

V. A FÖLDMÁGNESSÉGRE VONATKOZO VIZSGÁLATOKRÓL.

Báró EÖTVÖS LORÁND az előző dolgozatokban ismertetett vizsgálatai mellett, a melyek őt a nehézség térbeli eloszlásának igen részletes és pontos megismeréséhez vezették, azokkal egyidőben megfigyeléseit a másik földi erőre, a földmágnességre is kiterjesztette. Ennek erőssége a nehézségénél sokszorta kisebb, ($\frac{1}{1400} - \frac{1}{3400}$ része annak), de térbeli változásai viszont az egész erőhöz viszonyítva jóval nagyobbak amazénál. Jellemző különbség még közöttük, hogy a földmágneses erő az időben is jelentékenyen változik, a mit a nehézségről eddig biztosan nem mondhatunk.

A földmágneses erőter ismeretéhez, kétféle változásának megfelelően, a Föld különböző helyeire elosztott és ugyanazon helyeken különböző időben tett megfigyelésekre van szükségünk. Az utóbbi az állandó obszervatoriumok feladata, míg a térbeli eloszláshoz az adatokat ama mágneses felvételek szolgáltatják, a melyeket ez ideig a Föld különböző pontjain végeztek. — Ezek azonban nemcsak a messzebb fekvő földrészekben és oceánokon, hanem még azokban az országokban is meglehetősen hiányosak, melyek különben földmágneses felvételekben első helyen állanak. Rendszerint elégségesnek tartották a megfigyelések helyeit egyenletesen ugyan, de egymástól nagyobb közökben megválasztani, mivel úgy találták, hogy 2—3 ívfokon belül a földmágneses elemek mint a földrajzi szélesség és hosszúságkülönbségek lineáris függvényei állíthatók elő s a szekuláris időbeli változást is e területen belül nagy megközelítéssel lineárisan lehet kifejezni.

A földmágnességnek ez az egyszerű, normális eloszlása azonban nem mindenütt mutatkozik; egyes helyeken az eltérések ettől az egész erőnek $\frac{1}{20}$ — $\frac{1}{10}$ vagy még annál nagyobb részét is teszik s hasonló rendű változásokat találtak az erő irányában is (Moszkva és Páris környéke, Kursk kormányzóság Oroszországban). Így megkülönböztetnek mágneseszen normális és zavart területeket s ez utóbbiakban ismét kis kiterjedésű lokális és nagyobb terjedelmű regionális zavarokat.

Eötvös módszere a nehézség térbeli változásainak leméréseére megkívánja, hogy a szomszédos meghatározások helyei csak oly messze legyenek egymástól, a meddig köztük előre megállapított hibahatáron belül a nehézség változása lineárisnak vehető, a tényleg végrehajtott megfigyelések pedig megmutatták, hogy a nehézség térbeli eloszlása a valóságban sehol sem normális oly értelemben, mint az a HELMERT-fél formulából adódik. Eötvös földmágneses mérései, a melyeket nemcsak a torziós ingával végzett megfigyelések összes helyein, hanem azonkívül még sok száz más helyen is végzett, hasonlóképen azt mutatták, hogy a földmágnesség normális térbeli eloszlását sem igen találjuk, hanem attól kisebb-nagyobb eltérések, zavarok majd mindenütt fellépnek. Ennek szigorú megismeréséhez a megfigyeléseknek sűrű hálózatára van szükségünk, a mit azután még részletesebbé kell tennünk ott, a hol hirtelen és nagy zavarok a lineáris interpolációt kétségesse teszik. Azonkívül a nehézségnek és a földmágneses erőnek ugyanazon a területen való részletes ismerete tette lehetővé, hogy Eötvös ezen erők rendellenességei között összefüggéseket tudott találni és pedig egészen más értelmezésben, mint azt előtte többen megkísérelték.

A következőkben rövid áttekintést kívánok adni Eötvösnek földmágneses méréseiről, továbbá azok feldolgozásának módjáról és eredményeiről.

A földmágneses erőt egy helyen és egy időpontban három elemével határozzák meg, ezek: vízszintes erőssége H , (horizontális intenzitás), a vízszintes síkban a csillagászati délkörtől

való elhajlása D , (deklináció) és a vízszintes síktól való lehajlása I , (inklináció). Ezen elemek lemérésére Eötvös is a szokásos módszereket használja, bár mint később látni fogjuk, ő a földmágnesség térbeli változásainak meghatározására egy a torziós ingához hasonló mágneses variometert, ugynevezett mágneses transzlatometert is szerkesztett.

A horizontális intenzitás meghatározására a GAUSS-féle eljárást használjuk, úgy mint azt LAMONT módosította. Az e célra szolgáló mágneses teodolitok a deklináció abszolút meghatározására is szolgálnak. Azt a gazdag tapasztalatot, a melyet Eötvös a gravitációs torziós ingában oly fontos szerepet játszó mérődrótokra vonatkozólag szerzett, a mágneses teodolitokban is jól értékesíthette. Ezek legnagyobb részében ugyanis a rendszeren használni szokott kokonzsálat igen vékony de nagy teherbírású foszforbronzdróttal helyettesítette, a melyeknek előzetes preparálása a platina drótokéhoz hasonló módon történik. — Az ilyen drótok az időben igen kicsiny vagy épen semmi megcsavarodást sem mutatnak, a mi azután főleg az abszolút deklinációmeghatározások megbízhatóságát erősen emeli. A mágneses teodolitok állandóinak ellenőrzésére bizonyos időközökben az ógyallai földmágneses obszervatóriumban az ottani műszerekkel összehasonlításokat végzünk. A csillagászati délkör irányának kitűzése, azaz egy tetszőleges mira azimutjának a meghatározása külön teodolittal történik, a mely egyúttal időmeghatározásra is szolgál, hogy a mágnesek lengésidejének megfigyeléséhez szükséges kronometerek járását ellenőrizhessük. Az inklináció lemérésére, mellőzve az úgynevezett tús inklinatoriumokat, a földinduktort használjuk oly alakban, mint az LAMONT és WILD óta szokásos; ennél a földmágnesség erőtere a tengelyével a mágneses meridiánba beállított és forgatott többmenetű tekercsben csak akkor nem indukál áramot, ha a tekercs tengelye az erővonalak irányába esik, vagyis ha a horizontális síktól az inklináció szögével tér el.

Az abszolút meghatározások pontossága nem sokkal marad

az állandó obszervatoriumokban végzettké mögött s mint hibákat a horizontális intenzitásnál $\pm 5\gamma$ -t, a deklinációban $\pm 1'$ -t s az inklinációban $\pm 0.1'$ -t állapíthatunk meg.

Eme úgynevezett abszolút meghatározásokon kívül nem kevésbé fontosak a hor. intenzitás és deklináció relativ mérései sem; az előbbi a KOHLRAUSCH-féle helyi variometerrel történik, míg a deklinációnak két hely között való változásának a le-méréseire két teljesen egyforma, külön e célra szerkesztett mágneses teodolit szolgál. A KOHLRAUSCH-féle helyi variometer oly formában, mint az rendszeren ismeretes, a szabadban való mérésekhez a gyors hőmérsékleti változásból eredő hibák és a szállítás körülményes volta miatt alig használható. Eötvös azonban azzal, hogy egy kettős falu fémhengerbe zárja azt, a melynél az eszközzel való valamennyi művelet (a tűkörmágnes beállítása a mágneses délkörbe, a kitérítő mágnesek forgatása, arretálás és kioldás) s a leolvasások is kívülről történhetnek, e variometernek oly használhatósági teret nyitott, a mivel a horizontális intenzitás értéke bármely helyen $\pm 10\gamma$ pontosságig pár perc alatt meghatározható. Ehhez azonban szükséges a kitérítő mágnesek momentumainak nagy állandósága s annak folytonos ellenőrzése, a mi az abszolút meghatározásokkal egyidejűleg végzett KOHLRAUSCH variometer megfigyelésekkel történik. Eötvös a deklinációnak két hely A és B között való változását két teljesen egyforma mágneses teodollal a következőkép méri. Két észlelő egyidejűleg megállapítja A és B pontokon a mágneses délkör irányát M és M' -t, azután a másik pontnak az irányát; akkor a $BAM + ABM'$ szögösszeg eltérése a 180° -tól adja A és B pontok között a deklinációváltozást, tekintetbe véve a két helyen a csillagászati délkörök összehajlását és az eszközök instrumentális hibáit.

Az eszközöket, a melyek ládába csomagolva könnyen és biztosan szállíthatók, a mérések alatt gyorsan felállítható és könnyen hordozható sátrak védik az időjárás ellen. A használt berendezések célszerű volta teszi lehetővé, hogy egy nap alatt rendszeren egy, de esetleg két állomáson is meghatároz-

hatjuk a már megadott pontosságig a földmágnesség mindhárom elemét; az említett relativ mérésekkel pedig a horizontális intenzitást vagy a deklináció változásait egy nap alatt az állomások egész során 20 vagy 30-on mérhetjük le.

Az abszolút meghatározások rendszeresen ugyanott történnek, ahol a gravitációs mérések, gondosan ügyelvén mindig arra, hogy külső zavaró hatások, mint például ház, vashid, esetleg villamos vezeték, kerítés stb. azok eredményét ne befolyásolják.

Az állomások elhelyezésére nézve, mint Eötvös földmágneses és gravitációs méréseire jellemzőt csak azt kívánom fel-
említeni, hogy az abszolút meghatározások helyei egymástól 5 kilométernél messzebb sehol sincsenek (az első évek egyes kivételeitől eltekintve), míg a relativ mérések sűrűségét a mágneses térbeli zavarok mindenkori menete határozza meg.

Évek hosszú során át más és más észlelők, de mindig egységes módszer mellett az ország legkülönbözőbb részeiről a földmágneses elemeknek gazdag gyűjteményét hordták egybe. Helyén valónak tartom felemlíteni mindazokat, a kik Eötvösnek az adatgyűjtés e munkájában segítségére voltak. A mágneses abszolút meghatározásokat kezdetben Dr. STEINER LAJOS majd 1905-től kezdve azok legnagyobb részét *e sorok írója*, továbbá dr. POGÁNY BÉLA, dr. FRÖHLICH PÁL és kisebb számban NES TIVADAR és CSER IMRE végezték, relativ mágneses méréseknél pedig rajtuk kívül azok legnagyobb részében dr. PEKÁR DEZSŐ, továbbá dr. ZEMPLÉN GYŐZŐ, dr. RYBÁR ISTVÁN, RENNÉR JÁNOS, GARCSÁR SÁNDOR, WÁGNER LAJOS és dr. WALEK KÁROLY működtek közre.

A felvételek a gravitációs mérésekkel kapcsolatban, de azoktól függetlenül is az ország különböző vidékeire kiterjedtek. A *Balaton* vidékén és a jég hátán, különösen pedig *Fonyód* és *Boglár* közelében az 1902. és 1903. években történtek megfigyelések. 1902-1903-1904-ben a *Fruska Gora* volt Eötvös gravitációs, de méginkább földmágneses vizsgálatainak a színtere. E területet, a melynél érdekesebbet a földmágnesség szempontjából nálunk alig találunk, az állomások sűrű

vonalai fedik. A hegynek körülbelül kelet-nyugat irányú vonulatával párhuzamosan a *Duna* mindkét oldalán halad egy-egy fő észlelési vonal sűrűn megrakva abszolút meghatározásokkal; ugyanilyen vonal veszi körül az egész hegytömböt is. Az abszolút meghatározásoknak, mint alapházisnak közeit azután a relativ megfigyelések százai töltik ki, a mely vonalak legnagyobb része a hegyet hossz tengelyére merőlegesen észak-dél irányban metszi. Ezeknek kiegészítő részei az 1910. évben *Titel* vidékén végzett és az idei megfigyelések, a melyek az *Ujvidék* és *Titel* között lévő részletesen még meg nem vizsgált területen folynak. 1905-ben *Arad-Temesvár-Versec* vonalon, majd *Oravicabánya* környékén voltak mérések. *Arad* vidékének részletes felvétele 1906 és 1907-ben történt; majd 1908 és 1909-ben elég sűrűn elhelyezett állomásokkal haladtunk *Aradtól Szegeden* és *Szabadkán* át *Bajáig* és *Zomborig* azután még *Szabadkán* át összeköttetést létesítettünk a *Fruska-Gora* vidékén levő felvételekkel.

Kecskemét vidékén *Szegedről* indulva ki 1911-ben végeztük megfigyeléseinket. A következő évek (1912 és 1913) *Erdély* földmágneses viszonyaival ismertettek meg bennünket. Míg a gravitációs mérésekkel kapcsolatban *Nagyenyedtől Szászrégenig* s még azon túl is a *Maros* mentén sűrűn elhelyezett abszolút meghatározások történtek, addig másrésről *Aradról* kiindulva *Tövisen*, *Marosvásárhelyen* s *Szovátán* át *Gyergyószentmiklósig* húzódó körülbelül nyugat-kelet irányú, majd azzal párhuzamosan *Csikszeredától Tövisig* húzódó vonalakon mindenütt abszolút meghatározásokon kívül még relativ mérések is folytak. A délről észak felé, a határtól *Segesváron*, *Marosvásárhelyen*, *Sármáson* át *Bethlenig*, továbbá a határtól *Nagyszebenen* át *Medgyesig* vonuló *Kohlrausch* variometer észlelések egészítik ki *Erdély* felvételét. Az 1914 év programja lett volna az országot nyugat-keleti irányban átmetsző, *Nagykőröstől Debrecenen* és *Szatmárnémetin* át *Besztercéig* húzódó vonalnak a kidolgozása, a mely azonban a háború kitörése miatt csak részben történhetett meg.

Még a *Morvamezőnek* 1916-ban és a *Hortobágyinak* 1917-ben történt részletes felvételei teszik teljessé az észlelési területek felsorolását. Ezeken kívül kisebb, inkább előzetes tájékozódásra vagy kiegészítésre szolgáló felvételek is vannak. Így a *Bakonyban Veszprém* vidékén, azután *Pécs, Zimony, Tokaj, Gyöngyös, Eger, Selmecbánya, Munkács, Beregszász, Csongrád* és *Szentes* vidékén is történtek leginkább relativ meghatározások. Összeköttetést tesz teljessé az a vonal, a mely a *Béga* csatorna mellett *Temesvártól Titelig* húzódik.

A megfigyelések összes száma: abszolút meghatározás (mindhárom elem) körülbelül 1600 állomáson és relativ meghatározás (horizontális intenzitás és deklináció vagy csak az egyik) közel 3500 állomáson.

Előzőleg Magyarországon földmágneses felvételeket, leszámítva egyes régebbi megfigyeléseket KREIL, SCHENZL, LIZNAR, KURLÄNDER és a Balaton környékén STEINER végeztek összesen 270 állomáson.*

A külföldre vonatkozólag összehasonlításhoz csak annyit, hogy Amerikában L. A. BAUER vezetése alatt a *Carnegie Institut* által végzett nagyszabású földmágneses felvételek eredménye 1914-ig 1000 tengeri és 2500 szárazföldi állomás volt.

Hogy a különböző időben végzett mérések a térbeli eloszlás szempontjából összehasonlíthatók legyenek, azokat egy meghatározott időpontra, epochára kell redukálnunk. Összes földmágneses felvételünk redukciója a *pólai* illetve újabban

* Dr. KARL KREIL: Magnetische und geographische Ortsbestimmungen im österreichischen Kaiserstaate etc.

Dr. SCHENZL GUIDO: Adalékok a Magyar koronához tartozó országok földmágnességi viszonyainak ismeretéhez. Budapest 1881.

I. LIZNAR: Die Verteilung der erdmagnetischen Kraft in Österreich-Ungarn. Wien 1895.

KURLÄNDER IGNÁC: Földmágnességi mérések a magyar korona országaiban. Budapest 1896.

Dr. STEINER LAJOS: A Balaton vidékén az 1901 év nyarán végzett földmágnességi mérések eredményei. Budapest 1902.

az *ógyallai* obszervatoriumok adatai alapján 1903. 1. illetve az 1906. évi középértékekre történik. Az obszervatoriumok nagyobb távolsága a mérések helyeitől a redukciók egyik jelentős hibaforrása, azért ezek szigorúbb keresztülvitelére szükséges volna a földmágneses felvételek alkalmával az illető vidéken, alkalmas helyen, ideiglenes obszervatoriumot felállítani, a mely a mérések tartalma alatt regisztrálná a földmágneses elemeknek az illető vidékre szigorúan érvényes időbeli változásait.

A mérésekből nyert s ugyanazon epochára redukált földmágneses elemek H_e , D_e , I_e helyett rendszeren az egész földmágneses erő T_e derékszögű összetevőit X_e , Y_e , Z_e -t használjuk a következőkben, megjegyezvén, hogy ezek oly derékszögű koordinata rendszerre vonatkoznak, melynek pozitív X tengelye észak, Y tengelye kelet s a Z tengelye lefelé irányul.

A földmágneses elemek térbeli eloszlásának szemléltetésére szolgáló szokásos mágneses térképek, a melyek az izogonokat, izoklinokat vagy a különféle izodinamokat (H_e , X_e , Y_e , Z_e vagy T_e -t) tüntetik fel s a melyek rendszeren kevés számú megfigyelésből készültek, csak nagy megközelítéssel adnak felvilágosítást az illető terület földmágneses viszonyairól s annál kevésbé fedik a valóságot, minél zavartabb az. Hogy mennyire hibásak voltak az eddigi ilyen térképek, jellemző, hogy a *Carnegie Institut* által végzett felvételek egyes helyeken a kézen forgó mágneses térképek adataitól a deklinációban egész fok eltéréseket mutattak s a horizontális intenzitásban pedig már a második tizedest is bizonytalannak találták.

A földmágneses elemek térbeli eloszlásának ilyen előállítása helyett Eötvös minden helyen a *mágneses anomáliát* határozza meg s az ezekből számított egyenlő potenciálértékeket összekötő vonalakat, a mágneses anomália aequipotenciális görbéit adja, mint az illető vidékre jellemző mágneses térbeli eloszlást.

Már GAUSS megmutatta, miként lehet a földmágneses erőt a

Föld minden pontjában az illető pont földrajzi koordinátaival gömbfüggvények segítségével előállítani; kisebb területen belül ez az eloszlás, a melyet normálisnak nevezünk, sokkal egyszerűbb, a mennyiben, mint már említettük, a földmágneses elemek mint a földrajzi koordináták (φ és λ) lineáris függvényei állíthatók elő. A normális mágneses mező fölé helyezkedik azután — a sokféle időbeli változástól eltekintve — az a szabálytalan rész, a melynek okát minden valószínűség szerint, a Földben kell keresnünk, származzék az akár a földkérget alkotó tömegek mágneses hatásából, akár földi áramoktól. Ez a szabálytalan mágneses mező, vagyis az észlelt és normális érték között lévő különbség a mágneses anomália.

A mágneses anomáliának ép úgy, mint az egész földmágneses erőnek, talán annak egy kis részétől eltekintve van potenciálja, a mit

$$V = \int \frac{\partial V}{\partial s} ds$$

alakban állíthatunk elő.

Legyenek a horizontális síkban két, egymástól nem messze fekvő $x_1 y_1$ és $x_2 y_2$ pontban a mágneses anomáliának komponensei X_1, Y_1 illetve X_2, Y_2 , úgy az anomália potenciáljának a különbsége e két pont között első közelítésben

$$V_2 - V_1 = \frac{X_1 + X_2}{2} (x_2 - x_1) + \frac{Y_1 + Y_2}{2} (y_2 - y_1),$$

ha feltesszük, hogy az X és Y komponensek változása a két pont között lineáris.

Hasonlóképen mint az egész földmágneses erőre, áll az anomáliára is, hogy a Föld felületén levő zárt vonal mentén integrálva

$$V = \int \frac{\partial V}{\partial s} ds = 0,$$

a mi egyszersmind a mérések ellenőrzésére is szolgál; az így adódó hiba azután egy vonal mentén lineárisan, vagy egy

egész észlelési hálózatra GAUSS kiegyenlítési módszerével elosztható.

A mágneses anomáliák ugyanazon potenciálértékeit összekötő vonalak, a melyek az anomáliákra mindenütt merőlegesek, nemcsak a zavarok térbeli eloszlását szemléltetik közvetlen módon, hanem az így készült térképekből, ismerve a normális térbeli eloszlást, a mágneses elemek is kivehetők.

Az ilyen előállításra nézve azonban lényeges feltétel a normális érték helyes ismerete. Eörvös a normális érték meghatározására kisebb területen, a melyen a földmágneses elemek eloszlása az eddigi tapasztalatok szerint közel normálisnak tekinthető, azaz a hol nagyobb zavarok nincsenek, a megfigyelések egész sorát veszi, több ily területet (legalább hármat) összekapcsol és e nagyszámú értékből kiegyenlítéssel határozza meg a normális értéket előállító formula állandóit. Az észlelési adatok gyarapodásával e formulák is változásokon mentek át a szerint, a mint mindig újabb és újabb területeket vontunk megfigyeléseink körébe vagy az észlelt értékek nagyobb számát használtuk fel. A legutolsó és legteljesebb ilyen formula, a mely *Arad*, *Zombor* és *Kecskemét* között fekvő területen és a *Nagykőrös—Debrecen—Érmihályfalva* vonalon lévő észlelési adatokból készült, a következő:

$$H_n = 0.21986 - 0.000077107 (\varphi - \varphi_0) + 0.000007833 (\lambda - \lambda_0)$$

$$D_n = 6^\circ 26.7' - 0.05409 (\varphi - \varphi_0) + 0.44741 (\lambda - \lambda_0)$$

a hol $\varphi_0 = 46^\circ 0'$ és $\lambda_0 = 37^\circ 0'$, a φ és λ ívpercekben veendő és az értékek 1906. évi középértékre vonatkoznak. Az inklináció normális értékére vonatkozó formulát az inklináció időbeli redukeiójának bizonytalansága miatt újabban nem készítettünk. Az így előállított formulák azonban szigorúan mindig csak a számításban felhasznált területeken belül érvényesek.

Eörvös a mágneses anomáliáknak egy egészen más és újszerű előállítását is adja,⁸⁰ a mely első sorban oly helyeken alkalmazható, a hol azok meglehetősen kicsinyek. Az eljárás egészen analog azzal, a hogyan a nehézség nivófelületének

főgörbületeire jellemző R -t s annak irányát λ -t kiszámítja.⁷⁶ Legyen X és Y a két mágneses erőkomponens az xy pontban, úgy mindenekelőtt az

$$\frac{\partial X}{\partial x}; \frac{\partial Y}{\partial y} \text{ és } \frac{\partial X}{\partial y} = \frac{\partial Y}{\partial x}$$

differenciálhányadosokat kell képeznünk. Vonjuk le ezekből a megfelelő s az egész vidékre jellemző normális változásokat, úgy kapjuk a

$$\frac{\partial X'}{\partial x}; \frac{\partial Y'}{\partial y} \text{ és } \frac{\partial X'}{\partial y} = \frac{\partial Y'}{\partial x}$$

differenciálhányadosokat, a melyekből azután az előbb említett R és λ -hoz analog módon az

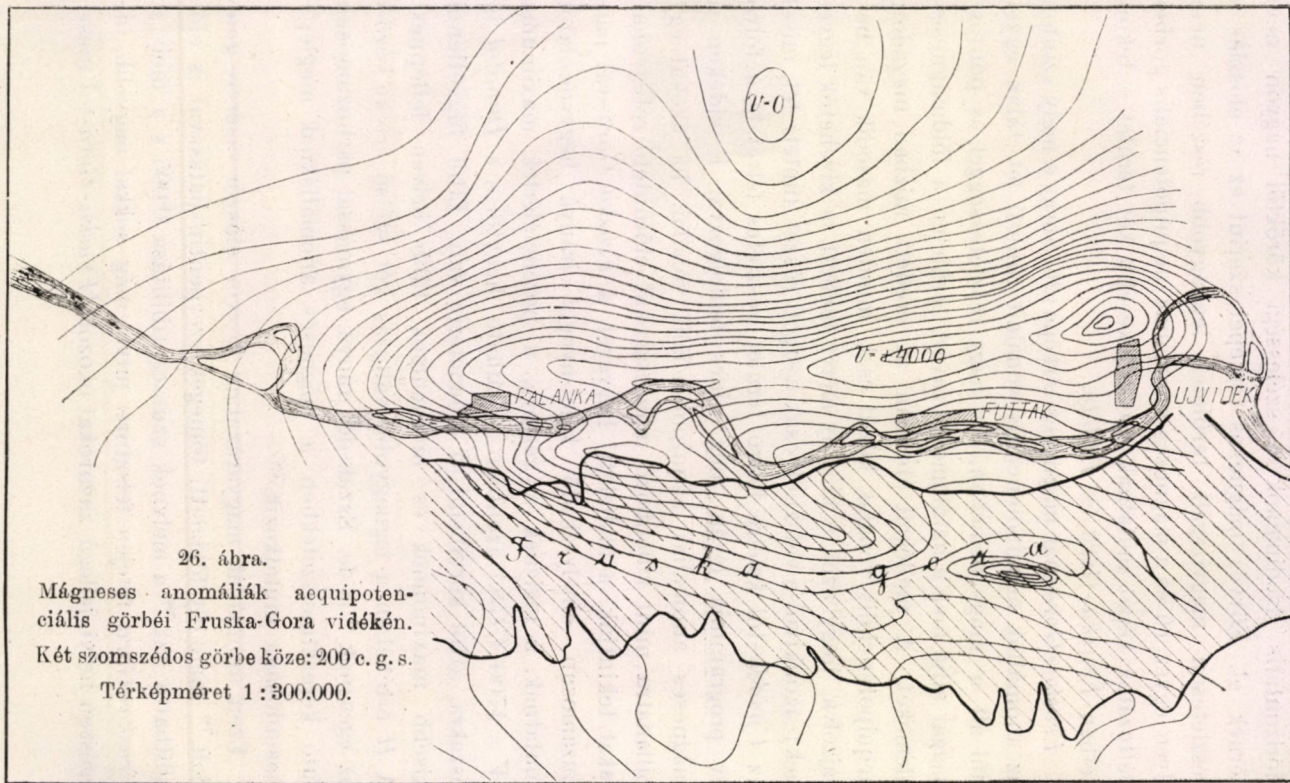
$$A = \sqrt{\left(\frac{\partial Y'}{\partial y} - \frac{\partial X'}{\partial x}\right)^2 + 4\left(\frac{\partial Y'}{\partial x}\right)^2} \text{ és } \sin 2\lambda = \frac{2}{A} \frac{\partial Y'}{\partial x}$$

kiszámítható. Az A mennyiség a mágneses anomália nagyságára, s λ annak irányára jellemző adat. Mint később látni fogjuk, az itt szereplő differenciálhányadosokat Eötvös mágneses variométereivel direkt le is tudja mérni. Ilyen módon először *Keeskemét* vidékére számította ki Eötvös a mágneses anomáliákat,⁸⁰ azután RÜCKER és THORPE észlelései alapján *Anglia* egy részére, majd TANAKADATE *japáni* felvételeire s végül AD. SCHMIDT táblázata szerint* 0° és 60° szélességi körök között az egész északi félgömbre.

Az itt vázolt számítási eljárások szerint feldolgozott mérések eredményeinek vázlatos és rövid ismertetése volna még a következő sorok feladata.

Magyarország területén KREIL, SCHENZL és KURLÄNDER térképei szerint a földmágneses elemek térbeli eloszlása jórészen

* AD. SCHMIDT: Das magnetische Zustand der Erde zur Epoche 1885 Hamburg, 1898.

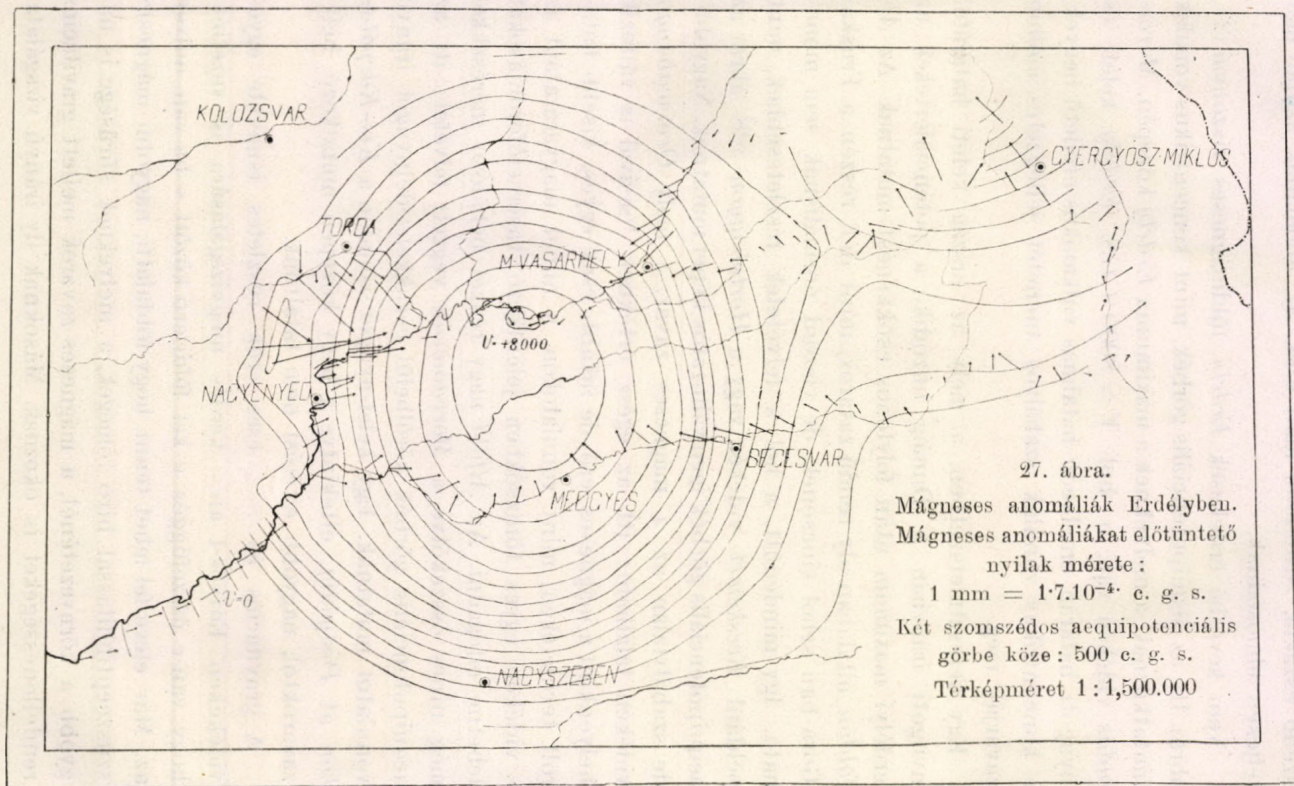


26. ábra.
 Mágneses anomáliák aequipoten-
 ciális görbéi Fruska-Gora vidékén.
 Két szomszédos görbe köze: 200 c. g. s.
 Térképméret 1 : 300.000.

normális, azaz az izogonok a meridiánoktól s az izoklinok és horizontális isodinamok a szélességi köröktől nagyon nem térnek el. Eötvös mágneses térképei szerint ez az eloszlás a részletesen megvizsgált területek legnagyobb részében nem ilyen egyszerű és a mágneses anomáliák aequipotenciális görbéi változatos képet mutatnak. Legérdekesebb két terület e tekintetben *Fruska-Gora* és *Erdély*.

Fruska-Gorá-nak mágneses térképe (26. ábra), a mely szintén az anomáliák aequipotenciális vonalait tünteti fel, talán egyedül áll a maga nemében, oly nagy részletességgel és pontossággal adja meg e hatalmasan zavart területen a földmágneses elemeket. A mellékelt ábrában az eredeti rajzban megadott aequipotenciális vonalak közül csak minden második van berajzolva, hogy azok e kicsiny méret mellett is kivehetők legyenek; azonkívül e vidéknek csak nyugoti részét tünteti fel, mivel az *Ujvidék*-től keletre fekvő terület részletes felvétele a folyó év programja lévén, még nincs feldolgozva. E vidéken a mágneses anomáliák aequipotenciális vonalai, ha azokat egy pillanatra mint különböző magasságokat előtüntető rétegvonalakat tekintjük, a földfeletti hegygyel, a *Fruska Gorá*-val párhuzamosan elhelyezkedő kelet-nyugot irányú hegyvonulatot mutatnak, a melynek a gerince, a potenciálérték maximuma ($V = 4700$ CGS.) azonban a látható hegytől s a *Dunától* is északra, attól körülbelül 5 kilométerre van. Ettől függetlenül kisebb maximumok és minimumok több helyen fellépnek. A H értékében a legnagyobb változás két szélső értéke között az egésznek $\frac{1}{15}$ -de. Észak-dél irányú, egymással párhuzamosan futó keresztmetszetekben a mágneses anomáliáknak meglepő hasonlósága mutatkozik.⁷⁸

Ezen anomáliák magyarázatául Eötvös először vasérere gondolt,⁷⁶ majd oly földalatti tömegek (szerpentin) hatásával is előállíthatta azt,⁷⁸ a melynek szuszceptibilitása 0.005 s a mely a *Fruska-Gora* tetején felszínre jutva még sokkal nagyobb, de egészen helyi jellegű zavarokat okozott. *Fruska-Gorá*-tól mesz-



27. ábra.

Mágneses anomáliák Erdélyben.
 Mágneses anomáliákat elötüntető
 nyilak mérete:
 $1 \text{ mm} = 1 \cdot 7 \cdot 10^{-4} \text{ c. g. s.}$
 Két szomszédos equipotenciális
 görbe köze: 500 c. g. s.
 Térképméret 1 : 1,500,000

szebb északra, *Szabadka* alatt ezek az anomáliák azután már teljesen elmosódnak.

Nem kevésbé érdekesek *Erdély* földmágneses viszonyai (27. ábra). Itt az aequipotenciális görbék, mint koncentrikus vonalak mutatkoznak, a melyeknek a maximuma *Erdély* közepén, *Marosludas* vidékén van, a hol $V = 8000$ CGS. *Erdély* keleti és nyugoti határán emelkedő hatalmas vulkanikus eredetű hegyek, e koncentrikus vonalak szabályos menetét jellegzetes módon zavarják meg.

Egy keresztmetszetben, a mely az ország keleti határától nyugoti irányban a Dunáig húzódik, a potenciálértékek az erdélyi maximum után folytonos csökkenést mutatnak. Az *Alföldön* általában oly rendű zavarok, mint déli részén a Fruska-Gorá-ban sehol sincsenek, de viszont normálisnak sem mondható. Így mindenütt, a hol a felvételek részletesebbek, mint például *Kecskemét* vidékén vagy a *Hortobágyon* (28. ábra) az aequipotenciális görbék igen változatos képet mutatnak. Nagyobb, de szabálytalan az a mágneses zavar, a mely *Oravicabánya* vidékén található; itt az egész értéknek $\frac{1}{30}$ -ával is változik helyenkint a mágneses erő, de inkább csak egyes, kisebb határolt területeken, mint vonulatokon, a minek magyarázatául az e vidéken egyes tömzsökben jelentkező vasércelőfordulásokat lehetne elfogadni. Az *Alföld* nagy részét behálózó mérésekkel még nincs összekötve a *Morvamezőn* végzett felvétel; itt az aequipotenciális görbék körülbelül északkelet-délnyugot irányú vonulatot mutatnak. Egy kelet-nyugot vonalon a *Kis-Kárpáton* át *Pöstyénig*, eltekintve a hegy közepén mutatkozó helyi zavaroktól, nagyobb eltérést nem találtunk.

A gravitációs és mágneses erők részletes ismerete egyes vidékeken Eötvös-t ama kérdés megvizsgálására is vezették, hogy van-e összefüggés e két földi erő között s ha van, milyen az. Már eleve fel lehet tenni, hogy földalatti, nagyobb mágneses szuszceptibilitással bíró tömegek, a melyeknek sűrűsége is nagyobb a környezeténél, a mágneses zavarok mellett gravitációs rendellenességeket is okoznak. Másoknak ily irányú vizsgálatai



nem mindig vezettek erre az eredményre (Liznar) s még az újabb időben is találunk véleményt, mint például Ad. SCHMIDT-ét,* a ki szerint «az összefüggés e két erő között a dolog természete szerint meglehetősen laza, különösen quantitative határozatlan» stb.

Eötvös szerint e negatív eredmények onnan származnak, mivel az ingával mért nehézséggyorsulás nagyságának, vagy irányának (függőneltérés) rendellenessége közvetlen nem hasonlítható össze a mágneses erőkomponensek rendellenességeivel, mivel ezek a nehézségnek csak a gradienseivel s nem az egész erővel arányosak. Legyenek X , Y , Z a σ sűrűségű M mágneses tömeg által kifejtett mágneses erőkomponensek, α , β , γ ezen tömeg állandó mágnesesítésének komponensei, V a tömegvonzás potenciálja, G a gravitációs állandó, úgy Eötvös a nehézségerő gradiensei és a mágneses erőkomponensek között a következő összefüggéseket állapítja meg⁷⁶

$$\begin{aligned} X &= \frac{\alpha}{G \cdot \sigma} \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\beta}{G \cdot \sigma} \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial y} + \frac{\gamma}{G \cdot \sigma} \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial z}, \\ Y &= \frac{\alpha}{G \cdot \sigma} \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial y} + \frac{\beta}{G \cdot \sigma} \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\gamma}{G \cdot \sigma} \frac{\partial^2 V}{\partial y \partial z}, \\ Z &= \frac{\alpha}{G \cdot \sigma} \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial z} + \frac{\beta}{G \cdot \sigma} \frac{\partial^2 V}{\partial y \partial z} + \frac{\gamma}{G \cdot \sigma} \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}. \end{aligned}$$

Ezekből következik az, hogy a mágneses anomáliák nem ott a legnagyobbak, a hol a g értékében a legnagyobb eltérés van a normálistól, hanem a határfelületeken, a hol a mágneses hatású tömeg a környezetbe be van ékelve, vagyis a hol a nehézségerő gradiense is a legnagyobb.

Eötvös gazdag adatgyűjteménye ugyanazon helyek gravitációs rendellenégeiről és mágneses zavarairól mélyebb bepillantást engedtek neki e kérdés lényegébe. Általában háromféle típust állapít meg e két erő egyszerre nyilvánuló hatására nézve,⁷⁸ a melyek a következők:

* Enzyklopädie der math. Wissenschaften. Bd. IV. 1. B. Heft 4. S. 376.

1. A horizontális mágneses anomáliák a nehézségerő gradienseinek rendellenességeivel paralelek és egyenlő irányúak.

2. Parallelek, de ellentett irányúak.

3. Parallelek, de irányuk egymástól független és a mágneses anomáliák egy mágneses gerinc felé irányítottak.

Az 1. esetre példa *Szeged* és *Makó* között egy földalatti hegyhát, a mely körülbelül délkelet-északnyugot irányban húzódik s a melynek hatása a nehézségerő gradienseinek rendellenességeiben $20 \cdot 10^{-9}$ CGS. nagyságban mutatkozik s a mellett azok mindkét oldalon a gerinc felé irányítottak. A mágneses anomáliák is e tömegeloszlásnak megfelelők, a mennyiben e gerinctől keletre nagyobb s attól nyugotra kisebb deklináció értékek mutatkoznak, vagyis a normális eloszlással épen ellentettek. E területre alkalmazva az előbbi összefüggéseket Eötvös a feltételezett tömeg mágneses szuszeptibilitását 0.0035-nek találta.

A 2. esethez hasonlót *Aradtól* keletre *Paulis* környékén találunk, a hol a nehézségerő gradiensei mind a hegy felé irányítottak megfelelően a hegy folytatólagos lejtőjének a föld alatt, a mágneses anomáliák pedig a hegytől el felé irányítottak s helyi jellegűek.

A 3. eset a Fruska-Gorában fordul elő, a hol mint már említettük a talált nagy és egész lefolyásában oly szabályos mágneses anomáliákat a hegytől északra azzal párhuzamosan haladó tömegek (szerpentin) idézik elő, a melyek azonban, mivel sűrűségük a környezetétől csak kevéssé tér el, a nehézség gradienseiben különös rendellenességeket nem igen okoznak.

Más vidékeken is összehasonlítva a nehézség izogammáit (ugyanazon g rendellenességeket összekötő vonalakat) a mágneses anomáliák equipotenciális görbéivel, e típusok valamelyikével találkozunk.

* * *

A földmágneses elemek lemérésére közönségesen használt módszereknél az a körülmény könnyíti meg a feladatot, hogy a

mágneses mező az eszköz kis terében messze az észlelési határokon belül homogénnek vehető s így a mágnesre gyakorolt ponderomotorikus hatás egy forgásmomentumra redukálódik. Sőt még nagyobb terek is homogénnek vehetők az elemek szokásos módon való meghatározásánál.

Eötvös módszere, a melylyel a nehézség térbeli változásait a nagy érzékenyséű torziós ingával, az eszköz által elfoglalt kis térben is le tudta mérni, útmutatás volt arra nézve, miként lehet a földi mágneses erő változásait is ily kis terekben meghatározni.

A feladat megoldása itt is a következő hat adat meghatározásában áll ⁵⁷

$$\begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial x} &= \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}; & \frac{\partial Y}{\partial y} &= \frac{\partial^2 V}{\partial y^2}; & \frac{\partial Z}{\partial z} &= \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}; \\ \frac{\partial X}{\partial y} &= \frac{\partial Y}{\partial x} = \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial y}; & \frac{\partial X}{\partial z} &= \frac{\partial Z}{\partial x} = \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial z}; & \frac{\partial Y}{\partial z} &= \frac{\partial Z}{\partial y} = \frac{\partial^2 V}{\partial y \partial z}; \end{aligned}$$

a melyek között a ható mágneses testeken kívül fekvő pontokra vonatkozólag a

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0$$

összefüggés áll fenn. A fenti hat adat közül tehát csak ötöt kell lemérnünk.

Ezen differenciálhányadosok meghatározása a mágnesre ható transzlatórius erő lemérésével történik, a mi azonban a leméresre szolgáló eszköznek csak olyan nagy érzékenysége mellett lehetséges, midőn a mágneses mező inhomogenitását már az eszköz által elfoglalt térben ki tudjuk mutatni.

Az M momentumu mágnesre ható transzlatórius erő összetevőit P_x, P_y, P_z -vel, az M momentum vetületeit M_x, M_y, M_z -vel jelezve, ezek és a mágneses mező intenzitásának térbeli változásai között a következő összefüggések állanak fenn:

$$\begin{aligned}
 P_x &= M_x \frac{\partial X}{\partial x} + M_y \frac{\partial X}{\partial y} + M_z \frac{\partial X}{\partial z} \\
 P_y &= M_x \frac{\partial Y}{\partial x} + M_y \frac{\partial Y}{\partial y} + M_z \frac{\partial Y}{\partial z} \\
 P_z &= M_x \frac{\partial Z}{\partial x} + M_y \frac{\partial Z}{\partial y} + M_z \frac{\partial Z}{\partial z}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Ha a mágnes tengelye a mágneses meridiánnal csak kicsiny ε szöveget zár be, s a translatorius erőnek csak P_x , P_y vízszintes összetevőit tekintjük, úgy írhatjuk, hogy

$$\begin{aligned}
 P_x &= M_h \frac{\partial X}{\partial x} + M_h \frac{\partial X}{\partial y} + M_v \frac{\partial X}{\partial z} \\
 P_y &= M_h \frac{\partial Y}{\partial x} + M_h \frac{\partial Y}{\partial y} + M_v \frac{\partial Y}{\partial z}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

M_h -val jelezve az M momentum vízszintes és M_v -vel a függőleges összetevőjét.

E P_x és P_y , illetve a (2) alatti egyenlet jobboldalán szereplő differenciálhányadosok le mérésére Eörvös a *mágneses translatometert* használja, a mely külső formájában az egyszerű nehézségi variometerhez hasonló. Lényeges különbség a kettő között az, hogy a nehézségi variometerben levő lelógó platina-súly helyett a translatometernél 30—35 gramm súlyú mágnes van, melynek momentuma közel 1000 CGS. Ennek hajlását a vízszintes síkhoz tetszésszerint lehet változtatni. Továbbá a translatometernél a forgatás nem a mérő drót, mint tengely körül történik, hanem a lógó mágneset bezáró eső körül. A mérődrót itt is igen vékony platinadrót s az eszköz védelme s a rúd elcsavarodásának észlelése is teljesen úgy történik, mint a nehézségi variometernél.

A translatorius erő le mérése céljából állítsuk be az eszköz rudját a mágneses meridiánra merőlegesen úgy, hogy a lelógó mágnes tengelye a mágneses meridiánnal kicsiny ε szöveget zárjon be. Ezt a mérődrót torziófejének kellő állításával mindig elérhetjük.

Ha τ -val jelejjük a mérődrót torziókoeficiensét s ϑ -val annak elcsavarodását, úgy egyensúly esetében

$$\tau\vartheta = lM_h \frac{\partial X}{\partial x} + lM_h \frac{\partial X}{\partial y} \varepsilon + lM_v \frac{\partial X}{\partial z} - M_h H \varepsilon = lP_x - M_h H \varepsilon,$$

mivel a mérődrótot ekkor két erő csavarja meg, az egyik az l rúd karon működő P_x translatorius erő, a másik a mágnes forgató ereje a vízszintes síkban.

Forgassuk most az eszközt felülről nézve az óramutató járásával ellentett irányban és 180° -kal s a mérődrót torziófejének megcsavarásával hozzuk a rudat az előbbi állás irányába; ekkor a függő mágnes tengelyének eltérése a mágneses meridiántól $\varepsilon - \alpha$ lesz, a hol α annál kisebb, minél finomabb a mágneset hordó drót. Ebben az esetben

$$\tau\vartheta'_1 = -lP_x + lM_h\alpha \frac{\partial X}{\partial y} - M_h H (\varepsilon - \alpha)$$

Végül forgassuk az eszközt felülről nézve az óramutatóval egyező irányban 360° -kal körül s hozzuk a rudat a torziófej segítségével az előbbi állásába vissza, akkor

$$\tau\vartheta'_2 = -lP_x - lM_h\alpha \frac{\partial X}{\partial y} - M_h H (\varepsilon + \alpha)$$

E három utóbbi egyenletből

$$P_x = \frac{\tau}{4l} [(\vartheta - \vartheta'_1) + (\vartheta - \vartheta'_2)]$$

Ha a rúd pontos beállítása a torziófej segítségével nehézségekkel járna, úgy a távesőleolvasással az eltérések mindig kijavíthatók.

Az eszköznek a mágneses meridiánba való beállításával, de az előbbihez teljesen analog módon határozhatjuk meg a P_y -t.

A nehézség térbeli változásaiból eredő hatást, a mely a mágneses erőkkel egyidőben hat, könnyen kiküszöbölhetjük úgy, hogy előbb ugyanazon helyen a nehézség gradienseit határozzuk meg, a mi akár a mágneses transzlatometerrel is történ-

hetik, ha a lelógó mágnes helyett ugyanolyan súlyú nem mágneses tömeget függesztünk fel.

A keresett differenciálhányadosokat úgy kapjuk meg, hogy méréseinket előbb a vízszintes siktól i szöggel lefelé, azután ugyanannyival felfelé hajló mágnessel végezzük. Ekkor az első esetben

$$M_h = M \cos i \text{ és } M_v = M \sin i$$

és a második esetben

$$M_h = M \cos i \text{ és } M_v = -M \sin i$$

s ha elegendő megközelítéssel $\varepsilon = 0$ -t írunk, úgy a (2) egyenlet alapján a következő összefüggéseket nyerjük

$$\frac{\partial X}{\partial x} = \frac{P'_x + P_x}{2M \cos i}$$

$$\frac{\partial X}{\partial z} = \frac{P_x - P'_x}{2M \sin i}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial x} = \frac{P_y + P'_y}{2M \cos i}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial z} = \frac{P_y - P'_y}{2M \sin i}$$

a hol P_x és P_y , illetve P'_x s P'_y a transzlatórius erő vízszintes összetevőit jelentik az első, illetve a második esetben.

Az ötödik $\left(\frac{\partial Y}{\partial y} - \frac{\partial X}{\partial x}\right)$ differenciálhányados lemérésére Eötvös az *asztalikus variometert* használja, a melyben finom dróton aluminium kereszt lóg, végein egymást lehetőleg asztaltizáló kis mágnesekkel.⁵⁷

A feladat megoldása itt is az eszköz négy állásában a mérődrót elcsavarodásának lemérésével történik.

Mint Eötvös fenti értekezésében maga is említi, e módszere inkább helyi jellegű, nagyobb változások kimutatására alkalmas, mint nagyobb területek rendszeres felvételére. Épen azért ilyen irányban egyes szabadban való méréstől eltekintve inkább laboratoriumi vizsgálatainál használta azt. Jól érteke-

síthetők e mágneses variometerek a földi áramok kimutatására. Ha ugyanis valamely helyen a transzlatometerrel a mágneses erő térbeli változásait meghatároztuk s azután az eszköz alatt árkot ásunk, úgy ez által a földi áramok eloszlásában létesített változás a mágneses erő térbeli változásait is módosítja, a mi azután szintén lemérhető. Hasonló megfigyeléseket végzett Eörvös a *Balaton* mellett *Bojláron* és *Tirolban*, az ottani gravitációs mérésekkel kapcsolatban.

A mágneses erő térbeli eloszlásának időbeli változásait is ki lehet mutatni a mágneses variometerekkel, mint azt a budapesti I. sz. fizikai intézetben régebben hosszú időn át végzett fotografikus regisztrálások mutatták.⁵⁷

Kis mágneses erők és mágneses momentumok lemérésére is használhatjuk még a transzlatometert. Nagy érzékenységénél fogva Eörvös ezzel végezte kőzetek és más gyengén mágneses testek momentumainak a meghatározását. Ha a földmágneses felvételeknél talált anomáliákat földalatti tömegek mágneses hatásának tulajdonítjuk, úgy ezen összefüggések megállapítására mindig szükségünk van az illető helyeken található kőzetek mágneses viselkedésének ismeretére. Eörvös sohasem mulasztotta el ezeknek rendszeres megvizsgálását; e célra még egy egyszerű mágneses tájolót is szerkesztett, a melynek segítségével a kőzetdarab a laboratóriumban ugyanazon helyzetbe hozható, a mint az eredeti lelőhelyén feküdt. Az így beállított kőzetnek a hatását három egymásra merőleges helyzetben méri le azután a transzlatometerrel. Ez a hatás két részből áll, az egyik a kőzet állandó mágnesesítéséből származó momentum M_x a hatás irányában, a másik pedig a földi mágneses erő által indukált mágnesesítés $k v X$, hol k a kőzet szuszceptibilitását, v a térfogatát s X a földmágnesség komponensét jelenti. Ha a kőzetet 180° -kal átforgatjuk úgy $-M_x + kvX$ erő fog a transzlatometerre hatni; a nyert két adathból a kőzetnek úgy a remanens, mint influált mágnesesítés kiszámítható. A másik két tengely mentén ható M_y és M_z momentumoknak hasonló módon való meghatározása után az egész momentumot

M-et irány és nagyság szerint megkaphatjuk, a miből azután, ismerve a kőzetnek eredeti fekvését, a mágnesező erő irányára és nagyságára is következtethetünk.

Hasonlók voltak Eötvös-nek vizsgálatai régi téglákra és edényekre vonatkozólag. A több évszázados téglák és edények égetésük alatt az akkor uralkodó földmágneses erő irányát mint remanens mágnességet tartották meg. Mivel a tégláknak az oldala és az edényeknek az alapja, a melyen azok kiégetésüknél a kemencében feküdtek, felismerhető volt, elég biztonsággal lehetett azokat ugyanoly helyzetben felállítani. Meghatározván mágneses momentumaikat a transzlatometerrel, a készítésük idejére vonatkozó földmágneses erő irányára és pedig az inklinációra lehetett érdekes felvilágosítást nyerni e mérésekből.

* * *

E rövid ismertetés korántsem tarthat arra számot, hogy Báró Eötvös LÓRÁND-nak a földmágnességre vonatkozó vizsgálatait mind kimerítette volna. Az említettekén kívül legkülönbözőbb problémákat vonta ő még vizsgálatai körébe, de ezeknek mint nem befejezetteknek a tárgyalása nem lehet ez ismertetés feladata.

Fekete Jenő.