

MAGYAR

# Geofizika



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA  
BUDAPEST, 1967. VIII. ÉVFOLYAM 2-3. SZÁM

**MAGYAR GEOFIZIKA**  
**a MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE folyóirata**

**VIII. évfolyam**

**2—3. szám**

*Szerkesztőség*

Magyar Geofizikusok Egyesülete  
Budapest, V., Szabadság tér 17.  
Telefon: 118—476

*Felelős szerkesztő*

Dr. SEBESTYÉN KÁROLY

*Szerkesztő Bizottság*

BENCZE PÁL  
CZEGLÉDI ISTVÁN  
Dr. RENNER JÁNOS

*Felelős kiadó*

SALÁ SÁNDOR  
igazgató

TARTALOMJEGYZÉK

<i>G. Fanslau:</i> A földmágneses mélyszondázások értelmezése (A DAW potsdami földmágneses intézetének 236 sz. közleménye) .....	57
<i>Márton Péter—M. Szalay Emő:</i> Paleomágneses vizsgálatok hazai bazaltkőzeteken .....	67
<i>F. Ch. Wagner:</i> Kőzetmágnességi kutatások szerpentinitiken .....	77
<i>H. Vollstädt:</i> Ásványtani és röntgenoptikai eljárások kőzetek paleomágneses stabilitásának vizsgálatára (A DAW potsdami földmágneses intézetének 239. sz. közleménye) .....	86
<i>Egerszegi Pál:</i> Különböző elrendezésű elektromos fajlagos-ellenállásmódszerek kritikai vizsgálata .....	92
<i>Barlai Zoltán:</i> Az ellenállásszelvényezés kombinatív alkalmazása a szénhidrogénkutatásban .....	100
<i>Bodóky Tamás—Meskó Attila—Polcz Iván:</i> Néhány egyszerű kétdimenziós geofoncsoport vizsgálata .....	111
<i>Ádám Antal:</i> A földi elektromágneses tér kutatása Franciaországban .....	116

Index: 26 507

**MAGYAR GEOFIZIKA**

Felelős szerkesztő: Dr. Sebestyén Károly

Kiadja a Lapkiadó Vállalat, Budapest, VII., Lenin körút 9—11., Telefon: 221—293

Felelős kiadó: Sala Sándor igazgató

Terjeszti: MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

Megrendelhető egész évre 16,— Ft előfizetési áron, mely összeg a MTESZ 171.249—70. sz. csekkszámlájára fizetendő be.

67.360 Állami Nyomda, Budapest

# A földmágneses mélyszondázások értelmezése (A DAW potsdami földmágneses intézetének 236. sz. közleménye)

G. FANSELAU

*Az indukciótörvény, az Ohm-törvény, és a Biot-Savart-törvény összekapcsolásával lehetőség nyílik a földmágneses mélyszondázások mérési eredményeinek aránylag egyszerű interpretációjára. Tenzoriális összefüggést sikerült felállítani az indukáló külső tér és a tektonikus tömegek által létrehozott belső tér között. A külső térről átmehetünk az össz-térre is, amikor is az indukciós nyílak iránya nem változik meg, de nagyságuk igen. Célszerű kiértékelési eljárás is közlésre kerül. Lehetőség van a tektonikus tömegek komplikált geometriai alakú konfigurációinak kezelésére is. Szóba kerülnek a gyakorlati eredmények is, valamint a különböző variációtípusok alkalmazási lehetőségei, továbbá a pontossági meggondolások mind a kiértékelésnél elkövethető hibákat illetően, mind pedig az alapul vett általános változási irányzat befolyásával kapcsolatban.*

*Сочетание законов индукции, Ома и Био-Савара позволяет проводить сравнительно простую интерпретацию данных глубинных геомагнитных зондирований. Выявлена тензорная связь между возбуждающим внешним полем и внутренним полем, вызванным тектоническими массами. От внешнего поля можно перейти к суммарному полю, причем направление индукционных стрелок не меняется, но меняется их величина. Излагается соответствующий метод интерпретации. Намечается возможность для анализа конфигураций тектонических масс со сложной геометрической формой. Описываются практические результаты, а также возможности применения различных типов вариаций, причем дается оценка погрешностей, связанных как с неточностями интерпретации, так и с действием принятой общей направленностью изменений.*

*Die Verbindung zwischen dem Induktionsgesetz, dem Ohm-schen Gesetz und dem Biot-Savartschen Gesetz gibt die Möglichkeit einer verhältnismässig einfachen Deutung der Messergebnisse geomagnetischer Tiefensondierungen. Es gelingt, zwischen dem induzierenden magnetischen Aussenfeld und dem durch den geotektonischen Körper hervorgerufenen Innenfeld eine tensorielle Beziehung herzustellen. Vom Aussenfeld kann man auch zum Gesamtfeld übergehen, wodurch sich die Richtung der Induktionspfeile nicht ändert, wohl aber ihr Betrag. Ein zweckmässiges Auswerteverfahren wird angegeben. Es ist möglich, auch kompliziertere geometrische Konfigurationen des geotektonischen Körpers zu erfassen. Betrachtungen über praktische Ergebnisse sowie über die Verwendung von verschiedenen Variationstypen werden angestellt sowie Fehlerbetrachtungen über die Genauigkeit bei der Auswertung und über den Einfluss des zugrunde gelegten Trends.*

A geofizika indukciós eljárásai, amelyekkel a földmagnetot, valamint a köpenyt és a kérget vizsgálhatjuk, eleget tesznek – hasonlóan a szóban forgó tudományterület valamennyi fizikai folyamatához – a Maxwell-egyenletnek. Ezek a Gauss-féle mértékrendszerben, lassan mozgó testekre, a következők:

A geofizikában lejtésszódo elektromágneses folyamatokat az  $I_a$  és  $I_b$  egyenletekből a következőképpen olvashatjuk ki: Ha  $I_a$ -ban elhanyagoljuk a dielektromos etolási áram explicit időbeli változásait, valamint a röntgenáramot, akkor a  $\mathfrak{H}_a$  földmágneses tér forrásaiul a konvekciós áram és a vezetési áram marad vissza. A konvekciós áram alatt itt az ionoszférában folyó áramokat kell érteni, tehát olyan áramokat, amelyek a földmágneses külső teret határozzák meg. Minthogy az ionoszféra konvekciós áramai az időben erősen

változnak, az általuk keltett mágneses tér is erősen változik az idővel és így indukált elektromos mezőt hoz létre. Az  $Ia$ -ból az  $Ib$ -re való áttérést megfelelően nyíllal jeleztük. Ez  $\alpha$  nyíl egyúttal jelzi az átmenetet a külső mágneses térről a belső elektromágneses jelenségekhez, vagyis azokhoz a jelenségekhez, amelyeket az indukciós törvény a földben hív életre. Eszerint az elektromos térerősség az  $Ib$  képletben csak a föld belsejére vonatkozik, tehát „ $i$ ” indexszel látandó el. Ez az elektromos térerősség az anyag-egyenletek – kibővített Ohm-törvény – útján egyenlítődik ki és a vezetőképesség, valamint egyéb fizikai konstansok közbenjöttével az  $I$  vezetési áramhoz vezet:

$$E = IW + L \frac{dI}{dt}, \quad I = \int J, d\sigma. \quad (1c)$$

Az  $(1c)$  anyag-egyenlet szintén a földbelsőben végbemenő folyamatokra vonatkozik és az ott kifejlődő vezetési áram az  $(Ia)$  szerint belső vezetési áramhoz vezet, amely szintén mágneseret hoz létre, amely azonban az ionoszférikus konvekciós áramtól létrehozott mágnes-tértől eltérően a föld belsejéből ered.

A fenti három egyenlet ( $Ia$ ,  $Ib$  és  $Ic$ ) tartalmazza a feladattal kapcsolatban álló lényeges mennyiségeket, és pedig mind azokat, amelyeket mérni kell, mind pedig azokat, amelyeket számítással határozhatunk meg. Természetesen az  $(Ia)$ -tól  $(Ic)$ -ig jelzett formulák mindazokat az eljárásokat is tartalmazzák, amelyek az elektromágneses indukciós eljárások keretében a geofizikában alkalmazást nyernek.

Vegyük először a tellurikus eljárásokat. Ezek csak az elektromos tér ( $\mathcal{E}$ ,  $(Ib)$ ) mérését használják fel és az  $I$  földi áram által életrehívott  $E$  ( $Ic$ ) feszültséget észlelik. Mágneses mérések itt nem történnek. Természetes, hogy ilyen módon a megszerezhető információmennyiség erősen korlátozott lesz, hogy a módszer eredményes alkalmazásához egy állomás nem elegendő, hanem szükség van egy fix alapállomásra és ennek, valamint egy ún. vándorló-állomásnak segítségével a geofizikai paraméterek változásait igyekeznek megállapítani. Ez a módszer már elég régóta használatban van és segítségével sok tapasztalatot gyűjtöttek össze.

Lényegesen megnövelhetjük az elektromágneses módszer szolgáltatata adatanyagot, ha az elektromos értékek mellett a mágneses térjellelmezőket is megfigyeljük. Ha azonban a mágneses térjellelmezőket is bevonjuk az interpolációba, az a nehézség adódik, hogy hogyan választjuk el – az  $Ia$  – alatt már sematikusan megadott – belső és külső alkotórészeket egymástól; ugyanis valamennyi magnetotellurikus problémánál csak a külső mágneses változási mező által keltett rész az érdekes.

A belső és külső rész elválasztására felhasználhatjuk ugyan az ismert, de matematikailag bonyolult módszereket, de itt bizonyos változás-típusokra szorítkozhatunk, amelyeknél feltehetjük, hogy pl. a mágneses vertikális komponensnél csak a belső mágnes-tér hatása érvényesül; míg a horizontális komponensben csak a külső terek érvényesülnek. Természetesen ez a szétválasztás csak közelítésként és csak kb. a 120 perces variációkig használható, hosszabb ideig tartó variációk esetén azokra az időközökre kell szorítkoznunk, amikor homogén külső mágneses terek vannak jelen, amelyek ilyenkor automatikusan a külső vertikális komponens eltűnéséhez vezetnek.

A mágneses tér belső és külső részének szétválasztásán kívül még a belső rész ama komponensét is ki kell szűrünk, amely a főtérből, a köpeny mágneses teréből és a kéreg regionális hatásaiból ered. Ezt a legjobban és legegyszerűbben grafikus kiegyenlítő trendek alkalmazásával érjük el.

Ilyen előkészítés után már a  $\xi$  (1a) kapcsolható az  $\xi_i$ -vel (1b és 1c). Megkísérélhetjük, hogy egyszerű modelleket szigorú matematikai eljárással oldjunk meg s ilyen kísérleteket bizonyos egyszerűsítő feltevések mellett — sikerrel el is végeztünk.

A geomagnetikus mélyszondázás azonban mellőzheti is az  $\xi_i$  elektromos mezőt és helyébe a mágneses belső teret teheti, természetesen ugyancsak a  $\xi_a$  és  $\xi_i$  szétválasztása, valamint a zavaró részek, a regionális és globális mágneses belső terek kiküszöbölése után. A magnetotellurikus módszer, és a geomágneses mélyszondázás módszere szoros összefüggésben állanak egymással, egymást célszerűen kiegészíthetik és megállapításaikat kölcsönösen ellenőrizhetik. Mind-ezen indukciós eljárások célja, hogy a geotektonikus hatókat és azok geometriai alakját feltárják. A fizikai indikációk az (1c) anyagegyenlet alapján az ohmikus ellenállásra ( $W$ ) és az induktivitásra ( $L$ ) szorítkoznak.

Az indukciós módszereknél is fellépnek a szokásos nehézségek a fizikai és geometriai paraméterek elválasztása körül és itt is, mint valamennyi geofizikai kutatómódszernél várható, hogy ez a szétválasztás nem sikerül maradéktalanul. Általában tehát fel kell vennünk egy geometriai modellt, ennek segítségével összehasonlítást végzünk az elméleti és a kísérletileg nyert profil között, hogy aztán ebből vonjunk le következtetéseket a fizikai paraméterekre.

A fentebb röviden említett elméleti-fizikai nehézségek elkerülésére egyszerű módszert fejlesztettünk ki [1], amely a geomágneses mélyszondázás szelvényeinek feldolgozását megkönnyíti. A módszer az (1b) indukciós törvényből, az (1c) anyagegyenlethől és a *Biot-Savart*-törvényből indul ki, amely a lineáris áramot a mágnes térrel összeköttetésbe hozza és legegyszerűbb alakjában a következő:

$$\xi_i = \frac{I}{c} \int \frac{[d\mathbf{v}' \mathfrak{R}]}{R^3}. \quad (2)$$

Itt  $d\mathbf{v}'$  a lineáris vezetési-áramelemet jelenti a forrásnál,  $\mathfrak{R}$  a vezető-elemnek a vonatkozási ponttól, vagyis a mérőműszertől való távolságát,  $R$  ennek abszolút, értékét. Ha ezt a három törvényt kombináljuk, akkor — az [1]-ben megtalálható számítás után — a következő kifejezést nyerjük:

$$\xi_i = A \cdot (\varepsilon) \xi_a. \quad (3)$$

Itt  $A$  egy olyan konstans, amely a geotektonikus ható fizikai és geometriai paramétereiből a következő képlettel nyerhető:

$$A = -\frac{\mu}{c^2} \frac{F}{L} \frac{1}{1 + [W(\omega L)]^2}. \quad (4)$$

( $\varepsilon$ ) egy tenzor, amelynek matrixa a következő:

$$((\varepsilon)) = \begin{pmatrix} p_x & p_x & p_x \\ p_y & p_y & p_y \\ p_z & p_z & p_z \end{pmatrix}. \quad (5)$$

A (4) és (5) képletek megvilágítására a következőket jegyezzük meg:

Először is elvileg feltételezzük, hogy az adott földmágneses külső tér a *Fourier*-analízis értelmében szigorúan periodikus részekre bontható fel az  $\omega$  körfrekvenciával. Minthogy általában nincsenek jelen monokromatikus variációk, ezért  $A$  is az  $\omega$  függvénye. A  $\mu$  permeabilitás a (4)-ben általában  $I$ -nek

vehető.  $W$  és  $L$  a fizikai mennyiségek, amelyek a mérésekből nyerhetők. Az (5) képletben  $p_x, p_y, p_z$  a *Biot-Savart-törvény* (2) egyenletében szereplő vektor-szorzat komponensei.  $\alpha, \beta, \gamma$ , valamint  $F$  a ható bizonyos geometriai tulajdonságait jellemzik, éspedig, amennyiben  $F$  a ható valamilyen ferde határfelülete, akkor  $\alpha, \beta$  és  $\gamma$  a felület normálisának iránykoszinuszai. Ezek egyidejűleg jellemzik a külső indukáló tér komponenseit, minthogy ténylegesen csak a mágneses tér normális komponense hat.

Megjegyezzük, hogy az indukáló térerősséggel kapcsolatban mellőzhetjük a belső és külső tér szétválasztását, ha (3)-ban a jobboldalon  $\mathfrak{H}_a$  helyébe a  $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}_a + \mathfrak{H}_i$  összteret tesszük. Így a következő kifejezést kapjuk:

$$\mathfrak{H}_i = \frac{A \cdot (\varepsilon)}{1 + \varepsilon_1} \mathfrak{H}, \quad (6)$$

ahol  $\varepsilon_1$  az  $(\varepsilon)$  tenzor első invariánsa, vagyis a tenzor

$$p_x \alpha + p_y \beta + p_z \gamma$$

alakú spur-ja. Így a nyert eredmények interpretációja nehezebb ugyan, de bizonyos mértékig fizikailag valószerűbb.

A matematikai megfontolásokat egyszerű példával világítjuk meg. Tegyük fel, hogy a geotektonikus hatót függőlegesen álló fallal reprezentálhatjuk, amelyben a határos közeghez viszonyítva nagyobb vezetőképesség van jelen (1. ábra). A rájzon  $E$  a földfelszín,  $O$  az  $x, y, z$  derékszögű koordinátarendszer kezdőpontja,  $P$  a vonatkozási pont, vagyis a műszer álláspontja. A függélyes fal keresztülmegy a  $z$ -tengelyen és az  $x$ -irányban olyan messze terjed, hogy a függélyes határfelületek már nem gyakorolnak hatást  $P$ -ben. Ekkor először is az iránykoszinuszokra  $(\alpha, \beta, \gamma)$  vonatkozóan azt mondhatjuk, hogy

$$\alpha = \cos \varphi, \quad \beta = \sin \varphi, \quad \gamma = 0,$$

ahol  $\varphi$  az  $x-y$  síkban  $x$ -től  $y$  felé pozitív irányban mért szöveget jelenti.  $F$  az indukáló felület nagysága, amely egyelőre konstansként szerepel, ugyanúgy mint a  $W$  és  $L$  fizikai paraméterek. Eme egyszerűsítő feltevések mellett (3)-ból a mostani speciális esetben a következő adódik:

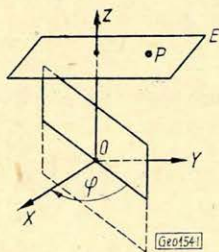
$$Z_i = A(\omega) p_z(\omega) (X_a \cos \varphi + Y_a \sin \varphi). \quad (7)$$

$$c \operatorname{rot} (\mathfrak{H}_i + \mathfrak{H}_a) = \mathfrak{J} + (n \operatorname{grad}) \mathfrak{J} \quad (1a)$$

$$-n \operatorname{div} \mathfrak{J} + 4\pi \mathfrak{J}$$

$$-c \operatorname{rot} \mathfrak{L}_i = \mathfrak{L} + (n \operatorname{grad}) \mathfrak{L} \quad (1b)$$

( $n = \text{const}$ ) Geot54



1. ábra  
Фиг. 1.  
Fig. 1.

Itt  $X_a, Y_a$  jelenti a földmágneses külső tér északi, illetve keleti komponensét és  $p_z$  a (2) *Biot-Savart*-egyenlet vektorszorzatának  $Z$ -komponensét. Ha (7)-et az alábbi egyszerűsített alakban írjuk fel:

$$Z_i = a_w X_a + b_w Y_a, \quad (8)$$

akkor megkapjuk a Wiese [3] által a földmágneses mélyszondázásoknál a mágneses variáció közelítő kiértékelésére gyakran alkalmazott egyenletet. Itt  $a_w$  és  $b_w$  a Wiese-féle konstansok, amelyeknek hányadosa,  $b_w/a_w$ ,  $a$  függélyesen álló felület normálisának irányát adja meg. A Wiese-féle konstansokból nyerjük, hogy

$$C_z^2 = a_w^2 + b_w^2 = A^2 p_z^2. \quad (9)$$

Itt a  $C$  mennyiséget a  $z$ -indexszel láttuk el, miután bonyolultabb esetekben természetesen  $C_x$  és  $C_y$  is fellépnek. A (9) képlet Treumann (lásd az [1]-t) javaslata szerint a következő interpretációs lehetőséget nyújtja:

Ha a (9)-ben logaritmikusan előállításra térünk át, akkor azt kapjuk, hogy

$$\ln C_z(\omega, w) = \ln A(\omega) + \ln p_z(w). \quad (10)$$

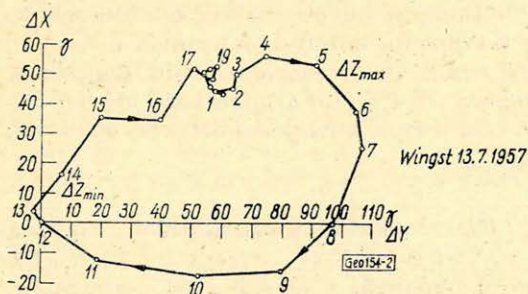
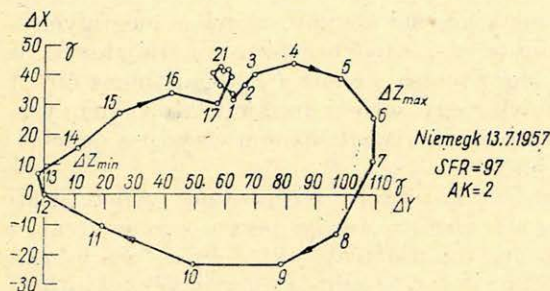
Itt a bal oldalon az ún. indukciós nyílak hossza állanak, vagyis a megfigyelésből származó mennyiségek egy bizonyos  $\omega$  szögfrekvenciára vonatkoztatva. A jobb oldalon viszont az  $A$  konstans logaritmusával mellett a  $p_z$  logaritmusával áll. A  $p_z(w)$  bármely modellt számára aránylag egyszerűen kiszámítható és nem tartalmazza a probléma fizikai paramétereinek adatait, hanem csupán a geometriát írja le.

Ha a (10) egyenletben próbálgatással közelítőleg párhuzamos menetet tudunk előállítani  $\ln C_z(w)$  és  $\ln p_z(w)$  között, amely persze esetleg csak a két szelvény fontos és érdekes részeire vonatkozhat, akkor  $\ln A(\omega)$ , mint a mért mennyiség különbsége adott. Ekkor  $A(\omega)$ -t mint  $\omega$  függvényét tekinthetjük, hogy a fizikai paraméterekre vonatkozóan következtetéseket tehesünk. Ez természetesen feltételezi azt, hogy a külső tér szögfrekvenciáinak megfelelő spektruma áll rendelkezésre ahhoz, hogy az  $A$  mennyiség  $\omega$ -tól való függésének menetét megállapíthassuk. Ezt feltételezve  $W$ -t és  $L$ -t a következő módon választhatjuk szét (lásd a [4]-et:  $A(\omega) \omega \rightarrow \infty$ -re a következő értékbe megy át:

$$F/C^2 L.$$

Tehát az  $A(\omega)$  görbe aszimptotája az  $(FL)^{-1}$  mennyiség számértékét, vagyis a hossz-induktivitást adja meg. A  $W/\omega L = I$  esetben (4) átmegy az  $1/2 F/C^2 L$  alakba, vagyis egy bizonyos  $\omega_{1/2}$  szögfrekvenciánál  $A$  értéke a fél aszimptotával egyenlő. Itt az  $\omega_{1/2}$  jellemzésére a  $W/\omega L = I$  érték szolgál. Ilyen módon tehát megkísérrelhetjük, hogy a  $W$  ohmikus ellenállást az  $L$  induktív befolyásoktól elválasszuk, tehát két paraméter áll rendelkezésünkre a geotektonikus ható tulajdonságainak jellemzésére. Itt minden esetre fel kell tennünk, hogy az  $L$  és  $W$  két érték a mélységgel nem mutat számottevő változást, mert ezeket ama effektusok alapján számoltuk ki, amelyeket a mágneses külső tér harmonikus spektrumba kifejtett variációi hívnak életre. Az  $\omega$ -val együtt a behatolási mélység  $-d-$  is változik  $-$  sőt magát  $\omega$ -t a  $d$  értékével is közelíthetnénk  $-$ , így tehát csak az említett korlátozások mellett szabad  $A(\omega)$ -t a fent leírt módon interpretálnunk. Közelítőleg ez azonban sok esetben megengedett.

Csatlakozva ezekhez a többnyire elméleti megfontolásokhoz, megemlítünk néhány gyakorlati vizsgálatot. Először is beszámolunk az arra irányuló kísérletekről, hogy a mágneses variációs tér hosszabb periódusú elemeit is bevonjuk a mélyszondázási vizsgálatokba, amint az már több helyen megtörtént. A 2. ábra az  $S_q$  variáció horizontális diagramjait mutatja be egy kiválasztott nyugodt napon a *Wingst*-i és *Niemegk*-i obszervatóriumban. Az ábra vektordiagramja az  $S_q$ -változások egész órás momentán értékeit mutatja *Greenwich*-i idő szerint 12,00 GMT-re, mint nullaszintre vonatkoztatva. Az ún. nem-ciklikus effektust az éjféle értékek különbségének lineáris kiegyenlítése útján közelítően elimináltuk, így a vektordiagram 12,00 GMT-kor a koordinátarendszer nullpontján megy keresztül. Ahol a vektordiagram erős görbületet mutat fel, ott a külső mágneses tér bizonyára nem homogén. Tehát a vektordiagram egyenes szakaszaira kell szorítkoznunk, ha a fentebb kifejtett interpretációs eljárást alkalmazni akarjuk. Ilyenkor közelítően  $Z_a = 0$  és a fentebb leírt módon járhatunk el. Ezt az állapotot valószínűleg meg a 13,00-tól 16,00-ig terjedő időköz. A vertikális intenzitásnak ebben az időszakban mért variációit tehát túlnyomórészt a földmágneses belső tér határozza meg, azok azonban tartalmazzák nemcsak a helyi geotektonikus szerkezetek befolyását, hanem a föld globális és regionális hatását is.



2. ábra.  $S_q$ -variációk vektordiagramjai *Niemegk*-ből és *Wingst*-ből egy kiválasztott nyugodt napon. A nem-ciklikus effektust kiküszöböltük

Фиг. 2. Векторные диаграммы вариаций  $S_q$  из Нимегка и Вингста в выбранный спокойный день. Нециклический эффект исключен

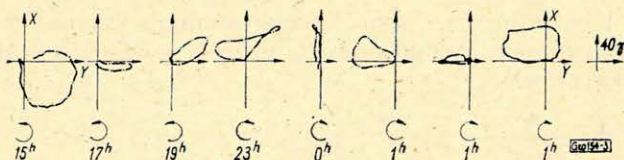
Fig. 2. Vektogramme für  $S_q$ -Variationen von Niemegk und Wingst an einem ausgesucht ruhigen Tag. Der non-cyclic-Effekt ist eliminiert

Ha a helyi hatást ki akarjuk választani, akkor a globális és regionális hatást ki kell küszöbölnünk. Ezt  $S_q$  számára a *Chapman*-féle analízissel érhetjük el úgy, hogy a szóbanforgó hely számára kiszámítjuk a gömbfüggvények számértékeit. *Knödel* [2] vizsgálatai szerint ez a módszeres eljárás használhatónak bizonyul és kielégítő eredményekhez vezet.

Általában öbölhábörgásokat használtunk fel, mint a mágneses mélyszondázásoknál alkalmazható változásokat: ezeket a 3. ábrán vektordiagramban tüntettük fel. Láthatjuk, hogy két órán belül az egész vektordiagram átfutásra kerül, vagyis ezalatt az indukáló külső tér teljes körülfordulást végez  $0^\circ$ -tól



360°-ig. Az indukáló térerősség nagysága azonban a körülfutás alatt igen változó, úgyhogy az indukciós effektusok nagysága is változik (lásd a [8]-at). Várható tehát, hogy a merőlegesen álló lap egyszerű modelljénél az indukciós hatás egy öbölháborgás folyamán igen különböző lesz aszerint, hogy az indukáló külső mágneses tér merőlegesen áll-e a felületre vagy érintőlegesen. Az első esetben várható a teljes indukciós hatás, az utóbbinál indukciós effektus nem is lép fel.

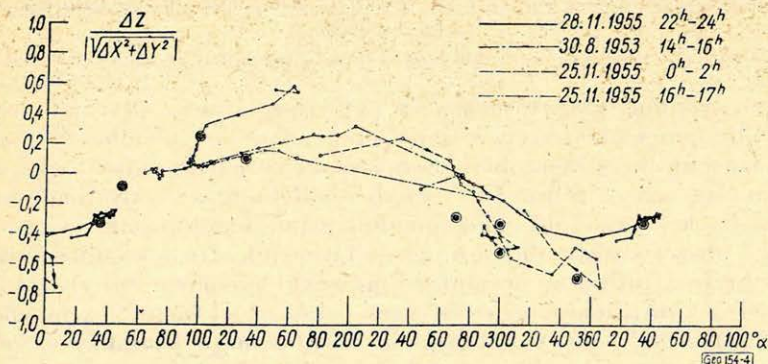


3. ábra. Öbölháborgások vektordiagramjai Niemegekben különböző napszakokban. 19,00 és 23,00 között felismerhető a körülfutási irány megfordulása

Fig. 3. Векторные диаграммы бухтообразных возмущений в различные времена суток, полученные в Нимегке. В интервале от 19,00 до 23,00 ч. наблюдается обращение направления вращения кругооборота

Fig. 3. Vektogramme von Baiströmungen in Niemegek an verschiedenen Tageszeiten. Zwischen 19,00 und 23,00 Uhr lässt sich ein Umkehr des Umlaufsinnes erkennen

Ha a külső indukáló mágneses térerősség különböző értékeinek indukáló befolyását kiküszöböljük, akkor első közelítésben az indukciós effektus nagyságára szinuszgörbe adódik, amelynek szélső értékei az indukáló külső térerősségnek a lemezhez viszonyított ortogonális állásánál, nullhelyzetei az érintőleges állásnál adódnak. A 4. ábrában a Niemegek-i obszervatórium több öbölháborgásából nyert közepes görbét láthatjuk, ahol az említett szinuszgörbe menete



4. ábra. A  $\bar{Z}_i$  normált vektoriális komponens szinuszalakú függése a deklinációtól különböző öbölháborgásoknál Niemegekben ( $\Theta$  = egyes öblök közepes  $\frac{\Delta Z}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}$  értéke a főháborgási irány azimutjától való függésben)

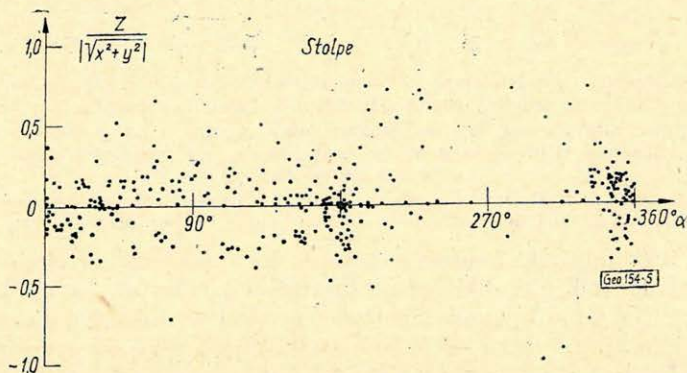
Fig. 4. Синусоидальная зависимость нормального вертикального компонента  $\bar{Z}_i$  от склонения при различных бухтовых возмущениях в Нимегке. ( $\Theta$  – зависимость средней (величины  $\frac{\Delta Z}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}$  отдельных бухт от азимута направления главных возмущений).

Fig. 4. Sin-förmige Abhängigkeit der normierten Vertikalkomponente  $\bar{Z}_i$  von der Deklination für verschiedene Baiströmungen in Niemegek ( $\Theta$  = mittleres  $\frac{\Delta Z}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}$  einzelner Bais in Abhängigkeit vom Azimut der Hauptstörriichtung)

igen kielégítő. Itt az észlelt indukciós hatást az indukált vertikális komponenssel ( $Z_i$ ) jellemeztük, amelyet a külső indukáló mágneses tér változó erősségére való tekintettel a következőképpen normáltunk:

$$\overline{Z}_i = \frac{z_i}{\sqrt{X_a^2 + Y_a^2}} \quad (11)$$

Az 5. ábra hasonló előállítást tartalmaz *Stolpe* állomásról, ahol azonban láthatóan szó sem lehet szinusz hullámról, azaz ott nincs kimondott anizotrópia. A szögtartomány közepén fellépő nagyobb mérvű szórást az indukciós értékek alacsony szintje okozza.



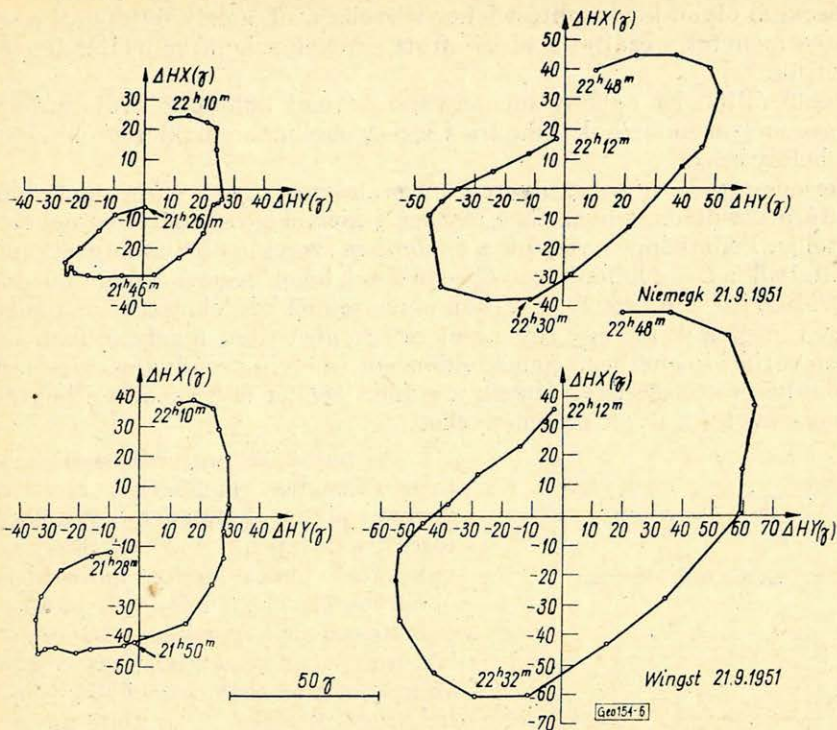
5. ábra. Hasonló ábra *Stolpe* állomásról. (A szinuszfüggés itt nem mutatkozik)

Фиг. 5. Подобная зависимость для станции Штольпе. (Синусоидальная зависимость здесь не намечается).

Fig. 5. Dasselbe für die Station *Stolpe* (eine Sinus-Abhängigkeit ist nicht zu erkennen)

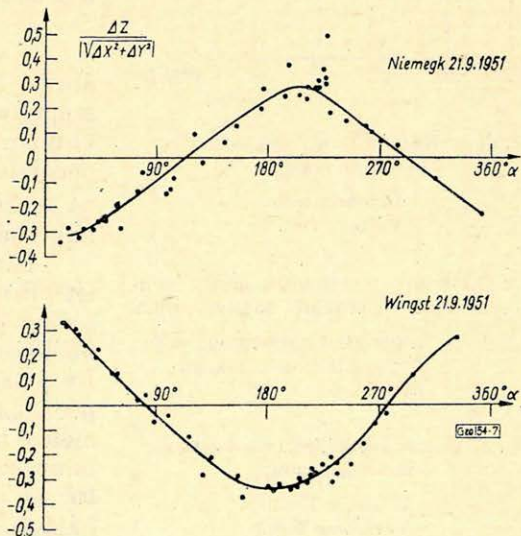
Röviden utalunk még *Windgassen* [4]-vizsgálataira. Ott arról van szó, hogy az öbölháborgásokon kívül közepes erejű viharokat is felhasználhatunk a mélyszondázásnál, mert ezek öbölháborgásszerű viselkedésüknél fogva nyilván igen alkalmasak erre a célra. Két egyedi öbölháborgás vektordiagramját – amelyekből egy közepes erejű vihart gondolhatunk összeállíthatni – a *Wingst*-i és *Niemegk*-i obszervatóriumból a 6. ábrán láthatjuk. Itt is szembeűnik, hogy a vektordiagram átfutása az óramutató járásával ellenkező irányban történik.

Ezeknél a kutatásoknál egy lényeges nehézséggel kellett szembenézni: a „trend” („alapmenet”) megválasztásával. Kitéűnt, hogy általában elegendő az 1-rendű trend alkalmazása ahhoz, hogy használható eredményeket nyerjünk. Itt az 1-rendű trend alatt egy olyan kiegyenlítő görbét értünk, amelyet a közepes erejű vihar hullámvonalán egymást követő két maximum alapján végzett középképzéssel nyerünk. A  $Z$ -komponensnél ez az 1-rendű trend jól azonosítható az  $S_D$ -vel. A horizontális komponenseknél azonban még bizonyos ritmikus ingadozások is mutatkoznak, amelyek azonban nyilván nem zavarnak erősebben. Az eredmények igen kielégítőek voltak és jó egyezést mutattak az öbölháborgásoknál nyert értékekkel. A közepes erejű viharoknál is kiszámítottuk a szinuszgörbékét, mint fentebb az öbölháborgásoknál történt. A 7. ábra adja ezen szinuszgörbék menetét – egyelőre azonban csak érték alapján – *Wingst* és *Niemegk* obszervatóriumok számára. Amint várható volt, felismerhető a szinuszgörbe pontos tükörképes lefutása, amely mindkét obszervatóriumnál



6. ábra. Közepes erejű viharok vektordiagramjai Niemegekben és Wingstben (Windgassen után)  
 Фиг. 6. Векторные диаграммы бурь средней интенсивности, полученные в Нимегке и Вингсте (по Виндгассеру)

Fig. 6. Vektogramme von moderate storms für Niemegek und Wingst (nach Windgassen)



7. ábra. A  $\overline{Z}_i$  szinuszalakú függése a deklinációtól a 6. ábra közepes erejű viharainál (Windgassen szerint)

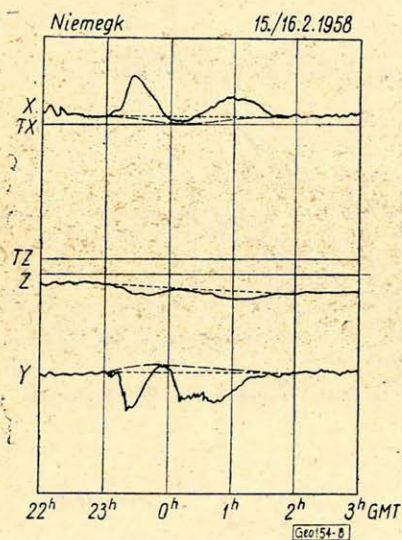
Фиг. 7. Синусоидальная зависимость величины  $\overline{Z}_i$  от склонения при бурях средней интенсивности, изображенных на Фиг. 6 (По Виндгассеру)

Fig. 7. Sin-förmige Abhängigkeit von  $\overline{Z}_i$  von der Deklination für die moderate storms aus Fig. 6 (Nach Windgassen)

feltűnő élességgel jelentkeznek. Ilyen indukciós karakterisztikával rendelkező állomásoknál olyan kiegyenlítést lehet végrehajtani, amely feltételezi a szigorú szinuszos menetet s ezáltal a kiszámított értékek szignifikanciáját lényegesen emelhetjük.

Végül álljon itt néhány megjegyzés a trend különböző választásának a mágneses mélyszondázások számára végzett öbölháborgás-kiértékelésekre gyakorolt befolyásáról.

Természetesen a trend egyetlen megválasztása nem előre egyértelműleg meghatározott dolog, hanem függ részben a kiértékelő személy szubjektív megérzésétől is. Példaképpen vegyük a 8. ábrában szereplő öbölháborgást, amelyen szemléltettük a trend különböző választásának lehetőségeit. A szereplő időpont: 1958. február 15 – 16. Az X- és Y-komponenseknél két lehetséges alapmenetválasztást tüntettünk fel, egy egyeneset és egy görbültet, amely jobban simul a közepes variációmenethez. Nehéz eldönteni, melyik trendválasztást részesítjük előnyben és célszerűnek látszik mindkét trendet felhasználni a kiértékeléshez és összevetni a nyert eredményeket.



8. ábra. Kétféle trend-választás egy öbölháborgásnál

..... Lineáris trend  
 - - - - - Változó trend

Фиг. 8. Выбор различных направлений при буртовом возмущении:

..... линейная направленность  
 - - - - - переменная направленность

Fig. 8. Unterschiedliche Trendwahl für eine Baistörung

..... Linearer Trend  
 - - - - - Variabler Trend

A vertikális intenzitásnál a kettős trend-választást mellőztük, mert itt az egyenes alakú alapmenet lényegében biztosítottnak látszik. Várható, hogy a trend-választás valami módon hatással lesz az öbölháborgás kiértékelésének pontosságára és biztonságára. Ennek megítélésére 6 öbölháborgásra hibaszámításokat végeztünk, ezek között az 1958. február 15 – 16-i öbölháborgás esetében a 8. ábrában szereplő két különböző trendválasztással, az alábbi eredményekkel:

1958.

január 9.	$172^{\circ} \pm 20^{\circ}$
február 15.	$203^{\circ} \pm 8^{\circ}$
	$194^{\circ} \pm 8^{\circ}$ (két különböző trend)
április 28.	$187^{\circ} \pm 6^{\circ}$
szeptember 23.	$185^{\circ} \pm 2^{\circ}$
október 23.	$162^{\circ} \pm 5^{\circ}$
december 11.	$218^{\circ} \pm 14^{\circ}$

(A szereplő szög  $\varphi + 90^{\circ}$  a Niemegek-i öbölháborgásoknál.)

Látható tehát, hogy az indukciós felület (Wiese szerinti) normálisa számára kiszámított irány biztonsága – az összes öbölháborgásokra kiszámítva – ugyanabba a nagyságrendi tartományba esik, és pedig mintegy  $\pm 10^{\circ}$  közelébe. Figyelemre méltó, hogy ez a szórás lényegesen kisebb, mint azok a különbségek, amelyek a  $\varphi + 90^{\circ}$ -os szögben a 6 öbölháborgás felhasználásánál fellépnek. Ezek az ingadozások

ugyanis  $160^\circ$ -tól  $220^\circ$ -ig terjednek, tehát az ingadozás szélessége  $60^\circ$ . Láthatjuk ebből, hogy az egyes öbölháborgásoknál olyan effektusok lépnek fel, amelyekkel szemben az egyszerűsített Wiese-eljárás hatástalan, amelyek azonban nyilván statisztikusan szórnak, úgyhogy nagyobb számú effektus felhasználása esetén használható eredményt lehet várni. Ezzel szemben a trendválasztásbeli különbség befolyása az öbölháborgások kiértékelésénél nem lényegesen nagyobb, mint azt várni lehetett volna. Az 1958. február 15–16-i öbölháborgásnál a két trend esetére  $194^\circ$  és  $203^\circ$  közötti szögértékeket kapunk 9 fokos ingadozás-szélességgel. Ez az eltérés ugyanolyan nagyságrendű, mint a két öbölháborgás számított hibái ( $\pm 8^\circ$ ), tehát fizikailag nem szignifikáns. Ebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a 8. ábrában megadott különböző trendek gyakorlatilag nem befolyásolják a nyert eredményt, tehát a trendválasztás különbségének a nyert eredmények pontosságával kapcsolatban nem szabad túlságos jelentőséget tulajdonítanunk.

Kötelességemnek tartom, hogy munkatársaimnak, E. Ritter és R. Treumann okleveles fizikusoknak és H. Wolter mérnöknek őszinte köszönetemet fejezzem ki a munka megírásánál nyújtott segítségükért, a kézirat átnézéséért és a számítási munkák elvégzéséért és felügyeletéért.

#### IRODALOM

- [1] Fanslau, G. – Treumann, R.: Zur geomagnetischen Tiefensondierung, Pure and Appl. Geophysics (nyomás alatt).
- [2] Knödel, K.: Richtungsbestimmungen aus geomagnetischen  $S_q$ -Variationen mit Induktionspfeilen nach Wiese, Gerlands Beitr. Geophys. (nyomás alatt).
- [3] Wiese, H.: Geomagnetische Tiefentellurik, Abh. Geomagn. Inst. Potsdam, Nr. 36 (1963).
- [4] Windgassen, W.: Die Verwendung von mittleren magnetischen Stürmen für die geomagnetische Tiefensondierung, Diplomamunka a Karl Marx Egyetemen, Leipzig, 1966.

MAGYAR GEOFIZIKA VIII. ÉVF. 2–3. SZ.

## Paleomágneses vizsgálatok hazai bazaltkőzeteken

MÁRTON PÉTER – M. SZALAY EMŐ

*A dolgozat a magyarországi bazaltok paleomágneses feldolgozásának eredményeit mutatja be. A szerzők mintegy 200 kőzetmintát mértek le. Minden mérésnél váltóáramú lemágnesezést alkalmaztak. A mérési adatok megbízhatóságát eddig kétféle Curie-pont vizsgálattal és az ismételt felmérés módszerével (Thellier-módszer) becsülték.*

*Az anyagfeldolgozás eredményei:*

1. Normál és fordított mágnesezettségű zónák jelenléte a pliocénben.
2. A mágnesezés évszázados változás indikálása.

*В работе излагаются результаты палеомагнитных исследований, проведенных на образцах венгерских базальтов.*

*Анализу было подвергнуто около 200 образцов. Во всех случаях при измерениях применялось размагничивание переменным током. Оценка достоверности данных измерений проводилась по методам проверки точки Кюри, а также по методу повторного нагрева (метод Тельэ).*

*В результате обработки материалов*

*1. определено наличие в плиоцене зон с нормальным и обратным намагничиванием горных пород;*

- 2. выявлены вековые вариации геомагнитного поля.*

*Der Aufsatz stellt die Ergebnisse der paleomagnetischen Bearbeitung der Basalte in Ungarn dar.*

*Es wurden ungefähr 200 Gesteinproben mit Wechselstrom-Demagnetisierung ausgemessen. Die Zuverlässigkeit der Messungsdaten wurde bisher durch die zwei Curie-Punkt Proben und durch die Methode der wiederholten Aufwärmung (Thellier-Methode) geschätzt.*

*Die Ergebnisse der Bearbeitung des Materials:*

1. Die Zonen von normaler und inverser Magnetisierung in Pliozene.
2. Indikation der magnetischen Sekularvariation.

A hazai magmás és üledékes kőzetek paleomágneses feldolgozása során első lépésként a *dunántúli és északnógrádi bazaltokkal* foglalkoztunk.

A dunántúli bazaltok ÉÉNy – DDK irányú széles depresszióban helyezkednek el a *Balatonfelvidék* és a *Keszthelyi hegység* peremén. Lávatakaró, vulkáni kúp és csatornakitöltés formájában jelennek meg. Anyaguk több kitörési központból származik. A vulkáni működés korát pannonvégi fekvő-, és pleisztocén fedőrétegek rögzítik. Földtani megfigyelési adatok alapján a vulkáni működés nem pillanatszerűen (mert pl. a Kabhegyen az egyes lávaárak között vörös anyag fekszik, vagy az eredeti térszín nagymérvű deflációja) de viszonylag rövid idő alatt zajlott le. (kevés vulkáni termék) A különálló hegyek keletkezési sorrendje rétegtanilag nem határozható meg. Morfológiai jelek alapján Lóczy négy csoportot különböztetett meg:

1. triász aljzatú vulkánok (Kabhegy, Hegyestű)
2. 300 – 260 m magas pannoniai térszínen ülő képződmények (Badacsony, Gulács, Haláp)
3. 200 – 150 m magas denudált pannoniai térszínre került bazaltok
4. nagykiterjedésű bazaltplatók (pl. Tátika csoport)

Lóczy szerint a 3. csoport alacsonyabb térszíni helyzeténél fogva (defláció) fiatalabb mint a 2. csoport, továbbá a Tátika előterében található mélyebben fekvő tagok a vulkáni működés utolsó termékei. A bazaltokat érintő tektonikai folyamatok ugyancsak Lóczy szerint legfeljebb függőleges mozgásokra korlátozódnak, paleomágneses szempontból érdektelenek.

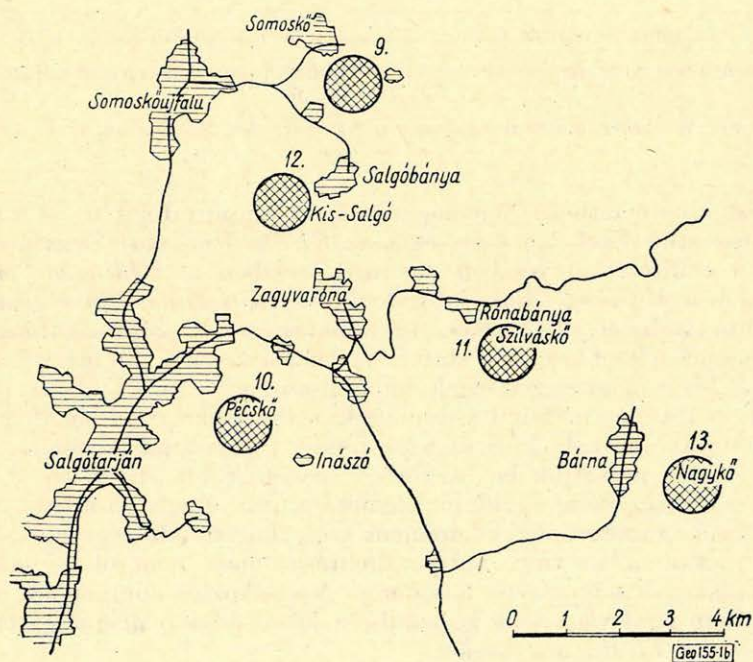
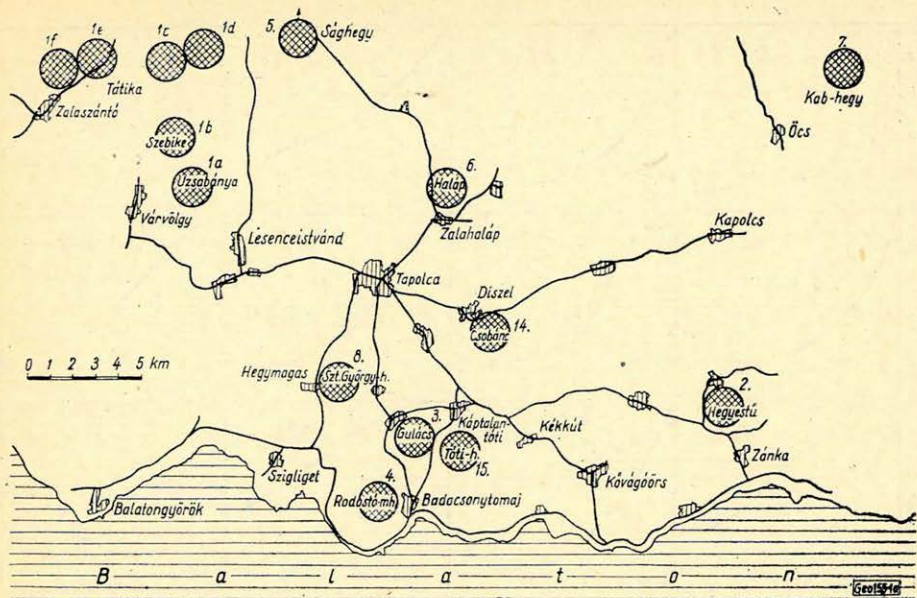
Az északnógrádi vulkánok szabálytalanul szétszórta, több kitörési központból származnak, túlnyomórészt rétegvulkánok. A magmás tevékenység korát analógiai alapon a balatonkörnyékivel azonosnak veszik. A vulkanizmus időbelileg nem tagolható, vége az alsó pleisztocénre tehető (ajnácskői gerinces forma).

20 mintavételi helyen (1. ábra) mintegy 200 orientált mintát gyűjtöttünk. A mintavételi helyek a következők voltak:

#### 1. Tátika-csoport

Uzsabánya	Haláp
Szebike	Kabhegy
Prága-hegy	Szentgyörgyhegy
Sarvaly-hegy	Medves-fensík
Bazsi	Pécskő
Zalaszántó	Szilváskő
Hegyestű	Nagy és Kis Salgó
Gulács	Nagykő (Bárna)
Badacsony	Diszel
Sághegy	Tótihegy

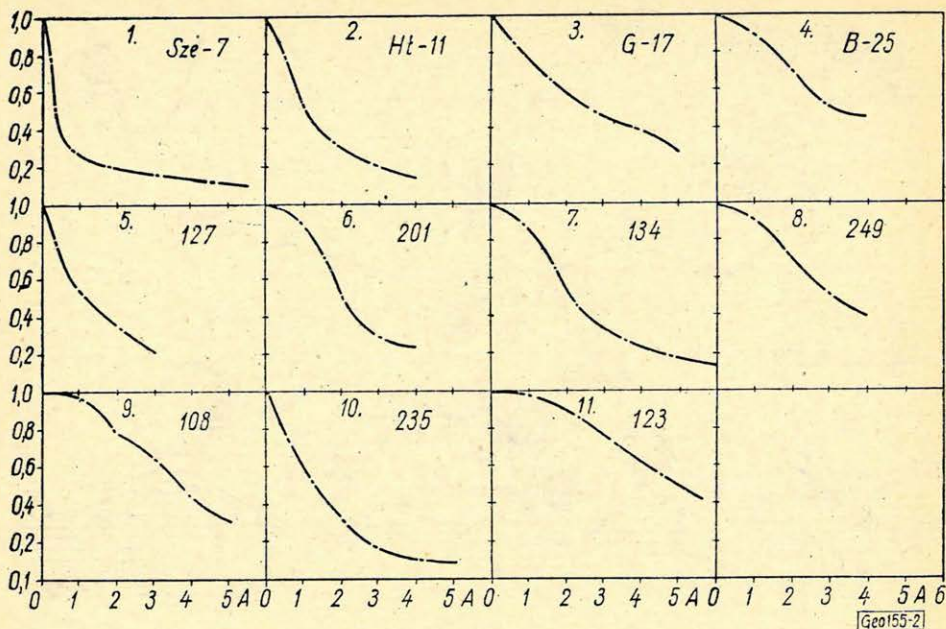
Vizsgálatainkhoz minden kőzetmintából 2,4 cm élhosszúságú kockákat vágattunk ki. A minták mágnesezettségét közepes érzékenységű kőzetgenerátorral mértük. Mágneses tisztítás céljából minden mintánál váltóáramú le-



1a ábra. Mintavételi helyek (Dunántúl) 1b ábra. Mintavételi helyek (É-Nógrád)

Fig. 1. a) места отбора образцов (Задунайская область) б) Места отбора образцов (район Северного Нограда)

Fig. 1.a. Probeentnahmestellen (Transdanubien) 1.b. Probeentnahmestellen (Nördliches Nógrád)



2. ábra. Az 1–11 mintacsoportok tipikus váltóáramú lemágnesezési görbéi. ( $IA = 100 \text{ Oe}$ )

Фиг. 2. Типичные кривые размагничивания переменным током для групп образцов 1–11 ( $IA = 100 \text{ э}$ )

Fig. 2. Typische Wechselstrom-Entmagnetisierungskurven der Probestruppen 1–11 ( $IA = 100 \text{ Oe}$ )

mágnesezést alkalmaztunk. A lemágnesező tér amplitúdóját  $0-600 \text{ Oe}$ -ig le lehetett változtatni. Ezeket a méréseket az *ELTE Geofizikai Tanszékén*, a továbbiakban említettek részben ugyanitt, részben a *Földfizikai Intézetben (Moszkva)* és a *Moszkvai Állami Egyetem Geofizikai Tanszékén* végeztük el.

16 mintavételi helyen a természetes remanens mágnesezettség iránya váltóáramú lemágnesezéssel szemben stabilisnak mutatkozott. 4 mintavételi helyet (12, 13, 14, 15) a mágnesezettségek anomálian nagy értékei (ideális mágnesezettség) ill. az irányok instabilitása miatt ki kellett rekeszteni a feldolgozásból. Az egyes mintavételi helyekhez tartozó tipikus váltóáramú lemágnesezési görbéket a 2. ábrán mutatjuk be. A görbék menete több helyen (1, 2, 7, 8, 9) viszkózus mágnesezettség egyidejű jelenlétére utal, amely azonban  $200 \text{ Oe}$ -ig eltűnik. Ez a mágnesezettségi komponens az egykori és jelenlegi földi mágneses tér közeli parallelitása vagy antiparallelitása miatt nem okoz jelentékeny irányváltozást a lemágnesezés folyamán. A viszkózus komponens nagysága több mintában eléri vagy meg is haladja a kőzet eredeti mágnesezettségének (feltétel szerint *TRM*) nagyságát.

Az anyag paleomágneses feldolgozásának eredményeit szemléletesen a 3, 4, és 5. ábrák, adatszerű összesítésében az 1. táblázat tartalmazza. Az 1 és 2 mintacsoport normálisan, a 3–11 csoportok fordítottan mágnesezettek. A  $\bar{D}$  és  $\bar{I}$  középarányokból számított virtuális pólusok a földrajzi pólus körül helyezkednek el.



Mintavételi hely	$N$	$I_n$	$\bar{D}$	$\bar{I}$	$\varkappa$	$\Theta$	$\Phi$	$\Lambda$	$\Theta_1$	$\Theta_2$
1. Tátika-csoport .	16	50,1	8,8	58,7	33	6,5	80,0	152,5	9,6	7,1
2. Hegyestű . . . . .	5	30,4	9,8	65,2	36	12,9	83,0	100,0	21,1	17,0
3. Gulács . . . . .	9	22,5	164,6	-74,4	67	6,5	-73,6	170,0	11,8	10,8
4. Badacsony . . . . .	7	19,4	153,1	-74,5	54	8,2	-69,0	159,3	14,9	13,6
5. Sághegy . . . . .	4	33,1	179,0	-72,9	75	10,5	-78,9	195,5	18,7	16,6
6. Haláp . . . . .	10	47,4	187,0	-56,3	50	6,9	-79,0	349,5	10,0	7,2
7. Kabhegy . . . . .	12	11,0	170,7	-56,1	69	5,2	-77,5	53,5	7,5	5,4
8. Szentgyörgyhegy	5	24,2	153,5	-53,4	80	8,6	-72,0	72,0	12,0	8,2
9. Medves . . . . .	55	12,2	154,1	-44,9	34	3,5	-60,3	72,0	4,4	2,8
10. Pécskő . . . . .	12	74,2	218,1	-70,1	55	5,9	-65,6	239,5	10,3	8,8
11. Szilvaskő . . . . .	7	18,2	191,6	-62,3	35	10,2	-82,0	244,0	16,0	12,4

## 1. Táblázat:

A táblázatban szereplő betűk jelentése

- $N$  : a minták száma  
 $I_n$  : átlagos NRM intenzitás  
 $\bar{D}$  : közepes deklináció  
 $\bar{I}$  : közepes inklináció  
 $\varkappa$  : a középirány becslésének pontosságára jellemző szám Fischer szerint  
 $\Theta$  : a 0,95 valószínűségi szintű konfidenciakör sugara  
 $\Phi$  : a virtuális paleopólus szélességkoordinátája  
 $\Lambda$  : a virtuális paleopólus hosszúságkoordinátája  
 $\Theta_1$   
 $\Theta_2$  : a 0,95 valószínűségi szintű konfidenciaóv fél tengelyei

## Таблица 1

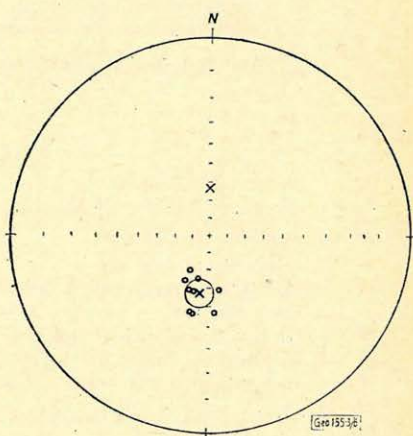
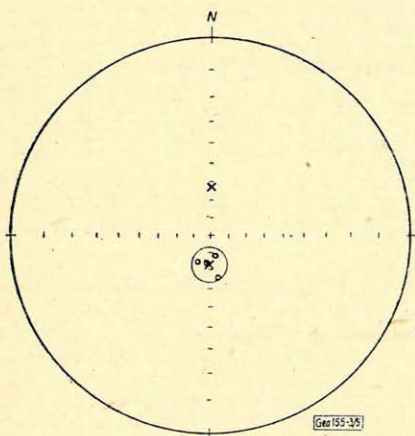
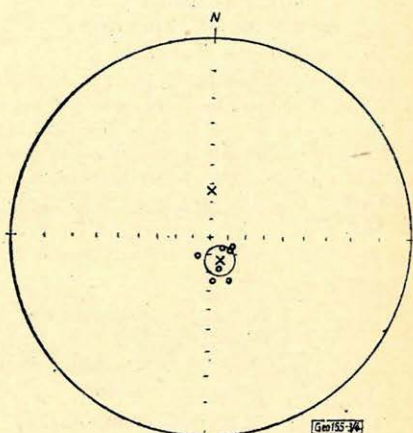
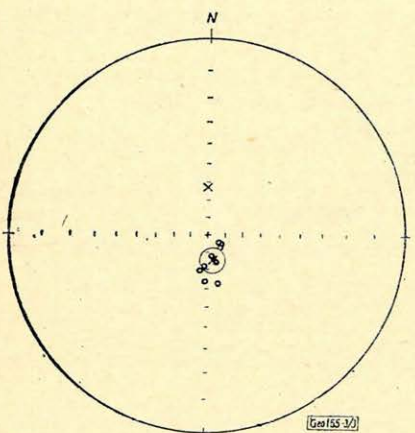
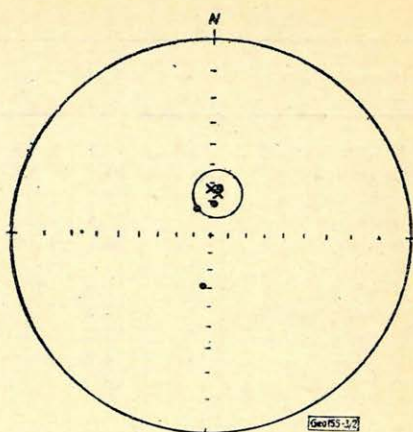
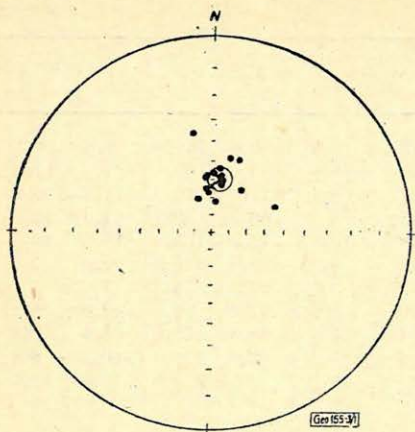
Условные обозначения таблицы:

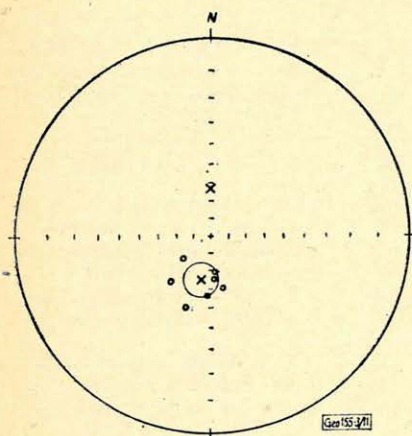
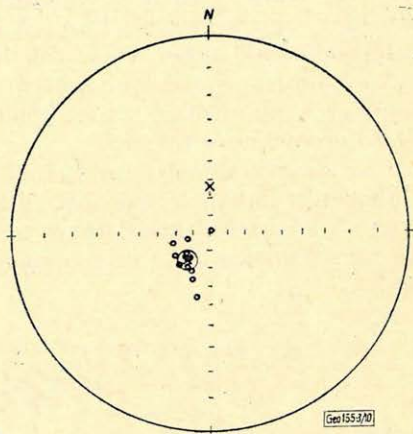
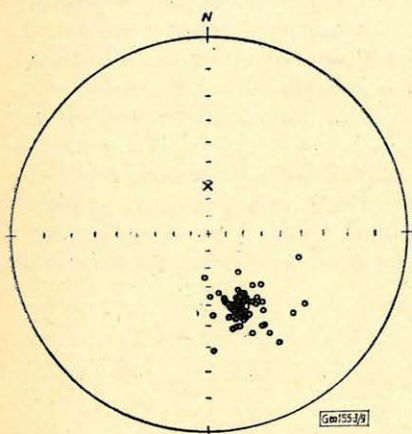
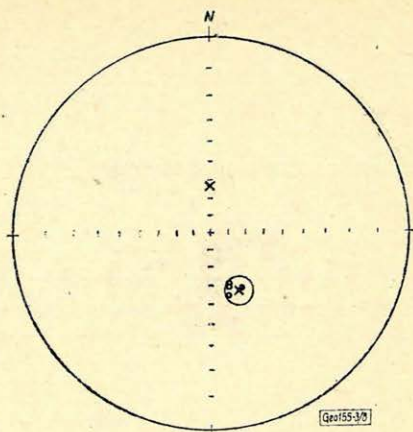
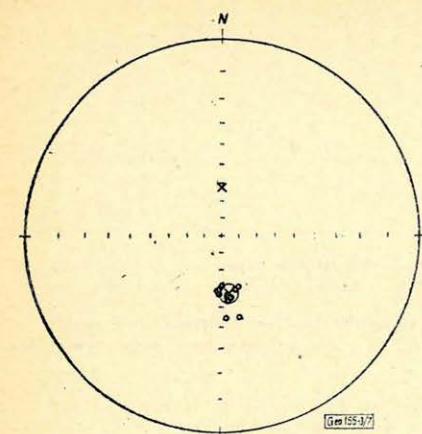
- $N$  число образцов  
 $I_n$  средняя интенсивность  
 $\bar{D}$  среднее склонение  
 $\bar{I}$  среднее наклонение  
 $\varkappa$  коэффициент, характеризующий точность оценки среднего направления по Фишеру  
 $\Theta$  радиус окружности достоверности на уровне вероятности 0,95  
 $\Phi$  координата широты виртуального палеополуса  
 $\Lambda$  координата долготы виртуального палеополуса  
 $\Theta_1$   
 $\Theta_2$  полуоси овала достоверности на уровне вероятности 0,95

## Tabelle 1.

Buchstabenerklärung

- $N$  : Anzahl der Proben  
 $I_n$  : durchschnittliche NRM-Intensität  
 $\bar{D}$  : mittlere Deklination  
 $\bar{I}$  : mittlere Inklinatation  
 $\varkappa$  : Die Genauigkeit der Abschätzung der mittleren Richtung charakterisierende Zahl nach Fischer  
 $\Theta$  : Radius des Konfidenzkreises vom Wahrscheinlichkeitsniveau 0,95  
 $\Phi$  : Breitenkoordinate des virtuellen Paleopols  
 $\Lambda$  : Längenkoordinate des virtuellen Paleopols  
 $\Theta_1$   
 $\Theta_2$  : Halbachsen des Konfidenzovals mit 0,95 Wahrscheinlichkeitsniveau

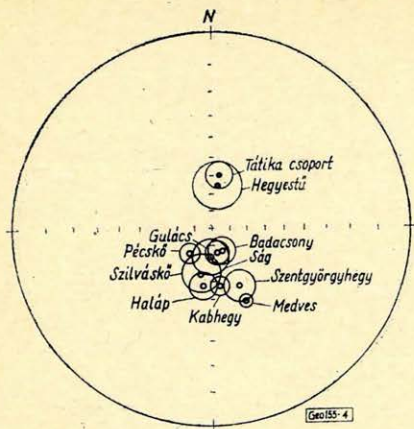




3. ábra. Az 1–11 mintacsoportok paleomágneses  $D$  (deklináció) és  $I$  (inklináció) irányai a középpírányval ( $\times$ ) és a konfidencia körrel (0,95)

Фиг. 3. Направления палеомагнитного склонения ( $D$ ) и наклонения ( $I$ ) со средним направлением ( $\times$ ) и с окружностью достоверности (0,95)

Fig. 3. Paleomagnetische  $D$ - (Deklination) und  $I$ - (Inklination) Richtungen der Probestruppen 1–11 mit der mittleren Richtung ( $\times$ ) und den Konfidenzkreisen (0,95)



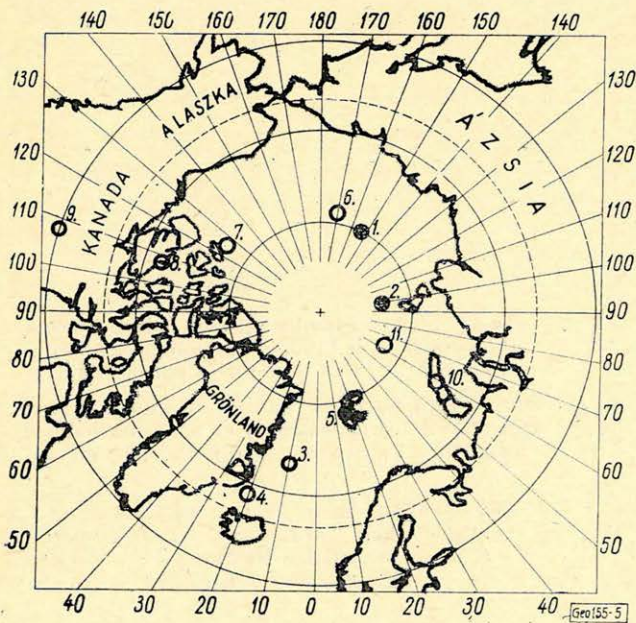
4. ábra. Az 1-11 mintacsoportok D és I közép-  
irányai a konfidenciakörökkel (0,95)

Фиг. 4. Средние направления D и I групп  
образцов 1-11 с окружностями достоверности  
(0,95)

Fig. 4. Mittlere D und I Richtungen mit den  
Konfidenzkreisen (0,95)

Az eredményekből az egykori mágneses térre (pólushelyzet, évszázados változás) vagy a vizsgált kőzetek kiömlésének sorrendjére megbízható következtetések csak akkor vonhatók le, ha a mért mágnesezettségek irányai az egykori földi mágneses tér irányát, nem pedig a kőzetben – kihűlésével egyidejűleg, vagy utólag – végbement fizikai-kémiai folyamatok (önfordulás, CRM) eredményét tükrözik.

Az adatok megbízhatóságának vizsgálata kiválasztott mintákon történik; a laboratóriumban létrehozott ideális mágnesezettség váltóáramú lemágnesezésére és hőkezelési kísérletekre terjed ki. Utóbbiak Curie-pont vizsgálat és az ismételt felmelegítés (termomágnesezés és termomágnesezés) módszerének alkalmazása.



5. ábra. Az 1-11 mintacsoportok alapján számított virtuális paleomágneses pólushelyzetek

1-2 : É-i pólus  
3-11 : D-i pólus

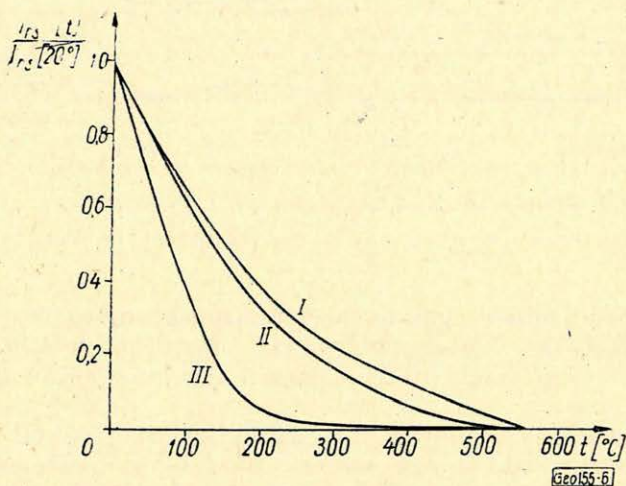
Фиг. 5. Виртуальные положения палеомагнитных полюсов, вычисленные по группам образцов 1-11  
1-2 - северный полюс  
3-11 - южный полюс

Fig. 5. Virtuelle paleomagnetische Pole berechnet auf Grund der Probestruppen 1-11  
1-2 : Nordpol  
3-11 : Südpol

Az 1. mintacsoport 5 mintavételi helyről származik. A kiválasztott egyetlen minta (Sü-8) alapján az adatok megbízhatósága egyértelműen nem állítható. További minták feldolgozása szükséges.

A 2. mintacsoport a mágnesezettség hordozója szempontjából eredetileg lényegében egykomponensű. TRM-je egy  $T_c = 300^\circ\text{C}$ -Curie pontú ferromágneses elegyrésztől származik. Ismételt felmelegítésre nagyobb Curie-pontú komponens keletkezik.

A 3., 5., 6. mintacsoport lényegében egykomponensű. A TRM-et egy kb.  $T_c = 200^\circ\text{C}$  Curie pontú elegyrész hozza létre. Ismételt felmelegítés hatására a kezdetben csak néhány százalékban vagy a kimutathatóság határán levő nagyobb Curie-pontú (3-ban  $T_c = 475^\circ\text{C}$ ; 5-ben  $T_c = 570^\circ\text{C}$ ; 6-ban  $T_c = 475^\circ\text{C}$  és  $T_c = 570^\circ\text{C}$ ) fázis növekszik és Curie-pontja a magnetit Curie-pontjához tart ( $T_c = 575^\circ\text{C}$ ). (6. ábra).



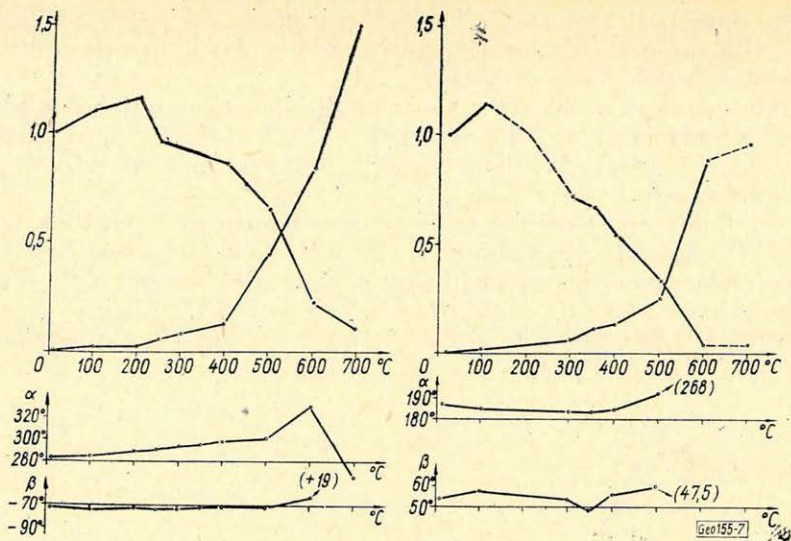
6. ábra. A 200-as minta (6. mintacsoport)  $I_{rs} = I_{rs}(t)$  görbéi  
 I : első } felmelegítés,  $I_{rs}$ : telítési mágnesezettség  
 II : második }  
 III : harmadik }

Фиг. 6. Кривы  $I_{rs} = I_{sr}(t)$  образца № 200 (группа 6)  
 I - первое } нагревание,  $I_{rs}$  - намагничение  
 II - второе } насыщения  
 III - третье }

Fig. 6.: Die  $I_{rs} = I_{rs}(t)$ -Kurven der Probe Nr 200 (sechste Probengruppe)  
 I. : ertse } Erwärmung;  $I_{rs}$  = Saturationsmagnetisierung  
 II. : zweite }  
 III. : dritte }

A 7. mintacsoportban a TRM fő hordozója a magnetit ( $T_c = 575 - 578^\circ\text{C}$ ), egyes mintákban hematit jelenléte is valószínű. A 7. ábrán bemutatott két Thellier-görbe a TRM reprodukálhatóságát bizonyítja.

A 9. mintacsoportban az egykomponensű minták TRM-je magnetittől származik ( $T_c = 576^\circ\text{C}$ ). Kétkomponensű minták is előfordulnak ( $T_{c1} \approx \approx 200^\circ\text{C}$  és  $T_{c2} \approx 560^\circ\text{C}$ ), amelyekben a kisebb Curie-pontú esetenként stabil, máskor ismételt felmelegítésre átalakul.



7. ábra. A 131 és 134-es minták (7. mintacsoport) Thellier-görbéi

Фиг. 7. Кривые Тельэ образцов № 131 и 134 (группа 7)

Fig. 7. Thellier-Kurven der Proben Nr 131 und 134 (siebente Probengruppe)

Az I. és a nem említett mintacsoportok mágnesezettségének megbízhatósága még vizsgálatra vár. Ugyancsak hátra van a fenti ismertetésben Curie-pontokkal jellemzett elegyrészek (titanomagnetitek) pontos ásványtani azonosítása.

A megbízhatósági vizsgálatokból az alábbi következtetések vonhatók le. Feltétlenül hitelesnek kell tekinteni a 7. és 9. mintacsoport paleomágneses adatait. A mágnesezhető elegyrészek hőkezeléssel szembeni instabilitásának ellenére megbízhatónak vehetők a 2, 3, 5, 6 mintacsoportokra kapott paleomágneses adatok is. Az ismételt felmelegítések hatására bekövetkező folyamatok (6. ábra) elég hosszú idő alatt közönséges hőmérsékleten is lejátszódhatnak a kőzetben. A görbék szerint az átalakulási folyamatok iránya a nagyobb Curie-pontú komponens arányának növekedése. Az első felmelegítési görbe szerint viszont a kőzetben eredetileg a nagyobb Curie-pontú komponens elenyészően kevés, tehát a kőzet élete folyamán lényeges, – az eredeti TRM-et érintő – átalakulásokkal nem kell számolni.

Bárhogyan is alakuljanak a további hitelességvizsgálatok, a normál és fordított mágnesezettségű zónák jelenléte, a látszólagos pólusok (évszázados változás miatti) földrajzi sarok körüli körkörös elhelyezkedése az eddigiek alapján bizonyítottan tűnik az adott időszakra.

# Kőzetmágnességi kutatások szerpentiniteken

F. Ch. WAGNER

A DDR déli részén, a szász granulitgeységben, Hohstein-Ernsthall közelében igen szabálytalan mágnesezettségű szerpentinitek fordulnak elő. Hogy a mágnesezettség fajtáját és stabilitását, valamint ennek az előforduló ásványokkal való összefüggését megállapíthassuk, mintegy 200 kockaalakú mintán egyenáramú, váltóáramú és termikus mágnesezéssel kísérleteket végeztünk. A demagnetizálási görbékből folytonos sorát kaptuk a mintáknak az instabiloktól a stabilokig, vagyis többféle mágnesezettség lép fel. Ugyanilyen képet nyújtanak a mágnesezettségi irányok a hőmérséklet függvényében.

A stabilitási értékek statisztikai eloszlása továbbá azt mutatja, hogy metastabilis mágnesezettség az uralkodó. A fellépő mágnesezettségi fajták analizálására mesterséges mágnesezéseket állítottunk elő, demagnetizáltunk és a demagnetizálási görbéket összehasonlítottuk a természetes mágnesezettségek esetén fellépőkkel. A természetes mágnesezettségnek analizálásánál viszkozitási, termikus és kémiai mágnesezettségeket különböztettünk meg.

A mágnesezettségek jellege jól egyezik a geológiai és mineralógiai viszonyokkal. A mágnesezettség stabilitása a mélységtől függ. A stabilitás nagysága a mélységgel egyre erősebben csökken, amit az ásványoknak a mélységgel kapcsolatos eltérő eloszlására és méretére vezethetünk vissza. A fajta és nagyság szerint csoportosított demagnetizálási görbék feltűntetik a mágnesez stabilitás és az ásványfajta- és méret közötti összefüggést.

В южной части ГДР в саксонском гранулитовом массиве, близки Гонштейн – Эрнстхалла имеются проявления совершенно закономерно намагниченных серпентинитов. Для определения вида и устойчивости намагниченности, а также связи их с другими присутствующими минералами, на 200 образцах правильной кубической формы были проведены исследования с использованием термического намагничивания и намагничения с постоянным и переменным током. Из кривых размагничивания получается непрерывный спектр от устойчивой до неустойчивой намагниченности, т. е. имеет место несколько видов намагниченности. Такую же картину дают и графики зависимости намагниченности от температуры.

Krome этого, статистическое распределение степени устойчивости показывает, что преобладающей является метастабильная намагниченность. Для анализа разновидностей намагниченности проведено искусственное намагничивание и размагничивание образцов, причем кривые размагничивания сравнивались с кривыми естественного размагничивания. При анализе естественное намагничивание разделялось на вязкое, термическое и химическое.

Характер видов намагниченности хорошо согласуется с геологическими и минералогическими условиями. Устойчивость намагниченности зависит от глубины. Степень устойчивости все сильнее снижается с глубиной, что связано с различным распространением и различными размерами отдельных минералов на различных глубинах. На кривых размагничивания, группированных по виду и степени устойчивости, выявляется связь магнитной устойчивости с видами и размерами различных минералов.

Im Süden der DDR, im Sächsischen Granulitgebirge, treten nahe dem Ort Hohstein-Ernsthal Serpentinite mit stark irregulären Magnetisierungen auf. Zur Ermittlung der Stabilität und Art der Magnetisierung sowie ihres Zusammenhanges mit den vorhandenen Mineralien wurden an etwa 200 Würfelproben Gleichfeld-, Wechselfeld- und thermische Entmagnetisierungen vorgenommen. Aus den Entmagnetisierungskurven ergibt sich ein lückenloses Spektrum von magnetisch instabilen bis stabilen Proben, d.h., es treten mehrere Arten von Magnetisierungen auf. Ein gleiches Bild bieten die Magnetisierungsrichtungen in Abhängigkeit von der Temperatur.

Die statistische Verteilung der Stabilitätswerte ergibt weiter, dass eine metastabile Magnetisierung vorherrscht. Zur Analyse dieser Magnetisierungsarten wurden künstliche Magnetisierungen erzeugt, entmagnetisiert und ihre Entmagnetisierungskurven mit denen der natürlichen Magnetisierungen verglichen. Die natürlichen Magnetisierungen wurden als viskose, thermische und chemische Magnetisierungen analysiert.

Der Charakter der Magnetisierungen stimmt gut mit den geologischen und mineralogischen Verhältnissen überein. Die magnetische Stabilität ist von der Tiefe abhängig. Die Stabilitätswerte zeigen eine zunehmende Abnahme mit der Tiefe, die auf eine unterschiedliche Verteilung und Grösse der Minerale mit der Tiefe zurückgeführt werden kann. Entmagnetisierungskurven, zusammengestellt nach Gruppen von Art und Grösse der Minerale, zeigen den Zusammenhang zwischen magnetischer Stabilität und Art und Grösse der Minerale.

A DDR déli részén, az ún. százsz granulithegységben gyakran találunk igen szabálytalanul mágnesezett szerpentiniteket. A *VEB Geophysik*, Leipzig által Hohenstein-Ernstthaltól északra végzett mágneses felmérés kis területen  $\pm 15,000$  gammás anomáliákat adott számtalan szabálytalan elhelyezkedésű szerkezeti elemmel. Külön meg kell jegyezni itt, hogy – ellentétben a szokásos homogén mágneses anomália tömegekkel – a szabálytalan elhelyezkedés a mikromágneses szerkezeti elemeken (azaz méternagyságrendű távolságokon) túlmenően egészen a belső közetszerkezetig, (tehát centiméter nagyságrendű távolságokig) ment, amint azt *Jubelt* és *Lauterbach* mikromágneses és petromágneses vizsgálatai mutatták. A felmérés alapján így a szerpentiniteket el lehetett választani a mellékes kőzettől, de nehéz volt további vizsgálatok nélkül támpontokat nyerni a szabálytalan mágneseződés jellegéről és keletkezéséről.

Ezért mintegy 200 kőzetmintán laboratóriumi vizsgálatokat végeztünk. Mintegy 50. mintát vettünk a *Kiefenberg*-i és *Callenberg*-i masszivumok in situ szerpentinitjéből, míg a többi a *Callenberg*-i terület egy fúrásából és a *Kiefenberg*-i terület két fúrásából származik. A mineralógiai vizsgálat azt mutatta, hogy mágneses ásványként elsősorban magnetit szerepelt, de itt-ott magnetitot is találtak. Ezt az eredményt a *Debye-Scherrer* eljárással és röntgenszám-lálócső-goniométerrel végzett röntgen-kutatás is igazolta. A thermomágneses analízis (vagyis a telítettségi mágnesezettség hőmérséklet-függésének vizsgálata) az esetek többségében azt mutatta, hogy temperaturastabil magnetit van jelen, kb.  $580\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os *Curie*-ponttal; más *Curie*-pontokat nem sikerült megállapítani. A spektrálanalízis a magnetit részarányára  $1-10$  súlyszázalékot adott, középtértékben  $3,5\%$ -ot. A magnetit feltűnően sok *Co*-ot ( $2,1\%$ ) és *Ni*-t ( $2,7\%$ ) tartalmazott. *Pouillard* szerint a *Co*-nak és *Ni*-nek a magnetitban való jelenléte a *Curie*-pontot megváltoztatja, de a kis részarány semmiesetre sem eredményezhet lényeges *Curie*-pont-eltolódást. Titánt nem találtak.

Összefoglalva tehát ezekből a szerkezeti kutatásokból azt következtethetjük, hogy a mágneses anyag stabil magnetit, amely mágneseesen mint egykomponenses rendszer jelentkezik.

#### *Mágneses vizsgálatok*

A szuszceptibilitást egy kiegészítő résszel ellátott *Fanselau*-féle terepi mérleggel mértük. Középtértékben  $10-20 \cdot 10^{-4}$  cgs-t kaptunk; egyes magnetitben dús minták magasabb, magnetitzegény esetek alacsonyabb értéket adtak.

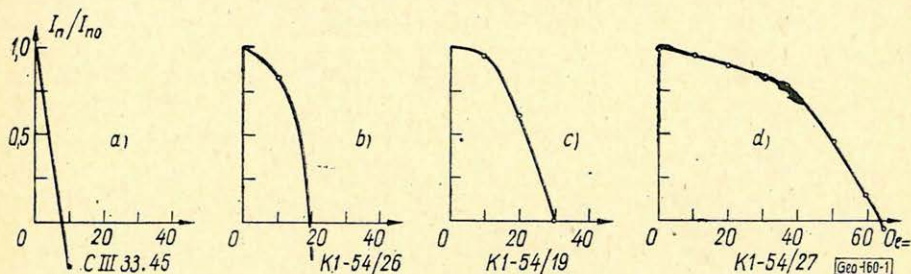
A remanens mágnesezettséget egy *Blackett*-féle asztatikus magnetométerrel (2-mágneses rendszer) mértük: középtértékben  $10-20 \cdot 10^{-4}$  Oe adódott, vagyis a szabálytalan anomáliákat egyként lehet induktív és remanens eredetre visszavezetni. Egyes orientált mintákon mértük a mágnesezettség irányát: a remanens mágnesség szabálytalan jellege beigazolódott azzal, hogy  $+62^{\circ}$ -tól  $-38^{\circ}$ -ig kaptunk inklinációs és  $7^{\circ}$ -tól  $191^{\circ}$ -ig deklinációs értékeket.

A remanens mágnesezettség stabilitásának mérésére alkalmaztuk a három ismert demagnetizáló eljárást: az egyenáramú térrel, a váltóáramú térrel való és a termikus demagnetizálást. Az egyenáramú térrel való és a termikus demagnetizálás céljára rendelkezésre álló tekeresáram  $300$  Oe térerősséget szolgáltatott, a váltóáramú tekeres erőssége (tér) maximálisan  $800$  Oe volt. Termikusan nem a *Thellier* (mágnestérben való laboratóriumi lehűtés) eljárást alkalmazták, hanem mágnességmentes térben hűtöttek. Mindhárom eljárás lényegében ugyanazt az eredményt adta, úgy hogy a demagnetizálás alatti kőzetviselkedés leírásánál az egyenáramú térben végzett mérésekre lehet szorítkozni.



Ha külön mást nem mondunk, mindég a legerősebb természetes mágnesezettségi komponenst demagnetizáljuk.

Az 1. ábra néhány egyenáramú demagnetizálási görbét mutat be. Az abszcissa-tengelyen a demagnetizáló-egyenáram, az ordinátán a remanens mágnesezettség ( $I_n$ ) és a kezdeti remanens mágnesezettség ( $I_{n0}$ ) viszonya szerepel. A görbéknek az abszcisszatengellyel való metszéspontja:  $H'_c$ . Ha Petrovával a következő felosztást alkalmazzuk: a  $H'_c < 10$  Oe tartomány, az instabil, a  $10$  Oe  $< H'_c < 40$  Oe tartomány a metastabil, a  $H'_c > 40$  Oe pedig a stabil eseteket foglalja magában, akkor a bemutatott görbéken folytonos spektrumot találunk az instabil mágnesezettségi állapottól a stabilig. Fel kell tehát tennünk, hogy több különböző mágnesezettségi komponens van jelen, melyek fajta és keletkezési mód tekintetében eltérőek lehetnek. Egyes – itt nem közölt – mágnesezettségi görbékből az is kitűnik, hogy ezek a komponensek szuperponálódhatnak és lehet, hogy a szabálytalan mágnesezettség ilyen szuperponálódások eredménye.



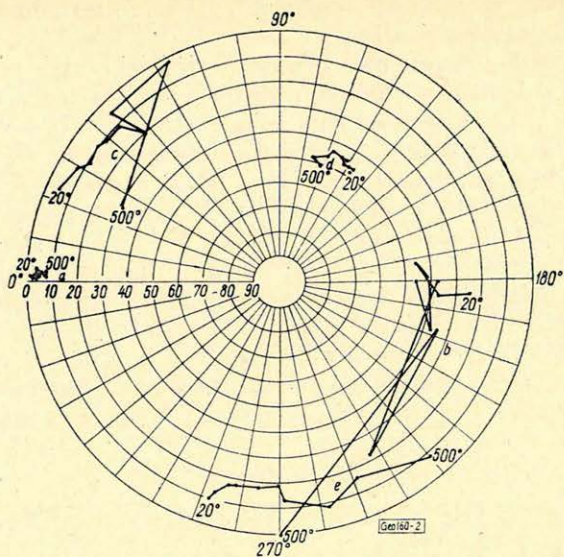
1. ábra. Egyenáramú térrel végzett demagnetizálás görbéi

Фиг. 1. Кривая размагничивания, проведенного в поле постоянного тока

Fig. 1. Gleichfeldentmagnetisierungskurven

Ennek kikutatása érdekében egyes instabil, metastabil és stabil mintákon megvizsgáltuk a mágnesezettségi irányoknak a termikus demagnetizálástól való függését. A 2. ábra mutatja a relatív mágnesezettségi irányváltozásokat nem orientáltan vett minták esetén egy a  $20$  °C-tól  $500$  °C-ig terjedő közben. Az a görbe egy stabil jelzésű mágnesezettség irányváltozását mutatja. Látható, hogy az irány egészen  $500$  °C demagnetizálási hőmérsékletig stabil marad. A c, d és e görbék a metastabilis mágnesezettség irányváltását mutatják. Bár itt már nagyobbak a változások, teljes irányfordulás nem mutatkozik. Végül a b görbe egy instabil minta irányváltozását mutatja, amely szintén nem mutat fel inverziót, bár erős irányváltozásokat láthatunk, amelyek mindenesetre csak magasabb hőmérsékletnél lépnek fel. A mágnesezettségi irányok viselkedése tehát igazolja azt, hogy a stabiltól az instabilig menő mágnesezettségű komponensek léteznek, de nem mutatja azt, hogy az ilyen komponensek szuperponálásának eredményeképpen iránymegfordulás jönne létre.

Míg a mágnesezettség fajtája egyenletesen oszlik el a stabiltól az instabilig, a különböző mágnesezettségi módok mennyiségi eloszlása más képet mutat. A 3. ábra a  $H'_c$  értékek eloszlását mutatja a következő tartományokra:  $H'_c < 10$  Oe,  $10$  Oe  $< H'_c < 20$  Oe,  $20$  Oe  $< H'_c < 40$  Oe, és  $H'_c > 40$  Oe. A négy görbe megfelel a  $H'_c$  értékek eloszlásának a következő mintáknál: in situ (K1-54),



2. ábra. A mágnesezettségi irány függése a demagnetizálástól

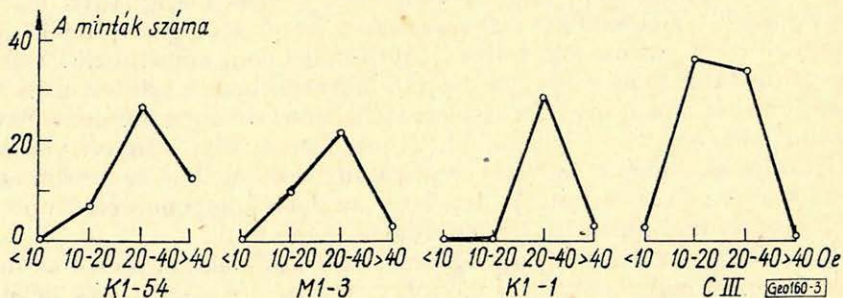
- Termikusan stabil: a (K-1/18,0)  
 Termikusan instabil: b (C III/12,90)  
 Termikusan metastabil: c (C III/19,05) d (K-44/4,3) e (K-54/7)
- A teljes vektor felfelé irányul
  - A teljes vektor lefelé irányul

Fig. 2. Зависимость направления намагничения от размагничения

- Термически устойчивы: a (K-1/18,0)  
 Термически неустойчивы: b (C III/12,90)  
 Термически метастабильные: c (C III/19,05) d (K-44/4,5) e (K-54/7)
- полный вектор направле вверх
  - полный вектор направлен вниз

Fig. 2. Die Abhängigkeit der Magnetisierungsrichtung von der thermischen Entmagnetisierung

- Thermisch stabil: a (K-1/18,0)  
 Thermisch instabil: b (C III/12,90)  
 Thermisch metastabil: c (C III/19,05) d (K-44/4,3) e (K-54/7)
- Totalvektor nach oben gerichtet
  - Totalvektor nach unten gerichtet



3. ábra. A  $H_c$ -értékek eloszlása a  $<10$ ,  $10-20$ ,  $20-40$  és  $>40$  Oe tartományokra

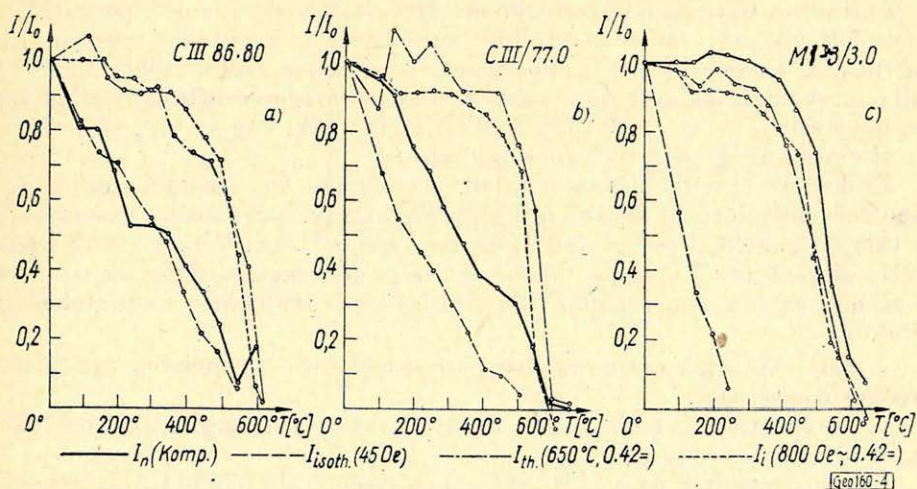
Fig. 3. Распределение величин  $H_c$  в диапазонах  $<10$ ,  $10-20$ ,  $20-40$  и  $>40$  э

Fig. 3. Verteilung der  $H_c$ -Werte auf die Bereiche  $<10$ ,  $10-20$ ,  $20-40$ ,  $>40$  Oe

fúrómagok a *Kiefernberg*-fúrásból (*MI-3* és *KI-1*), valamint fúrómagok a *Callenberg* fúrásból (*C-III*). Mind a négy esetben látható, hogy a minták túlnyomó része a *10 Oe* és *40 Oe* közötti  $H'_c$  értékeket mutatja, tehát a metastabilis mágnesezettség az uralkodó. Ezzel szemben az instabil és stabil mágnesezettség részaránya kicsiny.

Az említett – az instabiltól a stabilig terjedő – mágnesezettségi komponensek azonosítására egy sor mintán egymásután mesterséges mágnesezést hajtottunk végre, azután váltakozó áramú térben, valamint thermikusan is demágneseztünk. Ha feltesszük, hogy a demagnetizálási görbék egyezése esetén a mágnesezettség fajtája is egyező, akkor a természetes mágnesezettség demagnetizálási görbéinek a mesterséges mágnesezettség demagnetizálási görbéivel való összehasonlításából következtetést vonhatunk le a természetes mágnesezettség fajtájára. Három mesterséges mágnesezést hajtottunk végre, amint a 4. ábra mutatja. Egy *45 Oe* erősségű egyenáramú térben izoterm –  $J_{\text{isoth}}(45\text{Oe})$  mágnességet keltettünk; ez a mágnesezettség a természetes viszkozus mágnesezettségnek felelhet meg. Továbbá *650 °C*-nál a földi térben (*0,42 Oe*) thermoremanens mágnességet keltettünk; ez megfelelhet az effuzív kőzetek természetes thermoremanenciájának. Végül ideális mágnesezettséget állítottunk elő *800 Oe* erősségű váltóáramú demagnetizálással a *0,42 Oe*-t kitevő természetes földi tér hatása alatt. Ezen mágnesezettséghez a természetben előforduló mágnesezettségek között nem találunk analogot.

A váltóáramú térrel és termikával történő demagnetizálások eredményei megegyeznek, úgy hogy a 4. ábra mindkét demagnetizáló eljárás esetére érvényes. Az ábrán mindég az erősen kihúzott demagnetizálási vonal jelenti a természetes mágnesezettség legerősebb komponensét ( $I_n-t$ ). Az *a* görbe (balra) az instabil mágnesezettség menetét ábrázolja, *a*'*b* kép (középen) a metastabil mágnesezettséget, míg a *c* rajz (jobbról) stabil mágnesezettségre vonatkozik. Az *a* képen (balról) látható, hogy a természetes mágnesezettség demagnetizálási



4. ábra. Mesterséges mágnesezések termikus demagnetizálása

Fig. 4. Термическое размагничивание искусственных намагничений

Fig. 4. Thermische Entmagnetisierung von künstlichem Magnetisierungen.

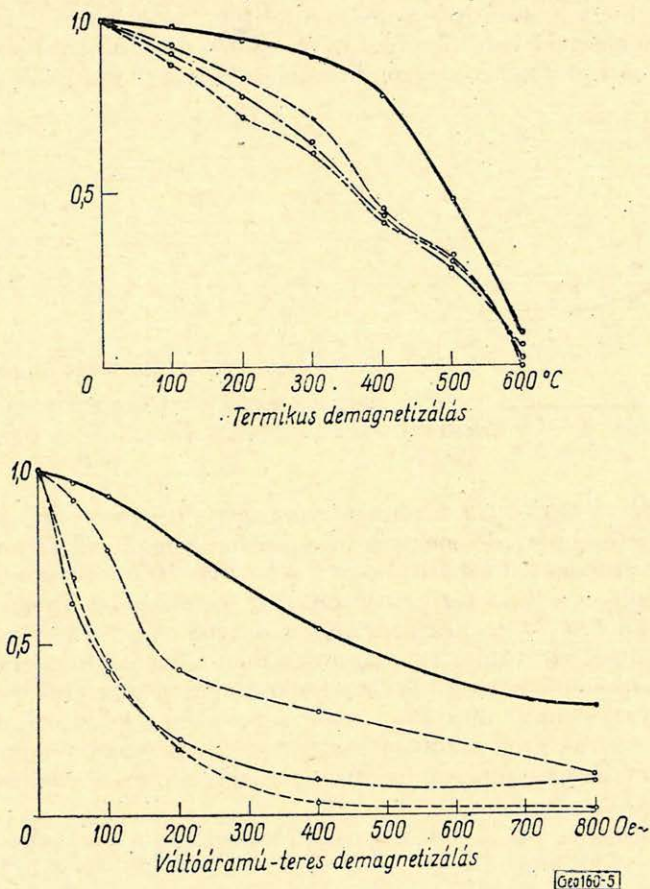
görbéje az irothermális mágnesezettségének felel meg. Feltehetjük tehát, hogy az instabil természetes mágnesezettség viszkózus mágnesezettség. A *c* képen (jobbról) a természetes mágnesezettség demagnetizálási görbéje a termikus mágnesezettségének felel meg, feltehető tehát, hogy a stabil természetes mágnesezettség termikus remanens mágnesezettség. A *b* képet (középen) nehezebb interpretálni. Egyelőre annyit vehetünk ki belőle, hogy a domináló remanens mágnesezettség esetében sem viszkózus, sem termoremanens mágnesezettségről nem lehet szó. Ennek a mágnesezettségnek meghatározására még további geológiai és petrográfiai vizsgálatokra van szükség.

A mágneses viselkedés jól összhangba hozható a geológiai és petrográfiai viszonyokkal, vagyis a szerpentinitek keletkezésével és átalakulásával. A szerpentinitek vízfelvétel kíséretében egy mágneses őskőzetből állottak elő, amely ma már nincs jelen, csak maradványos alakban szerepel, mint pyroxén és olivin a szerpentinitben. A pyroxénnal és olivinnal együtt lép fel itt-ott kisszemcséjű, magmatikus eredetű magnetit is és feltehető, hogy a stabil mágnesezettség a magmatikus magnetit termoremanenciájára vezethető vissza. Ezen magnetitek aránylag kis előfordulási mértéke magyarázhatja a stabil mágnesezettség aránylag ritka fellépését. A szerpentinizálódás folyamán tektonikai igénybevétellel kapcsolatban a szerpentinitben magnetit rakódik le a szemcseközökben, résekben és nyílásokban. Ez a kémiai úton történő újrakiválasztódás a domináló folyamat a szerpentinitek keletkezésénél és átalakulásánál, és ezt összhangba kell hoznunk az uralkodó metastabilis magnetizálódással. Ebből következik, hogy a metastabilis mágnesezettség: kémiai remanens mágnesezettség. A kémiai remanencia létezése *Haigh* és *Kobayashi* szerint ismeretes és utóbbi meg is vizsgálta a kémiai remanenciát mágneses stabilitására vonatkozóan. Az egyedi tartományokról a többszörös tartományokra való átmenetnél szereplő mágneses részecskék (kb.  $1 \mu\text{m}$ ) számára a mágneses stabilitás a termoremanenciás stabilitásnak felel meg, míg nagyobb részecskéknél a mágneses stabilitás csökken és a részecskeméret növekedésével a viszkózus mágnesezettség stabilitásába megy át. Ez utóbbi eset felel meg éppen a szerpentinitnél uralkodó viszonyoknak. Itt a magnetit szemcsenagysága kb.  $1 \mu$  és  $500 \mu$  között van és a stabilitás spektruma az instabiltól egészen a stabilig terjed, aholis közepes szemcsenagyság esetén a metastabilis állapot az uralkodó. A talált instabil vagy viszkózus kémiai mágnesezettség ilyenkor vagy igen nagy szemcsék instabil kémiai remanenciájának, vagy a nagyobb részecskék viszkózus mágnesezettségének fogható fel.

Ezeket az egyedi mintákon talált összefüggéseket hasonló tulajdonságú csoportok vizsgálatával tovább is alátámaszthatjuk. Erre a célra hasonló ásványi tulajdonságokkal rendelkező 15-ös mintacsoportokat képeztünk és mágnesezettségi görbéikből közepes mágnesezettségi görbéket számoltunk (5. ábra). Az alábbi, azonos mineralógiai tulajdonságokkal rendelkező csoportokat állítottuk össze:

1. Szerpentinitek maradványos pyroxénnal és olivinnal, vagyis magmatikus magnetittel,
2. Szerpentinitek kicsiny, kb.  $10 \mu$  nagyságrendű magnetitrészecskékkel, vagyis újkiválasztódással,
3. Szerpentinitek nagy, kb.  $300 \mu\text{m}$  nagyságrendű magnetitrészecskékkel, vagyis itt is újkiválasztódással,
4. Szerpentinitek magnetittal feltöltött repedésekkel és résekkel (helyenként ezek kiterjedése a néhány mm-t eléri, itt is van újkiválasztódás).

Ezen csoportok átlagolt demagnetizálódási görbéit az 5. ábra tartalmazza. Az *a* ábra (fent) a termikus demagnetizálást mutatja. A pyroxén- és olivin-tartalmú minták elsősorban termoremanens mágnesezettséget hordoznak, minek következtében a demagnetizálási görbe itt van a legmagasabb helyzetben. A stabilitás szempontjából szembetűnő távolságban következnek csak az újkiválasztódás magnetites és kémiai mágnesezettségű szerpentinit-csoportjai. A



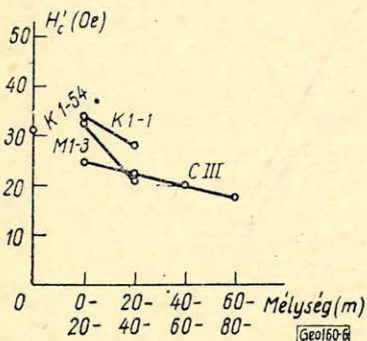
5. ábra. Demagnetizálási görbék (kiválasztott minták középértékei)  
 Pyroxén, Olivin  
 ----- kisebb mágneses részek  
 - . - . - . nagyobb mágneses részek  
 ..... Repedések, rések magnetittel

Fig. 5. Кривые размагничивания (средние величины выбранных образцов)  
 ----- пироксен, оливин,  
 ----- меньшая магнитная часть  
 - . - . - . большая магнитная часть  
 ..... трещины, щели с магнетитом

Fig. 5. Entmagnetisierungskurven, Mittelwerte von ausgewählten Proben  
 ----- Pyroxen, Olivin  
 ----- kleinere Magnetpartikel  
 - . - . - . grössere Magnetpartikel  
 ..... Risse, Klüfte mit Magnetit

stabilitás itt kisebb és a szemcsenagyság növekedésével csökken. Ugyanezt a képet mutatja a *b* ábra, a váltakozó térrel végzett demagnetizálás görbéje. Itt is a pyroxén- és olivintartalmú minták demagnetizálási görbéje van a legmagasabban és a szemcsenagyság növekedésével a stabilitás csökken.

Ezen összefüggések alapján a mágneses stabilitás egész viselkedése megvizsgálható (6. ábra). Ugyanis ha a stabilitási értékeket egyes, kb. 20 m vastag mélységintervallumokra vonatkozóan átlagértékekbe foglaljuk össze, nyilvánvalóvá lesz, hogy a stabilitás a mélységtől függ. A 6. ábrán látható a  $H_c'$  értékeknek a mélységtől való függése; a váltakozó áramú térrel és a termikával eszközölt demagnetizálással szemben a stabilitás hasonlóképpen viselkedik.



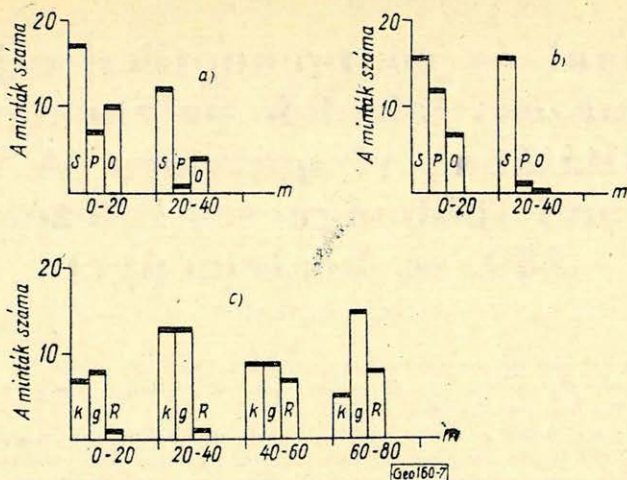
6. ábra. A  $H_c'$ -középértékek függése a mélységtől

Fig. 6. Зависимость средних величин  $H_c'$  от глубин

Fig. 6. Mittelwerte von  $H_c'$  in Abhängigkeit von der Tiefe

Az *M-3*, *K1-1* és *C-III* fúrómagok mintáit a 0–20 m, 20–40 m, 40–60 m és 60–80 méterig terjedő mélységű csoportokba foglaltuk össze és felraktuk a közepes  $H_c'$  értékeket. Látható, hogy a *K1-1* és *M1-3* fúrások felső tartományában (vagyis 0–20 méterig) a közepes  $H_c'$  érték magasabban van és az alsó tartományban (20–40 m) észrevehetően süllyed. A *C-III* fúrásnál a közepes  $H_c'$  értékek általában valamivel alacsonyabban helyezkednek el és a mélységgel állandóan csökkennek. Hogy ezt a viselkedést az ásványtartalomra visszavezethessük, valamennyi mintából vékony metszetet készítettünk és megvizsgáltuk ezeket az ásványi alkotórészek és a magnetit szemcsenagyság szempontjából. Itt két megállapításra jutottunk, amelyek ezt a mágneses viselkedést magyarázhatják.

A 7. ábrában, annak felső részén blokkdiagram alakjában ábrázoltuk a maradványos pyroxének és olvineknek a szerpentiniben való fellépését a *K1*-fúrásban két mélységintervallumtól (0–20 m és 20–40 m) való függésben. Látható, hogy a felső tartományban (0–20 m) a minták összes számához viszonyítva aránylag sok minta tartalmaz maradványos pyroxént és olivint: így tehát a szerpentinitek mintegy 50%-os termoremanens mágnesezettségi részarányt tartalmaznak, amelynek stabilitása nagy kell, hogy legyen. Az alsó tartományban a *K1-1* fúrásnál ezzel szemben kevésbé gyakran lépnek fel maradványos pyroxének és olvinek és az így túlnyomó kémiai remanencia stabilitása ennek megfelelően lényegesen kisebb kell, hogy legyen. Ugyanezt az ásványi összetételt mutatja az *M1-3 fúrás* (7. ábra) (középen). Itt is a stabilitás csökkenését a termoremanens mágnesezettségű részek részarányának csökkenésével magyarázhatjuk. A *C-III* fúrás főként olyan szerpentinitet tartalmaz, amelynek kémiai remanenciája már amúgy is csekély stabilitású. A 7. ábrában, lent, ha a magnetitrezecskék méretét durván a következő csoport-



7a. ábra. Maradék pyroxének és olivének a K-1 fúrás szerpentiniteiben (S = szerpentinít, P = pyroxén, O = olivin)

7b. ábra. Maradék pyroxének és olivének az M-3 fúrás szerpentiniteiben (S = szerpentinít, P = pyroxén, O = olivin)

7c. ábra. A magnetit részecskeméretei a C III fúrás magban (k  $\approx$  10  $\mu$ m, g  $\approx$  300  $\mu$ m, R = repedések)

Фиг. 7а. Остатки пироксена и оливина в серпентинитах разреза скважины К1-1 (S - серпентинит, P - пироксен, O - оливин)

Фиг. 7б. Остатки пироксена и оливина в серпентинитах разреза скважины М1-3 (S - серпентинит, P - пироксен, O - оливин)

Фиг. 7в. Размеры зерен магнетита в буровом керне С III (K  $\approx$  10 мкм, g  $\approx$  300 мкм, R - трещины)

Fig. 7/a. Reliktische Pyroxene und Olivine im Serpentinít der Bohrung K-1 (S = Serpentinít, P = Pyroxen, O = Olivin)

Fig. 7/b. Reliktische Pyroxene und Olivine im Serpentinít der Bohrung M-3 (S = Serpentinít, P = Pyroxen, O = Olivin)

Fig. 7/c. Partikelgrößen des Magnetits im Bohrkern C III (k  $\approx$  10  $\mu$ m, g  $\approx$  300  $\mu$ m, R = Risse)

tokba osztjuk: kisebb mint 10, nagy (300  $\mu$ m körüli), és R-rel jelöljük a repedéseket és réseket, akkor a részecskeméretre vonatkozóan a 0-20 m, 20-40 m, 40-60 m és 60-80 m-es mélységtartományokra való eloszlásából következik, hogy a mélység növekedésével a kicsiny magnetitrészecskék aránya csökken és a nagyobb részecskék valamint a rések részaránya nő. Ez különösen a két alsó mélységtartományban szembeeső. A magnetitrészecskék méretének növekedésével magyarázható azután a mágneses stabilitás csökkenése.

Az elmondottak alapján végül is megállapíthatjuk, hogy bonyolult mágneses viszonyok esetében is értelmezni lehet a mágneses eredményeket, ha komplex vizsgálatot végzünk, vagyis ha segítségül hívjuk a geológiai, mineralógiai, szerkezetfizikai és laboratóriumi mágnességi vizsgálatok eredményeit.

# Ásványtani és röntgenoptikai eljárások alkalmazása kőzetek paleomágneses stabilitásának vizsgálatára (A DAW potsdami földmágneses intézetének 239. sz. közleménye)

H. VOLLSTÄDT

*Kitűnt, hogy a paleomágneses stabilitás okainak jellemzésére a mágneses kutatási módszerek — mint pl. a változó- és egyenáramú terek alkalmazása, valamint a termikus demagnetizáció — nem elegendők, hanem egyéb módszerek egész sora szükséges.*

*A dolgozatban elsősorban az ércmikroszkópiai és röntgenanalitikai kutatásokról és azoknak a stabilitási probléma tisztázásánál játszott szerepéről van szó. A kutatások eredményeiből fenomenológiai stabilitás-kritériumokat vezetünk le, amelyek részben már ismert elméleti számítások helyességét igazolják.*

*A stabilitási kutatásoknál ezúttal először alkalmazott röntgen-mikroanalízis felvilágosításokkal szolgál a mágneses részecskében jelenlevő nyomelemek eloszlásáról és így adalékokat nyújt azok genetikusság és mágneses előéletéről.*

*Az említett stabilitási kutatások az NDK-ban terciér bazaltokon és phonoliteken végzett paleomágneses mérésekkel állottak kapcsolatban.*

*Для выяснения причин палеомагнитно устойчивости горных пород недостаточно применять методы магнитных исследований, как методы полей переменного и постоянного тока, метод термического размагничивания, а необходимо использовать целый ряд других методов.*

*В настоящей работе излагаются главным образом исследования по методу металлографической микроскопии и по рентгеноаналитическому методу и применение этих методов для выяснения проблем устойчивости. По результатам исследований определяются критерии феноменологической устойчивости, которые частично подтверждают правильность уже известных теоретических расчетов.*

*Рентгено-микроскопический анализ, впервые применявшийся для изучения устойчивости, позволяет получить сведения о распределении рассеянных элементов, присутствующих в магнитных частицах и тем самым вносит определенный вклад в познание их генетической и магнитной истории.*

*В ГДР указанные работы по изучению устойчивости проводились в связи с палеомагнитным исследованием образцов третичных базальтов и фонолитов.*

*Es hat sich herausgestellt, dass zur Charakterisierung der Ursachen der paläomagnetischen Stabilität magnetische Untersuchungsverfahren — wie z. B. Wechselfeld-, Gleichfeld- sowie thermische Entmagnetisierung — nicht ausreichen. Vielmehr wird eine grosse Anzahl weiterer unabhängiger Methoden notwendig.*

*Im Aufsatz wird besonders über die erzmikroskopischen und röntgenmikroskopischen Untersuchungen und deren Betrag zur Klärung des Stabilitätsproblems berichtet. Aus diesen Untersuchungen können phänomenologische Stabilitätskriterien abgeleitet werden, die die z. T. schon bekannten theoretischen Berechnungen bestätigen.*

*Die erstmalig für Stabilitätsfragen eingesetzte Röntgenmikroanalyse gibt dabei Auskunft über die Verteilung von Spurelementen in den magnetischen Partikeln und somit Hinweise über deren genetische und magnetische Vorgeschichte.*

*Die erwähnten Untersuchungen zur Stabilität wurden in Zusammenhang mit paläomagnetischen Messungen an den tertiären Basalten und Phonolithen der DDR durchgeführt.*

## 1. Bevezetés

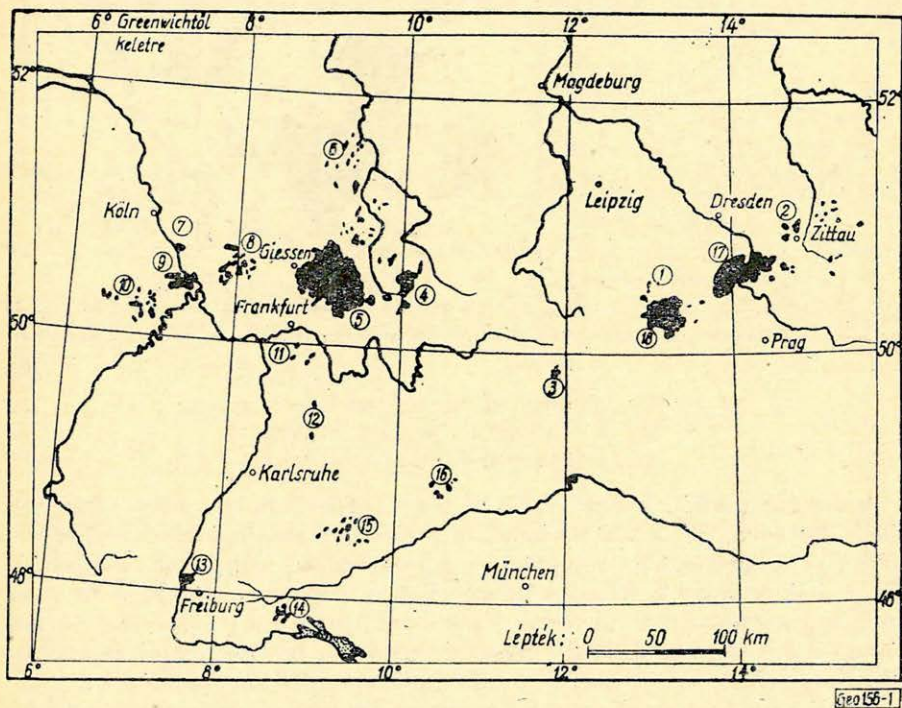
Az NDK délkeleti részén (*Lausitz*) az utóbbi években először végeztek paleomágneses méréseket harmadkori bazaltokon és phonoliteken. [6], [7], [8], [9]. Németország földtani térképének megtekintése alapján megállapíthat-



juk, hogy ezek az előfordulások a legkeletibb, még fel nem dolgozott harmadkori effúzívumok közé tartoznak (1. ábra). Ezek a lausitzi bazaltok és phonolitek mintegy száz egyedi előfordulásból tevődnek össze, amelyek kürtőmaradványokat, itt-ott pedig összefüggő takarókat reprezentálnak. A 2. ábra mutatja be a tulajdonképpeni kutatási területet.

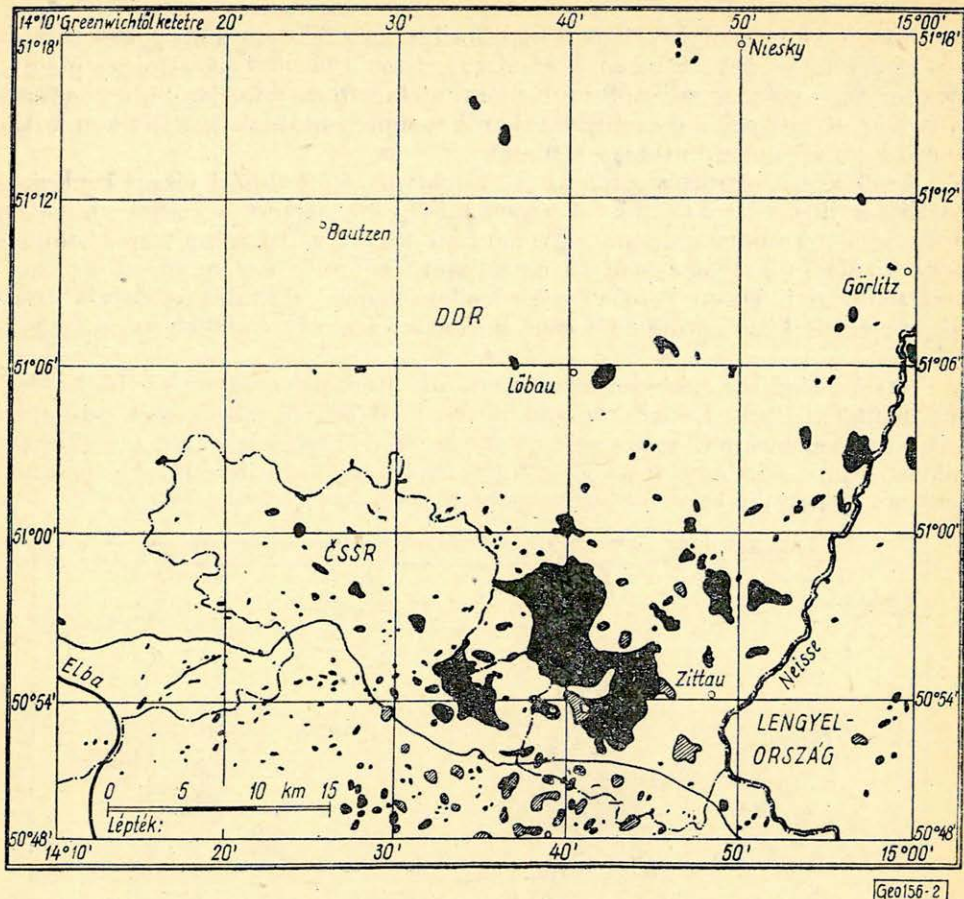
Az előkészítő kutatás során kb. 40 különböző előfordulást vizsgáltunk meg stabilitás, illetve instabilitás szempontjából. Az ismert stabilitásvizsgálati módszerek (termikus, valamint egyenáramú, illetve váltóáramú térrel való demagnetizálás) alkalmazása útján megállapítható volt, hogy az összefüggő lausitzi földtani térségen belül egymás mellett lépnek fel stabil és instabil minták, amelyek között többé-kevésbé intenzív átmeneti alakok is mutatkoznak.

Így állott elő az a feladat, hogy a minták eltérő paleomágneses viselkedésének okait felfedjük. Ennek kapcsán egyes modellekből már ismert stabilitási kritériumokat kísérletileg is meg kellett vizsgálni. Erre a célra két szélső esetet választottunk ki: egy instabil gyűjteményt (nephelin-bazalt Hutbergből, Schönau mellett) és egy stabil (phonolit Koitsche-ből, Zittau mellett).



1. ábra. A harmadkori eruptív kőzetek elterjedése Németországban (1 Érceghéység, 2 Lausitz, 3 Fichtelgebirge, 4 Rhön, 5 Vogelsberg, 6 Hesseni hegyvidék, 7 Siebenhegység, 8 Westerwald, 9 Laach-i tóvidék (diluviális), 10 Eifel, 11 Odenwald, 12 Katzenbuckel, 13 Kaiserstuhl, 14 Hegau, 15 Schwab Alp, 16 Ries, 17 Cseh-középhegység, 18 Duppau-i hegység)

Fig. 1. Распространение изверженных пород третичного возраста на территории Германии  
Fig. 1. Verbreitung der tertiären Eruptivgesteine in Deutschland (1 Erzgebirge, 2 Lausitz, 3 Fichtelgebirge, 4 Rhön, 5 Vogelsberg, 6 Hessisches Bergland, 7 Siebengebirge, 8 Westerwald, 9 Laacher Seegebiet, (diluviál), 10 Eifel, 11 Odenwald, 12 Katzenbuckel, 13 Kaiserstuhl, 14 Hegau, 15 Schwäbische Alb, 16 Ries, 17 Böhmisches Mittelgebirge, 18 Duppauer Gebirge)



2. ábra. Harmadkori effuzív kőzetek Lausitzban  
 Фиг. 2. Лаузитские третичные эффузивы  
 Fig. 2. Die tertiären Effusiva der Lausitz

A vizsgálat során kitűnt, hogy a fentebb felsorolt mágneses vizsgálati eljárások (Petrova, [2]) a stabilitás tisztázására nem elégségesek. Ezért ezen eljárásokon és a természetes remanens mágnesezettség irányának mérésén kívül egy sor más eljárást is felhasználtunk, illetve részben újdonságként vezettük be a kőzetmágnességi kutatásba. Ezek közé tartoznak: az éremikroszkópiai, differenciális termo-analitikai, magnetotermikus, nedveskémiai és spektrokémiai, röntgenfinomszerkezeti és röntgenmikroanalitikus módszerek.

A jelen munkában elsősorban az éremikroszkópiai és a röntgenmikroanalitikai kutatásokról számolunk be, amelyeket részben most alkalmaztunk először stabilitási okok tisztázására.

## 2. Éremikroszkópiai vizsgálatok

Mindkétfajta megvizsgált mintánál (bazalt és phonolit) a fő mágneses érckomponensek titanomagnetitek voltak. A bazaltnál a mágneses részecskék részaránya 8% volt. A magok alakja xeniform és igen erősen elrongyolódott. Az átlagos nagyság  $6 \mu$  körül van. A bazaltnál fontos, hogy több mágneses

fázis lép fel egymás mellett: a titanomagnetit mellett maghemitizált titanomagnetitok illetve tiszta maghematit, illmenit, mint kiválási termék, picotit, valamint ritkábban hematit és természetesen pirit. Az ilmenitkiválás többnyire a bazaltlelőhely felszíni rétegéből származik. Tipikus azonkívül a picotit fellépése, amely mindég a nagy olivinbeütésekhez van kötve.

A bazalttal ellentétben a phonolit mikroszkópiusan homogén titanomagnetitet tartalmaz, amelynek alakja lekerekített és nem ritkán idiomorf. Az átlag  $10 \mu$  nagyságú részecskék az ásványanyagnak  $1\%$ -ánál kisebb részét teszik ki. A titanomagnetit – egy szekunder magnetitfázison kívül – az egyetlen mágneses fázist képviseli. A szekunder fázis mindég amfibolhoz van kötve és nyilván abból állott elő.

Már az ércmikroszkópiai vizsgálat szerény eredményeiből következik, hogy az instabil bazalt és stabil phonolit között szerkezetben és szövetben különbségek állnak fenn. Ezek jelentőségéről a diszkussziónál szólunk.

Emellett azonban egyébfajta eltérések is fellépnek a két extrém eset viselkedésében. A remanens mágnesezettség a bazaltnál egy nagyságrenddel nagyobb:

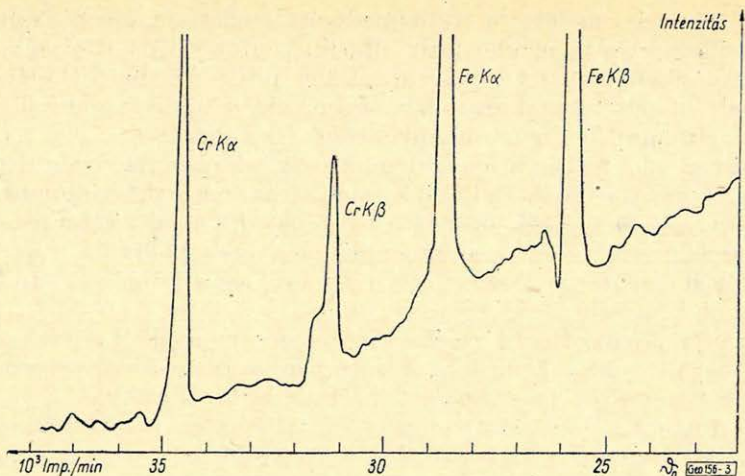
Bazalt:	átlagban	$3,7 \cdot 10^{-4} \text{ Oe.}$
Phonolit:	átlagban	$13,1 \cdot 10^{-4} \text{ Oe.}$

### 3. Röntgenmikroanalitikus kutatások

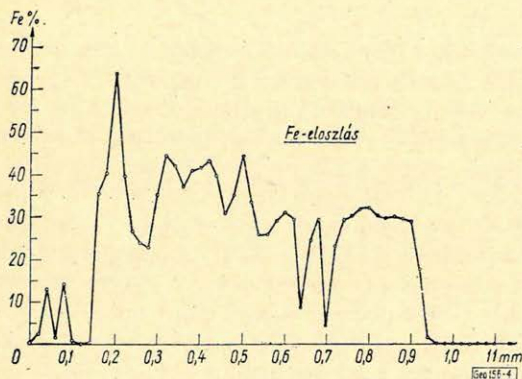
Differenciáltermoanalitikai és magnetotermikus mérésekből a két minta számára a Curie-hőmérséklet ( $T_c$ )  $500^\circ\text{C}$ -nak adódott. Úgy látszott, hogy az elvégzett nedves-kémiai kutatások az innen számított ulvittartalmat a titanomagnetitban (és így a  $TiO_2$  tartalmat) igazolják. Ez azonban bizonyos mértékű ellentmondásban áll az egyéb módszerek során a phonolitnál és bazaltnál fellépő viselkedésbeli különbséggel. Ennek az ellentmondásnak tisztázására röntgenmikroanalitikus méréseket végeztek, melyeknek módszeréről és a szerzett tapasztalatokról más helyen már beszámoltak ([1], [4], [10]). A röntgenmikroanalízissel egyes magokon is in situ végrehajtott mérések eredményei szerint a phonolit titanomagnetit-magjai több titánt tartalmaznak mint ugyanazok a bazaltnál. Emellett a phonolit mért Curie-pontja megfelel a titántartalomnak. A mérések szerint tehát a bazalt Curie-pontja alacsonyabban kellene, hogy feködjék. Az a tény, hogy mégis itt is ugyanazt a Curie-pontot találjuk, csak úgy magyarázható, hogy míg a phonolitnál lényegileg csak egyfázisú titanomagnetit (legfeljebb szekunder és primer) szerepel, amely a mért Curie-hőmérsékletet reprezentálja, addig a bazaltnál többfázisú rendszer van jelen. Ezek a fázisok együttesen hozzák létre a mért „komplex” Curie-tartományt kb.  $500^\circ\text{C}$  körül a bazaltnál.

A vason és titánon kívül a mikroanalízissel króm (a picotitban) és mangán jelenlétét is meg lehetett állapítani (3. ábra). A többi, a spektrokémiai analízis szerint szintén szereplő elem vagy az eljárás kimutatósi határa alatti mennyiségben ( $0,5\%$  alatt) van jelen, vagy olyan inhomogén eloszlásban, hogy kimutatásuk nem sikerülhetett (vanádium, nikkelt, kobalt), vagy pedig túl alacsony atomsúlyuk miatt eddig nem voltak kimutathatók (alumínium, magnesium). Eme könnyű elemek számára vakuumspektrométerre van szükség, ami nem-sokára használatba kerül.

Végül utalunk arra az érdekes és nem lebecsülendő tényre, hogy a nedves-kémiai analízis mennyire elmoshatja a valódi viszonyokat. A 4–6. ábrák mutatják a Fe, Ti és Mn eloszlását egy kb.  $400 \mu$  nagyságú titanomagnetitmagban.



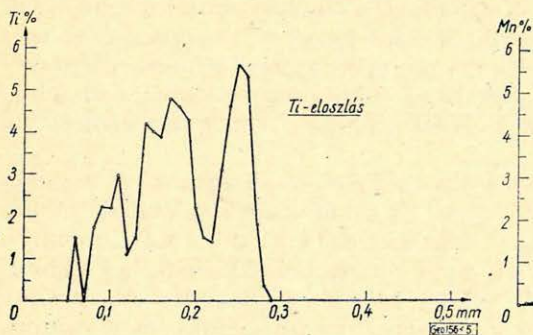
3. ábra. A H-4 minta röntgenmikroanalízise. Spektrum picotiten keresztül az olivinben  
 Фиг. 3. Рентгено-микроанализ образца H-4. Спектр пикотита в оливине  
 Fig. 3. Röntgenmikroanalyse der Probe H-4. Spektrum über Picotit in Olivin



4. ábra. A Ko-40 minta röntgenmikroanalízise

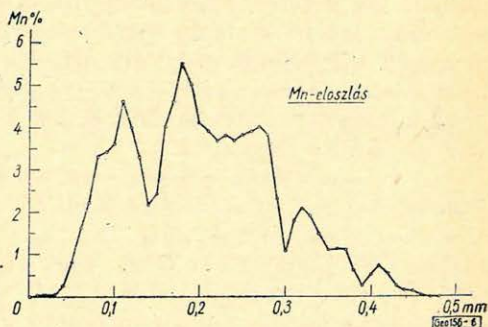
Фиг. 4. Рентгено-микроанализ образца Ko-40

Fig. 4. Röntgenmikroanalytische Untersuchung der Probe Ko-40



5. ábra. A Ko-36 minta mikroanalízise  
 Фиг. 5. Микроаналитическое исследование образца Ko-36

Fig. 5. Mikroanalytische Untersuchung der Probe Ko-36



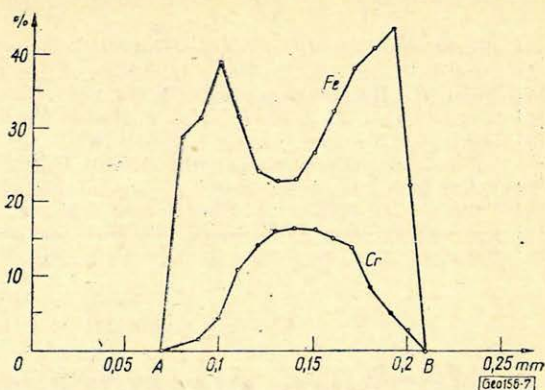
6. ábra. A Ko-36 minta röntgenmikroanalízise  
 Фиг. 6. Рентгено-микроаналитическое исследование образца Ko-36

Fig. 6. Röntgenmikroanalytische Untersuchung der Probe Ko-36

7. ábra. A vas- és krómtartalom eloszlása egy Hutberg-Schönau-i spinell-magon, nephelin bazaltban

Fig. 7. Распределение содержания железа и хрома в спинельном зерне в нефелиновом базальте из Гутберга) Шёнау.

Fig. 7. Verteilung des Eisen- und Chromgehaltes über ein Spinellkorn im Nephelinbasalt von Hutberg/Schönau



Világosan látható, hogy egy ilyen kis távolságon belül az elemek milyen erős ingadozásnak vannak alávetve.

A röntgenmikroanalízis még egy további jelenséget is tisztázott. Egyes ércmagok sötét visszaverő középponti részt mutatnak fel (7. ábra), a mag közepén a krómtartalom erősen megnő.

Ez időszertint kísérletek vannak folyamatban, hogy a kiválási lemezek és a matrix között koncentrációkülönbségeket mutassunk ki. Ez eddig a lamellák kicsiny mérete (gyakran kisebb mint  $1 \mu$ ) folytán nehézségeket okozott.

#### 4. Diskusszió

A közölt eredmények az alábbi stabilitási kritériumok számára szolgáltatnak kísérleti bizonyítékokat:

1. *A szemcse nagyság* befolyása úgy érvényesül, hogy egy bizonyos minimális méretig a stabilitás a mérettel fordítottan arányos, vagyis igen kicsiny szemcseátmérőnél —  $10 \mu$ -nél kisebb egyedi részecskéknél — a stabilitás a legnagyobb. Vonatkozik ez az igen kicsiny, amphibolhoz kapcsolódó részecskékre is.

2. *A mágneses komponens-tartalom* egy bizonyos értéktől kezdve ( $70 - 10\%$  között) kedvezőtlenül hat a stabilitásra, mert a mágneses részecskék között zavaró kölcsönhatások lépnek fel.

3. *A szemcsealak.* A stabilitás illetve instabilitás számára döntő jelentőségű az átmágneseződési folyamat jellege, amely az átmágneseződési magvak keletkezése útján megy végbe. Itt az átmágneseződési magvak kiképződése iránti hajlam instabilitásban nyilvánul meg. Vogler [5] megállapítása szerint ilyenkor a magképződést a maghatárok és határfelületek elősegítik. Ebből levezethető a szemcsealaknak a stabilitási viselkedésre gyakorolt hatása: golyóalakú, valamint idioform részecskék stabilabbak mint a xeniform, elrongyolódott alakok. Ez fennáll a kiválásokra és kinövésekre is, valamint az általános felületi minőségre is (lásd [3]).

4. *Egyéb befolyásoló tényezők.* A felsoroltakon kívül még olyan szempontok is, mint a feszültség anizotrópia, kristály- és növekedési anizotrópia [3], valamint a kémiai összetétel és nem utolsósorban a rácson belüli tényezők is szerepet játszanak a stabilitásnál és instabilitásnál.

- [1] Brümmer, O. — K. H. Brauer — G. Suwalski: Z. angew. Physik 16 (1963), 27.  
 [2] Petrova, G. N.: Izv. Ak. Nauk SZSZSZR, Sr. geof. 11, 1961.  
 [3] Stiller, H.: Habilitationsschrift, Berlin, 1961.  
 [4] Suwalski, G. — H. Vollstädt: Wiss. Z. Humb. Univ., Berlin, XV (1966), megjelenőben.  
 [5] Vogler, G.: Z. angew. Physik 8 (1961), 185.  
 [6] Vollstädt, H.: Dissertation, Berlin, Humb. Univ., 1965.  
 [7] Vollstädt, H.: Jb. Schmidt-Obs. Erdmagn., Niemeck, 1964, Akademia-Verlag, Berlin 1966.  
 [8] Vollstädt, H.: Freiburger Forschungshefte C 202, megjelenőben.  
 [9] Vollstädt, H.: Izv. Akad. Nauk SZSZSZR, Ser. geof., megjelenőben.  
 [10] Vollstädt, H., G. Suwalski: Heidelb. Beitr. Min. Petr. 11 (1965) 382 — 392.

MAGYAR GEOFIZIKA VIII. ÉVF. 2 — 3. SZ.

## Különböző elrendezésű geoelektromos fajlagos-ellenállásmódszerek kritikai vizsgálata

EGERSZEGI PÁL

*A geoelektromos szondázási módszereket három csoportba oszthatjuk az elektróda-elrendezések alapján:*

1. potenciál,
2. gradiens és
3. több áramkörös elrendezés.

1. A hárompotenciálós módszer három vagy két görbe együttes mérésével lehetővé teszi a vertikális és horizontális inhomogenitás szétválasztását.

2. A gradiens elrendezések közül a MAN módszer legérzékenyebb a horizontális inhomogenitások kimutatására.

3. A terelőáramos módszer négy terelő elrendezése alkalmas a horizontális inhomogenitások kimutatására és kiküszöbölésére.

A vertikális irányú áramsűrűség-eloszlás alapján bizonyított, hogy a terelőáramos elrendezésnek legnagyobb a behatolása, főleg pozitív ellenállás kontraszt esetén.

*В зависимости от установки электродов, методы электрического зондирования разделяются на три группы:*

1. потенциальные
2. Градиентные
3. многоконтурные установки

1. Трехпотенциальный метод с одновременной записью трех или двух кривых, позволяет разделить вертикальные неоднородности от горизонтальных.

2. Из градиентных установок наиболее чувствительной к горизонтальным неоднородностям является установка MAN.

3. В Методе с направляющим током установка с четырьмя направляющими приспособлениями позволяет выделить и исключить горизонтальные неоднородности.

Изменения плотности тока по вертикали показывают, что наиболее значительная глубинность характерна для установки с направляющим током, особенно при наличии положительного контраста сопротивлений.

*Die geoelektrischen Sondierungsverfahren können auf Grund der Elektrodenanordnung in drei Gruppen eingeteilt werden:*

1. Potentialanordnungen,
2. Gradientenanordnungen und
3. Anordnungen mit mehreren Stromkreisen.

1. Die Dreipotentialmethode ermöglicht — durch die simultane Messung von drei Kurven — die Trennung der vertikalen und horizontalen Inhomogenität.

2. Von den Gradientenanordnungen die MAN-Methode weist die höchste Empfindlichkeit beim Nachweis der horizontalen Inhomogenitäten.

3. Die Lenkstrommethode mit der Vier-Lenkstrom-Anordnung ermöglicht den Nachweis und die Eliminierung von horizontalen Inhomogenitäten.

Auf Grund der Betrachtung der vertikalen Stromdichteverteilung gilt als erwiesen, dass die Lenkstromanordnung die grösste Eindringungstiefe aufweist, besonders im Falle eines positiven Widerstandskontrasts.

A fajlagos-ellenállásmérés gyakorlatában általában a négyelektrodás elrendezés vált be. A négy elektrodával három különböző konfiguráció állítható elő (1), ha eltekintünk az elektroda-távolság arányok változtatásától. E három elrendezés a következő:

$$AMNB \quad ABNM \quad MANB,$$

melyeket  $\alpha$ ,  $\beta$  és  $\gamma$ -val jelölünk.

A kritikai vizsgálat tárgyát képező fajlagos-ellenállásmérő elrendezéseket három csoportra osztjuk fel:

1. Az egyenközű (potenciál) elrendezések és a három potenciál-elrendezés kombinációja, a hárompotenciális módszer,

2. nagy elektrodátávolság-arányokkal rendelkező (gradiens) elrendezések és

3. több áramelektrodát alkalmazó elrendezések.

A kritikai vizsgálatot a hárompotenciális módszerrel kezdjük. Vizsgáljuk meg, hogy ez a módszer miként tudja szétválasztani a horizontális és vertikális inhomogenitások hatását.

#### Hárompotenciális módszer

Egyenközű hárompotenciális módszer esetén az  $\alpha$  és  $\gamma$  konfiguráció kombinációjára a következő egyenlet érvényes (2):

$$\frac{4\rho_a^{\gamma}(s) + \rho_a^{\alpha}(3s)}{3\rho_a^{\alpha}(s) + 2\rho_a^{\gamma}(2s)} = A'(s), \quad (1)$$

melynél horizontális inhomogenitástól mentes térben

$$A'(s) = 1.$$

Amennyiben  $A'(s) \approx 1$ , akkor horizontális inhomogenitás torzítja a mért görbét.

A horizontális inhomogenitás kimutatására más módszer is van. A három görbe bizonyos esetekben metszi egymást. Vizsgáljuk meg, mi a feltétele annak, hogy a metszéspontot vertikális inhomogenitás hozza létre.

Ha felírjuk a három variációra a horizontális inhomogenitástól mentes feltételre vonatkozó látszólagos fajlagos-ellenállásokat az első réteg fajlagos-ellenállásának egységében

$$\frac{\rho_a^{\alpha}}{\rho_1} = 2G(s) - G(2s),$$

$$\frac{\rho_a^{\beta}}{\rho_1} = 3G(s) - 3G(2s) + G(3s),$$

$$\frac{\rho_a^{\gamma}}{\rho_1} = \frac{3}{2}G(s) - \frac{1}{2}G(3s),$$

ahol  $G(s) = \frac{2\pi s}{\rho_1 I} V(s)$  potenciálfüggvény (3), bármelyik kettőt egyenlővé

téve egymással a következő összefüggés hozható le (4):

$$2G(s) - G(2s) = 3G(2s) - 2G(3s),$$

ahol a bal oldal  $s$  között *Wenner*-elrendezéssel mért látszólagos fajlagos ellenállás  $\rho_1$  egységében, a jobb oldal pedig  $\overline{AB} = 5s$  és  $\overline{MN} = s$  között *Schlumberger*-elrendezéssel mért látszólagos fajlagos ellenállás szintén  $\rho_1$  egységében.

Ez az összefüggés akkor is fennáll jó közelítéssel, ha az  $\overline{MN}$  távolságnál csak azt a megszorítást tesszük, hogy  $\overline{AB}/\overline{MN} > 3$ , tehát

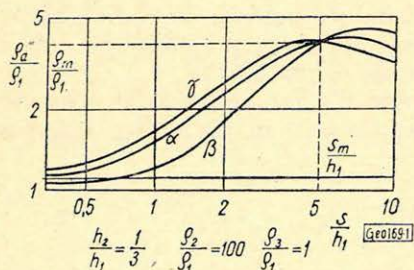
$$\rho_{\overline{AB}=3x} \approx \rho_{\overline{AB}=5x},$$

ahol  $x$  egy tetszőleges távolság.

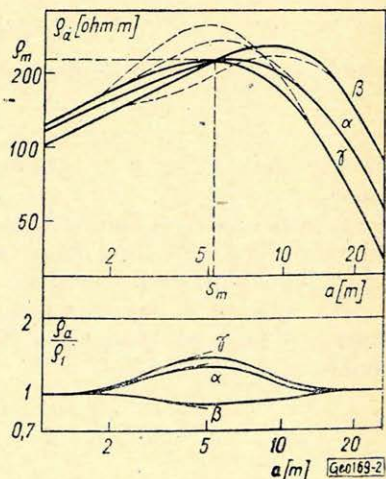
Ebből következik, hogy oldalirányú inhomogenitástól mentes térben, ha  $\overline{AB} = 3x$ -nél metszéspont van, akkor az  $\alpha$  variációval mért látszólagos fajlagos ellenállás megegyezik az  $\overline{AB} = 5x$  mellett  $\alpha$  variációval mért látszólagos fajlagos ellenállással.

Az 1. ábra szemlélteti egy három réteges elméleti görbén az előbb elmondottakat.

Amennyiben metszéspont esetében ez a feltétel nem teljesül, akkor a metszéspont helye horizontális inhomogenitás hatására tolódik el. Erre példaként bemutatjuk a 2. ábrán látható terepi görbéket. Láthatjuk, hogy ebben az eset-



1. ábra  
Fig. 1.  
Fig. 1.



2. ábra  
Fig. 2.  
Fig. 2.



ben a metszéspontra nem érvényes a (2) feltétel. Ha megnézzük a 3. ábrán az  $A'(s)$  folytonos görbét, melyet az (1) egyenlet alapján számoltunk, az is azt mutatja, hogy horizontális inhomogenitás miatt torzul a görbe.

A görbe korrekciójánál segítségünkre van még a következő két feltétel is. Képezzük az  $s$  közü  $Eltran$  és egyenközü  $MAN$  elrendezés kombinációját:

$$\frac{2Q_a^\gamma(s)}{\varrho_1} - \frac{Q_a^\beta(s)}{\varrho_1} = 3G(2s) - 2G(3s) \approx Q_{AB=5s}^\alpha$$

és

$$\frac{2Q_a^{\gamma'}(s)}{\varrho_1} + \frac{Q_a^{\beta'}(s)}{\varrho_1} = 3Q_a^{\alpha'}(s) \approx 3Q_{AB=3s}^\alpha$$

A görbe emelkedő tendenciájánál:

$$Q_{AB=5s}^\alpha > Q_{AB=3s}^\alpha,$$

tehát

$$2Q_a^{\gamma'}(s) - Q_a^{\beta'}(s) > \frac{2}{3}Q_a^{\alpha'}(s) + \frac{1}{3}Q_a^{\beta'}(s),$$

azaz

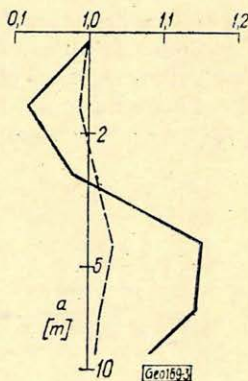
$$Q_a^{\gamma'}(s) > Q_a^{\beta'}(s), \quad (3)$$

csökkenő tendenciánál viszont

$$Q_a^{\gamma'}(s) < Q_a^{\beta'}(s). \quad (4)$$

Ezeknek a feltételeknek megfelelően korrigált görbét folytonos vonal jelöli a 2. ábrán és a két görbe különbsége az ábra alján látható. A 3. ábrán szaggatott vonallal jelöltük a korrigált görbe alapján számított  $A'(s)$  görbét, ami alátámasztja a korrekció helyességét,

Az eddig elmondottakból következik, hogy a hárompotenciális módszer alkalmas a horizontális és vertikális inhomogenitások szétválasztására.



3. ábra  
 $\Phi_{uz. 3.}$   
 Fig. 3.

### Gradiens elrendezések

A horizontális inhomogenitástól mentes feltérben a gradiens elrendezéssel (*Schlumberger*, dipol,  $MAN$ ) mért látszólagos fajlagos-ellenállások az ún.  $H(r)$  függvényvel fejezhető ki:

$$H(r) = -r^2 \left[ \frac{G(r)}{r} \right]' = [Q_a^\alpha]_{grad}$$

Hasonlítsuk össze a *Schlumberger* elrendezést a *Wenner* elrendezéssel, azaz egy gradiens elrendezést egy potenciál elrendezéssel. Összehasonlítási alapul válasszuk a  $k = +1$  ellenállás-kontrasztú kétréteges esetet, amikor is  $\rho_2 \rightarrow \infty$ . Válasszuk az  $\overline{AB}$  távolságot mindkettőnél ugyanakkorának, akkor

$$r = \frac{a + 2a}{2} = \frac{3}{2} a.$$

A fajlagos ellenállás-görbe aszimptotájára írjuk fel  $H(r)$  közelítő értékét, azaz a differenciál-hányados helyett használjuk a differencia-hányados kifejezést

$$\begin{aligned} [\rho_a^{\infty}]_{grad.} &= \dot{H}(r) = -r^2 \left[ \frac{G(r)}{r} \right]' \approx \left( \frac{3}{2} a \right)^2 \frac{\frac{G(a)}{a} - \frac{G(2a)}{2a}}{2a - a} = \\ &= 1,125 [2G(a) - G(2a)] = 1,123 [\rho_a^{\infty}]_{pot.} \end{aligned}$$

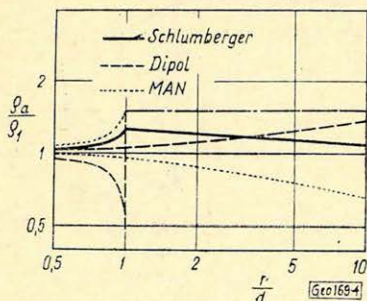
Ennél a levezetésnél feltételeztük, hogy  $G(r)/r$  értéke lineárisan változik. Ez azonban csak közelítőleg áll fenn, de ennek ellenére levonhatjuk a következőt, hogy a gradiens elrendezésnek nagyobb a behatolása, mint a potenciál elrendezésnek.

A határozott integrállá átalakított kétréteges tükrözési formulából (5)

$$[\rho_a^{\infty}]_{grad.} \approx 1,08 [\rho_a^{\infty}]_{pot.}$$

A három gradiens-elrendezés egymásközötti összehasonlítására vegyünk fel egyetlen vertikális kontrasztfelületet, mely  $\rho_1$  és  $\rho_2$  fajlagos-ellenállású homogén közeget választ el ( $k = 0,5$ ). Legyen a szondázási középpont  $d$  távolságra a kontrasztfelülettől, akkor  $r/d$  függvényében a 4. ábra szemlélteti a látszólagos fajlagos-ellenállás változását. Dipol és *MAN* elrendezésnél a mérő-dipol, illetőleg a *B* elektróda két oldalon helyezkedhet el. Ennek megfelelően két görbét kapunk, míg *Schlumberger* elrendezésnél a szimmetria miatt csak egyet. Az  $r/d > 1$  esetben láthatjuk, hogy a *B* elektródának két oldalra való

helyezésével a *MAN* elrendezésnél kapunk legnagyobb különbséget, amiből következik, hogy a *MAN* módszer a legérzékenyebb horizontális inhomogenitásokra a gradiens elrendezések közül. Ha  $r/d = 5/3$ -nál kiszámítjuk a dipol és *MAN* elrendezésnél a  $\Delta\rho$  látszólagos fajlagos ellenállás-különbséget, valamint a Lee elrendezésre vonatkozólag, akkor azt kapjuk, hogy *Lee* elrendezésnél  $\Delta\rho = 0,09\rho_1$ , dipol elrendezésnél  $\Delta\rho = 0,4\rho_1$ , *MAN* elrendezésnél  $\Delta\rho = 0,6\rho_1$



4. ábra

$\Phi$ uz. 4.

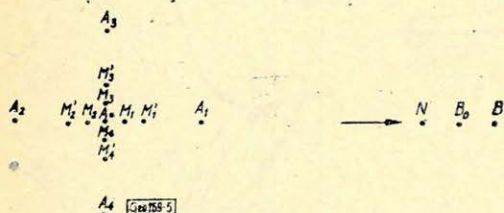
Fig. 4.

#### Több áramelektrodát alkalmazó elrendezések

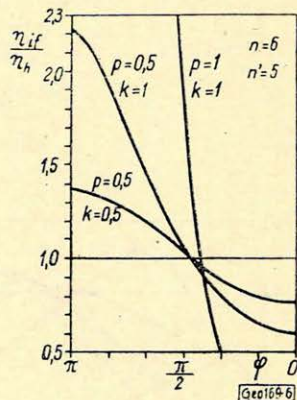
A több áramelektrodát felhasználó terítések közül az irányított áramterű módszert vizsgáljuk meg (6). A módszerre jellemző,

hogy két áramkör van: a mérőáram és a terelőáram. A terelőáram biztosítja, hogy a mérőáram a mérési tartományon belül a felszínre közel merőlegesen ha-

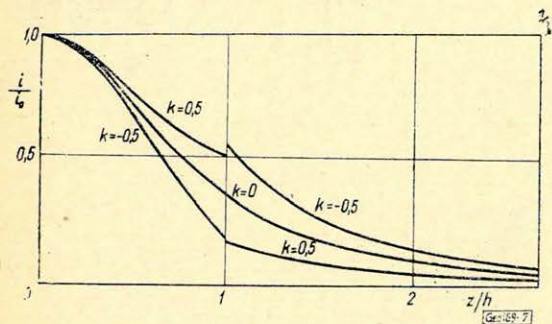
ladjon. A négy terelőelektrodás elrendezést az 5. ábra szemlélteti. A terelőáram helyes beállítását az  $MM'$  figyelőelektroda-páron mért  $\Delta V=0$  potenciálkülönbséggel ellenőrizzük. Horizontális inhomogenitástól mentes feltérben mind a négy irányban ugyanazt a terelő áram hányadost kapjuk, míg horizontális inhomogenitás jelenlétében a 6. ábra szerint változik az iránytól függően a terelőáramhányados értéke (7). Ebből következik, hogy az oldalhatás így ki-mérhető.



5. ábra  
 Физ. 5.  
 Fig. 5.



6. ábra  
 Физ. 6.  
 Fig. 6.

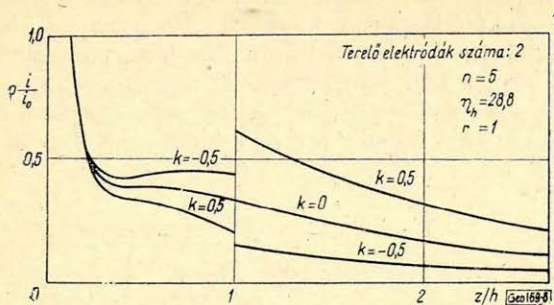


7. ábra  
 Физ. 7  
 Fig. 7.

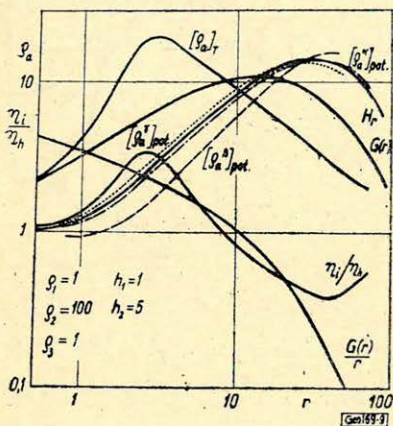
Vizsgáljuk most meg az egy áramkört és a két áramkört alkalmazó (terelőelektrodás) terítések behatolási változásait vízszintes ellenálláskontraszt hatására. E célból vizsgáljuk meg az áramsűrűség  $z$  szerinti változását két táp-elektroda esetére a felezőben emelt függőleges mentén egyetlen vízszintes ellenálláskontraszt ( $k$ ) jelenlétében.

A 7. ábra szemlélteti homogén,  $k = 0,5$  és  $k = -0,5$  esetben  $i/i_0$  változását  $z/h$  függvényében.  $i_0$  a felszínen mért áramsűrűség,  $h$  a réteghatár mélysége. Az ábrából leolvashatjuk, hogy pozitív ellenálláskontraszt csökkenti, negatív ellenálláskontraszt növeli az egy áramkörös elrendezés behatolását.

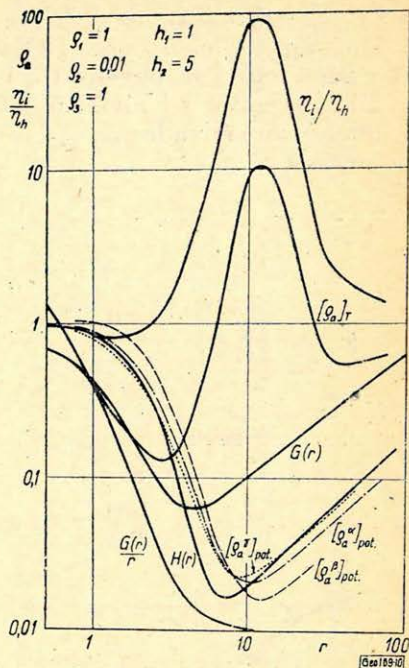
Irányított áramterű elrendezésnél, mivel az áramvonalak iránya merőleges a felszínre, ellentétben az egy áramkört használó elrendezésekkel, nem az áramsűrűség, hanem a  $\rho \cdot i$  szorzat jellemző a behatolásra. A 8. ábra szemlélteti két terelő-elektroda alkalmazásánál  $\rho \cdot i/i_0$  változását  $z/h$  függvényében. Az ábrá-



8. ábra  
 Фиг. 8.  
 Fig. 8.



9. ábra  
 Фиг. 9.  
 Fig. 9.



10. ábra  
 Фиг. 10.  
 Fig. 10.

ból leolvashatjuk, hogy a pozitív ellenálláskontraszt növeli, a negatív ellenálláskontraszt csökkenti a behatolást, azaz fordított az eset, mint az egy áramkört alkalmazó elrendezéseknél.

### Összefoglalás

Az eddig elmondottakat összefoglalóan jól szemlélteti a 9. és 10. ábrán feltüntetett két elméleti-görbe együttes. A 9. ábra egy  $K$  típusú háromréteges, a 10. ábra egy  $H$  típusú háromréteges eset. Mindegyiken a következő elméleti görbéket rajzoltuk meg:

$G(r)$  már említett potenciál-függvény,

$\frac{Gr}{r}$  melynek differenciálhányadosa  $H(r)$ -rel arányos,

$H(r)$  gradiens elrendezés esetében a látszólagos fajlagos-ellenállás  $[Q_a]_{grad}$ .

$[Q_a^x]_{pot}$  Wenner elrendezés esetében a látszólagos fajlagos ellenállás.

$[Q_a^B]_{pot}$  Eltran elrendezés esetében a látszólagos fajlagos-ellenállás.

$[Q_a^A]_{pot}$  egyenközű  $MAN$  elrendezés esetében a látszólagos fajlagos-ellenállás,

- $\eta_i/\eta_h$  négyterelős elrendezésnél az inhomogén és homogén terelőáramhányados viszonya, ha a terítési hányados  $n = 5$ ,  
 $[Q_a]_T$  négyterelős elrendezésnél ( $n = 5$ ) a látszólagos fajlagos-ellenállás.

A hárompotenciális módszernél jól látható az emelkedő és süllyedő szakasznál a görbék sorrendje és a metszéspont elhelyezkedése.

Jól látható a behatolás-különbség a gradiens és a Wenner elrendezés között, valamint a két áramkörös és az egy áramkörös elrendezés között. Azt is láthatjuk, hogy míg pozitív ellenálláskontrasztnál (*K típus*) a szélsőérték abszcisszáinak hányadosa 10, addig negatív ellenálláskontrasztnál (*H típus*) csak 2,5, ami alátámasztja az áramsűrűség-vizsgálatokból levont következtést.

#### IRODALOM

- [1] *E. W. Carpenter*: Some Notes Concerning the Wenner Configuration. — Geophysical Prospecting, Vol. III. Nr. 4. 1955.
- [2] *E. W. Carpenter* and *G. M. Habberjam*: A Tri-potential method of Resistivity Prospecting. — Geophysics, Vol. XXI. No. 2., 1956.
- [3] *H. M. Mooney*, *W. W. Wetzel*: The Potentials about a Point Electrode and ... The University of Minnesota Press, Minneapolis. 1956.
- [4] *Egerszegi Pál*: Geoelektromos szondázásnál véges kiterjedésű felszinközeli földtani alakzatok zavaró hatásának kiküszöbölése, tektonikai vonalak kimutatása. NME Közleményei, Miskolc. (Megjelenés alatt.)
- [5] *M. Unz*: Relative Resolving Power of Four-point Resistivity Configurations. — Geophysics, Vol. XXVIII. No. 3., 1963.
- [6] *J. Csókás*: A Focused-field Geoelectrical Method. Acta Technica, Tom. 43. Fasc. 3–4. 1963.
- [7] *Egerszegi Pál*: Oldalirányú inhomogenitások kimutatása és hatásának kiküszöbölése a terelőáramos módszernél. Magyar Geofizika, VI. évf. 3–4. sz. 9. old.

# Az ellenállásszelvényezés kombinatív alkalmazása a szénhidrogénkutatásban

BARLAI ZOLTÁN

A magyar kőolaj- és földgázbányászathnál ma már valamennyi ellenállásszelvényező módszert alkalmaznak, kivéve a közel jövőben bevezetésre kerülő indukciós módszert. A gazdaságosság szempontja szükségessé tette az egyes területekre — az ott uralkodó helyi viszonyok figyelembevételével — optimális szelvényezési kombinációk összeállítását, a különböző módszerek és kombinációk hatékonyságának meghatározásával együtt. A vizsgálatok célja mindig az ellenállásszelvényezés három főismeretlenének ( $\rho_{\pi}$  = a kőzet tényleges fajl. ellenállása,  $\rho_{\Delta}$  = az infiltrációs zóna fajl. ellenállása,  $D$  = az infiltrációs zóna átmérője) meghatározása.

A szondák tulajdonságainak leírására a látszólagos ellenállásoknak ( $\rho_k$ ) az egyes változók szerinti első parciális deriváltjait használva a szondákat három csoportba oszthatjuk aszerint, hogy a) a tényleges ellenállást, b) az infiltrációs zóna ellenállását, vagy c) mindkettőnek változásait érzékelik. A különböző geológiai rétegsorokban alkalmazandó szelvénykombinációkat olyan szondákól kell összeállítanunk, amelyek az adott geológiai és fúrástechnikai feltételek mellett mindhárom szondatípust képviselik.

A cikk a kétkomponensű kombinációkat vizsgálja meg részletesen, mert ezeket a gyakorlati munkában érdemes előnyben részesíteni. Egyes esetekben azonban 3- vagy 4-komponensű kombinációk alkalmazásának szükségessége is fennáll, ami kijelöli a további kutatások irányát.

В настоящее время в венгерской нефтяной и газовой промышленности применяются уже все виды электрического каротажа методом сопротивления, за исключением индукционного каротажа, внедрение которого предусматривается на ближайшем будущем. Требования по экономичности вызвали необходимость разработать оптимальный комплекс каротажных методов для отдельных районов, с учетом существующих там локальных условий, с одновременным определением эффективности отдельных методов и комплексов. Целью исследований является всегда определение трех основных неизвестных электрического каротажа ( $\rho_{\pi}$  — естественное удельное сопротивление пород,  $\rho_{\Delta}$  — удельное сопротивление инфильтрационной зоны,  $D$  — диаметр инфильтрационной зоны).

Если для описания свойств применяемых зондов использовать первые частные производные кажущихся сопротивлений ( $\rho_k$ ) по отдельным переменным, то зонды можно разделить на три группы, а именно, на зонды, чувствительные к а) естественному сопротивлению, б) сопротивлению инфильтрационной зоны или к в) изменениям обоих значений. При каротажных работах в различных геологических разрезах необходимо подбирать такой комплекс зондов, который, при данных условиях геологического строения и техники бурения, представлял бы собой все три типа зондов.

В настоящей работе подробно описываются комплексы с двумя компонентами, поскольку на практике им дается предпочтение. Однако, в некоторых случаях возникает необходимость применять комплексы с 3 или 4 компонентами, чем и намечается направление дальнейших исследований.

In der ungarischen Erdöl- und Gasschürfung werden zurzeit schon alle Widerstandsprofiliermethoden angewendet — mit der Ausnahme der Induktionsmethode, die in Kürze eingeführt wird. Aus dem Gesichtspunkte der Wirtschaftlichkeit wurde es notwendig, die für die einzelnen Gebiete — mit Rücksicht auf die dort geltenden lokalen Verhältnisse — optimalen Profilierungskombinationen zusammenzustellen, samt der Bestimmung der Effektivität der verschiedenen Methoden und Kombinationen. Zweck der Untersuchung ist immer die Bestimmung der drei Hauptunbekannten der Widerstandsprofilierung ( $\rho_{\pi}$  = wahrer spezifischer Widerstand des Gesteins,  $\rho_{\Delta}$  = spezifischer Widerstand der Infiltrationszone,  $D$  = Durchmesser der Infiltrationszone).

Wenn für die Beschreibung der Eigenschaften der Sonden die ersten partiellen Differentialquotienten des Scheinwiderstandes ( $\rho_k$ ) genommen werden, können die Sonden in drei Gruppen verteilt werden, je nachdem sie a) den tatsächlichen Widerstand, b) den Widerstand der Infiltrationszone oder aber c) die Änderung beider wahrnehmen können. Die bei einer gegebenen Schichtenfolge anzuwendenden Profilkombinationen müssen aus Sonden zusammengestellt werden, die — in den gegebenen geologischen und bohrtechnischen Bedingungen — alle drei Sondentypen vertreten.

Im Aufsatz werden die aus zwei Komponenten bestehenden Kombinationen näher untersucht, da diese bei der praktischen Arbeit vorzuziehen sind. Es gibt aber auch Fälle, wo auch Kombinationen mit 3 oder 4 Komponenten anzuwenden sind.

A szénhidrogénkutató és termelő fúrások karottázs vizsgálatának alig 40 éves története folyamán az ellenállásszelvényezés alapvető szerepet töltött be és valószínűleg továbbra is megőrzi jelentőségét a nukleáris, a szónikus és más módszerek indokolt térhódítása ellenére.

Különbéféle ellenállásszelvényező szondák és mérőmódszerek alakultak ki: a konvencionális potenciál- és gradiens szondák mellett megjelentek a fókuszozott áramtérrel működő laterolog és indukciós szondák, a nagyobb térrészeket vizsgáló makroszondák mellett a különféle mikroszondák: a mikrolog, a mikro-laterolog és a proximitylog.

Mérési kombinációkat hoztak létre az egyes módszerek különféle méretű szondáiból, így jött létre a konvencionális szondákból a *BKZ* és a *Gulf Coast* módszer, sőt különféle módszerek szondát is kombináltak, ennek egyik példája a laterolog és indukciós szondákból kialakított *Grand Slam* kombináció.

A kombinatív vizsgálatok célja mindig az ellenállásszelvényezés három fő ismeretlenjének meghatározása; ezek:

$\rho_{\tau}$  = a kőzet tényleges fajl. ellenállása

$\rho_A$  = az infiltrációs zóna fajl. ellenállása

$D$  = az infiltrációs zóna átmérője.

E három ismeretlenhez néha hozzájön még egy negyedik is:

$\rho_{ann}$ : az „*annulus*” fajl. ellenállása.

A magyar kőolaj- és földgázbányászatnál ma már valamennyi ellenállásszelvényező módszert alkalmazunk, az indukciós módszert kivéve, amit a közeljövőben szintén bevezetünk. Az utóbbi években egyes esetekben feleslegesen túl sok ellenállásszelvényező módszert alkalmaztunk, ezért szükségessé vált az egyes területekre — a rétegsor és a fúróiszap tulajdonságait figyelembe vevő — optimális szelvényezési programok összeállítása. Ehhez — meghatározott követelmények alapján — igyekeztünk megállapítani a különféle módszerek és kombinációk hatékonyságát. A hatékonyságot a szondák és azok kombinációinak azon tulajdonságai határozzák meg, amelyek döntőek az információszerzés pontossága és egyértelműsége szempontjából.

A szondák tulajdonságainak leírására legalkalmasabbnak találtuk a *látszólagos ellenállásoknak* ( $\rho_k$ ) az egyes változók szerinti első parciális deriváltjait. Az első deriváltak megmutatják, hogy a látszólagos ellenállás milyen érzékenyen függ egyrészt a meghatározandó főismeretlenektől, ( $\rho_{II}$ ,  $\rho_A$ ,  $D$ ), másrészt a feladat megoldását zavaró további mennyiségektől, amelyeket a fúrólyuk és a benne levő folyadék, továbbá a vizsgált réteget ágyazó, és a szomszédos geológiai képződmények keltenek; ezek:

$\rho_c$  : a fúróiszap fajlagos ellenállása

$\rho_{mc}$  : az iszaplepeny fajlagos ellenállása

$d$  : a fúrólyuk átmérője

$t_{mc}$  : az iszaplepeny vastagsága

$h$  : a vizsgált réteg vastagsága

$\bar{\rho}_S$  : az ágyazó formációk fajlagos ellenállása, továbbá a szomszédos rétegek helye és jellemzői.

A  $\rho_{II}$ ,  $\rho_A$ ,  $D$  főismeretlenek meghatározására olyan szondákat kombinálnak egymással, amelyek *különböző mértékben* érzékelik a főismeretleneket, illetve azok — rétegről rétegre történő — változásait. A különböző szondák kom-

binációs szerepének jellemzésére a szondákat három főcsoportba soroltuk, az első deriváltak alapján:

a)-típus szondák, amelyek a tényleges ellenállást érzékelik:

$$\frac{\partial \rho_K}{\partial \rho_{II}} \gg 0$$

$$\frac{\partial \rho_K}{\partial \rho_A}, \frac{\partial \rho_K}{\partial D}, \frac{\partial \rho_K}{\partial h}, \frac{\partial \rho_K}{\partial \rho_S}, \text{ stb} \approx 0$$

b)-típusú szondák, amelyek az infiltrációs zóna ellenállását érzékelik:

$$\frac{\partial \rho_K}{\partial \rho_A} \gg 0$$

$$\frac{\partial \rho_K}{\partial \rho_{II}}, \frac{\partial \rho_K}{\partial D}, \frac{\partial \rho_K}{\partial h}, \frac{\partial \rho_K}{\partial \rho_S}, \frac{\partial \rho_K}{\partial t_{mc}}, \frac{\partial \rho_K}{\partial \rho_{mc}}, \text{ stb} \approx 0$$

c)-típusú szondák, amelyek érzékelik mind a valódi ellenállás, mind az infiltrációs zóna ellenállásának és átmérőjének változásait, ezáltal *vegyes szerepet töltenek be* a kombinációkban:

$$\frac{\partial \rho_K}{\partial \rho_{II}}, \frac{\partial \rho_K}{\partial \rho_A}, \frac{\partial \rho_K}{\partial D} > 0$$

$$\frac{\partial \rho_K}{\partial h}, \frac{\partial \rho_K}{\partial \rho_S}, \text{ stb} \approx 0.$$

A különféle geológiai rétegsorokban alkalmazandó szelvénykombinációkat olyan szondákból kell összeállítani, amelyek az adott geológiai és fúrás technikai feltételek mellett képviselik *mindhárom szondatípust*.

Az ellenállásszelvényezés eddigi története folyamán 2-, 3- és 4-komponensű kombinációkat hoztak létre.

A 2-komponensű kombinációkat akkor alkalmazzák, amikor valamelyik főismeretlen,  $\rho_A$  vagy  $D$  előre meghatározható és az ellenálláskombinációra csak a másik két főismeretlen ( $\rho_{II}$  és  $D$ , vagy  $\rho_{II}$  és  $\rho_A$ ) meghatározását kell bízni.

Az esetek jelentős részében, amikor egyik főismeretlen sem határozható meg előre, 3-komponensű kombinációkat alkalmaznak.

„Annulus” kialakulásakor 4-komponensű kombinációk alkalmazására is szükség lehet.

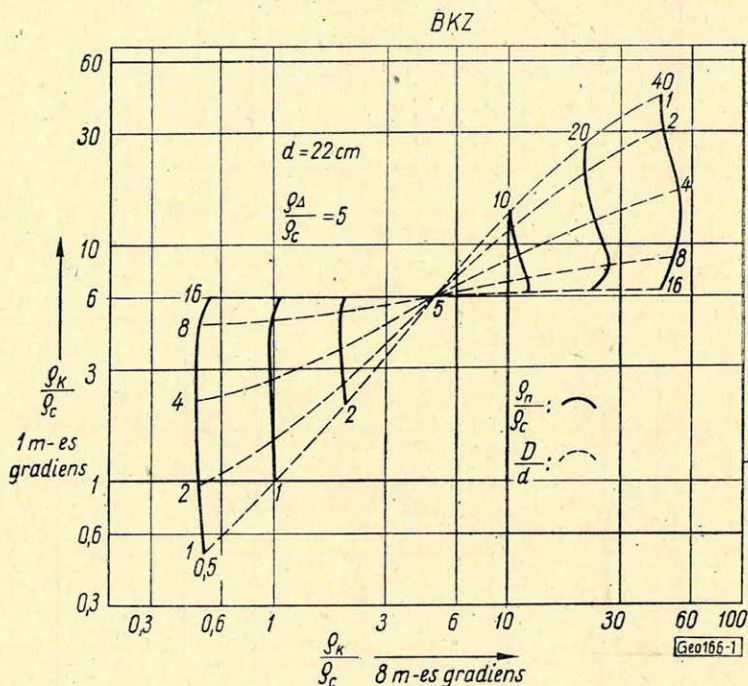
A szelvénykombinációk alapesetét a 2-komponensű kombináció képezi, a magasabbrendű kombinációk tulajdonképpen ennek multiplikálásából épülnek fel.

A 2-komponensű kombinációknál a látszólagos fajlagos ellenállások egyes görbeseregein konstans értéken tartják az infiltrációs zóna átmérőjét, vagy annak fajl. ellenállását, miközben a másik két főváltozót változtatják. Mi a különféle kombinációk hatékonyságának megállapításához olyan 2-komponen-



sű görbeseregeket szerkesztettünk, amelyeknél az infiltrációs zóna ellenállása ( $\rho_A$ ) állandó érték. Néhány példát mutatunk be a konvencionális szondák köréből.

Az 1. ábrán a BKZ eljárás 8 m-es és 1 m-es gradiens szondáiból összeállított kombináció egyik görbeseregét látjuk laza homokkövekre, amikor  $\rho_A/\rho_c = 5$ . A folytonos vonalú görbesereg paramétere a tényleges fajlagos ellenállás, a szaggatott vonalú az infiltrációs zóna átmérője. A görbesereg csomópontja a  $\rho_H = \rho_A$  speciális esethez tartozik; ettől balra helyezkednek el a növelő elárasztás pontjai, amikor  $\rho_A > \rho_H$ , jobbra pedig a csökkentő elárasztás esetei, amikor  $\rho_A < \rho_H$ . A kombinációban a 8 m-es szonda a) típusú, az 1 m-es pedig c) típusú szonda szerepét tölti be. A szaggatott görbeseregvonalak jól szétnyílnak  $D/d < 8$  elárasztási átmérők mellett, tehát a kombináció jó megoldást nyújt  $\rho_A$ -re és  $D$ -re sekély és közepes elárasztási mélységek mellett. Mély elárasztásoknál a szaggatott vonalak már zsúfolódnak, a megoldás nem kielégítő.

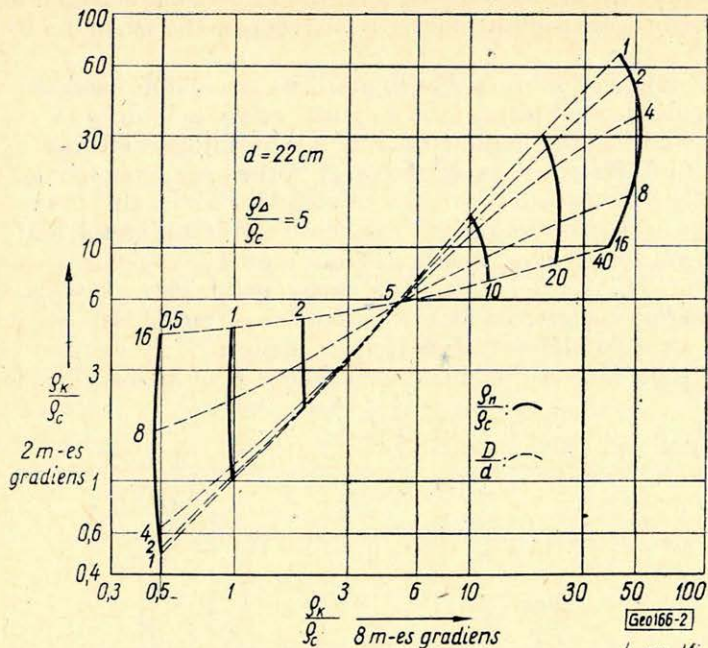


1. ábra  
 Физ. 1.  
 Fig. 1.

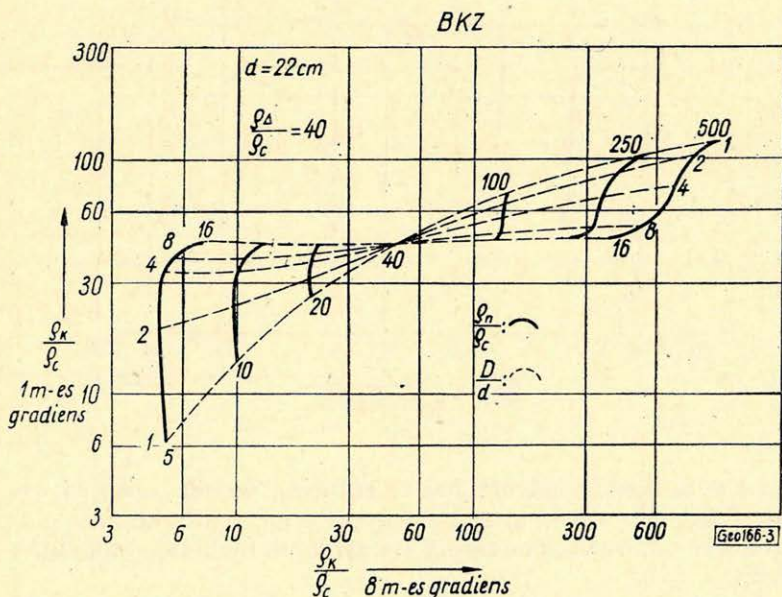
A 2. ábrán az 1 m-es szonda helyett 2 m-es gradiens szonda szerepel c) típusú szondaként. E kombináció jó megoldást nyújt a mély és a közepes elárasztásokra, amikor  $D/d > 4$ , itt viszont sekély elárasztások mellett zsúfolódnak a szaggatott görbék.

A 3. ábrán a kisporozitású tárolóközetekre látjuk a 8 m-es és 1 m-es gradiens szondák kombinációját, amikor  $\rho_A/\rho_c = 40$ . Itt kielégítő megoldásról már csak a növelő elárasztások tartományában lehet beszélni, ott is csak  $D/d < 4$  sekély elárasztások mellett. A jobb oldali mezőnyben a szaggatott vonalak már erősen zsúfolódnak, itt nem kapunk jó megoldást, legalábbis  $D$ -értékére.

A 4. ábrán a Gulf Coast módszer rövid és hosszú potenciálszondáinak kom-



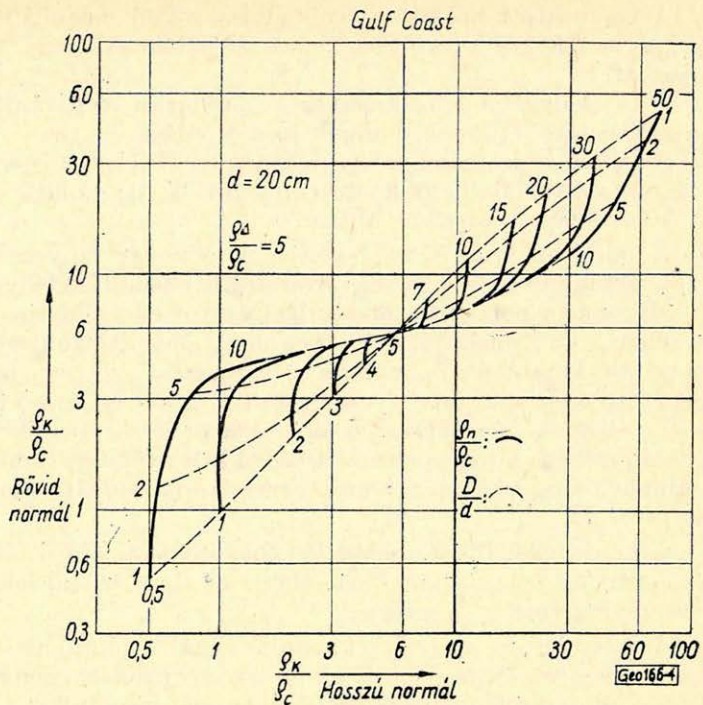
2. ábra  
 Фиг. 2.  
 Fig. 2.



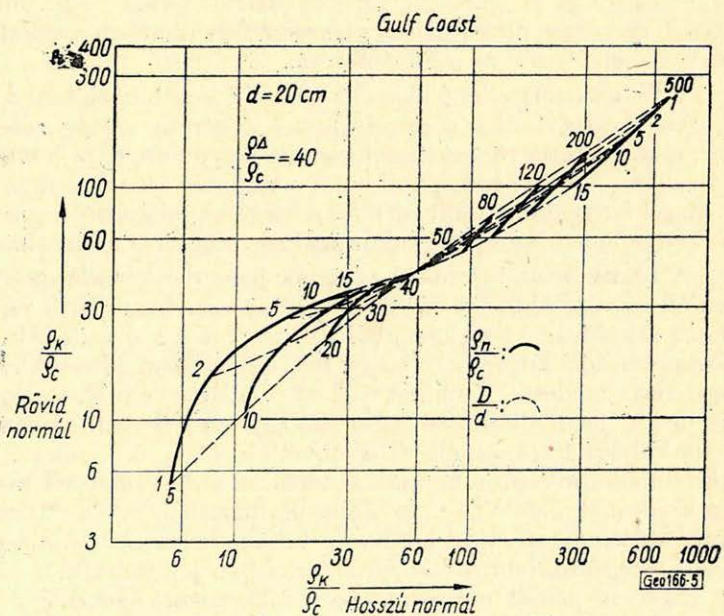
3. ábra  
 Фиг. 3.  
 Fig. 3.

binációjára mutatunk be görbesereget laza homokkövekre,  $\rho_{\Delta}/\rho_c = 5$ -nél. Itt sekély és közepes elárasztásoknál,  $D/d < 5$  mellett kielégítő a megoldás.

Az 5. ábrán ugyanezt a kombinációt láthatjuk kisporozítású kőzetekre,  $\rho_{\Delta}/\rho_c = 40$ -nél. Itt a megoldás már csak a bal oldali mezőnyben kielégítő, ott is csak  $D/d < 5$  elárasztási átmérőknél.



4. ábra  
Фиг. 4.  
Fig. 4.



5. ábra  
Фиг. 5.  
Fig. 5.

A bemutatott példák is érzékeltetik a konvencionális ellenálláskombinációk, így a *BKK* és a *Gulf Coast* módszer hatékonyságára tett alábbi megállapításokat.

1. A konvencionális szondák kombinációi a 15%-nál nagyobb effektív porozitású tárolókőzetekre adnak jó megoldást.

2. A konvencionális módszerek a növelő elárasztások ( $\rho_A > \rho_H$ ) esetében hatékonyabbak mint csökkentő elárasztásoknál; emiatt is nem jól alkalmazhatók sós iszappal fúrt lyukakban.

E korlátozottságokhoz hozzájárul még egy lényeges nehézség. A réteg véges vastagsága, illetve az ágyazó rétegek ellenállása lényeges hatást gyakorol a gradiens és a potenciálszondák látszólagos ellenállásaira, különféle árnyékolási jelenségek lépnek fel, különösen nagy ellenálláskontrasztok esetén. A konvencionális kombinációk hatékony alkalmazása azért is a nagy és közepes porozitású tárolókőzetek szelvényezésére korlátozódik és kizáró tényezőként szerepel sós fúróiszapok használata. A kombinatív görbeseregeket a *rétegvastagságtól függő* látszólagos fajlagos ellenállásokkal kell felépíteni, emiatt a konvencionális kombinációknál nagyszámú görbesereg-lappal oldható csak meg a gyakorlati interpretáció.

A konvencionális kombinációk fogyatékoságain a fókuszozott ellenállásmérő szondák és azok kombinációinak alkalmazásával lehet – ha nem is teljesen, de nagyrészt – segíteni.

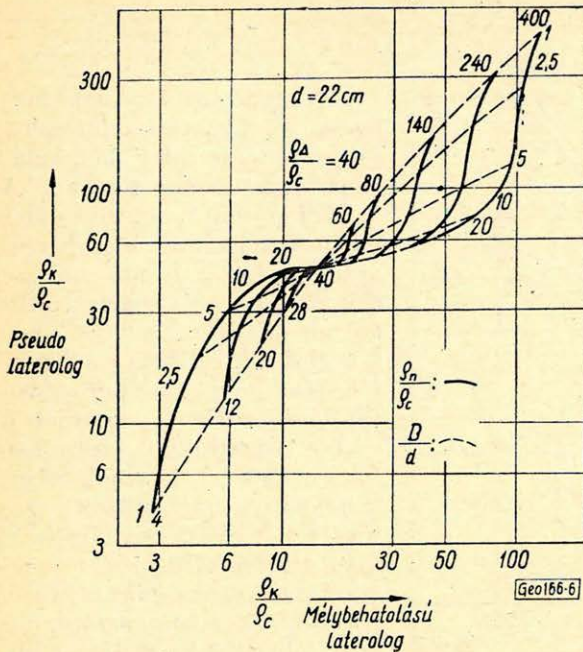
A laterolog és az indukciós szondáknál a látszólagos fajl. ellenállás alig függ a réteg vastagságától és az ágyazó formációk ellenállásától akkor, ha a réteg – illetve rétegszakasz vastagsága nem kisebb 2 m-nél, és megjegyezhetjük, hogy az ipari értékű rétegek kielégítik ezt a követelményt. A 7-elektrodás laterolog szondáknál fellépnek ugyan zavaró jelenségek erősen heterogén rétegsorokban, így az ún. „*válthatás*” és „*a pozitív térvisszacsatolás*”, azonban ezeket egyrészt ki lehet szűrni más szelvényekkel – pl. mikrolaterologgal – történő összehasonlítás útján, másrészt folyamatban vannak fejlesztő munkák e zavaró jelenségek megszüntetésére.

A fókuszozott ellenállásmérő szondák kombinációinál a kiértékelési görbeseregeket valószínűleg elegendő lesz a végtelen vastag rétegek esetére felépíteni, mivel a rétegvastagsággal szembeni érzéketlenség következtében a látszólagos ellenállásokat korrigálni lehet a végtelen vastag réteghez tartozó értékekre. Ezzel lényegesen csökkenthető a kiértékelési görbeseregek száma, ami jelentős kényelmet biztosít a gyakorlati interpretációs munkában.

A fókuszozott áramterű szondák jelenlegi két alapvető képviselője, a laterolog és az indukciós szonda, kölcsönösen kiegészítik egymást a hatékony alkalmazhatóság szempontjából. Míg a laterolog szondák leghatékonyabban alkalmazhatók közepes és nagy fajl. ellenállású kőzetekben, sós fúróiszapok használata mellett, ellenálláscsökkentő infiltrációknál, addig az indukciós szondák optimálisan alkalmazhatók a kis fajlagos ellenállású kőzetekben, édes fúróiszapok használatánál, ellenállásnövelő infiltrációk mellett. Az indukciós szondák leghatékonyabb alkalmazási területe a 10 ohmm-nél kisebb ellenállású rétegek sorának szelvénye, továbbá olajbázisú iszapban történő szelvényezés, ugyanakkor a laterolog hatékony alkalmazása a 2 ohmm-nél nagyobb ellenállású rétegsorokban és sós fúróiszapokban jelentkezik.

Néhány példát mutatunk be a fókuszozott szondák 2-komponensű kombinációira; e példák rávilágítanak a hatékony alkalmazás lehetőségeire.

laterolog



6. ábra  
Фиг. 6.  
Fig. 6.

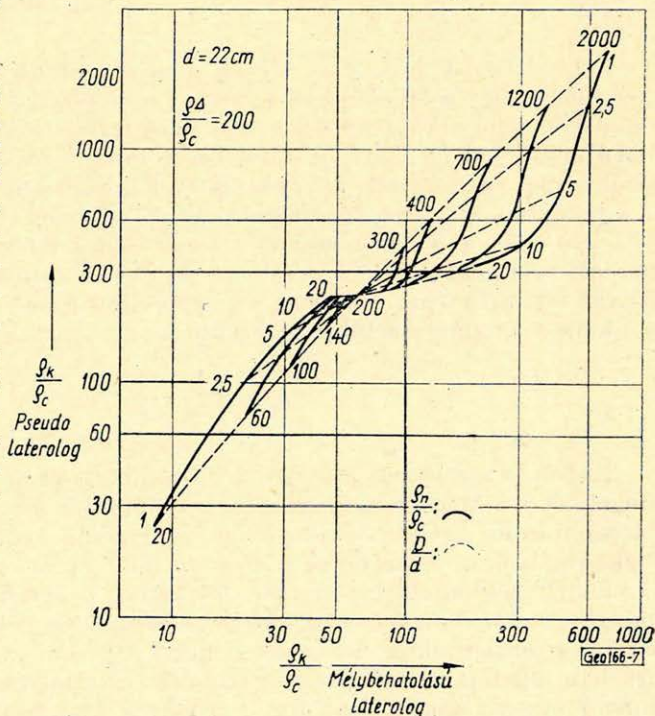
A 6. ábrán a mélyható-sugarú laterolog és a pszeu-dolaterolog kombinációját látjuk mérsékelt porozitású kőzetben  $\rho_A/\rho_c = 40$  mellett. Látható, hogy ez a kombináció kiváló megoldást nyújt  $\rho_{II}$  és  $D$  meghatározására a csökkentő elárasztás tartományában, egészen  $D/d = 10$  infiltrációs átmérőig; a bal mezőnyben a megoldás már gyengébb, csak sekély elárasztások mellett kielégítő.

A 7. ábrán ugyanez a kombináció látható igen kis porozitású kőzetekben,  $\rho_A/\rho_c = 200$ -nál. A megoldás a jobb mezőnyben to-

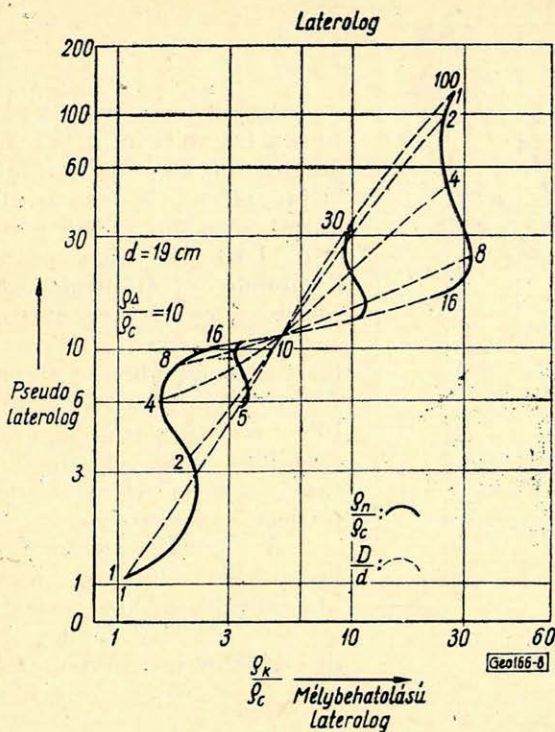
vábbra is kiváló, a porozitás lényeges csökkenése ellenére.

Emlékeztetünk arra, hogy a konvencionális szondák kombinációi  $\rho_A/\rho_c = 40$  mellett már nem nyújtottak kielégítő megoldást, különösen a jobb mezőnyben, ugyanakkor a laterolog kombinatív alkalmazása lehetővé teszi az ellenállás-szelvényezés feladatának megoldását a mérsékelt és a kisporozitású kőzetek tartományában, ott ahol a feladat konvencionális szelvényezéssel már nem oldható meg.

Laterolog



7. ábra  
Фиг. 7.  
Fig. 7.



8. ábra

Физ. 8.

Fig. 8.

Nagyporozitású kőzetekben a mélybehatólású laterolog és pseudolaterolog kombinációja már kedvezőtlenebb. A 8. ábrán látható, hogy e kombináció kétértelmű megoldásra vezet  $q_A/q_c = 10$ -nél növelő, elárasztások és sekély infiltrációs mélységek mellett, amikor  $D/d < 2$ . Ez lényeges fogyatékoság, mivel nagyporozitású tárolókőzetekben gyakoriak a sekély filtrációk kis vízleadású fűrészapok használatakor. Csökkentő elárasztások esetén, tehát sós iszapos fűrésstechnika alkalmazásakor az a kombináció nagyporozitású tárolókőzetekben is hatékony marad, miként jól látható a 8. ábra jobb oldali mezőnyének kedvező alakulásából.

A bemutatott 6., 7. és 8. ábrák analízise alapján arra a következtetésre lehet jutni, hogy a laterolog módszer a tárolókőzetek porozitásának teljes tartományában jól alkalmazható a tényleges fajlagos ellenállás és az infiltrációs zóna átmérőjének meghatározására, ha az infiltrációs zóna fajlagos ellenállását előzőleg más módszerrel, pl. mikrolaterolog segítségével már meghatároztuk. Ez a hatékony alkalmazás azonban csak a csökkentő elárasztások ( $q_A < q_c$ ) mellett jelentkezik a jelenleg használt 7-elektrodos laterolog és pseudolaterolog szondák kombinálásakor. Ezt a lehetőséget sós iszapos fűrésstechnika alkalmazásával biztosíthatjuk. Cél szerű az iszap ellenállását a rétegvíz ellenállásához ( $q_w$ ) képest az alábbi értékre beállítani:

$$q_c = \left( \frac{1}{3} \div \frac{1}{5} \right) \cdot q_w$$

Ebben az esetben az interpretációs munkapont már a víztároló permeabilis rétegeknél is a kiértékelési görbesereg jobb mezőnyében helyezkedik el, a szénhidrogéntároló produktív rétegek pontjai pedig messze jobbra fognak elhelyezkedni a  $q_{II} = q_A$  helyzetű csomóponthoz képest.

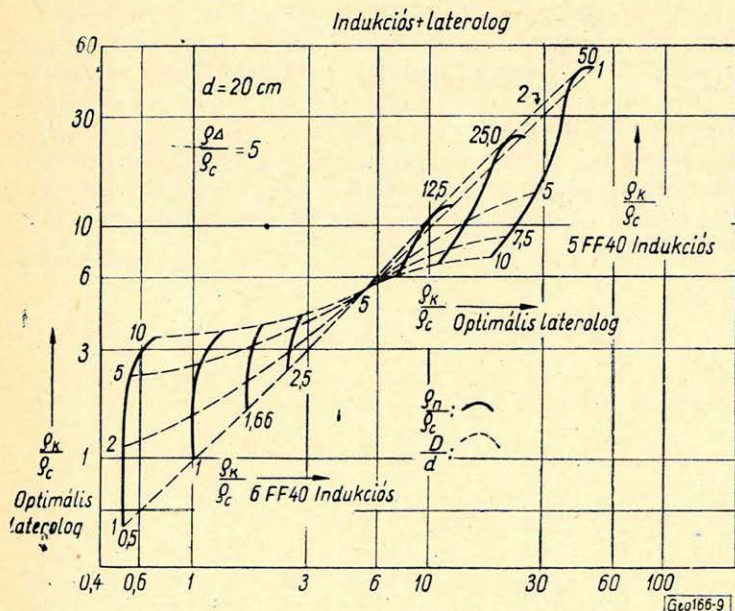
Fenti megfontolások alapján bevezetjük a sós iszapos fűrészi technikát és ehhez kapcsolódóan a laterolog szelvényezést a jelenlegi legjelentősebb szénhidrogéntároló területünkön, a Szeged melletti Algyón. Az első ízben az Algyő-21-es fűrésben alkalmazott sós iszapos technika és a felvett laterolog szelvénykombináció messzemenően igazolta e törekvés realitását. Ugyanilyen irányban

fejlesztjük az ellenállásszelvényezést a 4500 – 6000 m mélységű mélyszerkezet-kutató fúrásainkban is.

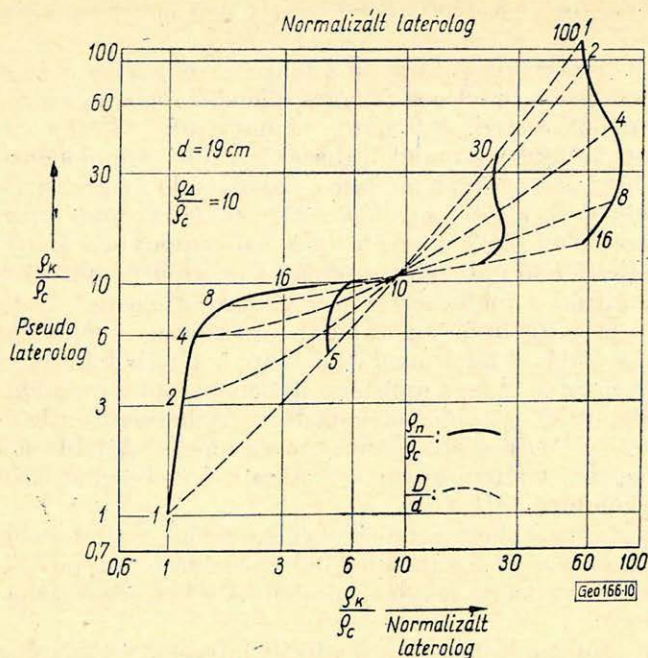
Édes iszapokkal fúrt, nagyporozitású tárolóközetekre a soktekeres indukciós szondák a leghatékonyabbak a tényleges fajlagos ellenállás meghatározására, különösen mély infiltrációk esetén. A 9. ábrán bemutatjuk a Schlumberger Társaság által alkalmazott indukciós szondák leghatékonyabb 2-komponensű kombinációit; ezeknél kombinációs párként laterolog szondát alkalmaznak. A 9. ábra görbeseregeit a Schlumberger Társaság 1963. évi Kiértékelési Görbesereggyűjteménye alapján szerkesztettük oly módon, hogy a bal mezőnyben az  $a$ -típusú szondaként viselkedő 6FF40 indukciós szondát a  $c$ -típusú optimális laterolog szondával kombináltuk, a jobb mezőnyben viszont a gyenge  $a$ -típusú szondaként viselkedő optimális laterolog szondát a  $c$ -típusú szondaként viselkedő 5FF40 indukciós szondával társítottuk. Látható, hogy a bal mezőnyben kiváló megoldás adódik  $\rho_{II}$ -re és  $D$ -re, a jobb mezőnyben viszont a megoldás nem tekinthető kedvezőnek: ott a  $\rho_{II}$  vonalak menete meglehetősen ferde és sekély filtrációs mélységek  $D/d < 3$  mellett kétértelműség lép fel. A jobb mezőnyre ennél kedvezőbb megoldást láttunk már a 8. ábrán, a mélybehatolású laterolog-pszeudolaterolog kombinációjánál.

Növelő infiltrációk ( $\rho_A < \rho_c$ ) mellett azonban kétségtelenül az indukciós szonda – laterolog szonda kombinációja adja a legjobb megoldást nagyporozitású tárolóközetekben a jelenleg ismert szondák köréből. A lehetőségek azonban még nincsenek kimerítve.

A 10. ábrán egy példát mutatunk be egy normalizált laterolog szonda és a pszeudolaterolog kombinációjára nagyporozitású közetekben ( $\rho_A/\rho_c = 10$ ). Látható, hogy a megoldás kiváló a jobb mezőnyben  $D/d < 8$ , a bal mezőnyben  $D/d < 6$  tartományban. Összehasonlítva a bal mezőnyt az indukciós szondára vonatkozó 9. ábra bal mezőnyével látható, hogy komoly remények fűzhetők a normalizált laterolog szonda bevezetéséhez édes iszappal mélyített fúrásokban is.



9. ábra  
Фиг. 9.  
Fig. 9.



10. ábra  
 Физ. 10.  
 Fig. 10.

Előzőkben az ellenállásselvényezés kombinatív alkalmazását a 2-komponensű kombinációk alapján vizsgáltam, mivel jelenleg ezek vannak legjobban kidolgozva, de ezzel azon véleményemet is kifejezésre kívántam juttatni, hogy a gyakorlati munkában érdemes előnyben részesíteni a 2-komponensű kombinációkat. Ahol azonban sem  $\rho_{\Delta}$ , sem  $D$  nem határozható meg, illetve nem becsülhető elég pontosan előre, ott természetesen a kettőnél több komponensű kombinációkhoz kell folyamodni. A fókuszozott szondák publikált kombinációi között a Schlumberger Társaság 4-komponensű Grand Slam módszere és annak egyszerűsített 3-komponensű változatai képviselik a jelenlegi legkorszerűbb szintet nagyporozitású és közepes porozitású tárolókőzetekben, elsősorban édes fűrészapok használatakor, azonban megállapítható, hogy további lehetőségek és egyúttal szükséges tennivalók vannak még a fókuszozott szondák kidolgozása és kombinatív alkalmazása terén.



# Néhány egyszerű kétdimenziós geofoncsoport vizsgálata

BODOKY TAMÁS – MESKÓ ATTILA – POLCZ IVÁN

*A geofoncsoporttal a kétdimenziós térfrekvencia (hullámszám) tartományban felülvágó szűrést kell megvalósítanunk. Bemutatjuk és a célkitűzéssel összehasonlítjuk néhány egyszerű kétdimenziós geofoncsoport átviteli függvényeit.*

*При группировании сейсмоприемников в диапазоне пространственных частот (волновое число) необходимо создать фильтрацию высоких частот. В работе приводятся и сопоставляются частотные характеристики для некоторых простых двумерных конфигураций группирования сейсмоприемников.*

*Es besteht die Aufgabe, mittels der Geophongruppe in einem zweidimensionalen Raumfrequenz (Wellenzahl)-Bereich eine Tiefpass-Filterung (low-pass) zu verwirklichen. Die Übertragungsfunktionen einiger einfacher zweidimensionaler Geophonengruppen werden vorgeführt und auf ihre Zweckmäßigkeit hin geprüft.*

A szeizmikus kutatásban régóta ismerik és használják a geofoncsoportok jel/zaj arány javító hatását. Ezt a hatást – a tárgyalás egyszerűsítése céljából – két komponensre bontják. Az egyik statisztikus jellegű és csak a geofonok számától függ. A másik a geofoncsoport, mint lineáris átviteli rendszer térfrekvencia (vagy hullámszám) tartománybeli szűrőhatásának következménye. A szűrőhatás a rendszer átviteli függvényével írjuk le. Adott számú geofonnal dolgozva a statisztikus hatás tetszőleges csoportosítás esetén változatlan marad. Emiatt csak az átviteli függvényeket vizsgáltuk.

Különböző érzékenységgű geofonokból összeállított területi elrendezés átviteli függvénye:

$$S(\omega, \psi) = \sum_{k=0}^n c_k e^{i(\omega x_k + \psi y_k)}, \quad (1)$$

– ahol  $c_k$  a  $k$ -edik geofon érzékenységet jelöli;  
 $x_k$  és  $y_k$  a  $c_k$  érzékenységgű geofon vonatkoztatási ponttól (a csoport középpontjától) mért távolsága a vonalmenti, illetve rá merőleges irányban,  
 $\omega$  és  $\psi$  térbeli frekvenciaváltozók (hullámszám változók):

$$\omega = \frac{2\pi}{\lambda_x}; \quad \psi = \frac{2\pi}{\lambda_y}.$$

Ha a csoport szimmetrikus, az átviteli függvény egyszerűsödik.

Olyan csoportokkal foglalkoztunk, melyekben az érzékenységek arányai kis egész számok. Ilyen érzékenységarányok szükség esetén több geofon azonos pontra helyezésével is előállíthatók.

Az  $x_k$  és  $y_k$  értékeket a továbbiakban úgy választjuk, hogy

$$\begin{aligned} x_k &= j \cdot d_x, \\ y_k &= l \cdot d_y \end{aligned}$$

legyen. Vezessük még be a relatív frekvenciaváltozókat az

$$\omega' = \omega d_x, \quad \psi' = \psi d_y$$

definíciókkal. Akkor az (1) átviteli függvényből:

$$S(\omega', \psi') = \sum_{k=0}^n c_k e^{i(\omega'j + \psi'k)} \quad (2)$$

adódik. Az átviteli függvényeket az általános esetben a

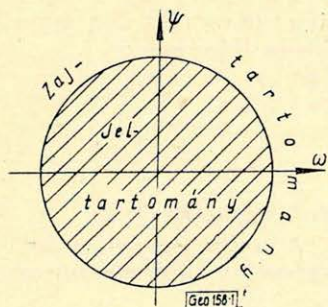
$$\begin{aligned} &= \pi \cong \omega' \cong \pi \\ &-\pi \cong \psi' \cong \pi \end{aligned} \quad (3)$$

intervallumban kellene meghatároznunk. A  $c_k$  együtthatók szimmetrikus elrendezése miatt azonban az átviteli függvények is hasonló szimmetriát mutatnak. Emiatt elegendő a számításokban a (3) négyzet helyett annak pozitív negyedbe eső részére szorítkozni. Azaz:

$$\begin{aligned} 0 \cong \omega' \cong \pi & \quad \text{vagy} \quad 0^\circ \cong \omega' \cong 180^\circ, \\ 0 \cong \psi' \cong \pi & \quad \quad \quad 0^\circ \cong \psi' \cong 180^\circ. \end{aligned}$$

Az alkalmazandó  $d_x$  és  $d_y$  geofontávolságokat és a  $c_k$  együtthatók optimális értékeit a mérési területre jellemző jel- és zaj-spektrumok alapján, az optimumszűrő-elmélet összefüggéseiből számíthatnánk. Ismeretes, hogy a zavarhullámok térbeli frekvenciája nagyobb, mint a jeleké (1. ábra). Az ábra alapján világos, hogy egyváltozós csoport nem biztosíthat megfelelő szűrést, átengedi az oldalról érkező zavarhullámok jelentős részét. Részletes számítások nélkül is megállapítható, hogy az optimumszűrő jellege: felülvágó, mely bizonyos térbeli frekvenciák feletti komponenseket egyáltalán nem enged át. Ha a megvalósítás gyakorlati nehézségei miatt nem törekszünk optimumszűrésre, azt a célt kell kitűznünk, hogy a csoport jó felülvágó szűrést biztosítson.

Néhány egyszerű elrendezés átviteli függvényét az 2–9. ábrákon mutatjuk be. Az ábrákon feltüntettük a geofonelrendezést, illetve az egyes pontokhoz rendelt érzékenységeket.



1. ábra. Jel és zaj eloszlása a kétváltozós térbeli frekvencia (hullámszám) síkon

Фиг. 1. Распределение сигналов и шума в плоскости пространственных частот (волнового числа) с двумя неизвестными

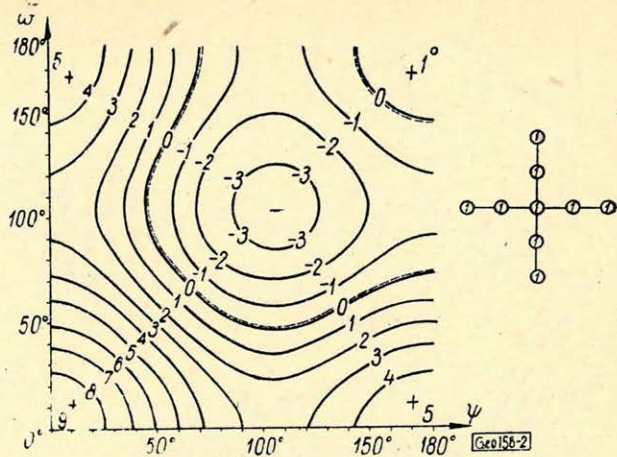
Fig. 1. Zeichen- und Geräusch-Verteilung an der Raumfrequenz (Wellenzahl)-Ebene

Látható (2–5. ábrák), hogy a csoportban szereplő geofonok számának növelése önmagában is javítja a szűrés tulajdonságait. De különböző érzékenységű geofonokból álló csoport még hatásosabban távolítja el a nagy térbeli frekvenciájú komponenseket.

2. ábra. A jobb oldalon megadott geofoncsoport átviteli függvénye, mint a relatív térbeli frekvenciaváltozók függvénye

Fig. 2. Частотная характеристика указанной на правой стороне группы сейсмоприемников, в функции от относительных переменных пространственных частот

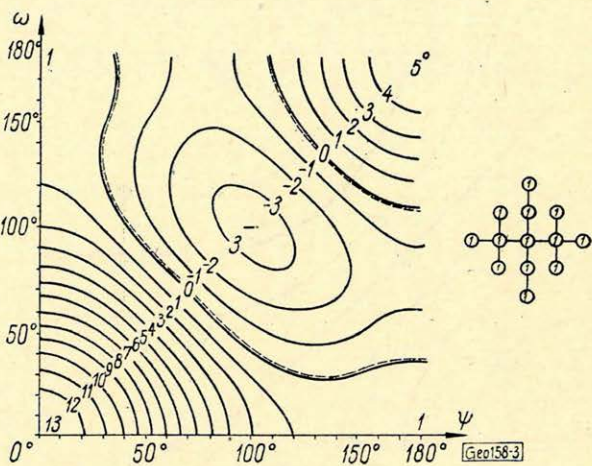
Fig. 2. Übertragungsfunktion der auf der rechten Seite angegebenen Geophonengruppe als Funktion der relativen Raumfrequenzveränderlichen



3. ábra. A jobb oldalon megadott geofoncsoport átviteli függvénye, mint a relatív térbeli frekvenciaváltozók függvénye

Fig. 3. Частотная характеристика указанной на правой стороне группы сейсмоприемников, в функции от относительных переменных пространственных частот

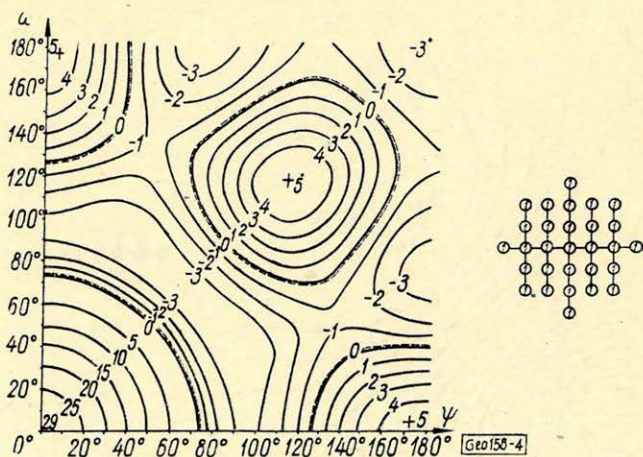
Fig. 3. Übertragungsfunktion der auf der rechten Seite angegebenen Geophonengruppe als Funktion der relativen Raumfrequenzveränderlichen

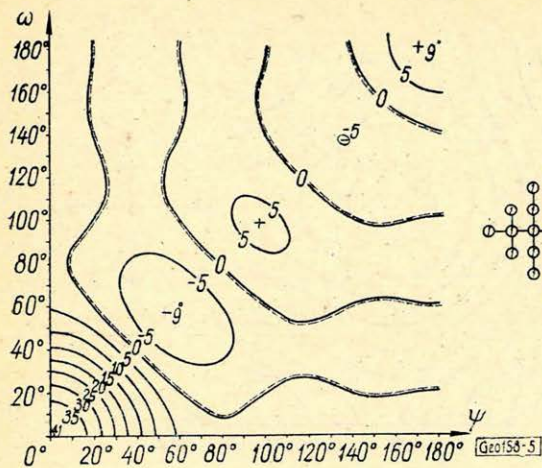


4. ábra. A jobb oldalon megadott geofoncsoport átviteli függvénye, mint a relatív térbeli frekvenciaváltozók függvénye

Fig. 4. Частотная характеристика указанной на правой стороне группы сейсмоприемников, в функции от относительных переменных пространственных частот

Fig. 4. Übertragungsfunktion der auf der rechten Seite angegebenen Geophonengruppe als Funktion der relativen Raumfrequenzveränderlichen

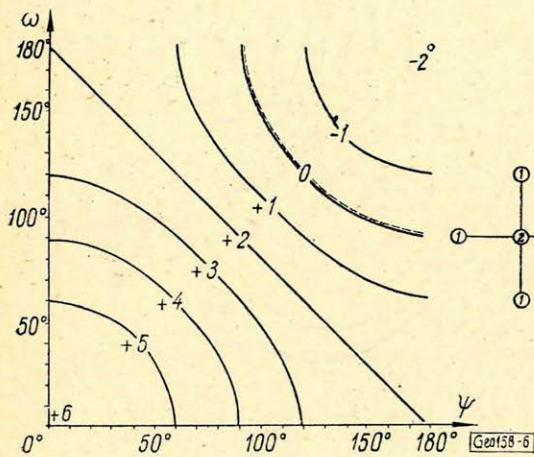




5. ábra. A jobb oldalon megadott geofonocsoport átviteli függvénye, mint a relatív térbeli frekvenciaváltozók függvénye

Fig. 5. Частотная характеристика указанной на правой стороне группы сейсмоприемников, в функции от относительных переменных пространственных частот

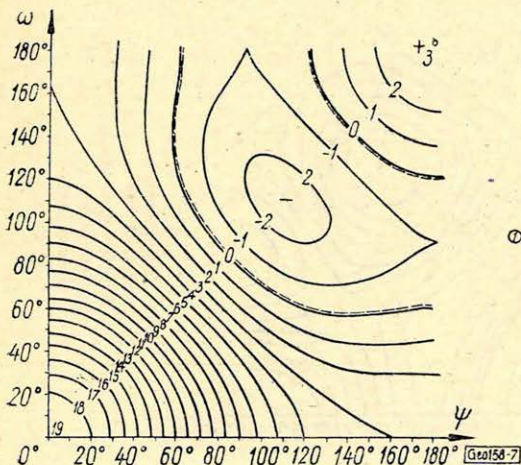
Fig. 5. Übertragungsfunktion der auf der rechten Seite angegebenen Geophonengruppe als Funktion der relativen Raumfrequenzveränderlichen



6. ábra. A jobb oldalon megadott geofonocsoport átviteli függvénye, mint a relatív térbeli frekvenciaváltozók függvénye

Fig. 6. Частотная характеристика указанной на правой стороне группы сейсмоприемников, в функции от относительных переменных пространственных частот

Fig. 6. Übertragungsfunktion der auf der rechten Seite angegebenen Geophonengruppe als Funktion der relativen Raumfrequenzveränderlichen



7. ábra. A jobb oldalon megadott geofonocsoport átviteli függvénye, mint a relatív térbeli frekvenciaváltozók függvénye

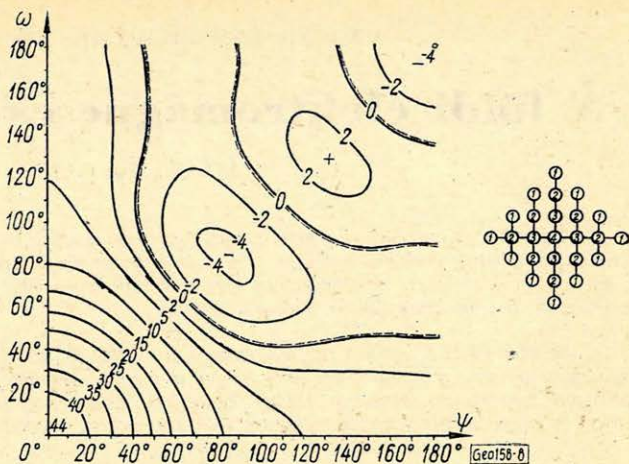
Fig. 7. Частотная характеристика указанной на правой стороне группы сейсмоприемников, в функции от относительных переменных пространственных частот

Fig. 7. Übertragungsfunktion der auf der rechten Seite angegebenen Geophonengruppe als Funktion der relativen Raumfrequenzveränderlichen

8. ábra. A jobb oldalon megadott geofoncsoport átviteli függvénye, mint a relatív térbeli frekvenciaváltozók függvénye

Фиг. 8. Частотная характеристика указанной на правой стороне группы сейсмоприемников, в функции от относительных переменных пространственных частот

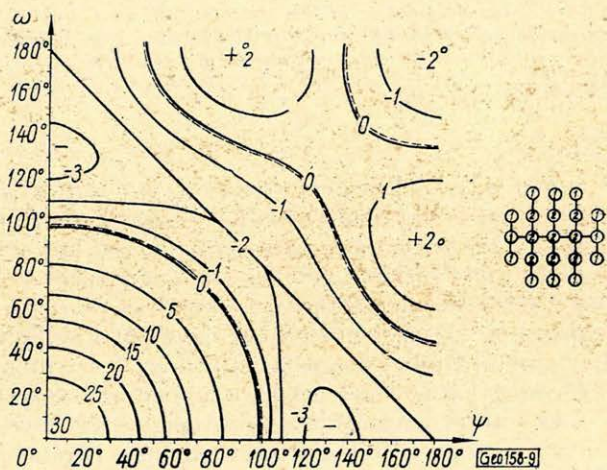
Fig. 8. Übertragungsfunktion der auf der rechten Seite angegebenen Geophonengruppe als Funktion der relativen Raumfrequenzveränderlichen



9. ábra. A jobb oldalon megadott geofoncsoport átviteli függvénye, mint a relatív térbeli frekvenciaváltozók függvénye

Фиг. 9. Частотная характеристика указанной на правой стороне группы сейсмоприемников, в функции от относительных переменных пространственных частот

Fig. 9. Übertragungsfunktion der auf der rechten Seite angegebenen Geophonengruppe als Funktion der relativen Raumfrequenzveränderlichen



A jel/zaj arány növekedésének sorrendje:

vonalmonti csoport,

azonos érzékenyséű pontokat (geofonokat) tartalmazó területi csoport,

különböző érzékenyséű pontokat (geofonokat) tartalmazó területi csoport.

Az elkészített néhány felvétel az elméleti következtetésekkel összhangban levő eredményeket szolgáltatott. A megkezdett vizsgálatokat – különösen a kísérleti méréseket illetően – kívánatos folytatni, illetve kibővíteni.

Az eddigi tapasztalatok és a bemutatott átviteli függvények szerint adott számú geofon jobb kihasználását jelenti, ha különböző érzékenyséű pontokat tartalmazó csoportokat alakítunk ki belőlük, még akkor is, ha az érzékenységek arányát – praktikus okokból – csak kis egész számoknak választjuk.

#### IRODALOM

J. P. Burg, 1964: Three dimensional filtering with an array of seismometers. Geophysics, Vol 29. No 5.

Gálfi, Márton, Meskó, Stegena: Alkalmazott geofizika I. Seizmika. Tankönyvkiadó (megjelenőben).

# A földi elektromágneses tér kutatása

ÁDÁM ANTAL

*A szerző 1966 nyarán két hetet töltött Franciaországban mint a CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) ösztöndíjasa és tanulmányozta az elektromágneses földi tér kutatásánál ott kifejlesztett módszereket. A dolgozatban beszámol tapasztalatairól és több összehasonlítást tesz a magyarországi és franciaországi eredmények között.*

*Летом 1966 г. автор провел 2 недели во Франции, как стипендиант CNRS (Национального центра научных исследований) и изучал методы, разработанные там для исследования электромагнитного поля Земли. В работе описывается накопленный автором опыт и сопоставляются результаты Французских исследований с венгерскими.*

*Der Verfasser weilte im Sommer 1966 zwei Wochen lang in Frankreich als Stipendiat des CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) und studierte die für die Untersuchung des elektromagnetischen Erdfeldes in Frankreich entwickelte Methoden. Im Aufsatz wird über seine Erfahrungen berichtet und einige Vergleiche mit den diesbezüglichen ungarischen Verhältnissen ange stellt.*

## I.

1966 nyarán két hetet (jún. 6–20) töltöttem Franciaországban, mint a CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) ösztöndíjasa. Ez a tanulmányút a H. Fournier francia geofizikussal kötött ismeretség alapján született meg, aki 1961–62 óta értékes tudományszervezést végez a magnetotellurika (MT) területén nemzetközi méretekben és a mi eredményeinknek is jelentős propagátora. Fournier a párizsi egyetem Földfizikai Intézetében (Institut de Physique du Globe) dolgozik. Minthogy ő szívesen vállalt kalauzolásomat, az én törzshelyem is a két hét alatt ebben az intézetben volt.

Az intézet igazgatója a kőzetmágnesség neves tudósa: Thellier professzor is nagy és sokrétű elfoglaltsága ellenére barátságosan fogadott és a szűkebb értelemben vett programomon, a földi elektromágnesesség kutatásának tanulmányozásán kívül, lehetővé tette, hogy az ő kőzetmágnességi kutatásaiba is betekintsek.

Párizsban a következő intézményekben folyó elektromágneses kutatásokról tájékozódhattam:

1. Institut de Physique du Globe a., Service de Magnétisme (Fournier MT-munkái);
2. Centre Nationale d'Études des Télécommunications (Gendrin pulzáció ( $pc_1$ ) és ELF kutatásai);
3. Laboratoire de l'ORSTOM (Office des Recherches Scientifiques et Techniques en Outre Mer) (Godivier MT-műszerszerkesztési munkái).

Vidéken meglátogattam a

1. Chambon-la-Forêt-i elektromágneses obszervatóriumot (Institut de P. du G. obszervatórium) és a
2. Centre d'Études Géophysiques (Garchy)-t, Cagniard professzor mammut intézetét,
3. Plancher-en-Morvan-ban Fournier mozgó magnetotellurikus állomását.

Amint az előbbi felsorolásból is látható, majdnem minden napra új intézet jutott és ennek megfelelően általában nem tudtam kellő mélységig betekinteni az intézmények munkájába. Az elektromágneses tér kutatásának főként két területe érdekelt közelebbről itthoni érdeklődési körömmel és a Laboratorium kutatási témáinak megfelelően:

1. a pulzációkutatás, különös tekintettel a  $pc_1$ -re (periódus:  $0,2 - 5$  sec) és a határterületen levő *ELF*- (frekvenciatartomány:  $8 - 1000$  Hz)re,

2. az elektromágneses tér alkalmazása a Föld elektromos felépítésének vizsgálatában, azaz a magnetotellurika helyzete szülőhazájában Franciaországban. Ezekről a tudományszervezési kérdéseken kívül, néhány tudományos és technikai érdekességet is megemlítek.

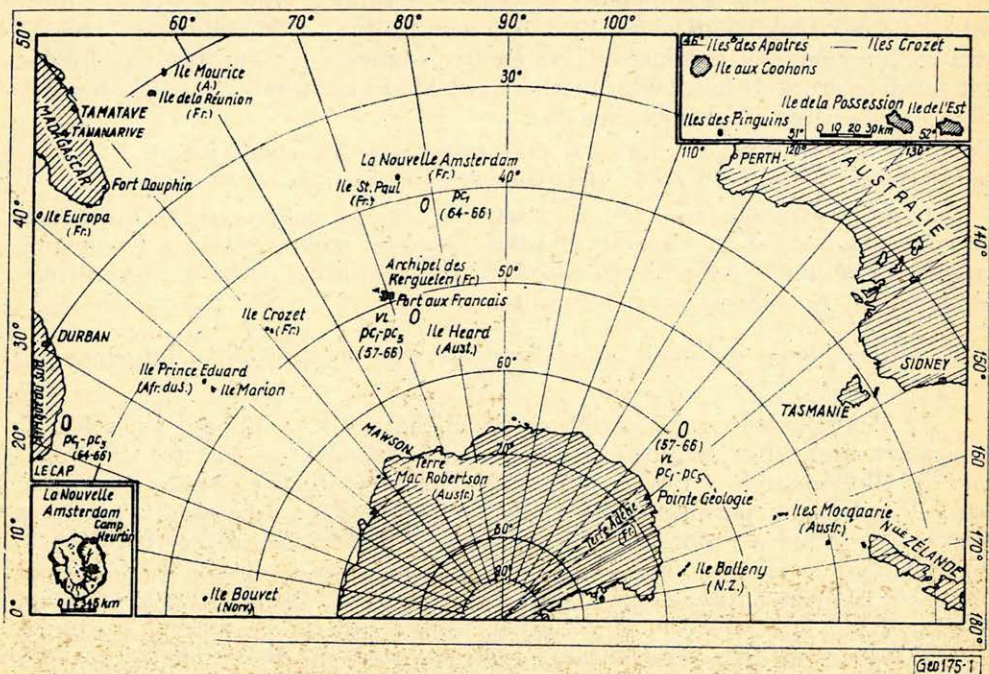
## 2. *Elektromágneses pulzációkutatás* Franciaország megtekintett intézményeiben

Az elektromágneses pulzációk és fizikai hátterük tanulmányozása lényegében két nagy intézményben folyik Franciaországban: az Institut de Physique du Globe-ban és a Centre Nationale d'Études des Télécommunications-ban. A kutatások párhuzamossága a  $pc_1$ -vizsgálatában csúcsosodik ki. Ez a jelenség ( $pc_1$ ) ma a tudományos érdeklődés homlokterében áll, érthető tehát, hogy az állam ezeket a kutatásokat több, sokszor teljesen elkülönülő csatornán keresztül is finanszírozza. A  $pc_1$  kutatásával kapcsolt területek azonban a két intézményben különbözőek. Míg a távközlés számára az ionoszféra az elsődleges fontosságú és a  $pc_1$  vizsgálatához ezen keresztül jutott el, tehát a  $pc_1$ -éhez csak a nagyobb-frekvenciás elektromágneses jelenségek vizsgálatát kapcsolja (*ELF*, *VLF* stb.), addig a „földfizikusokat” a teljes spektrum érdekli a „hagyományos” lassú változásoktól kezdve a  $pc_1$ - $pc_5$  és  $pi_1$ - $pi_2$ -ön keresztül az ionoszférás jelenségekig. Mindkét intézmény igen jelentős anyagi eszközökkel rendelkezik és ennek révén a legkorszerűbb technikától kezdve a személyi állományig minden szükségessel el vannak látva. A kutató csoportok vezetői a francia tudományos élet fiatal erősségei, akik igen kemény versenyeken jutottak az élre. Így a földfizika vonalán Schlicht, a távközlési kutatóintézetből Gendrint említeném csupán, akiknek a neve a pulzációirodalomban jártas kutatóknak sokat mond.

Az Institut de Physique du Globe kiterjedt obszervatóriumhálózattal rendelkezik nemcsak Franciaországban, hanem Afrikában, a déli félgömb több szigetén, valamint az Antarktiszon is (*1. ábra*). Az intézet obszervatóriuma egyébként a jól ismert Chambon la Forêt-i is és Cagniard tudományos központjában, Garchyban is vannak felállítva  $pc_1$ -műszereik. Érdekes azonban az, hogy egy dél-franciaországi obszervatóriumtól eltekintve, amelynek konjugált pontja Hermanusban (Délafrikai Köztársaság) van, az előbb említett franciaországi obszervatóriumok nem Schlich, hanem a Service de Magnétisme vezetője, Selzer a kezében vannak. (Selzer, aki indukciós szondájáról nevezetes, jelenleg tudományos ambícióit nem a  $pc_1$  kutatására fordítja, hanem a mélytengeri elektromágneses mérésekre).

Az obszervatóriumokról még annyit, hogy a volt, vagy jelenleg francia kézben levő gyarmatok obszervatóriumait az *ORSTOM* szervezi.

A távközlési kutatóintézet szintén többnyire a fenti obszervatóriumokban állította fel berendezéseit, de ugyanakkor több mozgó obszervatóriuma is működik főként a Szovjetunió területén, ahol a déltengeri szigetvilág konjugált



1. ábra. Francia obszervatóriumok (O) a déli félgömbön  
 Фиг. 1. Французские обсерватории (o) на южном полушарии  
 Fig. 1. Französische Observatorien (O) in der südlichen Hemisphäre

pontjai vannak. A  $pc_1$  pulzációk felfedezőjével, M. V. Troitzkájával igen aktív együttműködést folytatnak.

Már az előzőekben is többször említettem a konjugált pontokat, mint az egyidejű pulzáció-, főként  $pc_1$ -vizsgálatok helyeit, amelyeknél a megfigyelés tehát ugyanazon erővonalcső végein történik. Erre példaként a szovjet – francia együttműködés egyik eredményét mutatom be. Az állomások, Kerguelen és Sogra (SZU) kb.  $58^\circ$ -os déli, illetve északi földmágneses szélességen vannak. Az analízisra felhasznált anyag 1965. február 18 – márc. 9-ről származik. A  $H_x$ ,  $H_y$  mérések fluxméteres integrátorral, illetve indukációs tekercsel történtek. Mindkét helyen meghatározták a polarizáció körbenjárási irányát. Ezeket 3 perces időszakokra (nagybetűk) feltüntették az egyszerűsített szonogramok ábráján (2. ábra). Látható, hogy ezek a két helyen jórészt ellentétesek.

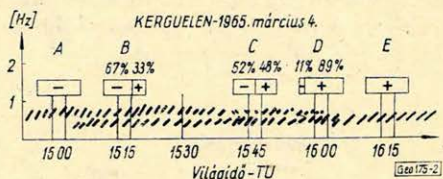
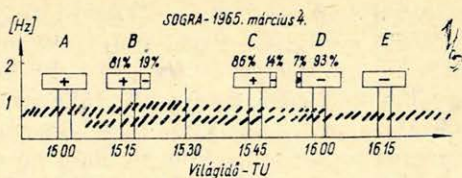
Érdekesek azok a kísérleteik is, amelyekkel a pulzációk, főként szintén  $pc_1$ -típusúak, változásait tanulmányozzák a szélesség függvényében, így az amplitúdót, periódust, szerkezetet, (modulációt), előfordulási gyakoriságot és a más geofizikai jelenségekkel való kapcsolatot. Pl. megállapították, hogy a szabályos mikropulzációk a magasabb szélességeken nagyon ritkák és ha mégis előfordulnak, roppant rövid idejű oszcillációsomagokból állnak, amelyeknek periódusa igen gyorsan nő. Az amplitúdó általában nő, a frekvencia csökken a szélességgel stb. Ezeket a jelenségeket Schlich és munkatársai a földi mágnes-tér által befogott részecskehalmazok oszcillációjakor kibocsátott sugárzással próbálják értelmezni.



2. ábra. Összevont szonogram a konjugált pontokban végzett  $pc_1$  mérésekről a polarizációs iránynyal együtt (Gendrin és munkatársainak eredménye)

Фиг. 2. Сводные сонограммы по измерениям  $pc_1$ , проведенным в сопряженных пунктах, с направлением поляризации

Fig. 2. Zusammengefasstes Sonogramm von  $pc_1$ -Messungen an den konjugierten Punkten, begleitet von der Polarisationsrichtung (Resultate von Gendrin und seinen Mitarbeitern)



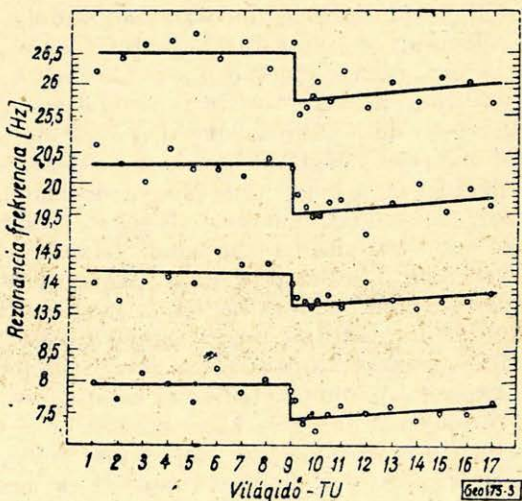
A Gendrin-féle kutatócsoportnak még az ELF-el kapcsolatos eredményeiből szeretnék egy ábrát (3. ábra) bemutatni. 1962. júl. 9-én a magas atmoszférában végrehajtott termonukleáris robbantás hatását vizsgálták a Föld-ionoszféra üregrezonátor alapharmonikusában (8, 14, 20, 26 Hz). Az ábrán látható, hogy az alapharmonikusok ugrásszerűen megváltoztak a robbantás időpillanatában. A visszaállás fokozatos. — Minthogy a változás mindössze 0,5 Hz, az alkalmazható berendezésnek igen szelektívnek és stabilnak kell lennie. Nagy stabilitást kíván ugyanakkor a szonogramos analízis eljárás is, amelynél frekvenciasokszorosítást kell előzetesen végezni pl. a magnetofonos regisztrátum többszörös átjátszásával, felgyorsításával. A nekem is bemutatott berendezés a 8 Hz-es alapharmonikus frekvenciaváltozásait 20 db 0,05 Hz-es szűrővel méri 7,5 és 8,5 Hz között. Ezeknek a szűrőknek a stabilitását úgy biztosítják, hogy az egész berendezést termosztátba építik. A szűrők kimenetén direktíró, vagy magnetofont alkalmaznak.

Még néhány szót a földmágneses  $pc_1$  (és a vele határos ELF -) regisztrálás technikájáról, amely tudvalevően  $m\gamma$  ( $10^{-3}\gamma$ ) nagyságrendű érzékenységet igényel. Az érzékelő rendszer pl. Gendrin csoportjánál ferritmagos ( $\mu/\mu_0 = 1800$ ) tekercs. Ezután fotocellás galvanométererősítő következik kapacitív

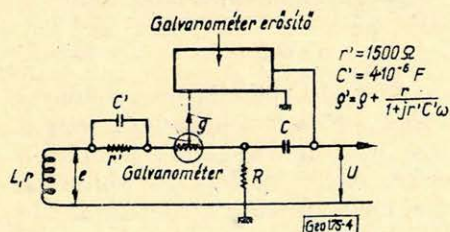
3. ábra. A Föld-ionoszféra üregrezonátor alapharmonikusainak megváltozása termonukleáris robbantáskor (Gendrin és Stefant eredménye)

Фиг. 3. Изменение основных гармонических объемного резонатора Земля — ионосфера при термоядерных взрывах

Fig. 3. Änderung der Grundfrequenzen des Hohlraumresonators Erde-Ionosphäre im Falle einer thermonuklearen Sprengung (Resultat von Gendrin und Stefant)



visszacsatolással (4. ábra). Ezzel integrálják a tekercs kapcsain megjelenő feszültséget s eltolják a nagyobb frekvenciák felé a rendszer levágási frekvenciáját és így pl. 0,01 és 30 Hz között közvetlenül a mágneses térerősséget kapják. (Egyébként a vágást egyedül a tekercs önindukciója és a galvanométer inerciája szabná meg.) A felvétel kissebességű magnetofonra történik (0,475 cm/sec). A mágnesszalag telítődésének elkerülése végett a  $pc_{2-5}$  és  $pt$  pulzációkat kizárják, tehát a sávot 0,01 Hz-es alsó határról megfelelő kapacitásokkal 0,2 Hz-re állítják be. A mérési anyag analizálása sonográfival történik a szalag többszörös átjátszása és felgyorsítása után.



4. ábra. Integráló erősítő kapcsolási vázlatja (Gendrin és Stefant munkája)

Фиг. 4. Схема интегрирующего усилителя  
 Fig. 4. Schema einer integrierenden Verstärkerschaltung (von Gendrin und Stefant)

### 3. Magnetotellurikus kutatások Franciaországban

Mint ismeretes, a magnetotellurikus kutatások matematikai alapjait Cagniard francia professor fektette le 1953-ban. Bár Tyihonov (1950) nevét együtt szokták emlegetni Cagniardéval, mivel 1950-ben Cagniardhoz hasonlóan kutatásokat végzett a Föld elektromos felépítésének tanulmányozására, kétségtelen, hogy a ma is használatos matematikai formulákat először Cagniard írta le. Ennek elismeréseként éppen Fournier javasolta, hogy a földi elektromos és

mágneses tér hányadosából számított impedancia ( $Z$ ) dimenzióját a  $\left[ \frac{mv/km}{\gamma} \right] \cdot t$

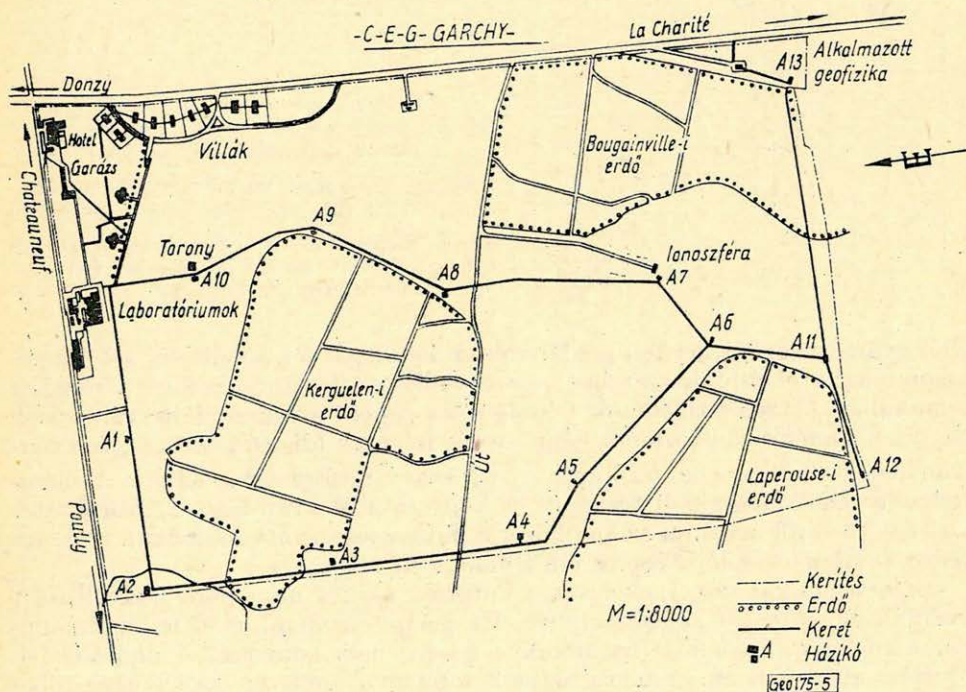
nevezzék Cagniardnak. Cagniard nagy elméleti tudása mellett igen praktikus gondolkodású ember és módszerének kidolgozásakor is elsősorban, vagy talán kizárólagosan is annak ipari alkalmazására gondolt. Több szabadalmat jelentett be erre nézve, az elvitől a gyakorlati megvalósítást biztosító műszerekig. Mint tudjuk, a magnetotellurikus módszer első eredményei csupán az ötvenes évek végén, de inkább a hatvanas évek elején jelentkeztek nemcsak általában a tudományos világban, hanem a módszer szülőhazájában, Franciaországban is. (Megjegyzem, hogy mi is Magyarországon szinte egyidőben kezdtünk kísérletezni, és konkrétan mérni). Jogosan vetődik fel a kérdés, hogy mi ennek a szinte egy évtizedes halogatásnak, lemaradásnak az oka? – A módszer mérőműszer nélkül használhatatlan. Amennyire rekonstruálni tudtam Cagniard munkatársainak elbeszéléséből, a magnetotellurika terepi alkalmazását elsősorban az hátráltatta, hogy Cagniard rossz műszerelképzeléssel próbálkozott. Kisfilmes regisztrálója (35 × 24 mm) a hangos filmek hangcsikjának technikáján alapszik. A film feketedése az elektromos, illetve mágneses tér változásának amplitúdójával arányos. Ugyanazon filmre veszi fel valamennyi komponenst. Összesen 8 csatornája van, tehát tartalékkal is rendelkezik. Regisztrálási sebessége 12 mm/perc. A műszert sokéves kísérletezés után alkalmatlannak minősítették a magnetotellurika céljaira.

A magnetotellurika ipari alkalmazhatóságát illetően ma Cagniard professzor mammut-intézetében, a Garchy-i Centre d'Études Géophysiquesben folynak a kísérletek. Mielőtt a szűkebb értelemben vett szakmai ismertetést folytatnám a rendelkezésemre bocsátott leírásból egy térképpel bemutatom ezt az intézményt (5. ábra). Erről fogalmat alkothatunk a méretekről.

Visszatérve a magnetotellurikára először műszertехnikai kérdésekről írok néhány szót.

Mágneses érzékelő rendszerként a felhasználási területnek (periódus-intervallum) megfelelően indukciós tekercseket és mágneses variométereket használnak. Külön érdeklődésre tarthat számot részünkről a mágneses variométer, amelyet M. Jolivet nevű kutató a magyar elképzelésnek is megfelelően folyadécsillapítással (immerziós), tehát rezgésmentesen, negatív visszacsatolással alakított ki. Fényelektromos átalakítója azonban, eltérően a mi fényellenállásainktól, differenciál-fényelem és így erősítőt is kénytelen használni a kívánt érzékenység elérésére. — A műszernek nagy a népszerűsége Franciaországban a normál obszervatóriumi földmágneses regisztrálásoknál is (pl. Schlich állomásai), bár hőmérsékletjárását illetően különböző vélemények alakultak ki szakkörökben.

Garchyban két MT-csoport dolgozik. Az egyik (Dupis, Benderitter) a nyersanyagkutatás számára érdekes alapközet feletti üledék kutatásával foglalkozik, a másik (J. Bureau) az UMP-nek megfelelően a napi elektromágneses tér változását próbálja hasznosítani. Feladataiknak megfelelően alakították ki mérő és feldolgozó műszereiket, berendezéseiket is.

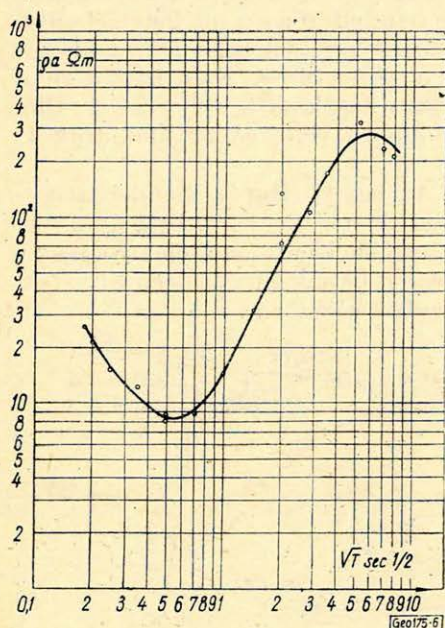


5. ábra. Cagniard intézetének helyrajza

Fig. 5. План расположения института Каньярд

Fig. 5. Lageplan des Instituts von Cagniard

Dupis, Benderitter készüléggel bocsátották rendelkezésemre legújabb kutatásukról készült jelentésüket, valamint egy jellegzetes szondázási görbéjüket (6. ábra). Az üledékes öszszlet felbontására felhasznált periódustartomány, amint az az *MT*-szondázási görbékből is látható,  $\sim 50 - 0,01$  Hz-ig terjed. Mágneses érzékelőjük (felvevőjük) ennek megfelelően indukciós tekercs (2 m hosszú,  $\varnothing$  3 cm, mumetal,  $R_p = 5000 \Omega$ ). Mind a tellurikus, mind a mágneses csatornák elemei az érzékelők után a következők: 50 Hz-es szűrő, egyenáramú kompenzátor, előerősítő, szélessávú szűrő, erősítő. Ezután 4 sávszűrőt (4–100 Hz, 4 sec–4 Hz, 60 sec–4 sec, 900 sec–60 sec) váltakozva kapcsolnak a felerősített jelet tartalmazó magnetofon és a regisztráló közé. A fényképen látható műszerfalat egyébként a nyugati tőkés államokban egy-egy műszerfaj-



6. ábra. Magnetotellurikus szondázási görbe Garchy környékéről 50–0,01 Hz tartományban (Dupis és Benderitter készítette)

Фиг. 6. Комплекс магнитотеллурической аппаратуры (без чувствительных элементов)

Fig. 6. Magnetotellurische-Sondierungskurve aus der Gegend von Garchy im Bereich von 50–0,01 Hz (entworfen von Dupis und Benderitter)

tából gyártott legkorszerűbb példányokból építették fel, tehát egy soknemzetiségű műszerrel állunk szemben. Ez egyébként általános szokás a nyugati technikában. A regisztrátumok feldolgozása egyedi szinuszosidális változások közvetlen kimérésével történik gépi adatfeldolgozás (digitális szűrés, frekvenciaanalízis,  $\rho(\sqrt{T})$  görbe számítása, mesterséges térforgatás) nélkül. A mérés eredményeként megrajzolt térképük a Loire és a Morvan-hegység közötti terület egy részéről megadja az alapkőzet domborzatát szintvonalakkal. (A Loire medre az alapkőzet lépcsőzetes elmélyülésében van).

Más technikát követnek azok a kutatók, akik a napi potenciálváltozást kívánják felhasználni *MTSZ* céljaira. Itt a napi harmonikus és felharmonikusainak meghatározásához (harmonikus analízishez) közvetlenül digitális jelrögzítést alkalmaznak. A térváltozásokat felvevő rendszer gépi lyukasztóberendezésre dolgozik. Van egy analóg direktíros kontrollműszerük is. Éppen saját vizsgálataink alapján kételkedem azonban a módszer hasznosságában. A *MTSZ* céljaira csak mágneses tevékenységtől mentes, nyugodt, ún. Q-napokon

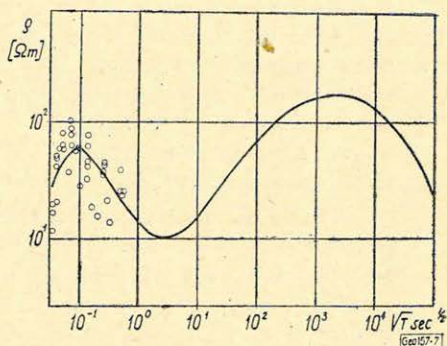
mért térváltozások ( $S_q$ ) használhatók fel, tehát valamennyi napi adat feldolgozása csak zavart kelt. Célszerűbb lenne a Schlich csoportjánál megismert és a regisztrátumok nyomónkövetésével digitalizáló rendszert felhasználni megfelelően válogatott napokra.

A *MTSZ*-i technika terén szólni kell Fournier „lysographjáról” is, amelyet Chambon la Forêt-ben tekintettem meg. Fournier 30 perc alatt készít ezzel a lényegében sokcsatornás szűrő és integráló (kondenzátoros), valamint oszcilloszkópos kijelző rendszerrel egy *MTSZ*-t, jelenleg 2 és 28 Hz között, amint ez a cikkéből bemutatott ábrán nagy körökkel van megjelölve (7. ábra). Az alkalmazott technika röviden a következő: Az összetartozó tellurikus és mágneses komponenszt felerősítik. Az erősítők kimenetén 16–16 csatornás analizátor van (2...28 Hz-ig). A kiszűrt jeleket kondenzátorral integrálják. Az integrálási idő változtatható 10 sec-től 10–20 percig. A 16 pár kondenzátort (tellurikus és mágneses komponensre) 10 sec alatt kisütik pl. egy kétsugaras oszcilloszkópra és lefényképezik. (Egy kisütés ideje tehát 10/16 sec). Kimérés után számítható az impedancia, illetve  $\rho$ . Ez a technika azonban ma még terepi használatra nincs kidolgozva és elég sok bonyodalmat okoz a műszer hitelesítése. — Az eljárás sokban hasonlít az *S*-intervallum részére általunk kidolgozott totális számlálóéhoz.

7. ábra. Fournier lysograph-jával kapott adatok a Chambon la Forêt-i *MTSZ*-görbén (nagy körök)

Фиг. 7. Кривая магнитотеллурического зондирования, полученная в районе Гарши в диапазоне частот 50–0,01 гц

Fig. 7. Angaben gewonnen mit dem Lysograph von Fournier an der magnetotellurischen Sondierungskurve von Chambon la Forêt (grosse Kreise)



Pár szót még az *ORSTOM*-ban látott 5 csatornás digitál analóg kis-filmes (35–24 mm) magnetotellurikus berendezésekről, amelyeket, mint említettem, a volt francia gyarmatok részére készítenek. 5 db Picard-rendszerű galvanométer szolgál az elektromos (tellurikus) és elektromos jellé alakított földmágneses térváltozások indikálására egy nagyméretű regisztráló berendezésben. A galvanométerek lengő rendszerük elfordulásakor egy filmen levő digitális jelrendszernek különböző részeit képezik le a kislemezre. Ugyanekkor analóg regisztrálás is történik tájékoztató jelleggel. Egy optikai rendszer az 5 csatorna adatait egyetlen kislemezre, egymás mellett rögzíti. A kislemezről elektronoptikai berendezéssel közvetlenül szalagra lyukaszthatók az adatok, tehát elektronikus számítógépbe táplálhatók be. — Ezzel a technikával lényegében sokkal korszerűbb szinten megvalósult Cagniard professzor kislemez *MT*-regisztrálási elképzelése.

Befejezésül csak annyit, hogy a Franciaországban látott tudományos-vezetés, technikai felkészültség, valamint az ezzel elért tudományos eredmények őszinte tiszteletet ébresztettek bennem a francia geofizikusok munkáját illetően, meg kell azonban jegyezni, hogy a magyar geofizikusok munkái nem maradnak el invenció tekintetében francia kollégáiké mögött: a különbség a francia ipari nagyhatalom technikai bázisának fejlettségéből adódik, amelyet mint az előadás ilyen vonatkozású részeiből leszűrhető, a francia geofizikusok szerencsésen használnak ki.

## Nyomdai kézirat elkészítésének előírásai

A Magyar Geofizika szerkesztősége csak az alábbi módon elkészített kéziratot fogadja el:

A kézirat A/4-es papíron (normál irodapapír) két példányban küldendő be. Ezek közül az egyik példány első gépelés legyen. (Indigóval készült másolatot a nyomda nem fogad el.) A papírlapon csak az egyik oldalra lehet gépelni 2-es sortávval. Egy-egy sorban 50 betűhely lehet. A bal margót az írógép 20-as beosztására kell állítani. Egy oldalon 25 sor gépelés lehet. A gépelt szövegben minden szükséges ékzetet fel kell tüntetni, amelyik nincs az írógépen, azt tollal utólag kell felrakni.

A táblázatokat külön lapra kell gépelni, helyüket a folyamatos szöveg baloldali margóján is fel kell tüntetni.

A rajzokat tussal kell megrajzolni pausz vagy fehér papíron. A különböző jelölések csak csikozással, pontozással oldhatók meg, színezett rajzok nem közhathatók. Csak kemény, kontrasztos fényképfelvételek fényes papírra készült másolatai alkalmasak a közlésre. Térképeken, szelvényrajzon a léptéket rajzos léptékben adjuk meg. Az ábrák aláírását, lábjegyzeteket külön lapra kell gépelni, sorrendjüknek megfelelően.

Minden rajzon, fényképen fel kell tüntetni az ábrák számát, valamint nyíllal meg kell jelölni a felső szélét.

A kéziratban a görög, gót betűket, matematikai ábrákat és képleteket rajzolt betűkkel (nem folyóírással) kell feltüntetni.

A cikkhez a lapban orosz, valamint német kivonatát közlünk. Kérjük a szerzőt, hogy ezek szövege röviden ismertesse a tanulmányt úgy, hogy az az összefoglalás alapján érthető legyen.

Amennyiben az idegen nyelvű összefoglalást a szerzőnek nem áll módjában a fenti két idegen nyelvben megadni, úgy kérjük annak fordításra alkalmas magyar nyelvű kivonatát 3 példányban.

A fordítás költségét, valamint a nem szabvány formában érkező kézirat gépelési költségét a szerzői díjából térítjük meg.

SZERKESZTŐSÉG

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Г. Фанзеллау</i> : Интерпретация глубинного геомагнитного зондирования .....	57
<i>П. Мартон — Э. М. Салаи</i> : Палеомагнитное исследование образцов венгерских базальтов .....	67
<i>Ф. Х. Вагнер</i> : Исследование магнитных свойств серпентинитов .....	77
<i>Х. Фольштедт</i> : Применение минералогических и рентгенооптических методов для изучения палеомагнитной устойчивости горных пород .....	86
<i>П. Эгерсези</i> : Критический обзор электроразведочных методов удельного сопротивления с различными установками электродов .....	92
<i>З. Барлаи</i> : Комплексное применение каротажных методов сопротивления при разведке на углеводороды .....	100
<i>Т. Бодоки — А. Мешко — И. Польц</i> : Исследование некоторых простых двумерных конфигураций группирования сейсмоприемников .....	111
<i>А. Адам</i> : Исследования по изучению электромагнитного поля Земли во Франции .....	116

## INHALTSVERZEICHNIS

<i>G. Fanselau</i> : Zur Interpretation der Ergebnisse geomagnetischer Tiefensondierungen .....	57
<i>P. Márton — E. M. Szalay</i> : Paleomagnetische Untersuchungen an einheimischen Basalten .....	67
<i>F. Ch. Wagner</i> : Gesteinsmagnetische Untersuchungen an Serpentiniten .....	77
<i>H. Vollstädt</i> : Anwendung mineralogischer und röntgenoptischer Verfahren zur Klärung der paleomagnetischen Stabilität von Gesteinen .....	86
<i>P. Egerszegi</i> : Eine kritische Untersuchung von geoelektrischen Messmethoden des spezifischen Widerstands im Falle verschiedener Messanordnungen .....	92
<i>Z. Barlai</i> : Kombinatorische Anwendung der Widerstands-Bohrlochmessung in der Kohlenwasserstoff Erkundung .....	100
<i>T. Bodoky — A. Meskó — I. Polcz</i> : Untersuchung einiger einfachen Zweidimensions-Geophongruppen .....	111
<i>A. Ádám</i> : Untersuchungen des Elektromagnetischen Erdfeldes in Frankreich .....	116

