda$  koordinátájú pontban a  $t$  epochára, ahol  $\Delta\varphi = \varphi - 45^\circ 30'$  és  $\Delta\lambda = \lambda - 16^\circ 00'$  ( $\varphi$  és  $\lambda$  a kérdéses pont ellipszoidi /pl. WGS84/ szélessége és hosszúsága) (Völgyesi és Csontos, 2014). A gyors időbeli változás követése miatt gyakorlatilag 15 évente történnek ismételt alaphálózati mérések az (1) hatványpolinomban szereplő  $D_0(t)$ ,  $a(t)$ ,  $b(t)$ ,  $c(t)$ ,  $d(t)$ ,  $e(t)$  együtthatók meghatározására. A deklináció normálértékének számítása során mindig a legfrissebb mérések alapján meghatározott együtthatókat kell figyelembe venni. Sajnos jelenleg kedvezőtlen helyzetben vagyunk, ugyanis a legutóbbi részletes országos alaphálózati méréseket még 1995 előtt végezték, a 15 éves gyakoriságú 2010-ben esedékes meghatározás a napfoltmaximum és néhány eszköz hiánya miatt viszont még várat magára. 2010-ben csupán szekuláris méréseket végeztek mindössze 13 hálózati ponton, és ebből az (1) összefüggésnek csak az elsőfokú polinom-együtthatóit határozták meg (Völgyesi és Csontos, 2014). Ez azért okoz gondot, mert az 1995 körüli részletes alaphálózati mérések már meglehetősen régiek, ugyanakkor a frissebb 2010.5 epochára számított normál deklináció értékek kevésbé részletgazdagok, így jobban eltérhetnek a valódi értékektől. Az 1995.0 és a 2010.5 epochára vonatkozó együtthatók számértékei az 1. táblázatban találhatók.

1. táblázat. Az (1) normálképlet együtthatói az 1995.0 és a 2010.5 epochára

epocha	$D_0$	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$
1995.0	$+1^\circ 39.04'$	+0.00469	+0.21906	+0.00027	+0.00010	-0.00001
2010.5	$+2^\circ 26.40'$	+0.11062	+0.22092	–	–	–

Az (1) hatványpolinom együtthatóinak helyébe pl. az 1995.0 epochára (1995. jan. 1.-re) vonatkozó számértékeket beírva a deklináció normálértékét a kérdéses  $\varphi$  és  $\lambda$  koordinátájú pontban 1995. jan. 1. időpontra kapjuk meg. (Az 1. táblázatban szereplő együtthatókat alkalmazva az (1) összefüggésbe a  $D_0$ , a  $\Delta\varphi$  és a  $\Delta\lambda$  koordináta-különbségeket szögperc dimenzióban kell behelyettesíteni ahhoz, hogy a  $D$  értékét is szögpercben kapjuk meg.)

Természetesen nekünk nem arra az epochára (pl. 1995.0-ra) kell a normálérték, amikor az (1) polinommal kiszámítjuk, hanem pontosan arra az időpontra, amikor a deklináció értékét használni szeretnénk. Ezért ki kell számítanunk, hogy a meghatározandó pontban a normálképlet epochája és a kérdéses időpont között mennyi a deklináció időbeli változása, majd ezzel a változással meg kell javítanunk az (1) hatványpolinommal számított deklinációt.

Az időbeli változás meghatározásához nagy segítséget nyújtanak az alaphálózati mérések epochái közötti időtartamra meghatározott ún. *izopor görbék*. Ha összehasonlítjuk a különböző epochákra az alaphálózati mérések során meghatározott deklináció értékeket, akkor ezeket a deklinációkülönbségeket az epochák közötti időtartammal elosztva az időbeli változások sebességét kapjuk az egyes pontokban. Ezek területi eloszlását formailag a

$$\Delta D ["/\text{év}] = p_0 ["/\text{év}] + p_1 \Delta\varphi ['] + p_2 \Delta\lambda ['] \quad (2)$$

elsőfokú hatványpolinommal írjuk le. A 2. táblázatban a magyarországi szekuláris hálózat pontjain végzett mérésekből meghatározott együtthatókat láthatjuk különböző időtartamokra (Aczél és Stomfai, 1969; Kovács és mások, 2012b).

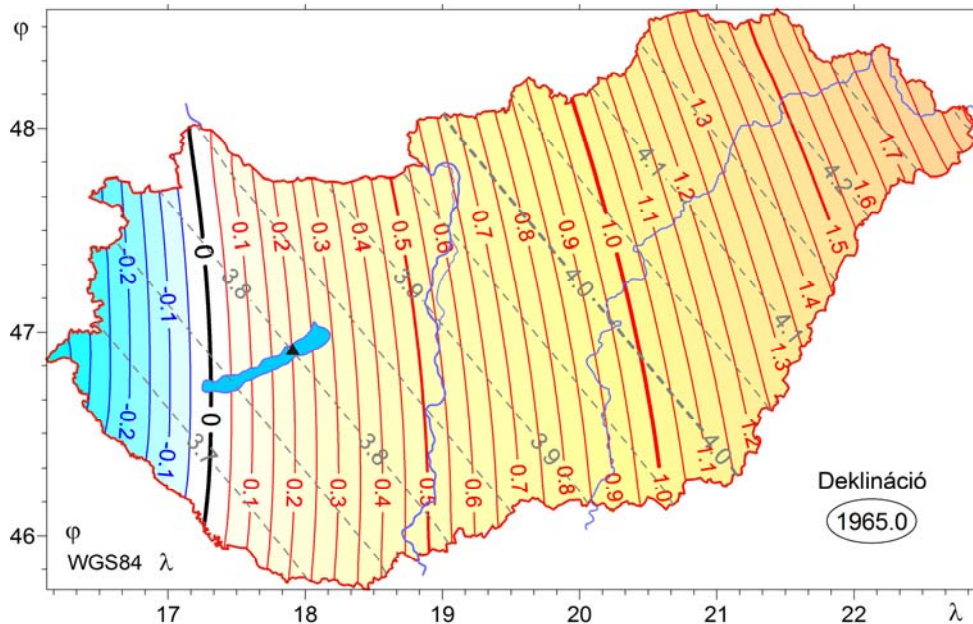
2. táblázat. A (2) összefüggés együtthatói különböző időtartamokra

időtartam	$p_0 ["/\text{év}]$	$p_1$	$p_2$
1965.0 – 1966.0	3.51	+0.00163	+0.00133
...	...	...	...
2000.5 – 2003.5	5.09	+0.00108	-0.00027
2003.5 – 2006.5	4.78	+0.00179	-0.00055
2006.5 – 2009.5	6.13	+0.00276	-0.00144
2009.5 – 2010.5	7.39	-0.00133	+0.00030

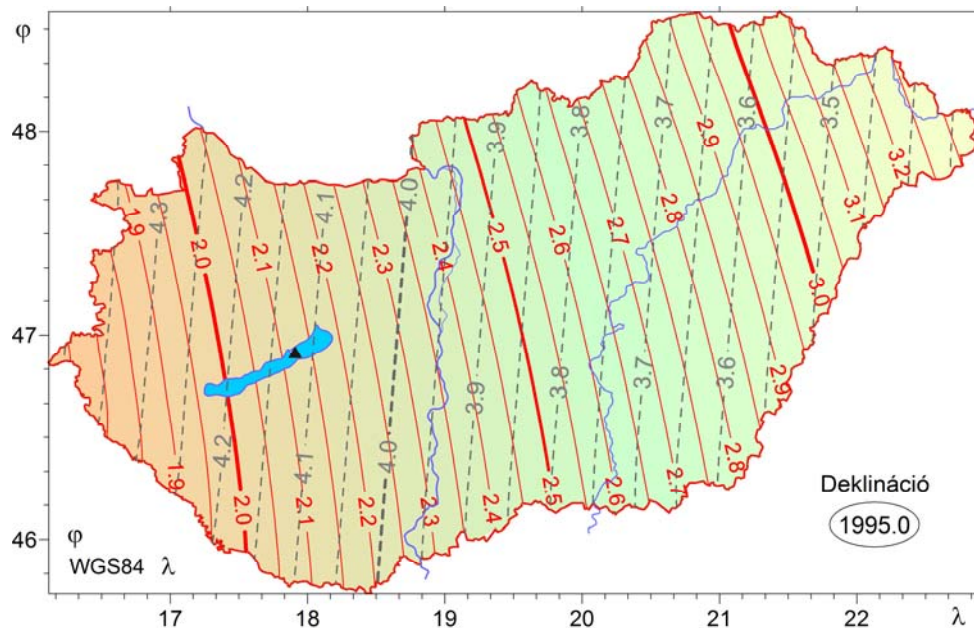
Jelenleg Magyarország területén – a soron következő meghatározásig – a 2. táblázat utolsó sorában szereplő, legutóbbi mérésekkel meghatározott együtthatókat célszerű használni az időbeli változások számítására. Érdekes megfigyelni a táblázatban a  $p_0$  együttható időbeli növekedését, ami a deklináció időbeli változásának jelenlegi felgyorsulását jelzi.

Térképen ábrázolva az éves változásokat, az azonos változási sebességű helyeket az *izopor görbékkel* köthetjük össze. A 1. és a 2. ábrán a deklináció normálértékének 1965.0 és 1995.0 epochára vonatkozó eloszlását és a változás mértékét hasonlíthatjuk össze. A deklináció normálértékét piros színű izogon görbék szemléltetik, a szaggatott vonalakkal ábrázolt izopor görbék pedig az ország különböző területeire a változás sebességéről adnak információt.

A fentiek alapján adott helyre és időpontra a deklináció normálértéke számítással és grafikusán is egyszerűen és gyorsan meghatározható. A grafikus meghatározás esetén pl. a 2. ábrán látható térképre rászerkesztjük a kérdéses pont helyét, és az izogonokról megállapítjuk a deklináció normálértékét az 1995. jan. 1. epochára. Ezt követően a szaggatott vonalakkal ábrázolt izopor görbék alapján leolvassuk a kérdéses pontban az éves változás mértékét, majd ezt megszorozva az 1995. epocha és a kérdéses időpont közötti évek számával megkapjuk az időbeli változás miatt szükséges javítást, amit hozzá kell adni az 1995.0 epochára számított normálértékhez.



1. ábra. A deklináció normális eloszlása és az időbeli változás sebessége 1965.0 epochában. Az agonvonalat fekete, a negatív és a pozitív izogon görbéket kék, illetve piros-, az izopor görbéket szaggatott szürke vonalak jelölik, a számértékek fok- ill. szögperc/év egységben értendők.



2. ábra. A deklináció normális eloszlása és az időbeli változás sebessége 1995.0 epochában. Az izogon görbéket piros-, az izopor görbéket szaggatott szürke vonalak jelölik, a számértékek fok- ill. szögperc/év egységben értendők.

Számítással szintén egyszerűen eredményre juthatunk: először az (1) összefüggéssel kiszámítjuk pl. az 1995.0 epochára vonatkozó normálértéket, majd ezt megjavítjuk a (2) összefüggéssel meghatározott éves változásnak a megfelelő időtartammal szorzott értékkel. Korábban, az 1950.0 és 1995.0 közötti időtartamokra a Kovács és Körmendi (1999) által meghatározott

$$D[\text{"/év}] = 4.41[\text{"/év}] + 0.00033\Delta\varphi[\text{'}] - 0.00276\Delta\lambda[\text{'}] \quad (3)$$

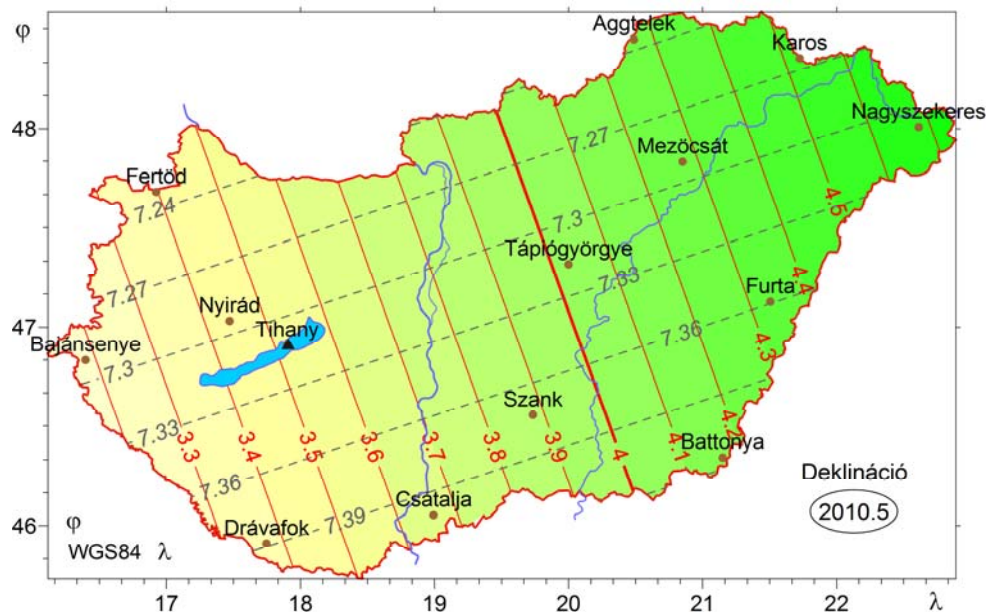
összefüggéssel számolhattunk, ma már ezeket az együtthatókat nem célszerű használni, helyettük a 2. táblázat legújabb együtthatóit alkalmazzuk. Azonban az időbeli változások meghatározására nem mindig a legfrissebb szekuláris együtthatókat kell használni, hanem az arra az időszakra érvényes értékeket, amelyekre a számolás vonatkozik. Ennek megfelelően, ha a kérdéses időpont jelentősen

meghaladja az (1) normálképlet epocháját, akkor a deklináció valamely adott 1995 utáni időpontra (pl. a mostani dátumra) vonatkozó normálértékének meghatározásához az (1) összefüggéssel számított 1995.0 epochára vonatkozó normálértéket a kérdéses időpontig időben szakaszosan, több lépésben kell javítani, és az egyes szakaszokban mindig az adott szakaszra érvényes együtthatókat kell alkalmazni.

Ha összehasonlítjuk a deklináció 1. ábrán látható 1965.0 epochára-, és a 2. ábrán látható 1995.0 epochára vonatkozó izogon és izopor görbéket, megállapíthatjuk, hogy a csillagászati és a mágneses északi irány közötti különbség térben és időben rendkívül markánsan változik. Jól szemlélteti a deklináció rendkívül jelentős változását, hogy a  $D = 0$  (a nulla deklinációjú) helyeket összekötő ún. *agonvonal* 1965-ben még a Balaton nyugati részén haladt keresztül, ugyanott a deklináció értéke 2014-ben már közel  $+4^\circ$ . Adott helyre és időpontra ugyanazzal a számítási elvvel az 1995.0 vagy az 1965.0 epochára vonatkozó adatokból kiindulva más normálértékeket kapunk a deklinációra. Az 1965.0 év adataiból kiindulva sokkal távolabbi időpontra kell extrapolálnunk, az ebből meghatározott értékek ma már kevésbé megbízhatók. Ráadásul még az országos alaphálózati mérések között eltelt 15 év is túl hosszú idő ahhoz, hogy a földmágneses tér időbeli változása pontosan követhető legyen, mivel maga a változás sebessége sem állandó (pl. 2007-től 2014-ig az ország területén éppen gyorsult). Az időbeli változások mértéke a földrajzi hely függvénye is, adott területen az időbeli változásokat a földmágneses obszervatóriumok adatsoraiból lehet becsülni. Mivel az obszervatóriumok sűrűsége és területi eloszlása nem megfelelő ennek pontos leírására, az időbeli változások térbeli függőségének követésére 1965-ben, az akkori hálózati mérések leginkább anomáliamentes pontjai közül kiválasztott 15 pontból ún. *szekuláris hálózatot* hoztak létre (Aczél és Stomfai, 1969; Kovács és mások, 2012a).

Az első szekuláris hálózati méréseket 1966-ban végezték. A jelenlegi szekuláris hálózat pontjai a 3. ábrán láthatók. A különböző geofizikai megfontolásokból létrehozott szekuláris hálózat esetében legalább 2-3 évente ajánlott a méréseket megismételni. Így számos célnak megfelelő pontossággal nyomon követhetők a mágneses tér idő- és térbeli változásai. A 2. táblázatban szereplő adatok ennek a szekuláris hálózatnak a különböző években elvégzett mérései alapján születtek.

A 3. ábrán együtt láthatjuk a szekuláris hálózat mérései alapján a deklináció 2010.5 epochára meghatározott normáleloszlását és az időbeli változás sebességét (Kovács és mások, 2012b), az izogon vonalakat piros folyamatos-, az izopor vonalakat szürke szaggatott vonalak jelölik, a számértékek fok- ill. szögperc/év egységben értendők.

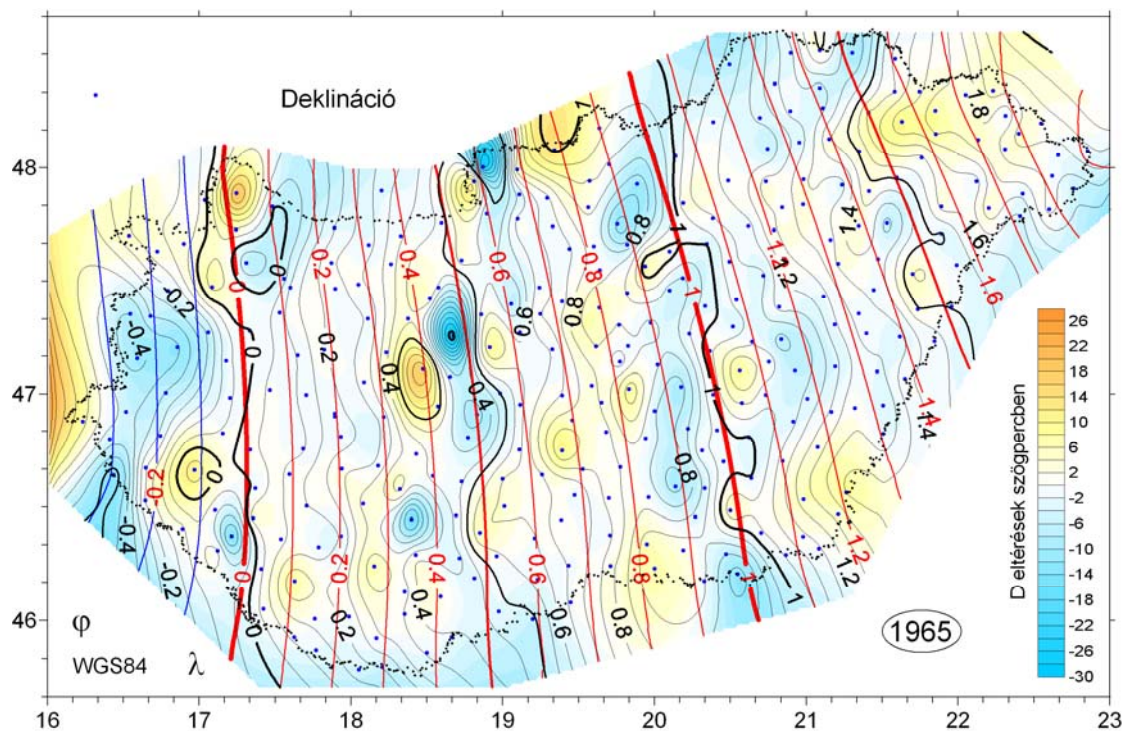


3. ábra. A szekuláris hálózat pontjai, a deklináció normális eloszlása és az időbeli változás sebessége 2010.5 epochában. Az izogon vonalakat piros-, az izopor vonalakat szaggatott szürke vonalak jelölik, a számértékek fok- ill. szögperc/év egységben értendők.

## 2. A deklináció normálértékének használhatósága

A geodéziai gyakorlatban és navigációs célokra a deklináció valódi értékére lenne szükségünk, ehelyett azonban csak a normálértékét tudjuk kiszámítani és használni. Felmerül a kérdés, hogy ezzel mekkorát tévedhetünk, vagyis mekkora lehet a kettő közötti eltérés?

A földmágneses normáltér meghatározásához szükséges országos alaphálózati mérések pontjait igyekeztek úgy kiválasztani, hogy azok lehetőleg egyenletesen fedjék le Magyarország területét, ugyanakkor a normáltér kiszámítása során kihagyták, vagy csak igen kis súllyal vették figyelembe az anomáliával rendelkező pontokat, hogy a normáltér ne a rendellenességeket, hanem inkább a szabályosságot tükrözze. A 4. ábrán példaként az 1965. jan. 1. epochára vonatkozó mérések 300 alaphálózati pontja látható. A fekete színű görbék az alaphálózati pontokon közvetlenül mért és 1965. jan. 1.-re redukált értékekre vonatkozó izogonok, míg a piros színű görbék ugyanezen hálózati pontokra az (1) hatványpolinommal meghatározott normál deklinációértékek izogonjai. A kettő közötti eltérés, vagyis a deklináció-anomáliák nagysága a 4. ábra jobb oldalán látható színskála alapján közel  $\pm 30$  perc között változik. A rendellenességek azonban ennél lényegesen nagyobbak is lehetnek, mivel a normáltér meghatározásának alapjául szolgáló értékek csak a kiválasztott hálózati pontokban ismertek, az alaphálózati pontok közötti nagy területeken a deklináció valódi szélső értékeit nem ismerjük. A nagyobb anomáliák elsősorban azokon a területeken várhatók, ahol a felszínen vagy a felszín közelében vulkáni kőzetek vannak. Sajnos a deklináció-anomáliák meghatározására megfelelő mérések eddig nem történtek, egyes becslések (pl. Szabó, 1983; Völgyesi 2002) szerint az eltérések helyenként akár az  $1^\circ$  értéket is elérhetik. Különösen veszélyesek a vasutak, távvezetékek, vasoszlopok, bizonyos ipartelepek, transzformátorállomások, stb. környezete, ahol a deklináció valódi mért értéke több fokkal is eltérhet az (1) összefüggéssel számítható normálértéktől.



4. ábra. Deklináció normálértékek (piros izogonok), a mért értékeknek megfelelő (fekete) izogonok és a deklináció-eltérések (anomáliák) eloszlása Magyarországon 1965-ben (az izovonalak értékkeze  $0.05^\circ$ )

A geofizikai gyakorlatban alapvetően fontos a földmágneses normáltér megfelelő meghatározása, mivel ez szolgáltat alapot a minél jobban értelmezhető mágneses anomáliák számításához. A geofizikában éppen ezek a térerősség-anomáliák szolgáltatnak fontos információt a felszín alatti ismeretlen szerkezetekről. A geodéziai és a navigációs gyakorlatban viszont teljesen más a cél, itt adott helyen és időpontban a deklináció *valódi*, lehető legpontosabb értékére lenne szükségünk. Ennek megfelelően a deklináció-anomália minimalizálása a célunk, hiszen a nagyobb anomáliák éppen azt jelzik, hogy pontatlanabb deklináció értéket tudunk meghatározni. Más szóval a geodéziai és a navigációs gyakorlatban valójában nem is lenne szükségünk normáltérre, helyette inkább a deklinációértékek valódi eloszlására vagyunk kíváncsiak. Ehhez minél több pontban kellene megmérni a deklináció értékét (semmiképpen nem törekedve kizárólag az anomáliamentes ponthálózat kialakítására) és magasabb fokszámú polinommal kellene leírni a teret.

Mesterséges anomáliáktól távoli helyeken a számított deklináció valódi értéktől adódó eltérésének legveszélyesebb oka és forrása az időbeli változás. A szabályos napi változás nagysága a nyári hónapokban meghaladhatja a 15' értéket is (Völgyesi és Csontos, 2014). Kiszámíthatatlanságuk miatt a legnagyobb gondot a mágneses viharok okozzák. A nagyobb mágneses viharok idején néhányszor tíz perc időtartam alatt akár 1° értékkel is megváltozhat a deklináció értéke, a változás teljesen szabálytalan és több napig is eltart (Völgyesi és Csontos, 2014).

Összefoglalásként megállapíthatjuk, hogy a földmágneses tér geodéziai és navigációs célú felhasználása esetén rendkívül körültekintően kell eljárni. Nem elég alkalmas összefüggéssel meghatározni a deklináció minél nagyobb felbontású normálértékét, ezt a megfelelő időbeli javítással is el kell látni. A 4. ábra alapján a deklináció normálértéke akár ±30' értékkel eltérhet az alaphálózat pontjaiban mért értékektől. A nem alaphálózati pontokban az eltérés ennél lényegesen nagyobb is lehet, az értékét nagyon nehéz megbecsülni, de könnyen elképzelhető legalább 1 fok eltérés is. További néhány szögperc származhat a szabályos napi változás eltéréseiből, és újabb több szögperc a szekuláris változás meghatározásából.

A legkedvezőbb esetben, nyugodt napi variációt feltételezve, néhány tized fokos eltérés várható a számított és a valódi deklináció értéke között. Kedvezőtlen esetben viszont, ha nagyobb anomáliájú helyen mérünk és éppen geomágneses vihar idejét éljük, a számítással meghatározott deklináció több fokkal is eltérhet a pillanatnyi valódi értéktől, tehát a meghatározott északi irány több fokkal hibás lehet.

Fontos megemlíteni, hogy a tapasztalat szerint különböző ferromágneses anyagok (pl. autó, hajó, vasbeton, mobiltelefon stb.) közelsége fontos és jelentős hibaforrás a mágneses mérések esetében.

Legutóbbi Eötvös-ingás méréseink során a Mátyás-barlangban a deklináció valódi értéke több mint 3° értékkel eltért a normálértéktől. Az Eötvös-ingát a mérés megkezdése előtt pontosan be kell állítani a csillagászati É. irányú kezdőazimutba, melyet az ingához mellékelt busszola (speciális iránytű) segítségével határozzuk meg. Ennek használatánál természetesen figyelembe kell venni a mágneses deklináció szögét. Ulmann (2014) kimutatta, hogy a deklináció akár 1–2° értékű hibája megengedhetetlen hibát okoz az Eötvös-inga mérésekben.

## Megjegyzés

Kutatásaink a 76231 sz. OTKA támogatásával folytak.

## Irodalom

- Aczél E, Stomfai R (1969): A földmágneses elemek változása a az 1966-os szekuláris mérés szerint. Geofizikai Közlemények, 18(1-2), 3-11.
- Csontos A, Hegyemegi L, Heilig B, Kovács P, Merényi L, Szabó Z (2007): 50 Years of History of the Tihany Geophysical Observatory. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, C-99 (398).
- Kovács P, Körmendi A (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.

- Kovács P, Csontos A, Heilig B, Hegymegi L, Merényi L, Vadász G, Koppán A (2012a): Földmágnesség: A Tihanyi Geofizikai Observatórium. Magyar Geofizika, 53(3), 191-203.
- Kovács P, Csontos A, Heilig B, Koppán A (2012b): Hungarian repeat station survey, 2010. Annals of Geophysics, 55(6), 1113-1119. DOI: 10.4401/ag-5450.
- Szabó Z. (1983): A mágneses deklináció változásai Magyarországon (1850-1980). Geodézia és Kartográfia, 35(6), 438-442.
- Ulmann Z (2014): Eötvös-inga mérések geodéziai hasznosítása. PhD értekezés, BME, Vásárhelyi Pál Építőmérnöki és Földtudományi Doktori Iskola, Budapest.
- Völgyesi L (2002): Geofizika. Műegyetemi Kiadó, Budapest.
- Völgyesi L, Csontos A (2014): A földmágnesség jelentősége a geodéziában és a navigációban. Geodézia és Kartográfia 66(5-6), 4-9.

## Summary

### Determination of the geomagnetic North for geodesy and navigation

In our previous study geodetic and navigational importance of the geomagnetic field was briefly reviewed, structure and change in space and time of the geomagnetic field was discussed.

The most common geodetic and navigational problem is to determine the precise geomagnetic declination on a given place and time. For lack of the known declination the compass can not be used in reasonable accuracy neither geodetic nor for navigational purposes. Determination the true value of the magnetic declination by field measurements is a complicated and time consuming task, being carried out such a field measurement just the great advantages, the speed and simplicity of the using of compass would be lost. The other remaining possibility is to determine the normal value of declination by computation. In practice, of course, the real value of the declination would be needed, but instead of this, the normal value is used only as an approximation. However, the normal value of the declination, except in very rare randomness does not correspond to the real value, difference between this two is the declination anomaly. Using the compass for geodetic or navigation purposes, declination anomaly is the error which ruins the determined northern direction. In our study determination of the normal value of geomagnetic declination  $D(\varphi, \lambda, t)$  is discussed and the possible error sources of the determination is attempted to estimate.



Dr. Völgyesi Lajos  
egyetemi tanár

BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék  
volgyesi@epito.bme.hu  
<http://www.agt.bme.hu/volgyesi>



Csontos András  
tudományos munkatárs

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

\* \* \*

Völgyesi L, Csontos A (2014): A mágneses északi irány meghatározása geodéziai és navigációs célokra. Geodézia és Kartográfia, Vol. 66, Nr. 7-8, pp. 4-7.

Dr. Lajos VÖLGYESI, Department of Geodesy and Surveying, Budapest University of Technology and Economics, H-1521 Budapest, Hungary, Műegyetem rkp. 3.  
Web: <http://www.agt.bme.hu/volgyesi> E-mail: [volgyesi@eik.bme.hu](mailto:volgyesi@eik.bme.hu)