

A. Ádám - P. Bencse

## VERSUCHE MIT DER MAGNETOTELLURISCHEN METHODE

Einleitend wird eine kurze Literaturübersicht über die Entwicklung der magnetotellurischen Forschungsmethode gegeben, sodann werden instrumententechnische Fragen behandelt. Es wird dabei die Möglichkeit der Anwendung des von der Firma Askania gebauten, mit Differential-Photostelle ausgestatteten Feldmagnetometers Schmidt'schen Typs zur Registrierung der magnetischen Pulsationen besprochen. Zum Schluss werden einige magnetotellurische Messungsergebnisse angeführt und auf die Möglichkeit der Bestimmung der magnetotellurischen Anisotropie als absoluten Anisotropie hingewiesen.

## KISÉRIETEK A MAGNETOTELLURIKUS MODSZERREL

Ádám Antal - Bencse Pál

A Maxwell-egyenletek szerint szigorú matematikai kapcsolat van a földmágneses és földáram tér között. Ezt az obszervatóriumok adatai alapján már a múlt század második felében világosan felismerték. A két tér kapcsolatát - mint ismeretes - a Föld elektromos és mágneses sajátosságai határozzák meg. Jól ismert tény továbbá, hogy a skin-effektus (bőrhatás) következtében a különböző periódusú elektromágneses változások behatolási mélysége valamely közegben a periódus függvénye. Ezek a törvényszerűségek vezették el a kutatókat a mágneses-tellurikus frekvencia-szondázás (MTP) gondolatához és ezek képezik a módszer elvi alapjait.

A mágneses-tellurikus (magnetotellurikus) kutatómódszer elvét 1953-ban ismertette az Annales de Geophysique -ben L.Cagniard tanulmánya (1). Ennek a cikknek elméleti megfontolásai kiegészítették néhány szovjet és japán kutató 1950-51-ben publikált vizsgálatait, amelyekkel Földünk elektromos felépítését hasonló alapon kutatták (2, 3, 4.)

1956-ig, eltekintve J.R.Wait levelétől, amely néhány elvi kérdést vitatott Cagniard munkájában (5), említésreméltó közlemény a tárgyban - legjobb tudásunk szerint - nem jelent meg.

A szovjet geoelektromos iskola vezető alakja, Tyihonov profesz-

szor 1956-ban korábbi elméleti vizsgálatait a gyakorlati kutatásra alkalmazta (6). Ezzel ösztönzést adott ennek az új szerkezetkutatási módszernek a gyakorlatba való átültetésére, kikísérletezésére. 1957-től sorra jelentek meg a szovjet szakfolyóiratokban a témával mind elvi sikon, mind műszerfejlesztési, kísérleti vonalon foglalkozó tanulmányok. Ezek közül a legfrisebbek Alexejev Berdicsevszkij és Brunelli nevéhez fűződnek és már kísérleti-mérési adatokat tartalmaznak (7, 8.), egy üledékes medencére vonatkozóan.

Meg kell említenünk, hogy Magyarországon is történt néhány kísérlet a mágneses gyorsváltozásoknak a szerkezetkutatásban való hasznosítására, azonban önmagában, a tellurikus tér nélkül, és pedig a legkevésbé tevékeny vertikális komponenssel, a hurokmódszerhez hasonlóan (9, 10).

A kísérleti kutatások lassan haladtak előre. Ennek okát a nagyérzékenységű mágneses műszerek szerkesztésénél fellépő nehézségekben kell keresni. A probléma élénken foglalkoztatta az 1957-58-as NGÉ előkészítésével foglalkozó tudósokat is. Mint ismeretes, a NGÉ egyik jelentős kutatási témája éppen a földi elektromágneses tér gyorsváltozásainak tanulmányozása volt. Thellier professzor már 1954-ben számbavette (11) azokat a műszereket, amelyekkel az 1 - 0,01 nagyságrendű mágneses pulzációk regisztrálhatók. Ezeket a következő családokba sorolta:

1. mágnesstűs variométerek,
2. tekercses variométerek,
3. telítési szondák (fluxgate).

Obszervatóriumi célra komplikáltságuknál fogva nem ajánlotta a telítési szondákat, hanem az első két egyszerűbb és olcsóbb műszertípust javasolta. Bár egyesek szerint az elektromos szerelés hajlékonyságánál fogva éppen a fluxgate-é a jövő, a magnetotellurikus kutatásnál, a SzU-ban is elsősorban a mágnesstűs variométerekből indultak ki. Ezeknek érzékenységét a szokásos megoldások, tehát a torziós állandó, mágneses nyomtatók változtatása mellett fényelektromos uton, fotocellás erősítővel növelték meg a mágneses tér stabilizálásának elvét alkalmazva. A stabilitásnak, illetve kompenzálásnak (nullműszer) igen sok előnyét ismerjük, a legényegesebb a skála linearitása mellett az, hogy a műszer így önperiodusánál rövidebb periodusu változásokat is tud regisztrálni (8). A szovjet kutatók a normális obszervatóriumi műszerek érzékenységéhez viszonyítva mintegy százszoros érzékenységnövekedést értek el (12).

Mint hogy saját obszervatóriumi vizsgálataink szerint is a földi elektromágneses tér alacsonyfrekvenciás rezgéseinek 10-50 sec között

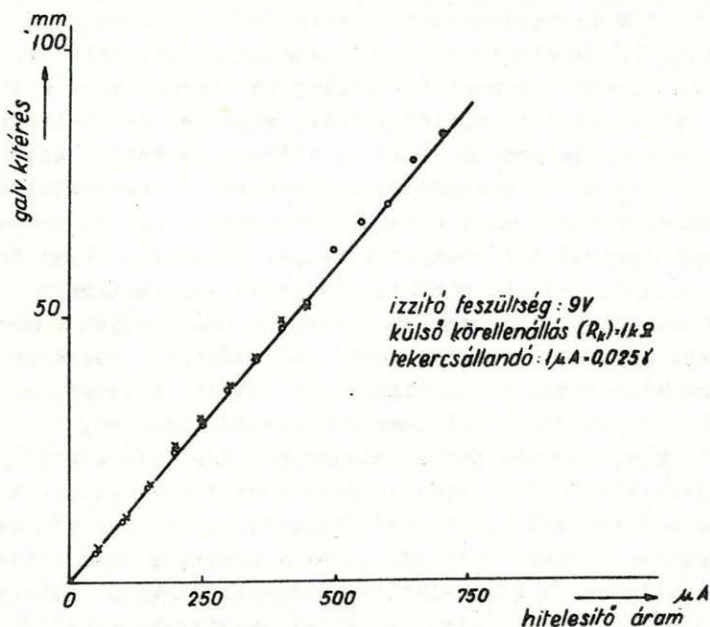


van a gyakorisági maximuma, felvetődött az a gondolat, vajjon lehet-e a közönséges terepmagnetométereket - amelyeknek az önperiodusa bár nagyobb a torziószálas variométerekénél, azonban a pulzációk periódusánál jelentősebb kisebb - magnetotellurikus kutatásra felhasználni. Az Askania-gyár ezeket differenciálfényelemes rátéttel és pontíróval szállítja, hogy mágneses terepméréseknél az időbeli változás korrigálásához a bázison a variációt regisztrálni lehessen. A nemzetközi irodalom (13) a differenciálfényelemmel ellátott magnetométert elsősorban mint obszervatóriumi regisztráló műszert bírálja. Elismerik, hogy igénytelen megoldás, azonban sem az egyszerű torziószálas variométerrel, különösen pedig a fotocellás kompenzátorral szemben nem tartják versenyképesnek. Ennek okát egyrészt a bázisállandó változásában, másrészt pedig a fényelektromos átalakítók instabilitásában látják. A terepméréseknél a követelmények azonban mások, mint az obszervatóriumokban. Obszervatóriumban folyamatosan, terepen pedig szakaszosan történik a regisztrálás. Terepen csak egy-két 20-30 perces pulzációs sort figyelünk meg és a magnetésztér abszolút értékétől, a bázistól függetlenül csak a változások érdekelnek bennünket. Ilyen rövid idő alatt a fényelem instabilitását, a skálaérték megváltozását gyakorlatilag elhanyagolhatjuk, illetve a mérés elején és végén végzett hitelesítéssel számításba vehetjük.

A fentieket megfontolva, a Nagycenk melletti obszervatóriumban megvizsgáltuk két ilyen magnetométert. Célunk annak a megállapítása volt, hogy milyen mértékben növekszik a rendszer érzékenysége és mennyiben felel meg egyéb követelményeknek, mint pl. stabilitás, frekvenciasajátosságok, csillapodás, linearitás stb. ha a differenciálfényelem kapcsait a tellurikus kutatásoknál alkalmazott nagyérzékenységű ( $\epsilon = 10^{-8}$  A/mm/m) Picard galvanométerre kapcsoljuk.

Mint ismeretes, ilyen esetben a csatolt rendszer mozgásjelenségét két differenciálegyenlet írja le, amelyekből a skálaértéket meghatározhatjuk (13). Ebben jelentős szerepet játszanak a differenciálfényelem sajátosságai. Az Askania magnetométer alapterében a differenciálfényelem egyenlő polaritással egymás után kapcsolt elemekből épül fel. Ennek eredő belső ellenállása viszonylag kicsiny és így kis belső ellenállású galvanométerrel mind a fényáram, mind a feszültség szempontjából nagyfokú linearitást kapunk. Ezt kísérleteink is igazolták, mint azt az 1. ábra mutatja, amely egyszersmind a magnetométer skálájának linearitására nézve is bizonyítékul szolgál.

A rendszer érzékenysége adott magnetométernél a megvilágító égő izmitó feszültségének és a mérőkör összellenállásának a függvénye. Az utóbbi alsó határát a galvanométer kritikus külső ellenállása szabja meg. A mi esetünkben  $10^{-8}$  A/mm/m érzékenységű folyadékcillapítású gal-



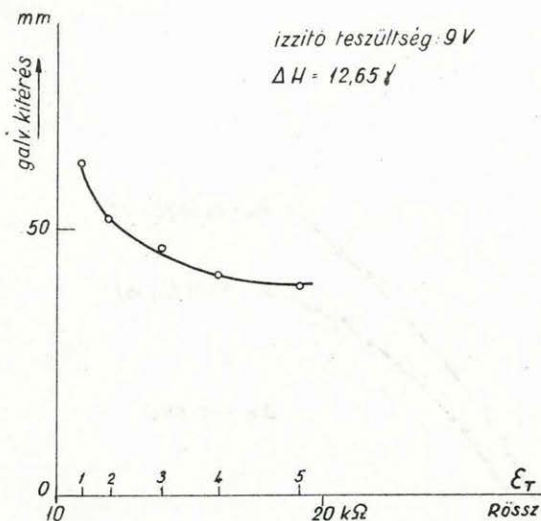
1. ábra. Differenciálfényeleemes Askania magnetométer (N° 483920) linearitása

vanométernél ennek értéke  $1500 \Omega$ . A 2. ábra a galvanométer kitérését mutatja az égő izzító feszültségének függvényében a T9/1956 tip. tellurikus műszer 1. és 5. érzékenységi fokozatában. A rendszer tehát igen pontos feszültségbeállítást igényel. Ebből adódik általában egy rövidebb, illetve friss akkumulátornál és issónál hosszabb beállási idő, amíg az akkumulátor terhelése egyensúlyba kerül, illetve az égő ellenállása az issás következtében állandósul. Megjegyezzük, hogy az érzékenység állandósítása szempontjából megnyugtató megoldást csak a nagyfeszültségstabilitású 0-légszó elemek adtak. A 3. ábra a körellenállás és a mágneses érzékenység közötti kapcsolatot mutatja a fenti tellurikus műszer 5 különböző érzékenységfokozatában 9 V-os izzító feszültség mellett. A mágneses érzékenységet az előbbi tényezőkkel kb. 0,14 - 0,24  $\gamma/\text{mm}$  között változtattuk.

A lengőrendszer periódusa  $T_0 = 3,5$  sec, a relatív csillapítás értéke pedig  $\alpha = 0,14$ -nek adódott (a Picard galvanométer periódusa (1,2 sec) emellett nem jön számításba). Minthogy a csillapítás induktív jellegű,  $\alpha$  értéke kissé változik  $dH/dt$  függvényében (10-20%-on belül a teljes skálaszélességben). Míg fázistolás szempontjából kedvező az



alacsony csillapítás, a leképzést frekvenciafüggővé teszi. A rendszer frekvenciasajátságait a magnetométer alatt elhelyezett és szinkronmotorral vízszintes síkban forgatott segédmágnessel vizsgáltuk meg. A



2. ábra. Mágneses érzékenység ( $\epsilon_M$ ) változása az izzító feszültség függvényében

szinkronmotor fordulatszámát az azt meghajtó hangfrekvenciás generátor frekvenciájának változtatásával, illetve mechanikusan fogaskerékcserevel változtattuk. A 4. ábra a periódus függvényében ábrázolja a galvanométer kitérését. A magnetométer tehát a 10-50 sec periódusú változásokat torzításmentesen regisztrálja és így magnetotellurikus kutatásra alkalmas.

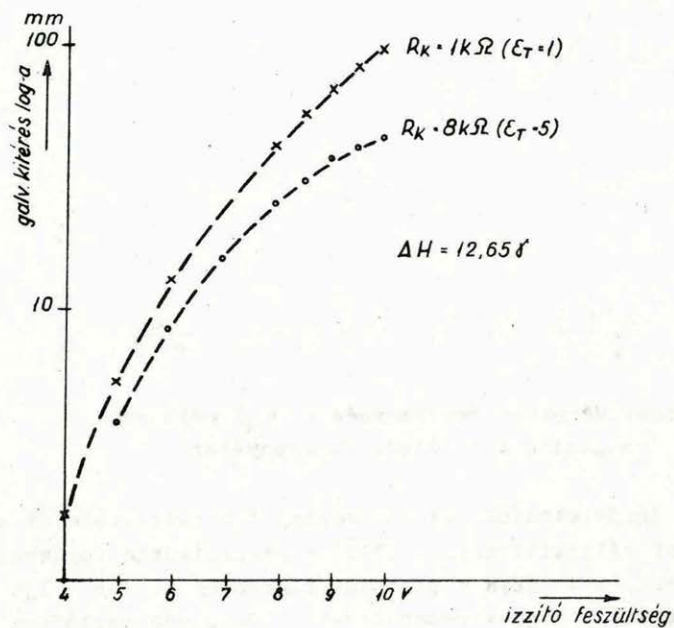
Az 5. ábrán látható felvételen az egyvonalas görbe a mágneses északi, a kétvonalas pedig a tellurikus K-Ny-i irányú komponens.

A műszervizsgálat után obszervatóriumunkban, illetve Sopron környékén néhány pontban kísérleti mérést végeztünk. A tellurikus keleti és a mágneses északi komponens pulzációit regisztráltuk.

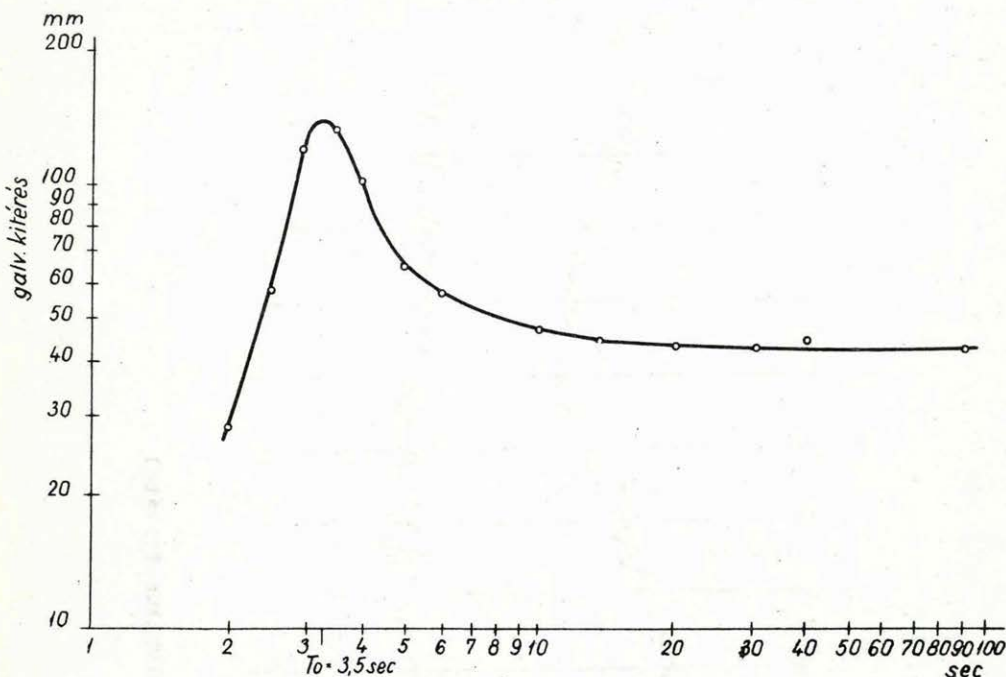
A mérési adatokból az  $S/\Omega^{-1}$  horizontális vezetőképességet a (8) ban található összefüggések szerint határoztuk meg.

Ez végtelen ellenállású alzat esetén:

$$S = 796 \frac{H_x}{E_y} \quad \text{képletből számítható,}$$



3. ábra. Mágneses érzékenység ( $\epsilon_M$ ) változása a kör-  
ellenállás függvényében



4. ábra. A magnetómer frekvenciakarakterisztikája

ahol  $H_x$  = a mágneses,

$E_y$  = a tellurikus változás amplitudója.

Ha az alapkőzet ellenállása véges, az előbbi képlet következőképpen módosul:

$$S = 796 \left( \frac{H_x}{E_y} - \sqrt{\frac{T}{10 \varrho_n}} \right)$$

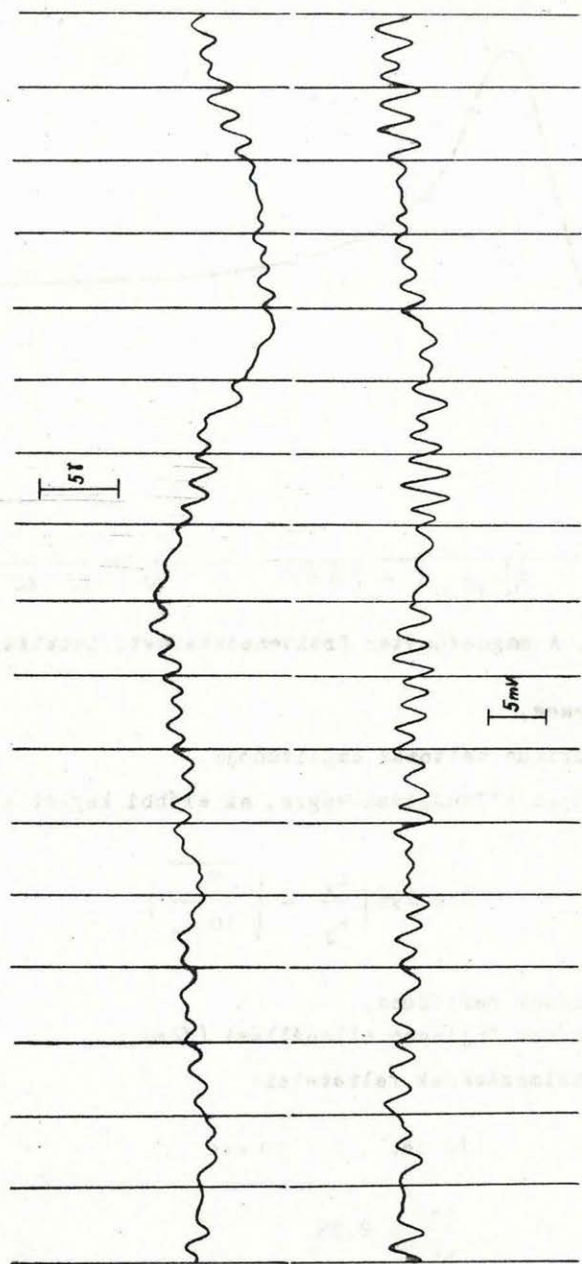
ahol  $T$  = a változások periódusa,

$\varrho_n$  = az alapkőzet fajlagos ellenállása ( $\Omega m$ )

A képlet alkalmazásának feltételei:

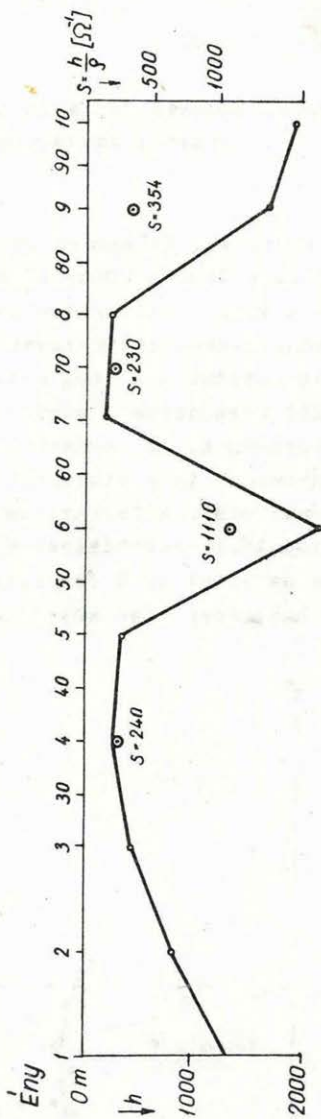
$$10 \text{ sec} < T < 50 \text{ sec}$$

$$\frac{\varrho_e}{h^2} > 2,25$$



5. ábra. Magnetotellurikus felvétel





○ tellurikus mérési adat (MN-200 m)  
 ⊙ magnetotellurikus mérési adat

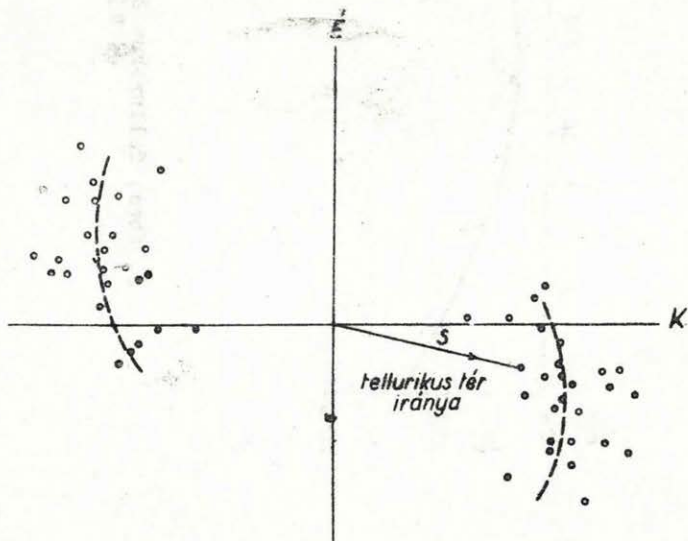
6. ábra. Tellurikus és magnetotellurikus szelvény Sopron és Kőpháza között

$$\frac{\rho_n}{\rho_n} \geq 100$$

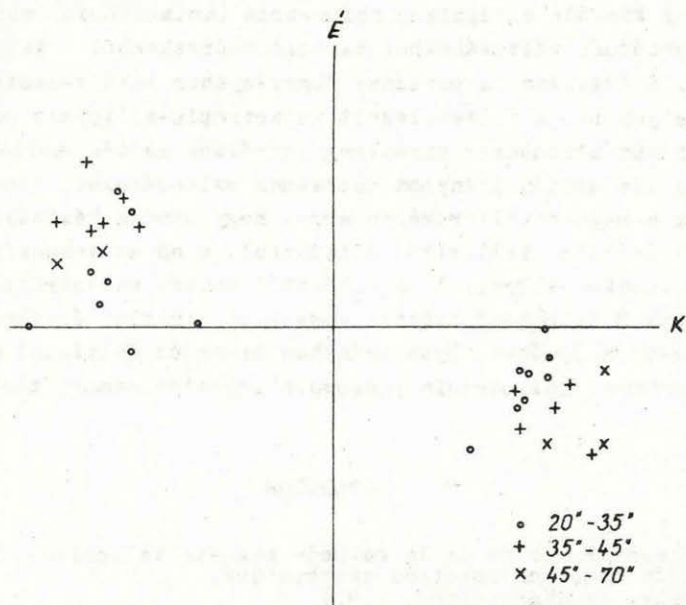
$$S/\rho_n > 5000$$

ahol  $\rho_n$  a szelvény (n-1) rétegének közepes fajlagos ellenállása ( $\Omega m$ )  
 h " " " " " együttes vastagsága (km)

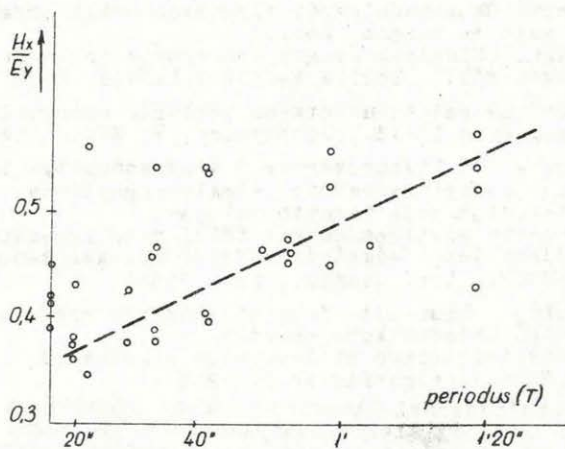
A S-re kapott kissé szórt értékeket átlagolni kell. Mintegy 20 - 25 S érték középértékét használtuk a Sopron környéki szelvény megszerkesztésénél, amelyet összehasonlítással a tellurikus szelvényvel együtt a 6. ábrán mutatunk be. A szelvények kvalitatív egyezése nyilvánvaló. Minthogy - korábbi vizsgálataink szerint - a területen nagy az anizotrópia, célszerű a mérést két-két komponenssel megismételni. Valószínű a két szelvény közelebb kerül egymáshoz. Az obszervatóriumban, ahol az összetartozó két tellurikus komponens is regisztráltak  $H_x$  mellett, megvizsgáltuk az S értékek szórásának okát. A tellurikus analógia alapján feltételeztük, hogy a mért horizontális vezetőképesség az elektromágneses tér irányának a függvénye és ezért az S értékeket, a relativ elipszisszerkesztés módszeréhez hasonlóan első közelítésben (!) a tel-



7a ábra. Az S értékek változása a tellurikus tér irányában



7b ábra. Az S értékek változása a tellurikus tér irányában periódusok szerint szétválasztva



8. ábra.  $\frac{H_x}{E_y}$  értékek változása a periódus függvényében



lurikus tér irányában raktuk fel a 7a ábrán. A viszonylag szűk szegmensben így kiadódó elliptikus szimmetria (anisotrópia) azonban különböző periódusu változásokhoz tartozó  $S$  értékekből is származhat (7b ábra).  $S$  értékének a periódus függvényében való változását a 8. ábrán mutatjuk be. A feltételezett anizotrópia-ellipszis csak két magnetotellurikus mérőműszer együttregisztrálása esetén szerkeszthető meg, mert így a tér minden irányába kaphatunk változásokat. Ezzel lehetőség nyílik a magnetotellurikában arra, hogy mind a bázisállomás geológiájának (relatív tellurikus ellipszis), mind az ionoszférának (abszolút tellurikus ellipszis) a hatásától mentes anizotrópia-ellipszist szerkesszünk  $S$  különböző irányra vonatkozó abszolút értékeivel. A kísérleteinket a jövőben ilyen irányban kívánjuk folytatni és a magnetotellurikus anizotrópia pontosabb meghatározására törekszünk.

## IRODALOM

1. L.Cagniard: Principe de la méthode magneto-tellurique, nouvelle méthode de la prospection géophysique. (Annales de Géophysique, T.9.)
2. Rikitake, T.: Electromagnetic Induction within the Earth and its Relation to the Electrical State of the Earth's Interior. (Bull. Earth-quake Research Inst. Tokyo Univ. 28/1950.)
3. Rikitake, T.: On the Electrical Conductivity in the Earth's Core. (Bull. Earthquake Research Inst. Tokyo Univ. 30/1950.)
4. A.N. Tyihonov: Ob apredelenyij elektriceszkij karakterisztik glubokih szlojev zemnoj kori. (Mélyenfekvő földkéregrétegek elektromos jellemzőinek meghatározásáról.) (Dokl.A.N.-SSSR, T.L.XIII. No.2. 1950)
5. J.R.Wait: On the relation between telluric currents and the earth's magnetic field. (Geophysics, V. XIX. 1954.)
6. A.N. Tyihonov - D.N.Szahszuvarov: O vozmoznosztyi ispolzovanyija impedansa jesztyesztyvenovo: elektromagnytново polja zemli dlja izucsenyija jeje vernyih szlojev. (A természetes elektromágneses földi mező impedanciájának felhasználási lehetőségeiről a felső rétegek tanulmányozására) (Izv.A.N.-SSSR., Ser. geofiz., No 4.1956)
7. Berdicsevszkij - Brunelli: Teoreticeszkije predpaszulki magnyto-telluriceszkovo profilirovanija. (A mágneses-tellurikus szelvényezés elmélete.) (Izv.A.N.SSSR. Ser.geofiz.No 7. 1959./
8. Brunelli-Berdicsevszki-Alekszejev: Nabljudenyija korotkoperiodicseszki variacij elektromagnytново polja zemli. (A földi elektromágneses mező rövidperiódusu változásainak megfigyelése. (Izv.A.N.SSSR. Ser. geofiz. No 8. 1959.)
9. Annau Edgár - Erkel András - Szabadvári L.: A földi mágnes tér gyors változásai és a tellurikus áramok közötti összefüggések. (Bányászati Lapok, 1954. 10. szám.)

10. Kántás Károly: A tellurikus módszer jelentősége a földtani nyersanyagkutatásban. (MTA Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei XX. kötet 3-4 szám; 1957.)
11. Thellier: Enquête sur les appareils enregistreurs des variations rapides du champ magnétique terrestre. (I.A.T.M.E. Rapport technique No 1. 1954)
12. B. Brunelli - B. Janovsky: Untersuchung der elektromagnetischen Variation des Erdfeldes. (Freiberger Forschungshefte C. 60. 1959)
13. Geomagnetismus und Aeronomie, Band II., VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1960.