

Hobol Joz

MAGYAR

# Geofizika



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA  
BUDAPEST, 1976. XVII. ÉVFOLYAM, 2. SZÁM

TARTALOMJEGYZÉK

|  |            |
|--|------------|
| <i>Baráth István</i> : Az alacsony-frekvenciás indukciós karottázs módszertani kérdései . . . . .                                  | 45         |
| <i>Tóth Péter</i> : Nemzetközi Magnetoszféra-kutatási Évek (IMS 1976–78) . . . . .   | 62         |
| <i>V. D. Zavjalov</i> : Kísérleti vizsgálatok a szeizmikus holográfia terén . . . . .  | 67         |
| <i>A Szerkesztőség és Markó László hozzászólásai</i> : Néhány szó a porózus kőzetek fajlagos ellenállásának változásáról . . . . . | 78         |
| Könyvzemle . . . . .   | 44, 61, 66 |
| Egyesületi Hírek . . . . .   | 1, 77      |

MAGYAR GEOFIZIKA

Szerkesztésért felelős: Dr. Sebestyén Károly

Szerkesztőség címe: 1368 Budapest VI., Anker köz 1. Telefon: 429-754

Kiadja a Lapkiadó Vállalat, 1073 Budapest, Lenin körút 9–11. Telefon: 221-285. Levélcím: 1906 Budapest Pf. 223

Felelős kiadó: Siklósi Norbert igazgató

76.390. Állami Nyomda, Budapest. Felelős vezető: Boskovitz A. Gyula

Terjeszti: MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

Megjelenik évente hatszor

Egyesületi tagoknak tagdíj ellenében

# Az alacsony-frekvenciás indukciós karottázs módszertani kérdései\*

BARÁTH ISTVÁN\*\*

A cikk ismerteti az alacsony-frekvenciás indukciós karottázs néhány sajátosságát és helyét az indukciós karottázs elméletében.

Bemutatja a soktekercses fókuszált vezetőképesség-szelvényezőők tekercsrendszereinek rendszerbe sorolását és tervezését.

A kisszámítógépre kidolgozott programrendszer segítségével kapott tetszőleges tekercs elrendeződés megoldásainak eredményét görbesereg formában mutatják be és elemzik.

A számított adatok alapján lehetőség nyílik a legmegbízhatóbb tekercsrendszer kiválasztására és egyéb – itt nem ismertelt – kritériumok alapján biztosítható a jó fókuszált vezetőképesség-szelvényező berendezés létrehozása.

В работе излагаются некоторые особенности низкочастотного индукционного каротажа и его место в теории индукционного каротажа.

Представляются классификация и проектирование систем катушек многокатушечных фокусированных приборов для измерения проводимости.

В работе приводятся в виде семейства кривых и анализируются результаты решений любой конфигурации катушек, полученные с помощью разработанной для малогабаритной ЭВМ программной системы.

Расчетные данные позволяют выбрать самую надежную систему катушек, и на основе остальных здесь не излагаемых критериев обеспечивают создание хорошего фокусированного прибора для измерения проводимости.

Discussed are in the paper several peculiarities of low frequency induction logging and the place taken by it in the theory of induction logging.

Classification and designing of coil systems in multi-coiled focussed devices for conductivity logging are also presented.

Results of solutions for any coil configuration obtained by the aid of a program system compiled for a small computer are presented and analysed in the form of a set of curves.

The calculated data permit to choose the most reliable coil system and on the basis of other criteria not being discussed here the construction of a good focussed device of conductivity logging can be ensured.

Az elektromágneses teret az alábbi differenciálegyenlet-rendszer határozza meg:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} H &= j + \frac{\partial D}{\partial t}, \\ \operatorname{rot} E &= -\frac{\partial B}{\partial t}, \\ \operatorname{div} B &= 0, \\ \operatorname{div} D &= c. \end{aligned} \quad (1)$$

Az egyenletrendszer első egyenlete azt mutatja, hogy a vezetőképességi áram ( $j$  sűrűséggel) és az elmozdulási áram  $\left(\frac{\partial D}{\partial t}\right)$  a mágneses térben örvény-

\* Elhangzott a Mélyfúrás Geofizikai Szakosztály 1975 dec. 18-i ülésén.

\*\* M. Áll. E. L. Geofizikai Intézet

léshez vezet ( $rotH$ ). Ugyanakkor az áramvonalak zárt voltára is utal az egyenlet.

A második egyenlet azt mutatja, hogy a mágneses indukció időbeli változása az elektromos tér örvénylését hozza létre ( $rotE$ ).

A harmadik egyenlet megerősíti a mágneses tér erővonalának zártságát.

A negyedik egyenlet meghatározott kapcsolatra utal a  $D$  elektromos indukció és az elektromos töltések „ $c$ ” térfogati sűrűsége között és az elektromos tér forrásának jelenlétére utal.

Hogy az első egyenlet valóban mutatja az áramvonalak zártságát, arról meggyőződhetünk, ha az egyenlet mindkét oldalának divergenciáját vesszük:

$$\operatorname{div} \left( \frac{\partial D}{\partial t} + j \right) = 0, \quad (2)$$

mivel  $\operatorname{div} rot$  nullával egyenlő.

Az (1) egyenletrendszerben található elektromágneses térösszetevők egymással az alábbi kapcsolatban vannak:

$$j = \sigma E, \quad (3)$$

$$D = \varepsilon_a E = \varepsilon_0 \varepsilon E, \quad (4)$$

$$B = \mu_a H = \mu_0 \cdot \mu H, \quad (5)$$

ahol

$\varepsilon_a, \mu_a$  – annak a közegnek az elektromágneses tulajdonságát jellemzik, amelyben az elektromágneses hullám terjed,

$\sigma$  – vezetőképesség,

$\varepsilon_a$  – abszolút dielektromos áteresztőképesség,

$\mu_a$  – abszolút mágneses áteresztőképesség,

$\mu_0$  és  $\varepsilon_0$  – mágneses, illetve elektromos állandók,

$\mu$  és  $\varepsilon$  – relatív mágneses, illetve dielektromos áteresztőképesség.

Az (1) egyenletrendszer a (3), (4), (5) felhasználásával így írható:

$$\operatorname{rot} H = \sigma E + \varepsilon_a \cdot \frac{\partial E}{\partial t},$$

$$\operatorname{rot} E = -\mu_a \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (6)$$

$$\operatorname{div} H = 0,$$

$$\operatorname{div} E = \frac{c}{\varepsilon_a}.$$

Ha figyelembe vesszük, hogy az alacsony-frekvenciás indukciós karottázásban ( $f \leq 16 \text{ kHz}$ ) „ $f$ ” frekvenciájú harmonikusan változó elektromágneses térrel van dolgunk, akkor, mivel annak összetevői időben az  $x = X \cdot e^{-i\omega t}$  törvény szerint változnak, a (6) egyenletrendszer átírható a következőképpen:

$$\operatorname{rot} H = \sigma E - i\omega \varepsilon_a E,$$

$$\operatorname{rot} E = i\omega \mu_a H,$$

$$\operatorname{div} H = 0, \quad (7)$$

$$\operatorname{div} E = \frac{c}{\epsilon_a}.$$

Megjegyezzük, hogy az alacsony-frekvenciás indukciós karottázsban használt frekvencián, s a kőzeteknél a gyakorlatban tapasztalt  $\epsilon_a$  és  $\sigma$  értékeknél a töltések „ $c$ ” térfogati sűrűsége gyakorlatilag azonnal eltűnik. Ezért azokban a pontokban, ahol a vizsgált közegben az áramforrás hiányzik, a fenti feltételeknek megfelelően a (7) egyenletrendszer utolsó tagjára felírható:

$$\operatorname{div} E = 0. \quad (8)$$

A fentiekből kiindulva az elmozdulási áramok is elhanyagolhatók, s így egy kvázistacionárius harmonikusan változó elektromágneses teret kell vizsgálnunk.

Ezután a (7) egyenletrendszer átírható így:

$$\operatorname{rot} \bar{H} = \sigma \bar{E}, \quad (9)$$

$$\operatorname{rot} \bar{E} = -i \omega \mu \bar{H}.$$

Az elektromos tér tanulmányozásához célszerű olyan függvényt kiválasztani, amely az elektromágneses tér mindkét jellemzőjével ( $\bar{H}$  és  $\bar{E}$ ) kapcsolatba hozható. Ez a Herz-féle mágneses vektor-potenciál ( $\bar{P}$ ).

Ennek felhasználásával:

$$\bar{H} = \operatorname{rot} \operatorname{rot} \bar{P} = \nabla^2 \bar{P} = \Delta \bar{P}, \quad (10)$$

$$\bar{E} = -i \mu \omega \operatorname{rot} \bar{P} = -i \mu \omega \nabla \bar{P}.$$

A Herz-féle vektor-potenciál komponenseit a hullámegyenletből (Helmholz) felírhatjuk:

$$\begin{aligned} \Delta \bar{E} + k^2 \bar{E} &= 0, \\ \Delta \bar{H} + k^2 \bar{H} &= 0, \end{aligned} \quad (11)$$

illetve

$$\Delta \bar{P} + k^2 \bar{P} = 0,$$

a hullámegyenlet, ahol  $k$  – a közeg hullámszáma,  $k^2 = i \mu \omega \sigma$ ,

$$k = \sqrt{\frac{\mu \omega \sigma}{2}} (1 + i) = \frac{1 + i}{\delta}, \quad (12)$$

ahol  $\delta$  – a skin-réteg vastagsága és egyenlő:  $\sqrt{\frac{2}{\mu \omega \sigma}}$ -val.

A „ $\sigma$ ” skin-mélység az a „ $m$ ”-ben kifejezett távolság, amely alatt a rétegbe került elektromágneses hullámok csillapodása az elnyelődés következtében nem túl nagy, ( $1/e$ -ed részére csökken).

Az előzőekben vázolt határfeltételeknek megfelelően keressük a hullámegyenlet megoldását, ha az indukciós kététkerces szonda (ez adó- és vevőből áll!) adóját egy  $M_A$  momentumú mágneses dipol-lal helyettesítjük:

$$M_A = n_A \cdot s_A \cdot I_0 e^{i\omega t}.$$

Ha a szférikus koordináta rendszerben  $(R, \Theta, \varphi)$  a  $Z$  poláris tengelyt a szonda tengelyével azonosítjuk, akkor a dipol mágneses momentuma a  $Z$  tengely irányában hat. Így a vektor-potenciál csak  $P_Z$  összetevővel fog rendelkezni.

$$P_Z = \frac{M_A}{4\pi} \cdot \frac{e^{ikR}}{R} = \frac{n_A \cdot s_A \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{e^{ikR}}{R}. \quad (13)$$

A dipol elektromos tere csak azimutális komponenssel  $(E_\varphi)$  rendelkezik. Mivel  $\text{rot}P = -\frac{\partial P_Z}{\partial r}$ , azért a (10) és (13)-nak megfelelően:

$$E_\varphi = i \mu \omega \frac{n_A \cdot s_A \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{e^{ikR} (1 - ikR)}{R^2} \cdot \sin \Theta. \quad (14)$$

A vevőben indukált feszültséget:  $E_{\text{ind}}$  megkapjuk, ha az  $E_\varphi$ -t integráljuk a tekercs kontúrja szerint:

$$E_{\text{ind}} = \oint E_\varphi dl = i \frac{\mu \omega s_A \cdot n_A \cdot s_V \cdot n_V \cdot I}{2\pi L^3} \cdot e^{ikL} (1 - ikL), \quad (15)$$

ahol  $L$  – a szondahossz ( $L \approx R$ ),

$s_A, s_V$  – az adó, ill. vevő területe,

$n_A, n_V$  – az adó, ill. vevő menetszáma.

A (12) felhasználásával írhatjuk, hogy:

$$\begin{aligned} E_{\text{ind}} &= i \frac{\mu \omega s_A \cdot s_V \cdot n_A \cdot n_V \cdot I}{2\pi L^3} e^{iL(1+i)/\delta} \cdot \left[ 1 - i \left( \frac{i+1}{\delta} \right) \cdot L \right] = \\ &= i \frac{\mu \omega s_A \cdot s_V \cdot n_A \cdot n_V \cdot I}{2\pi L^3} \cdot F \left( \frac{L}{\delta} \right), \end{aligned} \quad (16)$$

ahol:

$$F \left( \frac{L}{\delta} \right) = e^{(i-1) \frac{L}{\delta}} \cdot \left[ 1 - (i-1) \frac{L}{\delta} \right].$$

Használjuk az Euler-féle formulát, akkor a reális és imaginárius összetevőre felírhatjuk:

$$\text{Re } F \left( \frac{L}{\delta} \right) = e^{-\frac{L}{\delta}} \cdot \left[ \left( 1 + \frac{L}{\delta} \right) \cos \frac{L}{\delta} + \frac{L}{\delta} \sin \frac{L}{\delta} \right], \quad (17)$$

$$\text{Im } F \left( \frac{L}{\delta} \right) = e^{-\frac{L}{\delta}} \cdot \left[ \left( 1 + \frac{L}{\delta} \right) \sin \frac{L}{\delta} - \frac{L}{\delta} \cos \frac{L}{\delta} \right]. \quad (18)$$

Ha a (15)-be  $\sigma = 0$ -t írunk, akkor

$$E_{\sigma=0} = E_d = i \frac{\mu \omega s_A \cdot s_V \cdot n_A \cdot n_V \cdot I}{2\pi L^3} \quad (19)$$

ahol  $E_d$  – a direkt tér elektromotoros ereje.

A mérőtekercsben indukált feszültséget két összetevőre bontva a fentiek felhasználásával kapjuk:

$$E_s^{\text{akt}} = E_d \cdot \text{Im} F \left( \frac{L}{\delta} \right), \quad (20)$$

$$E_s^{\text{reakt}} = E_d \cdot \text{Re} F \left( \frac{L}{\delta} \right). \quad (21)$$

$E_s^{\text{akt}}$ : a generátor-tekercs áramával fázisban megegyezik.

$E_s^{\text{reakt}}$  a generátor áramához képest  $90^\circ$ -os fázis-eltolásban van.

*A reaktív összetevők vizsgálata:*

A (17) és (21) képletek szerint felírható az alábbi képletsor a hattekerces szondák lehetséges tekerespárjaira:

$$\text{I.} \quad E_{s,AV}^{\text{reakt}} = E_d \cdot \text{Re} \left( \frac{L}{\delta} \right) = E_d \cdot e^{-p} \cdot [(1+p) \cos p + p \sin p] \quad (22)$$

$$\text{ha} \quad \frac{L}{\delta} = p$$

$$\begin{aligned} \text{II.} \quad E_{s,AVF_1}^{\text{reakt}} &= E_d \cdot \text{Re} (q_1 p) = \\ &= E_d \cdot e^{-q_1 p} \cdot [(1+q_1 p) \cos q_1 p + q_1 p \sin q_1 p] \cdot \frac{C_1}{q_1^3}, \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \text{III.} \quad E_{s,AVF_2}^{\text{reakt}} &= E_d \cdot \text{Re} (q_2 p) = \\ &= E_d \cdot e^{-q_2 p} \cdot [(1+q_2 p) \cos q_2 p + q_2 p \sin q_2 p] \cdot \frac{C_2}{q_2^3}, \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \text{IV.} \quad E_{s,AF_1V}^{\text{reakt}} &= E_d \cdot \text{Re} (q_1 p) = \\ &= E_d \cdot e^{-q_1 p} \cdot [(1+q_1 p) \cos q_1 p + q_1 p \sin q_1 p] \cdot \frac{C_3}{q_1^3}, \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \text{V.} \quad E_{s,AF_1VF_1}^{\text{reakt}} &= E_d \cdot \text{Re} [(2q_1 - 1) p] = \\ &= E_d \cdot e^{-(2q_1-1)p} \{ [1 + (2q_1 - 1) p] \cos (2q_1 - 1) p + (2q_1 - 1) p \sin (2q_1 - 1) p \} \cdot \\ &\quad \cdot \frac{C_1 \cdot C_3}{(2q_1 - 1)^3}, \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \text{VI.} \quad E_{s,AF_1VF_2}^{\text{reakt}} &= E_d \cdot \text{Re} [(1 - q_1 + q_2) p] = E_d \cdot e^{-(1-q_1+q_2)p} \cdot \\ &\cdot \{ [1 + (1 - q_1 + q_2) p] \cos (1 - q_1 + q_2) p + (1 - q_1 + q_2) p \sin (1 - q_1 + q_2) p \} \cdot \\ &\quad \cdot \frac{C_2 \cdot C_3}{(1 - q_1 + q_2)^3}, \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \text{VII.} \quad E_{s,AF_2V}^{\text{reakt}} &= E_d \cdot \text{Re} (q_2 p) = \\ &= E_d \cdot e^{-q_2 p} \cdot [(1+q_2 p) \cos q_2 p + q_2 p \sin q_2 p] \cdot \frac{C_4}{q_2^3}, \end{aligned} \quad (28)$$

$$\text{VIII. } E_{s, AF_2 VF_1}^{\text{reakt}} = E_d \cdot \text{Re} [(1 - q_1 + q_2) p] = E_d \cdot e^{-(1 - q_1 + q_2) p} \cdot \{ [1 + (1 - q_1 + q_2) p \cos (1 - q_1 + q_2) p + (1 - q_1 + q_2) p \sin (1 - q_1 + q_2) p] \cdot \frac{C_1 \cdot C_4}{(1 - q_1 + 2q_2)^3} \}, \quad (29)$$

$$\text{IX. } E_{s, AF_2 VF_2}^{\text{reakt}} = E_d \cdot \text{Re} [(1 + 2q_2) p] = E_d \cdot e^{-(1 + 2q_2) p} \cdot \{ [1 + (1 + 2q_2) p \cos (1 + 2q_2) p + (1 + 2q_2) p \sin (1 + 2q_2) p] \cdot \frac{C_2 \cdot C_4}{(1 + 2q_2)^3} \}. \quad (30)$$

Könnyű belátni, hogy  $p < 0,7$  (esetünkben  $p < 0,3$ ;  $f = 4 \text{ kHz}$ ) pl. a későbbiekben definiált III. variánsra:

$$E_s^{\text{reakt}} = E_d \left( 1 - \frac{C_1}{q_1^3} - \frac{C_2}{q_2^3} - \frac{C_3}{q_1^3} + \frac{C_1 \cdot C_3}{(2q_1 - 1)^3} + \frac{C_2 \cdot C_4}{(1 - q_1 + q_2)^3} - \frac{C_4}{q_2^3} + \frac{C_1 \cdot C_4}{(1 - q_1 + q_2)^3} + \frac{C_2 \cdot C_4}{(1 + 2q_2)^3} \right) = 0. \quad (31)$$

Az  $E_d$ -t tehát kompenzálni lehet, ha

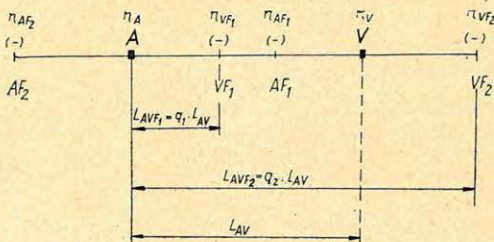
$$\sum \left( 1 \pm \frac{C_i}{q_k^3} \right) = 0. \quad (32)$$

A  $\sum_{i,k} E_{s, A_i V_k}^{\text{reakt}} = 0$  szolgál az indukciós rendszerek tervezésénél alapkritériumul.

### 6FV100 típusú soktekerces indukciós rendszerek

#### I. variáns

Az I. variánst az alábbi rajz szerinti tekercselrendezés jellemzi:



I. Variáns

Néhány jelölés:

- A — adó (generátortekercs),
- V — vevő (mérőtekercs),
- F — a fókuszáló tekercs,
- indexek — 1 belső fókuszálót,
- 2 külső fókuszálót jelez,

- $L_{A, V}$  – a főtekerespár hossza, amit a továbbiakban szondahossznak nevezünk,  
*jel* – az indukált feszültség előjelét úgy választjuk meg, hogy a főtekerespár jele „+”,  
 $q$  – a normalizált hossz adat,  
 $C$  – a normalizált menetszám adat,  
 $n$  – az index szerinti tekercs menetszáma,  
 $6FV\ 100$  – hattekerceses fókuszált vezetőképesség-szelvényező rendszer  $100\text{ cm}$ -es főtekeres távolsággal ( $L_{A, V} = 100\text{ cm}$ )  
 $6FV\ 40$  – hattekerceses fókuszált vezetőképesség-szelvényező rendszer  $40\text{ cm}$ -es főtekeres távolsággal ( $L_{A, V} = 40\text{ cm}$ ).

Ha az *I.* variáns lehetséges megoldásait keressük, akkor teljesülni kell az *I.* kritériumnak, azaz  $E_s^{\text{reakt}} = 0$ .

Ekkor a (32) egyenlet az *I.* variánusra:

$$1 - \frac{C_1 + C_3}{q_1^3} - \frac{C_2 + C_4}{q_2^3} + \frac{C_1 \cdot C_3}{(1 - 2q_1)^3} + \frac{C_1 \cdot C_4 + C_2 \cdot C_3}{(q_1 + q_2 - 1)^3} + \frac{C_2 \cdot C_4}{(2q_2 - 1)^3} = 0. \quad (33)$$

A 2. kritérium a szimmetria-feltétel:

Legyen

$$\frac{n_A \cdot n_{VF1}}{n_A \cdot n_V} = \frac{n_{AF1} \cdot n_V}{n_A \cdot n_V}, \quad \text{azaz } C_1 = C_3$$

és

$$\frac{n_A \cdot n_{VF2}}{n_A \cdot n_V} = \frac{n_{AF1} \cdot n_V}{n_A \cdot n_V}, \quad \text{azaz } C_2 = C_4,$$

valamint

$$\frac{n_{AF2} \cdot n_{VF1}}{n_A \cdot n_V} = \frac{n_{AF1} \cdot n_{VF2}}{n_A \cdot n_V}, \quad \text{azaz } C_1 \cdot C_4 = C_2 \cdot C_3,$$

A szimmetria-feltétel, valamint a normalizált hossz adatok figyelembevételével az általános megoldások:

$$\text{I.A.0 } 0,2963 C_2^2 + (7,2827 C_1 - 1,0240) C_2 + 125 C_1^2 - 31,2500 C_1 + 1 = 0 \quad (34)$$

$$\text{I.B.1 } 0,2441 C_2^2 + (5,8309 C_1 - 0,9103) C_2 + 125 C_1^2 - 31,2500 C_1 + 1 = 0 \quad (35)$$

$$\text{I.B.2 } 0,2035 C_2^2 + (4,7407 C_1 - 0,8129) C_2 + 125 C_1^2 - 31,2500 C_1 + 1 = 0 \quad (36)$$

$$\text{I.B.3 } 0,1715 C_2^2 + (3,9063 C_1 - 0,7289) C_2 + 125 C_1^2 - 31,2500 C_1 + 1 = 0 \quad (37)$$

$$\text{I.B.4 } 0,1458 C_2^2 + (3,2567 C_1 - 0,6560) C_2 + 125 C_1^2 - 31,2500 C_1 + 1 = 0 \quad (38)$$

$$\text{I.B.5 } 0,1250 C_2^2 + (2,7435 C_1 - 0,5926) C_2 + 125 C_1^2 - 31,2500 C_1 + 1 = 0 \quad (39)$$

$$\text{I.C.0 } 0,2963 C_2^2 + (21,9479 C_1 - 1,0240) C_2 + 15,6250 C_1^2 - 250 C_1 + 1 = 0 \quad (40)$$

$$\text{I.C.5 } 0,1250 C_2^2 + (5,8309 C_1 - 0,5926) C_2 + 15,6250 C_1^2 - 250 C_1 + 1 = 0 \quad (41)$$

A (34–41) egyenletek  $L_{A, V} = 1\text{ m}$  főtekeres távolságú szondákra vonatkoznak.

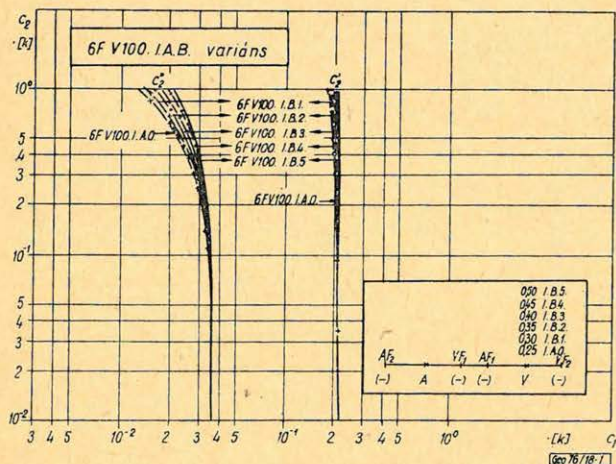
Az *A* típusú egyenletnél az ELGI korábbi fejlesztésű indukciós szondájának normalizált hossz adatait helyettesítettük be.

A *B* típusú egyenleteknél a külső fókuszálókat meghatározott léptékben távolítjuk a főtokercektől.

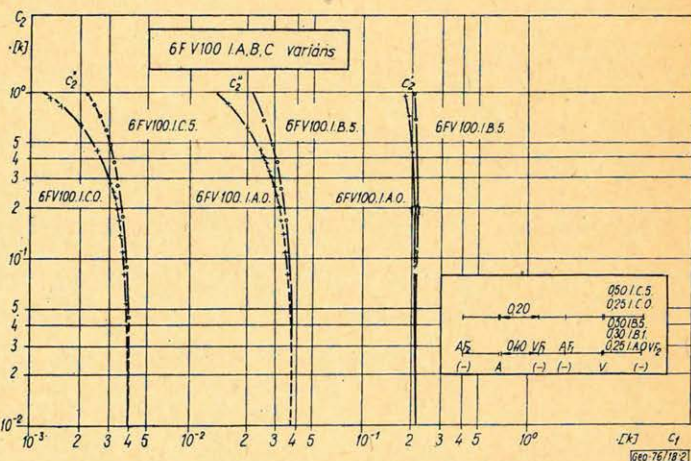
A *C* típusú egyenletnél a belső fókuszálókat közelítjük a főtokercekhez, miközben a külső fókuszálók az *I.A.0* és *I.B.5* helyzetnek megfelelő helyet foglalják el.

A (34)–(41) típusú egyenletek megoldását a *BIKA-IV* azonosítású *HP-65-re* írt program adja. A program közlésétől eltekintünk.

A nagyszámú megoldást táblázatba foglaltuk, illetve a szemléletesség céljából grafikusan ábrázoltuk. Ez utóbbit közli e tanulmány és ezeket elemezzük a továbbiakban. A *6FV100 I.A.0* és *6FV100 I.B.* típusú indukciós szondák lehetséges normalizált menetszám-kapcsolatait az 1. ábra, a *6FV100 I.C.* kódú szondáknál a 2. ábra mutatja.



1. ábra – Puc – Fig.



2. ábra – Puc. – Fig.

Következtetések:

1. A lehetséges és reálisan számításba jöhető megoldások, azaz az összetartozó  $C_1(C_3) = f(C_2, C_4)$  normalizált menetszám-koefficiensek két egymástól elkülönülő sávot alkotnak.

2. A  $C_1, C_3$  és  $C_2, C_4$  közötti kapcsolat (1. ábra) minden esetben olyan, hogy a  $C_1, C_3$  igen kicsiny megváltozása a  $C_2, C_4$  igen nagy változását (nagyságrendit) vonja maga után.

Ez a tekercsrendszer gyakorlati kivitelezésénél, ahol tized- (sőt negyed- vagy fél-) menetet természetesen nem csévélhetünk, igen komoly problémát jelent.

Stabil tekercsrendszert nehéz, vagy egyáltalán nem lehet készíteni, mivel a (32) egyenletnek eleget tenni problémát jelent.

3. A belső fókuszálók közelítése a főtekersekhez (2. ábra) a két görbesereg (mező) balra tolódásához, azaz a fókuszálás mértékének csökkentéséhez, majd jobboldali mező ( $C'_2, C'_4$ ) eltűnéséhez vezet.

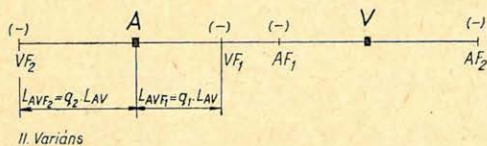
Az  $A, VF_1$  közötti távolság felére csökkentésével  $\left( L'_{A, VF_1} = \frac{L_{A, VF_1}}{2} \right)$  a

$C''_2$  görbesereghez tartozó  $C_1, C_3$  értékek nagyságrenddel csökkennek, s így ezek az értékpárok kiesnek a szondatervezésnél gyakorlatilag számításba jöhető menetszám-értékek tartományából.

4. A jelenleg rendelkezésünkre álló technológiai és technikai lehetőségek mellett az *I.* variánsba tartozó megoldások realizálásával nem célszerű foglalkozni.

## II. variáns

A II. variánshoz tartozó szondák tekercsrendszere a következő:



Az ilyen elrendezésű szondákra a számítást a korábbiakban ismertetett módon (*I. variáns*) végeztük el. Az eredményt a 3. és 4. ábrák mutatják be.

A 6FV100II.A, 6FV100II.B és 6FV100II.C kódú szonda-sorozatok jelene azonos az *I.* variánsnál ismertetettekkel.

### Következtetések:

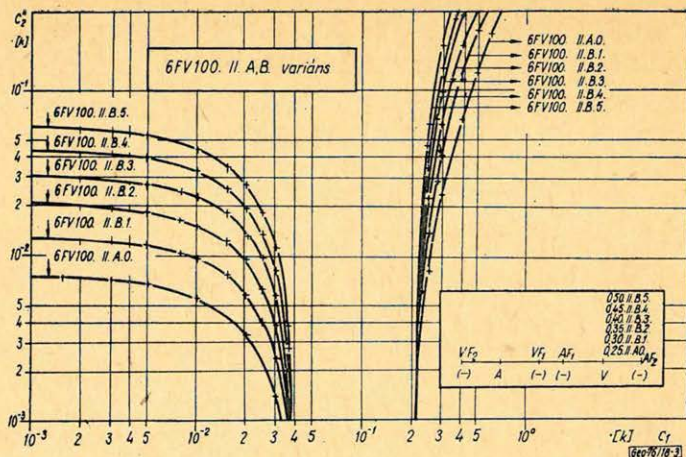
1. A lehetséges gyakorlati megoldások a 3. ábrán láthatóan két mezőre oszlanak.

2. A jobboldali mezőbe eső összetartozó  $C_1, C_3$  és  $C_2, C_4$  normalizált menetszámértékek közötti kapcsolat olyan, hogy rendkívül nehéz – az *I.* variánsnál említettek miatt – stabil tekercsrendszert készíteni.

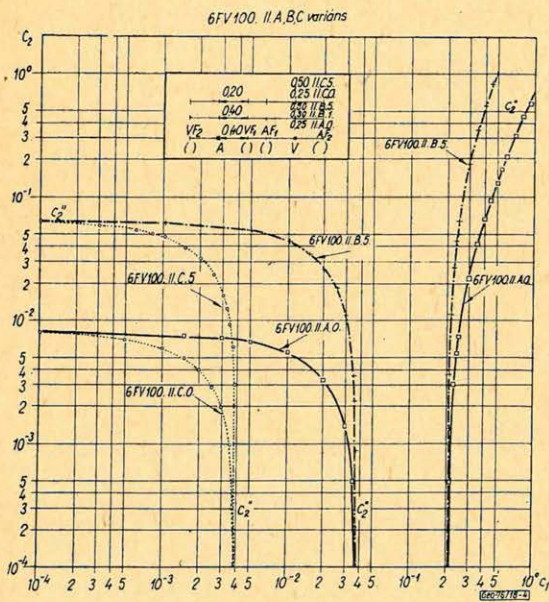
Kedvezőtlen továbbá, hogy erős belső fókuszálás mellett – ami szakmailag nem indokolt – sem biztosítható a szükséges külső fókuszálás, tehát az ágyazó közet hatásának megfelelő mérséklése.

3. A külső fókuszálók főtekersektől való eltávolodása a jobboldali görbesereg meredekebbé válásához vezet, s így tovább romlanak a stabilitás feltételei.

4. A  $C_1, C_3 \geq 0,3$  értékre az alacsony frekvenciás indukciós karotázásban nincs gyakorlatban használható megoldás.



3. ábra - Puc. - Fig.



4. ábra - Puc. - Fig.

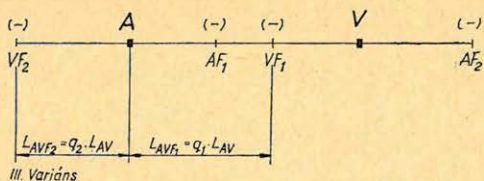
5. A baloldali görbecsoport teljes mezeje gyengén fókuszált szonda-rendszerekhez vezet, s az összetartozó  $C_1$ ,  $C_3$  és  $C_2$ ,  $C_4$  értékek nem elegendők a fűróiszap, elárasztott zóna és az ágyazó kőzetek hatásának figyelembevételére.

6. A külső fókuszálók eltávolodása a főtekercesektől a baloldali görbék megemelkedését hozza, de a  $6FV100II.B4$  feletti értékeknél is, ahol az ágyazó kőzetek hatását megfelelően vehetjük figyelembe, gyakorlatilag négy tekercses szondát kapunk, mivel  $C_1, C_3 < 0,005$ .

7. A belső fókuszálók közelítése a főtekercesekhez azt eredményezi, hogy a jobboldali görbesereg eltűnik, a baloldali nagyságrenddel balra tolódik, s így olyan összetartozó normalizált menetszámértékeket kapunk, amelyek gyakorlati megoldásként nem jöhetnek számításba (4. ábra,  $6FV100II.C$  kódú megoldások).

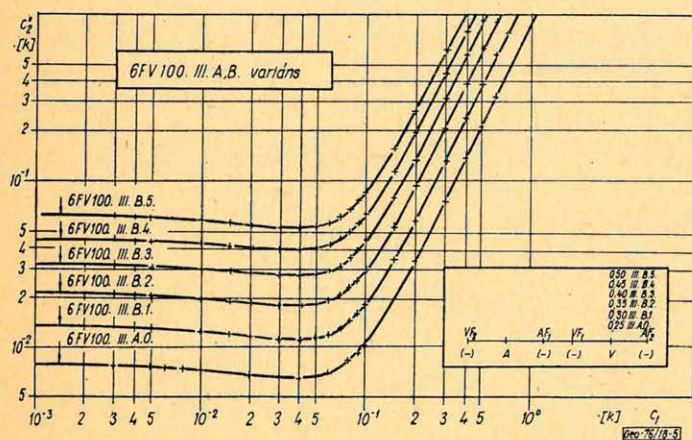
### III. variáns

A III. variánshoz az alábbi tekercselrendeződés tartozik:



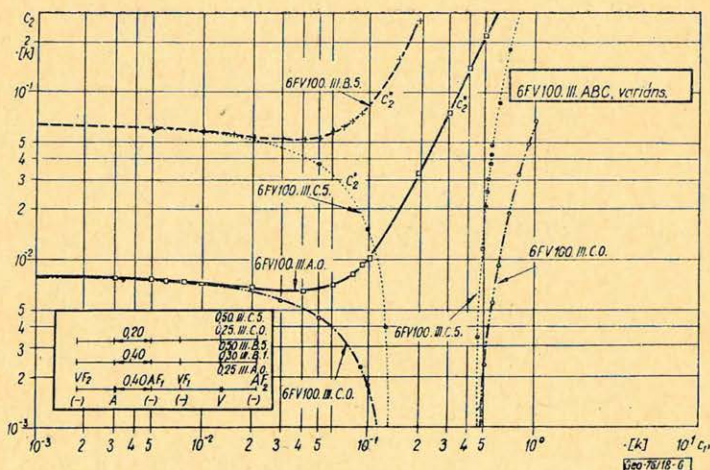
A lehetséges megoldások számítását az I. variánsnál ismertetett módon végeztük el. Az eredményt az 5. és 6. ábrák mutatják be.

Az A, B, C kódú szonda-sorozatokat az I. variánsnál leírt módon értendők.



5. ábra - Puc. - Fig.

6. ábra - Puc. - Fig.



**Következtetések:**

1. A lehetséges megoldások egy görbecsoportot alkotnak.
2. A görbecsoport jellege olyan, hogy kedvező feltételeket kínál stabil tekercs-rendszer létrehozásához. A  $0,05 \leq C_1, C_3 \leq 0,25$  és  $C_2 > 0,05$  értékek halmaza áll rendelkezésre stabil szondakonstrukciók kialakítására.
3.  $C_1, C_3 < 0,05$  alatt gyengén fókuszált rendszerek vannak, ugyanakkor a  $6FV100III.B.3$  alatti mező gyakorlatilag egyáltalán nem jöhet számításba hattekereses megoldásként.

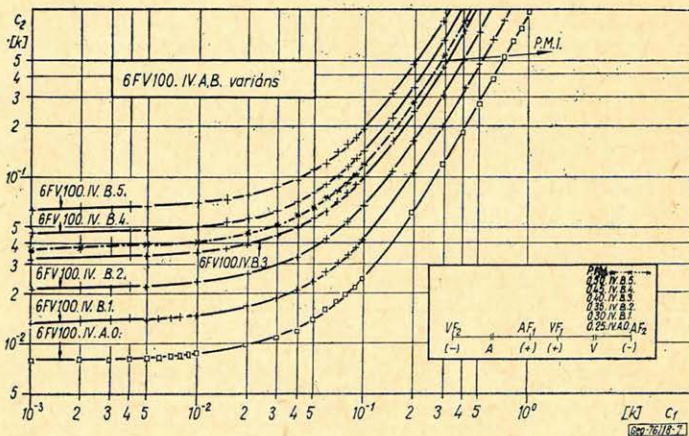
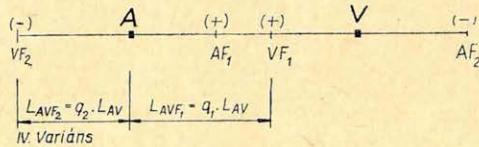
4. Az erősen fókuszált tartomány a  $C_1 > 0,25$  és  $6FV100III.B.1.$  feletti mező az alacsony frekvenciás indukciós karotázásban nem ad gyakorlati megoldást.

5. A belső fókuszálók közelítése a főtekercesekhez (pl.  $\overline{AF_1}, \overline{A} = \frac{AF_1, A}{2}$  esetén) a görbesereg két csoportossá válásához vezet, s a  $6FV100II.$  variáns görbecsoportok jellege kerül vissza.

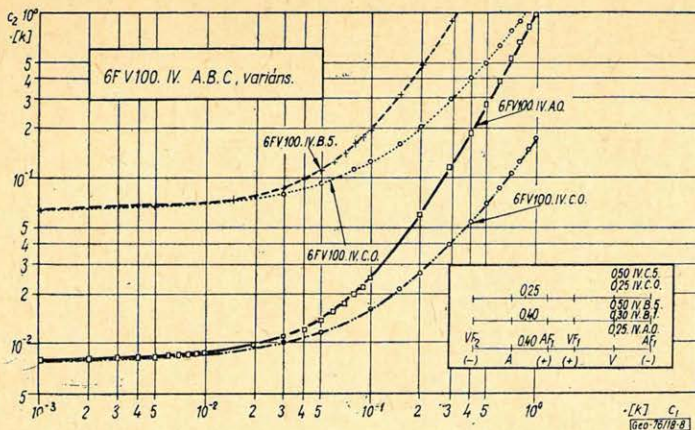
A belső fókuszálók főtekercesekhez való közelítésével újabb, kedvezőbb feltételű megoldásokat nem kapunk, sőt megvalósításuk esetén a *II.* variánsnál említett stabilitási problémákkal kellene megküzdeni (6. ábra,  $6FV100III.C$  kódú variációk).

*IV. variáns*

A *IV.* variánshoz tartozó szondák tekercsrendszere a következő:



7. ábra - Puc. - Fig.



8. ábra – Puc. – Füg.

Az adott tekercsrendszer szerinti lehetséges megoldások számítását az I. variánsnál ismertetett módon a *BIKA IVM* azonosítójú, mágneskártyán tárolt *HP-65*-re írt programmal végeztük el. Az eredményt a 7. és 8. ábrák mutatják be. A 7. ábrán bejelöltük a *6F1* szovjet szonda (Plusznyin M. I.) helyét körrel és ahhoz a geometriához tartozó valamennyi megoldás görbéjét.

Az A, B, C kódú szondasorozatok jelentése azonos az I. variánsnál közzeltekkel.

**Következtetések:**

1. A görbesereg egy csoportot alkot, lefutásuk azonos jellegű, s kedvező a  $C_1, C_3$  és  $C_2, C_4$  koeficienssek közötti kapcsolat (7. ábra).

2. A  $C_1, C_3 > 0,05$  értékek csak a *6FV100.IV.B.3*-hoz tartozó, vagy a feletti szondahossz-variációkon adnak gyakorlati szempontból is elfogadható, jó összetartozó  $C_2, C_4$  értékeket (7. ábra).

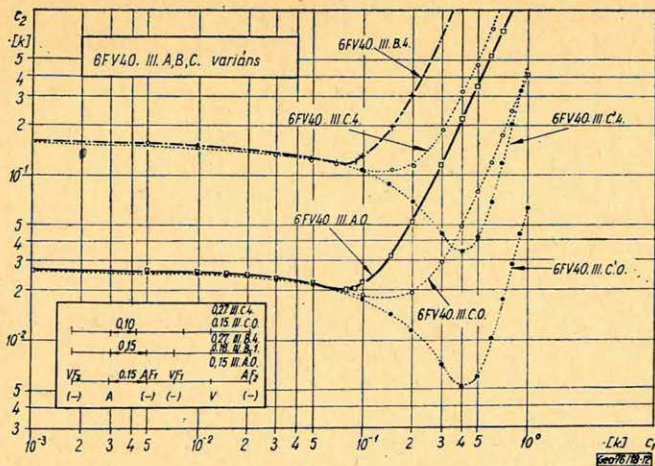
3. A belső fókuszálók közelítése a főtekercsekhez a görbék „ellaposodását” eredményezi (8. ábra, *6FV100.IV.C.0* és *6FV100.IV.C.5* közötti terület), ami kedvezőbb feltételeket hoz létre megfelelő szonda-konstrukció kialakítására, mint a 7. ábrán láthatók.

4. A IV. variáns tekercselrendeződése sajátos módon veszi figyelembe a fűróiszap és elárasztott zóna hatását, ami elgondolkoztató és nem biztos, hogy szerencsés megoldás.

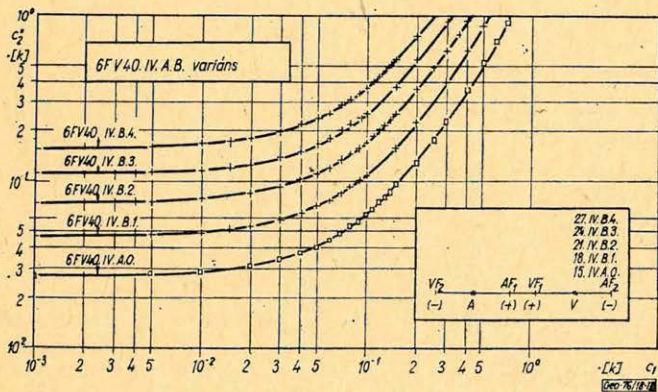
**6FV40 típusú soktekercses indukciós rendszerek**

A *6FV100* típusú indukciós szondáknál bemutatott négy variánsra elvégzett tekercsrendszer tervezést és számítást a *40 cm* főtekercstávolságú indukciós szondákra is végig számoltuk. Ezt mutatják be a 9–14. sz. ábrák.

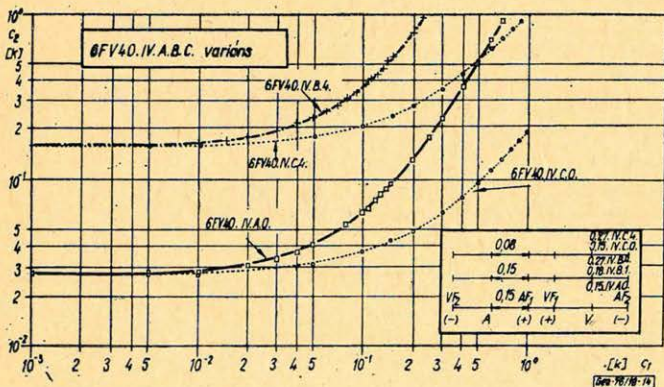




12. ábra - Puc. - Fig.



13. ábra - Puc. - Fig.



14. ábra - Puc. - Fig.

### *I. variáns*

A 6FV100 I. variánsnál tett megállapítások a 6FV40.I.A,B típusoknál (9. ábra) is érvényesek.

Ugyanakkor a jobboldali görbecsoport (9. ábra) olyan  $C_1$ ,  $C_3$  és hozzárendelt  $C_2$ ,  $C_4$  értékekkel rendelkezik, amelyek az alacsony frekvenciás indukciós karotázásban nem adnak megoldható szonda-konstrukciókat.

### *II. variáns*

A 6FV100 II. variánsnál mondottak a 6FV40 II.B.B típusoknál (10. ábra) is érvényesek.

A jobboldali görbecsoport normalizált menetszám-kapcsolatai az alacsony-frekvenciás indukciós karotázásban nem realizálható megoldások.

### *III. variáns*

A 6FV40 II.A,B típusokra (11. ábra) a korábban a 6FV100 II.A,B-nél tett megállapítások érvényesek, de itt még kedvezőbb a  $C_1$ ,  $C_3$  és  $C_2$ ,  $C_4$  közötti kapcsolat.

A 6FV40 III.A,B,C típusú indukciós rendszerek (12. ábra) más jelleget mutatnak, mint a hasonló konfigurációjú, egy méteres főtekerés távolságú szondák.

A „C” csoport belépése kiszélesíti a gyakorlati szempontból kedvező menetszám-kombinációkat. Ugyanakkor az  $A, AF_1$  ne legyen kisebb  $0,66 \cdot A, AF_1$ -nél, mert a 6FV40 III.C.0 – 6FV40 III. C.4 mező már kedvezőtlenül fordítja a  $C_1$ ,  $C_3$  és  $C_2$ ,  $C_4$  normalizált menetszám kapcsolatokat. Ez azt jelenti, hogy igen nagy elárasztott zóna hatását küszöböljük ki, amikor az ágyazó kőzetek hatását szinte mérsékelni sem tudtuk.

### *IV. variáns*

Igen kedvező feltételek vannak, stabil, jó szonda-konstrukciók kialakítására (13. ábra, 6FV40 IV.A,B típusok).

A „C” csoport belépése (14. ábra, 6FV40 IV.A,B,C típusok) rendkívül kedvező feltételeket teremt igen stabil, jól fókuszált szonda-típusok kialakítására.

A 6FV100 IV.A,B, ill. 6FV100 IV.A,B,C típusú megoldásoknál tett megállapítások itt is érvényesek, de hangsúlyozottan jobb feltételekkel.

### *Összefoglalva:*

1. A hattekerces fókuszált vezetőképesség-szelvényezőket a tekeres-konfigurációtól és a tekercesek által elérni kívánt hatásoktól függően négy csoportba osztottuk.

2. A gyakorlati igényt kielégítő, stabilitás szempontjából legkedvezőbb menetszám-kombinációk általános megoldása került kidolgozásra tetszőleges, szimmetrikus szonda-geometriai feltételekre.

3. A normalizált menetszám- adatok és normalizált hosszkoeficiensek levezetett, kiszámított és grafikusán ábrázolt törvényszerű kapcsolata általános érvényű következtetések levonását teszik lehetővé:

– A 6FV100 és 6FV40 típusú I – IV. variánsokhoz tartozó indukciós szonda-rendszerek „C” értékei variánsenként azonos jellegű görbesereget adnak, tehát a  $C_1 = f(C_2)$  függvénykapcsolat jellege nem változik.

Így az 1–14. ábrából levont megállapítások bármilyen – az adott intervallumba tartozó – főtekerestávolság esetén is igazak. Következésképpen lehetőség van az elárasztott és érintetlen zónák vezetőképességét meghatározó stabil indukciós tekercsrendszerek létrehozására.

- Az *I.* variánsba tartozó megoldások gyakorlati felhasználásának jelenleg határt szabnak (vagy éppen kizárják) a technikai és technológiai adottságok korlátai.
- A *II.* variánsba tartozó megoldások vagy egészen gyengén fókuszált tekercsrendszert biztosítanak, vagy stabilitási problémák miatt gyakorlati realizálásukkal nem célszerű foglalkozni.
- A belső és külső fókuszálók főtekerésektől való távolságának függvényében lehetőség van a *III.* és *IV.* variánsokban a legcélszerűbb fókuszálási viszonyok kiválasztására úgy, hogy a „*C*” értékek a legstabilabb tekercsrendszert adják.

4. A vizsgálatok szerint legcélszerűbb variánsnak a *III.*-t tartjuk.

### V. Végkövetkeztetés

Az alacsony-frekvenciás indukciós karotázis módszertana területén végzett elemző, rendszerező munkából a stabil tekercsrendszerek tervezésének általános és konkrét megoldását hivatott vázlatosan bemutatni ez a tanulmány. Alapkövetelményként tartottuk szem előtt a stabilitást, ami nélkül nincs és nem lehet jó indukciós szondát csinálni. Az alacsony frekvenciás indukciós karotázisban azonban különösen fontos a gyakorlati szempontból legstabilabb tartományba eső igen nagyszámú megoldások további vizsgálata a vertikális és radiális karakterisztikák elemzése útján. A mind kevesebb lehetséges jó megoldásokból a legcélszerűbbet a homogén közegben való viselkedésük szerint választjuk ki. Az említett vizsgálati ciklus ad feleletet a módszertanilag legalkalmasabb – vagy éppen kompromisszumos – megoldásra. Legközelebb ezekről számolunk be.

### IRODALOM

- [1] *M. I. Plusznyin: Az indukciós karotázis*, Nyedra, Moszkva, 1968.  
[2] *Simonyi Károly: Villamosságtan*. Akadémiai kiadó, Budapest, 1962.

---

## Könyvszemle

*Annual Report, Geophysical Observatory, Tihany*, az 1973. és 1974. évre. Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet litografált kiadványa. Főszerkesztő: Müller Pál, szerkesztő: Szabó Zoltán, technikai szerkesztő: Nagy Magdolna. Budapest, 1975., 109 (1973), illetve 95 (1974) oldal. Angol nyelven.

A kötetek a Tihany-i obszervatóriumban végzett mágneses- és whistler-mérések adatait tartalmazzák. Az 1974-es évfolyam ezenfelül – a Tihanyban végzett mágneses észlelés huszadik évfordulója alkalmából – évi közepes értékeket is megad az 1955–1974-ig terjedő húsz éves időközre.

T. G.

# Nemzetközi Magnetoszféra-kutatási Évek (IMS 1976—78)\*

TÓTH PÉTER\*\*

A cikk beszámol az 1976—78-ra kitűzött „Nemzetközi Magnetoszférakutatási Évek” című világméretű együttműködés programjáról, az ún. IMS (International Magnetospheric Study) programról, annak célkitűzéseiről, a felvetett és megoldásra váró kérdésekről és az elvégzendő kísérletekről, a nemzetközi együttműködésnek eddig rendelkezésre álló felmérés szerint várható mértékéről és tárgyalja Magyarország részvételének kérdését, sajnálattal szögezve le, hogy ebben az irányban nálunk mindeddig igen kevés történt. Végül több kérdést vet fel arra vonatkozóan, hogy mit kellene tennünk és tehetünk-e valamit.

В статье говорится о программе мирового сотрудничества, об „явленного на 1976—78г. в области исследованный в рамках ИМС (International Magnetospheric Study), о целях, проблемах, ожидающих решения, и проводимых опытах, об ожидаемом на основании имеющихся данных ходе международного сотрудничества и рассматривается вопрос участия в нем Венгрии, с сожалением отмечая, что в этом направлении сделано очень мало. Наконец, поднимается вопрос того, что нужно и что возможно сделать в Венгрии в этом направлении.

The paper reports on the International Magnetospheric Years set for 1976—78, providing for a world-wide research cooperation (IMS). He gives its program, its projected aims, the problems to be solved and experiments to be accomplished, he outlines the features of the international cooperation which has been assured as yet, deals with the possibilities of a participation of Hungary. In this connection he regrets that the outlook in this respect is unfavourable, because thus far no efforts has been made in this direction. Finally he poses several questions concerning our possibilities and efforts to be made.

Az 1971. évtől folynak az előkészületek egy nagy nemzetközi kutatási együttműködés, a Nemzetközi Magnetoszféra Kutatási Évek (International Magnetospheric Study; IMS) megindításához. A program szerint 1976-tól 1978-ig koncentrált vizsgálatokat kellene folytatni a Földet körülvevő magnetoszféra és ionoszféra dinamikus folyamatainak, fizikai paramétereinek megismerése, kvantitatív leírása céljából. Rövidesen koordinált világméretű megfigyelési sorozat veszi kezdetét, amelyben földi obszervatóriumokban, űreszközökön, rakétákon, ballonokon telepített berendezések végzik a méréseket. A magnetoszféra tanulmányozásán kívül a kísérletek célja tisztán plazmafizikai és magneto-hidrodinamikai vizsgálatok elvégzése a magnetoszférában, mint kozmikus laboratóriumban. Az IMS programmal egyidőben két másik, valamivel kisebb jelentőségű program is indul, nevezetesen a „Solar and Interplanetary Programs” (SIP) és az „Atmospheric Physics Programs” (APP).

## Tudományos célkitűzések.

Alapvető célkitűzés a napszél és a földi magnetoszféra által alkotott rendszer makroszkópikus tulajdonságainak és viselkedésének megismerése. A következő legfontosabb kérdések várnak megválaszolásra: (1)

1. Van-e a magnetoszférának valamilyen perturbálatlan állapota? Ha igen, milyen referencia-alakzattal adható meg?
2. Milyen az impulzus-, energia- és részecske-áramlás a napszélből a magnetoszférába, és milyen szabályozó mechanizmusok hatnak?

\* Előadás az MGE Általános Geofizikai Szakosztályában 1975. december 4-én.

\*\* Geofizikai Obszervatórium, Tihany.

3. Hogyan válaszol a magnetoszféra a napszél-paraméterek változásaira ?
4. Milyen ok-okozati összefüggésben vannak az egyes magnetoszféraszubviharok ?
5. Milyen hatások okozzák az aurora-övezetben tapasztalt változásokat ?
6. Milyen komponensekből tevődik össze az ionoszféra-magnetoszférában folyó áram ?
7. Milyen magnetoszféra-folyamatokat kelt az ionoszféra paramétereinek változása ?
8. Milyen összetételű és hőmérsékletű ionok és semleges részecskék alkotják az exoszférát, és mennyiben járulnak hozzá a Föld foto-emissziójához ?
9. Hogyan befolyásolja a napszél hélium-tartalma a Föld hélium-háztartását ? Létezik-e más elemek esetében is hasonló ilyen mechanizmus ?
10. Milyen szerepe van a semleges atmoszférának, a sarki szélnek, a részecske-lecsapódásnak és a plazma-konvekcióknak a plazmapauza feletti zóna és a sarki ionoszféra viselkedésében ?
11. A sugárzási övek milyen forrásokból kapják és milyen mechanizmusokon keresztül veszítik el a részecskéket és milyen a befogott részecskék összetétele ?

A fenti kérdéscsoport megválaszolása természetesen igen sok kísérleti és elméleti vizsgálatot követel. Így ráirányítja a figyelmet számos olyan fizikai folyamatra – elsősorban a plazmában –, amelyek elméletileg még nem kidolgozottak.

Ugyanakkor lehetőség nyílik a Földet körülvevő mágnesezett plazmában olyan kísérletek elvégzésére, amelyek jelenlegi ismereteink szerint másutt nem végezhetőek el. Röviden a következő kölcsönhatásokról van szó:

a) A mágneses tér meredek térbeli lefutású átfordulásainak helyén lejátszódó folyamatok. A magnetoszférában két olyan zóna található, ahol alapvetően ezek határozzák meg az impulzus- az energia- és a tömeg-átvitelt. A magnetopauzánál – a napszél és a földi mágneses tér kölcsönhatási zónájában –, valamint a csóva – a Nappal átellenes oldalon – tengelyében olyan instabilitások kialakulásával kell számolnunk, amelyek döntően befolyásolhatják az egész magnetoszféra struktúráját.

b) Plazmakonvekciók. Jelentős energiaáramlás keletkezhet ilyen módon a mágneses tér irányában és arra merőlegesen is. Tisztázandó az ohmikus veszteségek, valamint a plazmaparaméterek gyors változásával megadott határfelületeken történő reflexiók kérdése. Fontos zóna ebből a szempontból a plazmapauza és környezete.

c) Hullám-részecske kölcsönhatások. A mágnesezett plazmában haladó elektromágneses hullámok rezonanciába lépnek a töltött részecskékkel és így energiájukat kölcsönösen leadhatják egymásnak. Töltött részecskék lecsapódása, elektromágneses hullámok (*ULF*, *VLF*, elektrosztatikus) emissziója, vártnál nagyobb energiájú részecskék megjelenése, gyorsítási folyamatok és diffúzió, mint a részecskehullám kölcsönhatás, instabilitás kérdéscsoport megismerésének függvénye.

d) Elektromágneses hullámok terjedése inhomogén anizotrop anyagban. A magnetoszférában terjedő ELF és VLF hullámok hordozzák az inhomogén anizotrop közeg tenzoriális refrakciós indexének minden következményét.

e) Makroszkopikus plazma-instabilitások. Valószínűleg a magnetoszférikus részviharok közvetlen következményei egy olyan instabilitásnak, amelyben a mágneses energia hirtelen átalakul részecske-energiává. Szoros kapcsolat tételezhető fel a közeg anizotropiájának és inhomogenitásának kérdésével.

f) Elektromos áram vezette instabilitások, amelyek plazma-turbulenciát és anomáliás elektromos ellenállást keltenek. Ez megteremti a lehetőséget az erővonalmenti potenciálkülönbségek kialakulásához, és eredményezheti a plazma „erővonal-befagyási” törvényének megsértését.

g) Sztokhasztikus transzport folyamatok. Perturbált mágneses és elektromos térben, valamint az atmoszféra ionjaival és atomjaival történő kölcsönhatás miatt a magnetoszféra töltött részecskéi mind az erővonalak mentén, mind kereszt irányban képesek diffúzióra. Különböző típusú komponensekre a diffúziós állandó megismerése, idő- és térbeli változásainak vizsgálata nélkülözhetetlen a részecske dinamika kvantitatív leírásához.

Az előzőekben felsorolt kérdéscsoport megválaszolása, valamint a fenti plazma folyamatok jobb megismerése a szilárd Föld fizikájának néhány megoldatlan problémájával is szoros kapcsolatban van. Például a magnetoszféra referencia-alakzatának megismerése pontosíthatja – esetleg gyökeresen megváltoztathatja – a Föld mágneses teréről alkotott elképzelésünket, vagy mesterséges holdakon és földi bázisokon egyidejűleg végzett mikropulzáció-megfigyelések a kéreg (köpeny) elektromos tulajdonságairól adhatnak értékes információkat. A Föld héliumháztartásának, az atmoszféra kialakulásának megismeréséhez értékes adatokat szolgálhat a napszél kölcsönhatásainak leírása.

### *Nemzetközi együttműködés*

Az 1975-ben kiadott felmérés szerint 42 ország 260 intézete jelentette be részvételi szándékát, amely szám valószínűleg tovább fog növekedni. Ezen a területen nagy kutatási múlttal rendelkező országok (Szovjetunió, USA, Japán stb.) mellett számos olyan állam is részt kíván venni, amely erre az időszakra fejleszti fel megfigyelési hálózatát. A három éves időszakra bejelentett kísérletek száma több ezer, ami meghaladja bármilyen eddigi együttműködés mértékét.

Például az *ESRO*, – (Nyugat-Európai Államok Űrkutatási Szervezete) húsz mesterséges holdat, több száz rakétát, ezernél több ballont bocsát fel az összes működő obszervatórium koordinált észlelése mellett. Észak-Skandináviában egy olyan radar-berendezés-hálózatot telepítenek (European Incoherent Scatter Facility; EISCAT), amely az egyik legnagyobb földi bázisú mérő-megfigyelő hálózat lesz a világon.

Az Egyesült Államok 64 intézete (köztük a *NASA*, Goddard Flight Center, US Geological Survey, Geophysics Corporation of America stb.) előre meg nem határozott mértékű energiát kíván bevetni. Jelenleg 156 (!) mesterséges holdas kísérlet, földi bázisú program végrehajtását tervezik. Ezek mellett a kezdeti eredményektől függően újabb berendezések üzembeállítását teszük lehetővé.

A Szovjetunióból kezdetben 10 intézmény jelentette be közreműködését, de a [2]-ben közzétett kiegészítés szerint még újabb kb. 20 intézmény adott be tudományos programot.

1976-ra valószínűleg a részvétel mértéke hasonló lesz az USA-éhoz.

### *Magyarország részvételének kérdése*

[2] és [3] szerint Magyarországról is érkeztek jelentkezési lapok az IMS titkárságára. Bejelentette részvételi szándékát az MTA KFKI-ból a Kozmikus Sugárzási Osztály, a MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézete, az ELTE Geofizikai Tanszéke és a M. Áll. Eötvös Loránd Geofizikai Intézet. Azonban csak a pusztán jelentkezés történt meg. Tudomásom szerint egyik intézmény sem kap külön támogatást erre az időszakra, ami azt jelenti, hogy csak a jelenlegi kutatási témák lehetnének részei az *IMS*-nek. Ez azonban kétséges, hiszen kismértékű áthangolás, intenzív megfigyelés, vagy különösen a gyors adatszolgáltatás alkalmasint megoldhatatlan feladat elé állíthatja a kutatókat – anyagi támogatás, jól működő magyar *IMS* koordináló szerv hiányában.

Ezekután megválaszolásra vár néhány kérdés:

- Részvételünk az *IMS*-ben csak formális lesz?
- A magyar geofizikai alapkutatásnak mi árt többet, a formális részvétel, vagy a tisztességes távolmaradás?
- Megengedhetjük-e magunknak, hogy egy ilyen nagy nemzetközi együttműködésben nem működünk közre?
- Nem lenne-e érdemes három évig koncentrálni a Nemzetközi Magnetosféra Vizsgálati Évek programjára?

### IRODALOM

- [1] Outline of cooperative international programs in Solar-Terrestrial Physics (STP) 1974–1978 STP Notes No 11. 1973 július – szeptember.  
[2] *IMS Bulletin* No 1., by the SCOSTEP Secretariat, Washington D. C., 1974.  
[3] *IMS Bulletin* No 2., 1975. május.

### *Barta György hozzászólása*

Az előadó 1975. január 24-től július 22-ig ösztöndíjasként Norvégiában ionosféra-magnetosféra kutatásokat végzett. Az *ESRO* (European Space Research Organization) munkáját így alkalma volt a helyszínen tanulmányozni, sőt abban résztvenni és a megfelelő nemzetközi kapcsolatokat is kiépíteni.

Előadásában tehát első kézből kapjuk az *IMS* előkészületi munkáinak ismertetését. Felsorolja az *IMS* munkáit összességükben jelentő legfontosabb témákat és célkitűzéseket. Ezeknek a témáknak nálunk is vannak bizonyos kutatott részei, intenzív, szervezett munka azonban nagyobb anyagi háttér hiányában még nem indult meg. Ez előadó joggal teszi fel előadása végén az arra vonatkozó kérdéseket, hogy tudunk-e és érdemes-e ezekben a munkákban résztvennünk.

A feltett kérdésekre – 35 éves tudományos kutatási és szervezési tapasztalataim alapján – a következőket tanácsolhatom. Kimaradnunk a nemzetközi tevékenységből még akkor sem szabad, ha részvételünk első pillanatra formálisnak tűnik. Magyarországtól mérete és lehetősége miatt az úrkutatás-szerű *IMS* területén áttörő jellegű új felfedezéseket nem várhatunk és a külföld sem vár. Hazánk népessége és területe az emberiség számának és területének néhány ezrelékére becsülhető. Ha csak a fejlett kultúrnemzeteket vesszük és a fejlődő országok ilyen adatait elhagyjuk, ez az érték akkor is csak 1% körül van. Ilyen méretű, eredményesnek tekinthető hozzájárulást az *IMS* munkáihoz pedig vállalhatunk.

Hazánkban jelenleg ezzel a témakörrel szétszórtan, mintegy 15 tudományos kutató foglalkozik, ez a feladatok sokrétűségét és bonyolultságát tekintve

valóban kevés. Új szakember gárdát képezni az *IMS* feladataira ilyen rövid idő alatt nem is lehet és nem is érdemes, így csak a más területeken dolgozó időlegesen átirányított szakemberek tevékenységére számíthatunk. Ha ezt a létszámot a már meglévő, alkalmas szakembergárdából az *IMS* időtartamára kétszeresére vagy háromszorosára, vagyis 35–40 emberre emeljük és a kutatás intenzitását is fokozzuk, akkor méreteinkhez méltóan szerepelhetünk a nemzetközi együttműködésben. Ehhez az átirányításhoz azonban meg kell győzni az egyes *IMS* munkakörrel foglalkozó intézmények vezetőit a tervezett munkák helyességéről és hasznosságáról. A nemzetközi kapcsolatokat részben a *COSPAR* részben az *INTERKOZMOSZ*-on keresztül lehetne tartani.

Ha szem előtt tartjuk a „*ha rövid a kardod toldd meg egy lépéssel*” elvet, vagyis kutatóink önfeláldozó szorgalmas munkát végeznek, akkor az *IMS* három éve alatt feltételezhető, hogy egy-két általános érvényű jelentősebb elméleti eredményt és az ország területének ionoszféra-magnetoszféra szempontjából való jobb megismerését el tudjuk érni. Ez a teljesítmény arányos létszámunk és területi helyzetünkhöz képest és ha teljesítmény-fokozással egy-egy komolyabb önálló, új eredményt is sikerülne elérni, akkor nemzetközi szinten valóban méltóan képviselnénk hazánkat. Ehhez a munkához kívánok sok eredményt, sikert és szerencsét – mert minden kutatáshoz az is kell – az előadónak és az *IMS* munkáival foglalkozó magyar szakembereknek a következő három évre.

---

## Könyvszemle

*Lakatos Sándor*: (szerkesztő): Áramlásvizsgálatok kutakban. Az MGE kiadványa, belső használatra: litográfát kiadvány, 256 oldal, 100 szöveggöttyű ábrával és számos táblázattal, kemény kötésben, 1975. Budapest.

A tekintélyes nagyságú, szép kiállítású kötet az MGE által 1975 tavaszán rendezett második hidraulikai tárgyú tanfolyam előadásait tartalmazza. Míg az előző tanfolyam a földalatti hidraulika általános törvényszerűségeivel foglalkozott, ennek tárgya: a kutakban történő áramlásvizsgálat volt. Egy harmadik tervezett tanfolyam a földtani áramlásokat fogja tárgyalni, értve ezalatt a földalatti, emberi beavatkozás nélküli, természetes folyadék- és gázáramlásokat, a migrációt.

Stegana Lajos bevezető, és az egyes előadásokat is méltató cikke után a kötet tartalma a következő:

*Vincze Tamás*: Kútban történő egy- és többfázisú áramlások törvényszerűségei (9–57. oldal).

*Török János*: Víz-gáz rendszerek PVT jellemzői. Rövid áttekintés (58–91 oldal).

*Kassai Lajos*: A nyomásemelkedés jellemzői határolt, többréteges, keresztáramlás nélküli telepekben (92–115 oldal).

*Megyei Mihály*: A nyomásemelkedési görbék zavaró utánáramlás kiküszöbölésének lehetősége (116–137 oldal).

*Szegedi András*: Kútvizsgálatok turbinás áramlásmérővel (138–155 oldal).

*Lakatos Sándor*: Áramlásmérések termelő és visszasajtoló kutakban (156–185 oldal).

*K. Lehnert* (NDK): Áramlási folyamatok vizsgálata fűrólyukakban, különös tekintettel az áramlásmérők alkalmazására (186–203 oldal).

*Pápay József*: Kutakban és kutak körül történő hőáramlások elmélete. Termelőtechnikai feladatok. Termoszelvényszámítások és kúthőmérsékletmérések szempontjai (204–255 oldal).

A tanfolyamon két külföldi előadó szerepelt: *K. Lehnert* (NDK) és *S. P. Noik* (Schlumberger LTD, Páris). A kiadvány Lehnert előadásának fordítását is tartalmazza, Noik előadását azonban, – melynek tárgya a termelő fűrásokban végzett mérések interpretációja volt, és melyben újabb Schlumberger műszereket, így pl. nyomásgradiens-mérést is bemutatott – nem közölhettük.

A hatalmas anyagot tetszetős alakban nyújtó kiadvány jól számol be a tanfolyamról és bizonyosan hasznosan forgatható az érdeklődő szakemberek által. A kötetből korlátozott számú példány rendelkezésre áll az Egyesület Titkárságánál 455,- Ft-os önköltségi áron vásárolható meg.

T. G.



## Kísérleti vizsgálatok a szeizmikus holográfia terén\*

V. D. ZAVJALOV\*\*

A szeizmikus kutatás hatékonyságának fokozása céljából a Szovjetunióban, az USA-ban, Franciaországban és sok más országban elméleti és kísérleti vizsgálatokat végeztek a holográfia elveinek geofizikai alkalmazási lehetőségeivel kapcsolatban.

A dolgozat áttekinti a fejlődésben jelenleg mutakozó irányzatokat és bemutatja a Szovjetunióban, elsősorban az Ukrán Földtani Tudományos Kutató Intézet (Lvov) szeizmikus holográfiai laboratóriumában végzett munkák eredményeit. A végrehajtott kísérleti vizsgálatok többek között arra a következtetésre vezettek, hogy az optikai eljárásokkal teljesen analóg szeizmikus fotográfiai és holográfiai módszerek csak abban az esetben hozhatók létre, és válhatnak hatékonyvá, ha olyan rugalmas hullámokat sikerül felhasználni a földtani objektumok „átvilágítására”, melyek hossza 100–1000-szer rövidebb ezen objektumok átmérőjénél.

A vizsgálatok alapján előzetes véleményt lehetett alkotni a „színes szeizmikus holográfia” módszerének létrehozási lehetőségéről is, vagyis a képmásoknak a rugalmas hullámok polikromatikus tereiben való regisztrálásáról. Feltehető, hogy a polikromatikus holográfia a köztudott tulajdonságok meghatározásának hatékony eszköze lesz.

Befejezésül a szerző válaszolja a közeljövő feladatait a szóban forgó kutatási területen.

С целью повышения эффективности сейсморазведки в СССР, США, Франции и в ряде других стран выполнен ряд теоретических и экспериментальных исследований по проблеме применения в геофизике принципов голографии.

В работе дается обзор современных направлений развития и приводятся результаты работ, выполненных в СССР, прежде всего в лаборатории сейсмической голографии Украинского научно-исследовательского геологоразведочного института (г. Львов). Выполненные экспериментальные исследования позволили, между прочим, сделать вывод в том, что методы сейсмической фотографии и голографии, полностью аналогичные оптическим, могут быть созданы и стать эффективными только при условии, если удастся использовать для „освещения“ геологических объектов упругие волны, длина которых в 100–1000 раз короче поперечника этих объектов.

Исследования позволили высказать предварительные суждения о возможности создания метода „цветной сейсмической голографии, т. е. способа регистрации изображений в полихроматических полях упругих волн. Можно допустить, что полихроматическая голография окажется эффективным средством определения физических свойств горных пород.

В заключение автор перечисляет задачи в близком будущем по данной теме исследований.

\* Elhangzott a 20. Szimpoziumon 1975. szept. 16–19.

\*\* V. D. Zavjalov, VNIIGeofizika Moszkva

*In order to increase the effectivity of seismic prospecting, in the Soviet Union, USA, France and many other countries theoretical and exploratory investigations have been going on in connection with the applicational possibilities of the principle of holography in geophysics.*

*The paper reviews the various trends followed at present within developmental works in the Soviet Union and especially it discusses the results of works made at the Seismical Laboratory for Holography of the Ukrainian Scientific Research Institute for Geology in Lvov. Experimental investigations carried out led — among others — to the statements that seismic photographic and holographical methods being fully analogous to optical procedures can only be developed and can only become effective, if we are able to use for the „transillumination” of geological objects elastic waves of such wave-length that are 100–1000–times shorter than the diameters of these objects.*

*From the investigations one could conclude that there are possibilities for developing of the method of coloured holography too, i. e. the registration of images in the polychromatic fields of elastic waves. One can suppose that the polychromatic holography will become a powerful tool of determination of petrophysical characteristics of rocks.*

*Finally the author deals with the problems of near future on the research domain concerned.*

A szeizmikus kutatás hatékonyságának fokozása céljából a Szovjetunióban, USA-ban, Franciaországban és sok más országban számos elméleti és kísérleti vizsgálatot végeztek a holográfia elveinek geofizikai alkalmazásai lehetőségével kapcsolatban.

A holográfia elveit a szeizmikus kutatásban különféle műszaki eszközök segítségével valósítják meg. A Szovjetunióban olyan eljárást dolgoztak ki, mely az ábrázolások fotoösszegezésének hatását használja fel, Franciaországban és az USA-ban analóg feladatokat számítások útján oldanak meg számítógépek segítségével.

Számos olyan találmány van, melyek szerzői azt javasolják, hogy az akusztikus vagy szeizmikus terekre vonatkozó információt az optikai hullámhossztartomány hologramjaivá alakítsák át. Feltételezik, hogy ilyen fajta „szeizmikus hologrammokkal” megkapható a kutatási objektumok képe közvetlenül fényhullámokban.

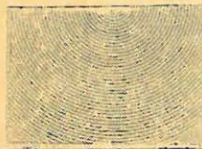
Jelenleg két irányzat figyelhető meg a szeizmikus holográfia fejlődésében. Az első irányzat szinte egyáltalán nem érinti azokat a műszaki és módszertani alapokat, melyeken a korszerű szeizmikus kutatás alapul. Az ezen irányban végzett munkák célja a kiértékelés pontosságának fokozása, a szokásos terepi szeizmikus felvételek közegábrázolássá való átalakítási folyamatának meggyorsítása és olcsóbbá tétele. A második irányzat a módszer sarkalatos megváltoztatását irányozza elő. Olyan elvileg új műszaki eszközök kidolgozását tűzi ki célul, melyek biztosítják a rétegek „megnézését” vagy „fényképezését” azok rugalmas szeizmikus hullámokkal történő „átvilágítása” útján.

A jelen áttekintésben alapvető figyelmet fordítottunk a szeizmikus holográfia fejlesztésének második irányzatához tartozó kísérleti vizsgálatokra. A vizsgálatokat az Ukrán Földtani Tudományos Kutató Intézet (Lvov) szeizmikus holográfiai laboratóriumában végeztük.

A kísérleti munkák elvégzéséhez a „digitális holográf” laboratóriumi makettjét használtuk fel, mely nem más, mint egy kétkoordinátás asztallal ellátott fényképezeti nagyítógép, melyre fényérzékeny ívet helyeznek. A mikrométeresavarak limbuszokkal vannak ellátva az asztal síkjának az  $X$  és  $Y$  tengelyek mentén való elmozdulásainak pontos leolvasása céljából. A nagyítógép keretébe teszik a tesztet — elemi hullámkép ábrázolást a tér adott metszetében (a mi kísérleteinknél az  $XZ$  síkban), és a nagyítási együttható változtatásával beállítják ezen hullámkép ábrázolásának léptékét. Ezután egymásután exponálják az asztalon levő fotopapírt, minden exponálás előtt eltolva az ívet úgy, hogy az elemi tér középpontjának ábrázolása az  $X$  tengely mentén az észlelési

pont koordinátája felett legyen olyan fáziseltolódással a  $Z$ -tengely mentén, mely megfelel a kísérleti program szerint megadott elméleti értékeknek. A fényérzékeny filmnek vagy papírnak az elemi hullámterek képeivel való ismételt exponálása eredményeképpen a fothordozón az eredő hullámkép rejtett ábrázolása jön létre. A valamilyen közegben ható reális hullámok interferenciás hatásának a fotoösszegezéssel a fényérzékeny réteg megfeketedése felel meg. Az elemi hullámképek azonos fázistengellyel történő szuperponálódása helyein a fényérzékeny réteg megfeketedésének foka nagyobb lesz, mint az ellentétes fázissal végbemenő szuperponálódás helyein. A megvilágított fényérzékeny anyag fotokémiai feldolgozása után létrejön a tér eredő ábrázolása, mely az összes elemi tér „fotoösszegét” képezi.

Az 1. ábrán látható az elemi hullámter ábrázolása, melyet a harmonikus terekkel végzett teljes kísérletsorozat elvégzésére használtunk fel. Ez az ábrázolás koncentrikus félkörök rendszeréből áll, ami megfelel homogén és izotróp közegben ható harmonikus stacionárius rezgések tere pillanatnyi lefényképezésének az  $XZ$  síkban.



1. ábra. Az elemi hullámter tesztje.

Рис. 1. Тест элементарного волнового поля.

Fig. 1. Test of the elementary wave field.



2. ábra. Síkfrontú hullámok a fényérzékeny rétegben: az 1. ábrán bemutatott teszt 80-szoros fotóösszegezéssel kialakított képmása.

Рис. 2. Сформированное на фотослое изображение волн с плоским фронтом путем 80-кратного фотонакопления теста, показанного на рис 1.

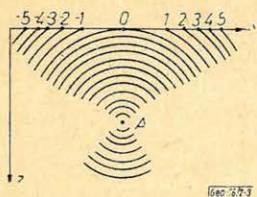
Fig. 2. Image of waves with a plane front formed in the photolayer by 80-fold photoaccumulation of the test shown in Fig. 1.

A 2. ábrán látható a sík hullámfrontú térábrázolás képzésének legegyszerűbb példája. Ezt úgy állították elő, hogy a fényérzékeny anyagra 80-szorosan ráexponálták az 1. ábrán bemutatott elemi tér ábrázolását, mikor is a koncentrikus félgűrűk középpontját mindegyik megvilágításnál szigorúan az  $X$  tengely mentén adott  $\Delta x = 1/2\lambda$  értékkel, vagyis az 1. ábrán látható teszt félkörei közötti intervallum felével elmozdítják. A  $Z$  tengely mentén semmiféle eltolásra nem került sor.

Eredményképpen kialakult egy vízszintes vonalrendszer ábrázolata. Ez a rendszertáblázat megfelel a hullámter pillanatnyi lefényképezésének az  $XZ$  síkban, mely hullámter valódi rugalmas közegben alakulhatott volna ki elemi gömbi hullámterek egyidejű és azonos fázistengellyel történő gerjesztése esetén az  $X$  vonal mentén  $80$  pontban, például váltóáramú hálózatról szinkronizáltan működtetett rugalmas rezgékeltőkkel.

### Monokromatikus hullámok holografikus fókuszálása

Tegyük fel, hogy az  $A$  pontban (3. ábra) van egy harmonikus hullámokat létrehozó rengékeltő. Valamilyen időpontban az  $X$  tengelyen rögzítsük a hullámter azonos fázisú rezgéseinek, például maximumainak helyzetét, melyeket a



3. ábra. Pontszerű forrás által kisugárzott harmonikus tér holografikus helyreállítási eljárásának elve.

Рис. 3. Принцип голографического способа восстановления гармонического поля, изучаемого точечным источником.

Fig. 3. Principle of the holographic restoring of harmonic field, sirradiated by punctual source.

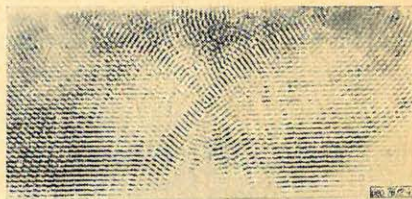
3. ábrán fekete ívekkel jelöltünk az  $A$  pontban levő középponttal. Ha a vizsgált tér hatni tudna a fotografikus lemeze, úgy az  $X$  tengelyen az általunk megjelölt pontoknak a lemezen az emulzió kivilágosodása felelne meg, vagyis lineáris hologramot kapnánk diffrakciós pontokkal. Ahhoz, hogy ennek a hologramnak alapján helyreállíthassuk a kiindulási hullámteret, arra kell „kényszeríteni” mindegyik diffrakciós pontot, hogy sugározza ki adott frekvenciájú elemi terét a rögzített értéknek megfelelő kezdőfázissal. Esetünkben a kezdőfázis valamennyi észlelési pontban egyforma. Eredményként az ezen pontban elhelyezett adók azonos fázistengelyű hatásának dacára ki kell alakulnia a fókuszáló térnek (nem pedig olyan síkfrontnak, mint a 2. ábrán). Első pillantásra ez ellentmondásosnak tűnik – az adók azonos fázisban működnek, a kialakuló hullámter pedig konvergál az  $A$  pontban, vagyis fókuszálódik. És valóban, ilyen effektus nem jelentkezik, ha az adók által kisugárzott terek nem lesznek monokromatikusak. Ha például az adók egyidejűleg rövid impulzust sugároznak ki, akkor az eredő hullámter semmiféle fókuszálására nem kerül sor. A fókuszálás csak folyamatos harmonikus sugárzás mellett lehetséges, ha az energia szinusztörvény szerint oszlik szét sugárirányban az egyes elemi adóktól.

A hullámteret lencsés (fotografikus) fókuszálásánál másképp áll a helyzet. Ott a lencse egyforma mértékben „elhajlítja” az összes egymásután következő hullámok frontjait, ezért a fókuszálás effektusa függetlenné válik a rezgések periodicitásától.

4. ábra. Lineáris hologram alapján az ábrázolások fotoösszegezésével helyreállított hullámter képe.

Рис. 4. Картина восстановленного волнового поля по линейной голограмме методом фотонаколения изображений.

Fig. 4. Picture of a wave field restored from the linear hologram by the method of photoaccumulation of images.



A reális hullámtereket helyettesíthetjük ábrázolásaikkal és az utóbbiak fotoösszegezése útján megkaphatjuk az eredő tér képét. Ilyen képet a 4. ábrán mutatunk be. Ezen világosan látható két hullámter – az egyik sík vízszintes hullámfrontokkal, a másik fókuszálódó tér, melyen a fókuszálás hatása lényegében a szárnyakon jött létre két egymást metsző sugár formájában, a központi részen pedig „szürke” háttér alakult ki. A tér szerkezetének ez a sajátosága könnyen magyarázható azzal, hogy ha az adók a Frenel-gyűrűk törvénye szerint oszlanak meg, azokból a legkevesebb található a Frenel-féle zónalemezt középpontban metsző vonal központi részén, ami jól látható a 3. ábrán.

Másképpen is eljárhatunk.

Helyezzünk el az  $X$  tengely mentén egyenletesen számos elemi hullámot „sugárzó” pontot  $1/2 \lambda$  értékkel és számítsuk ki minden egyes pontra annak az időkeleletésnek értékét, melyet alkalmazni lehetne, ha az  $L$  szakaszra meghatározott felületi görbületségű domború lencsét helyeznénk.

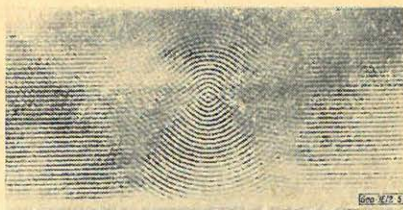
A lencse hatását olyan fáziseltolások bevezetésével imitáltuk, melyek megfelelnek a lencse egyik vagy másik pontján áthaladó hullámok időbeli késésének.

Az 5. ábrán látható a számított (és következésképpen ideális) lencsén keresztülhaladó fókuszáló tér képe, mikor is a lencse előtt a térnek sík frontja volt

5. ábra. Síkhullámok  $80 \lambda$  apertúrájú lencsén áthaladt terének fókuszálási példája (az elemihullámok „generációs” pontjai közötti távolság  $\Delta L = 0,5 \lambda$ ).

Рис. 5. Пример фокусировки поля плоских волн, прошедшего через линзу с апертурой  $80 \lambda$  (интервал между точками „возбуждения” элементарных волн  $\Delta L = 0,5 \lambda$ ).

Fig. 5. Example of focusing the field of plane waves passed through a lens with an aperture of  $80 \lambda$  (interval between the points of „generation” of elementary waves is  $\Delta L = 0,5 \lambda$ ).



az  $X$  tengellyel párhuzamosan. A lencsenyílás mögé menő kiindulási tér egy része az ábra bal oldalán látható. Az 5. ábra megvizsgálásakor „moaré” jelenségét figyelhetjük meg a síknak azon a részén, ahol a szabályos hullámter hiányzik. További vizsgálatok azt mutatták, hogy ez a moaré annál nagyobb, minél ritkábbak az elemi hullámok sugárzási pontjai az  $L$  vonalon, vagyis nagyobb  $\Delta L$  értékek esetén.

Az 5. ábrának a 4. ábrával való összehasonlításakor elkerülhetetlenül felmerül az a következtetés, hogy a lencsés fókuszálás jobb minőségű, mint a holográfikus, ami könnyen magyarázható azzal, hogy a lencsében sokkal több diffrakciós pont van (a mi esetünkben sugárzási pont), mint a hologramon, ahol az egész epicentrális rész gyakorlatilag nem visz információt a kialakítandó térbe. Az optikában, ahol a hullámhosszak nagyon kicsik, a megvilágított tárgyak pedig nagyok, ezt a körülményt el lehet hanyagolni, de a szeizmikában, ahol a tárgyak és a hullámok azonos nagyságrendűek, ez nem hanyagolható el.

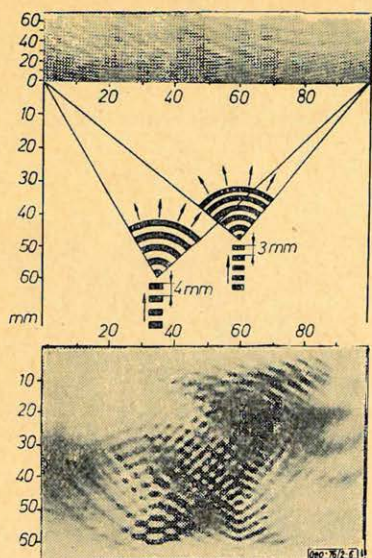
Más kísérletek alapján a szeizmikus kutatás szempontjából nagyon fontos következtetést vontunk le: a hullámterek holografikus és fotógrafikus átalakítása ábrázolásokká nem lehet sikeres, ha a teret regisztráló berendezések lencsenyílásai  $40 - 50 \lambda$ -nál kisebbek.

A szeizmikus holográfiában a hullámvételi pontok elég sűrű hálózatát kell alkalmazni, mely kielégíti a  $\Delta L < 1/2 \lambda$  feltételt. Ez a feltétel a terepi munkák megdrágulását és lassulását vonja maga után. Emiatt a szeizmikus hullámterek felvételének új műszaki eszközeit kell felkutatni, melyek nem teszik szükségessé geofonok elhelyezését a vizsgálandó területrészen, vagyis olyan fizikai hatások felhasználásán alapulnak, melyek a föld-levegő réteghatáron jönnek létre szeizmikus hullámok behatása esetén.

### Terek helyreállítása oszcillografikus felvételeik alapján

Vizsgáljunk meg néhány kísérletet a terek oszcillografikus felvételek alapján történő helyreállításával kapcsolatban.

Tegyük fel, hogy a sík két pontjában (6. ábra, középen) helyezkednek el a hullámkeltő adók. A baloldali adó  $4 \text{ mm}$  hullámhosszú hullámokat sugároz ki, a jobboldali  $3 \text{ mm}$  hullámhosszal rendelkezőket. A vízszintes észlelési vonalra (felül) helyezzünk hullámvevőket és végezzünk oszcillografikus felvételt a fotó-



6. ábra. A legegyszerűbb hullámtér holografikus eljárással történő helyreállításának példája (felül – a tér oszcillografikus felvétele; középen – a tér adott modellje; alul – a tér helyreállított ábrázolása, mely az elemi tér-ábrázolások fotóösszegezéses módszerével készült).

Рис. 6. Пример восстановления голографическим способом простейшего шумового поля (вверху – осциллографическая запись поля; в середине – заданная модель поля; внизу – восстановленное изображение поля методом фотоаккумуляции изображений элементарных полей).

Fig. 6. Example of restoring the simplest noise field by holographic method (top – oscillographic diagram of the field; centre – given field model; bottom – restored image of the field by the method of photoaccumulation of elementary fields).

szalag megvilágításának változó sűrűségű módszerével. Esetünkben minden egyes észlelési pontba egyidejűleg két, különböző rezgési frekvenciával bíró hullám érkezik be. Szándékosan választottunk olyan hullámhosszakat, melyek nem nagyon térnek el egymástól – 3 és 4 mm. Ismeretes, hogy ilyen esetekben létrejön a „pulzációs” effektus, vagyis az eredő rezgések fokozatosan növekvő és csillapodó amplitúdói sorozatainak váltakozása. Ha minden egyes oszcillografikus sávot külön vizsgálunk meg (6. ábra, felül), úgy ilyen időbeli váltakozás (függőleges mentén) jól látható. Ha viszont az oszcillogramokat összességükben nézzük meg, azaz az egész  $Xt$  síkot, úgy könnyen észrevehetünk bizonyos korrelációs törvényszerűségeket a hullámsorozatoknak ezen a síkon való elhelyezkedésében. De ha nem kettő, hanem sokkal több sugárzási pontunk lenne, az általuk kisugárzott hullámok pedig erősen eltérnének egymástól a hullámhossz tekintetében, akkor a „pulzációs” effektus az észlelési pontokban nagyon bonyolult jellegűvé válna és az  $Xt$  síkban semmiféle korrelációs törvényszerűséget nem sikerülne felfedezni. Helyreállítható-e a leírt tér az oszcillografikus felvételek alapján? Igen, helyreállítható. Huygens elvét alkalmazva mindegyik vételi pontot hullámkeltési forrásnak fogjuk tekinteni és ezeken a pontokon pontosan ugyanolyan hullámokat fogunk kelteni, mint amilyeneket vettünk. Így csak idő-felbontású feltételek birtokában járhatunk el. Esetünkben az ábrázolások fényérzékeny hordozóján levő oszcillogramok körfelbontásainak fotógrafikus összegezése útján helyreállítottuk a kiindulási hullámtér képét (6. ábra, alul).

Lényegében a helyreállítást az ismert holográfiai elvek alapján végeztük el, csupán azzal a különbséggel, hogy az észlelési pontokban nem egyetlen, hanem bármelyik időpontra vonatkozó információval rendelkezünk a tér fázisairól és amplitúdóiról. Ilyen információt bonyolult optikai hullámterek esetében gyakorlatilag lehetetlen kapni. Ezért a holografikus folyamatnak az optikában való megvalósítása céljából egyszerűsíteni kell a hullámtér szerkezetét a rezgések teljes monokromatikusságáig, majd mesterségesen kell létrehozni két tér interferenciáját: a vizsgált- és a referencia-térét, s ily módon kell létrehozni az álló-hullámok terét, vagyis olyan teret, melyet fázistagolással lehet rögzíteni a fényképezési lemezen annak dacára, hogy a rögzítés folyamata sokkal tovább tart, mint az elektromágneses hullámok rezgésének egy periódusa.

Hogy a hullámtér segítségével meg lehessen kapni a tárgy fényképét, a következő feltételeket kell betartani: a tárgy méreteinek jelentősen meg kell haladniuk a hullámhosszat, és felületén olyan amplitúdójú egyenetlenségeknek kell lenniük, mely nagyobb a hullámhossznál. Ezek a feltételek teljesülnek az optikában, ahol a fény hullámhossza mindössze  $0,0004 - 0,0008$  mm, a szabad szemmel látható tárgyak méretei pedig rendszerint meghaladják az  $1$  mm-t, vagyis több tízezerszer nagyobbak a hullámhossznál. A látható tárgyak többségének felszínén levő egyenetlenségek nagyobbak a fény hullámhosszánál.

A szeizmikus holográfia vagy fotográfia módszerének létrehozásához, mely teljesen analóg az optikaival, először is nem a tükörsíma réteghatárookra kell irányt venni, mint ez a korszerű szeizmikus kutatásban elfogadott, hanem a földtani jellegű lokális inhomogenitásokra, melyek a kőzetek viszonylag homogén közegébe vannak belefoglalva, s melyek felületüknek méretei és érdekessége szempontjából kielégítik a hullámhosszal képzett fenti összefüggést. Ha a szeizmikus kutatásban megtartjuk az  $50 - 100$  m-es hullámhosszakot, úgy nyilvánvalóan nem fogunk ilyen földtani objektumokat találni. Következésképpen, a szeizmikus kutatásnak az optikai holográfiával analóg módszere kidolgozásával kapcsolatos a nagyfrekvenciás szeizmikus hullámtér gerjesztésének problémája. Ha például  $1$  m-es szeizmikus hullámhosszat veszünk fel, úgy a gerjesztett tér frekvenciájának  $2 - 3$  ezer Hz-nek kell lennie, de a rugalmas hullámok ennyire nagyfrekvenciás terei gyorsan csillapodnak és nem hatolnak nagy mélységbe. Következésképpen igen nagy teljesítményű rengéskeltőkre van szükség. Ilyen rengéskeltőket elvben létre lehet hozni, azonban ha arra veszünk irányt, hogy az optikából a holografikus eljárást pontosan olyan formában vegyük kölcsön, mint ahogy azt ott alkalmazzák (frekvencia térrel), akkor a rengéskeltők iránt szigorú követelményeket kell támasztani a szeizmikus sugárzás monokromatikussága és koherenciája tekintetében. Ez bonyolulttá teszi a feladatot. Ha viszont az optikából az ábrázolások regisztrálásának fotografikus eljárását kölcsönözzük ki, úgy törölhetjük a rengéskeltők iránti fenti követelményeket, de a hullámterek lencses fókuszálási rendszerei komoly torzításokat fognak okozni; a lencsére  $10^\circ$  és  $20^\circ$  szögek alatt beeső hullámok a pont ábrázolása helyett ív-képet adnak, melynek hossza legalább a hullámhossz  $20 - 30$ -szorososa. Az optikában a  $20 - 30$  hullámhosszra elnyúló „pont” nem különböztethető meg szabad szemmel, a szeizmikában az analóg „pont” átmérője a természetben  $20 - 30$  m lesz, de csak akkor, ha sikerül a hullámhosszat  $1$  m-re lecsökkenti.  $20 - 30$  m átmérőjű pontokból nem lehet leképezni kis földtani objektumok ábrázolását, az olyan nagy földtani objektumok átlós szélessége pedig, melyek, tegyük fel, ilyen „pont” méreténél  $100$ -szor nagyobb átmérővel rendelkeznek,  $2 - 3$  km lesz. Lehetséges, hogy találunk ilyen objektumokat, de ezeknek olyan mélységekben kell települniök, melyek átmérőjüket legalább  $2 - 3$ -szorosán meghaladják, vagyis a földfelszíntől mért  $6 - 10$  km mélységben. Következésképpen, rövid hullámok nagy mélységekbe való behatolásának problémája súlyosbodik. Emellett újból felmerül a hullám rövidítésének szükségessége, hogy lehetővé váljon pl. *max.*  $100$  m átmérőjű és legfeljebb  $1 - 2$  km mélységben települő földtani objektumok „*lefényképezése*”. Ehhez át kell térni a szeizmikus hullámok deciméteres tartományára, viszont ezeknek a földben mért  $1,5 - 3$  km-es terjedési sebessége mellett már az ultrahang tartomány frekvenciáira van szükség.

A fentiek arra a következtetésre vezetnek, hogy olyan szeizmikus holográfiai vagy fotográfiai módszert kell létrehozni, mely lényegesen különbözik az analóg optikai módszerektől. És ebben a tekintetben a szeizmikus kutatás rendelkezik a szükséges előfeltételekkel. Ezekhez tartozik mindenekelőtt a szeizmikus hullámterek időbeli felbontással történő regisztrálásának lehetősége, vagyis az oszcillografikus eljárás (például, mágnesszalagon).

Az ilyen jellegű felvétel megőrzi a rezgési folyamat valamennyi fázis-és amplitúdó- jellegzetességét, ezen kívül visszajátszható: Ez új utakat nyit a szeizmikus holográfiai és fotográfiai módszerek előtt, melyeknél teljesen megszűntek a hullámterek inkoherenciájával és polikromatikusságával kapcsolatos korlátozottságok.

A „szeizmikus ábrázolások” időfelbontással regisztrált kiindulási adatok mellett nemcsak amplitúdó- (energetikai), hanem fázis-információt is tartalmazhatnak. Ezeknek az ábrázolásoknak érzékelése természetesen nem lehet pontosan olyan, mint az optikában, ahol a hullámhossz összemérhetetlenül kicsi a megvilágított tárgyakhoz képest, de a szeizmikus hullámok megrövidítése nélkül aligha sikerül megváltoztatni valamit ebben a tekintetben. Az oszcillografikus felvételek segítségével készített ábrázolások fázisstruktúrájának megőrzésén kívül az új hullámtér-helyreállítási módszernek még az alábbi hasznos sajátosságai lépnek fel: 1. a tér ábrázolása előállítható bármilyen adott időpillanatra, valamint egymásutáni pillanatok egész sorára, vagyis szinte olyan filmkockák sorozatát lehet újból létrehozni, melyek jellemzik a tér „életét” az adott időszakos folyamán; 2/a tér képeit ki lehet alakítani mind az  $XZ$  síkban, azaz az  $XY$  észlelési síkra ortogonális síkban, mind az  $X'Y'$  síkban, azaz az észlelési síkkal párhuzamos, de attól tetszés szerinti  $Z_n$  távolságban levő síkban.

A kísérleti vizsgálatok összes fentebb közölt eredménye az  $XZ$  síkra vonatkozik, de az  $X'Y'$  síkban végzendő analóg vizsgálatok elveit szintén kidolgoztuk. Külön megjegyzendő, hogy a hullámtér képének a fenti módszerrel az  $X'Y'$  síkban történő helyreállításánál, mely a hologram vagy a fókuszáló lencse síkjától olyan messze van, mint a fokális sík és a lencse közötti távolság, olyan hullámtér-képet fogunk kapni, mely egyenértékű a holografikus vagy fotográfikus módszerrel fényképezési lemezen kapott fotólenyomattal, melyet a tér fokális tartományába helyeztek, ahol a tényleges holográfiai ábrázolás kialakul. A leírt módszerrel kapott ábrázolások fő eltérése a fotográfikus és holografikus ábrázolásokból csupán abban lesz, hogy azok a pillanatnyi fényképeknek felelnek meg, melyeket azon feltétel érvényesülés mellett készítenek, hogy az exponálási idő sokkal rövidebb a hullámtér egy rezgési periódusának időtartamánál. Ha az objektívok fényképezési zárjai olyan sebességgel tudnának működni, mely lehetőséget adna például  $10^{-15}$  sec-os exponálási idők alkalmazására, úgy közönséges fényképezőgép segítségével pontosan olyan felvételt kapnánk, mint amelyet a tér oszcillografikus felvételei alapján kaphatunk a fentebb ismertetett eljárással, vagyis olyan felvételt, melyen a tér energiájának a fotólemez síkjában való eloszlásán kívül rögzítve lenne ezen tér fázisstruktúrája is.

### Összefoglalás

A szeizmikus kutatásban, mint az ábrázolások regisztrálásának bármilyen más módszerénél, felhasználható mind a fotográfikus (lencses), mind a hologra-

fikus (lencsenélküli) eljárás. A szeizmikus hullámok kis frekvenciái lehetőséget adnak arra, hogy futó hullámok terének regisztrálásánál oszcillografikus és kinematografikus eljárásokat alkalmazzunk, ami biztosítja a szeizmikus holográfiában nemcsak monokromatikus, hanem polikromatikus (zaj) terek felhasználásának lehetőségét.

Az elvégzett vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy az ábrázolások fényérzékeny hordozón való fotografikus összegezésével imitálni lehet a hullámterek fotografikus és holografikus átalakítási folyamatait és meg lehet kapni a kiindulási tér mintegy pillanatnyi fényképét a hullám-maximumok és minimumok képeinek megőrzésével, vagyis a tér teljes fázis-amplitúdó szerkezetével.

Megállapítást nyert, hogy fénylő pontok képeinek torzulásai, melyeket a lencse okoz ferde sík frontú harmonikus hullám terének fókuszálásánál, jelentős értékeket érnek el a frontnak már  $10 - 20^\circ$ -os dőlése esetén is. A „pont” helyett ilyen esetben ív képe alakul ki, mely kidomborodó oldalával a hullámfrontok emelkedési irányába esik. Az ezen ívet képező periódusok száma a vízszintes front fókuszálásánál kapott  $1 - 2$ -ről  $20 - 30$ -ra nő dőlt front fókuszálásakor.

Megállapították, hogy a lineáris diffrakciós rács, melyben a diffrakciós pontok a Frenel-féle gyűrűkön helyezkednek el (lineáris hologram), sokkal rosszabbul fókuszálja a hullámteret, mint a vele ekvivalens „lineáris lencse”, ami könnyen magyarázható azzal, hogy a kialakított képben hiányzik a Frenel-féle zónás gyűrűk kiterjedt epicentrális részéből származó információ. Az optikában a fókuszálásnak ezt a hibáját nem lehet észrevenni, mivel ott a hullámhosszak kicsinyek, a hologramok aperturái viszont (a hullámhosszhoz viszonyítva) rendkívül nagyok. A szeizmikában a holografikus fókuszálás felfedezett hibáját figyelembe kell venni, különösen azokban az esetekben, mikor hosszú hullámokat ( $50 - 100$  m) használnak rövid robbantópont-geofon távolság mellett.

A fókuszált tér képének minőségére nagy hatást gyakorol a hullámok vevő és gerjesztő berendezéseinek aperturája és diszkrétsége. A  $80$ ,  $40$  és  $10$  m-hullámhosszú aperturákkal kapott képmások azt mutatják, hogy  $10 \lambda$  apertúra és  $20 \lambda$  fókuszmélység esetén a tér lencsés fókuszálásának effektusa gyakorlatilag eltűnik.

A berendezés diszkrétsége a helyreállított képmás peremi részein „ív” formájú kísérősávok képződésére vezet. Ez a kísérőjelenség csaknem teljesen hiányzik, mikor a gerjesztési pontok közötti távolság  $0,5 \lambda$ .  $1,0 \lambda$  távolság esetén széles ív jelenik meg;  $1,3 \lambda$  távolság esetén a sáv szélessége csökken, de az ábrázolás élessége leromlik.

Nagyon meggyőző eredményt kaptunk zajterek szeizmikus holográfiában való felhasználási lehetőségének kísérleti ellenőrzésénél. Megvizsgáltuk a zajtér legegyszerűbb esetét, melyet két különböző frekvenciájú harmonikus tér szuperponálása és interferenciája útján képeztünk. A létrejött pulzációkat oszcillografikus eljárással regisztráltuk. Ezután az oszcillogramok alapján helyreállítottuk a kiindulási tér képét. A kapott képen jól látható a két különböző frekvenciájú tér, melyek a sík két pontjában fókuszálódnak. Ez a kísérlet szemléletesen megerősíti azt a következtetést, hogy minden esetben, mikor gyakorlatilag megvalósítható a tér regisztrálása időbeli felbontással, a tér ismét helyreállítható oszcillogramok alapján attól függetlenül, hogy a tér mono- vagy polikromatikus-e. Következésképpen, a hullámterek koherenciájának problémája különös élességgel csak azokban az esetekben vetődik fel, mikor a hul-

lámtereket nem lehet oszcillografikus eljárással regisztrálni, például az optikában.

A végrehajtott kísérleti vizsgálatok arra a következtetésre adnak módot, hogy az optikai eljárásokkal teljesen analóg szeizmikus fotografiai és holográfiai módszerek csak abban az esetben hozhatók létre és válhatnak hatékonyá ha olyan rugalmas hullámokat sikerül felhasználni a földtani objektumok „átvilágítására”, melyek hossza 100 – 1000-szer rövidebb ezen objektumok átmérőjénél. Az összes egyéb esetben nincs értelme annak, hogy teljes analógiára törekedjünk az optikai és szeizmikus képrögzítési módszerek között. A szeizmikus képmásokban ilyenkor célszerű megőrizni a hullámtér fázisszerkezetét és felhasználni azt a holografikus és fotografikus ábrázolások kiegészítő értelmezéséhez, melyek élessége elvileg nem lehet nagy a kutatási objektum átmérőjének és a hullámhossznak azonos nagyságrendje miatt.

A vizsgálati eredmények alapján előzetes véleményt lehet mondani a „színes szeizmikus holográfia” módszerének létrehozási lehetőségéről, vagyis a képmásoknak a rugalmas hullámok polikromatikus tereiben való regisztrálásáról. Feltehető, hogy a polikromatikus holográfia útja a közetfizikai tulajdonságok meghatározásának hatékony eszköze lesz, vagyis olyan szeizmikus módszerré válik, mely bizonyos mértékben analóg a színes fényképezéssel, lehetővé téve a tárgyak színe alapján azok fizikai tulajdonságainak felismerését.

Befejezésül néhány szót szeretnénk mondani a szeizmikus holográfia terén végzendő további kutatások irányairól. Úgy látszik, hogy jelenleg az új módszer kifejlesztésének útján két olyan probléma áll, melyek megoldása nélkül elvileg lehetetlen a rugalmas hullámok terével „megvilágított” holográfiai objektumok éles ábrázolását előállítani. Az első probléma a következőképpen fogalmazható meg: olyan technikai-módszertani eszközöket kell találni, melyek biztosítják a szeizmikus vizsgálatok 5 – 10 km mélységig való elvégzését a rugalmas hullámok 0,1 – 10 m közötti hullámhossza mellett. Ennek a problémának megoldása lehetővé teszi, hogy a hullámok fázisosan tagolt képeiről rátérhessünk a közönséges fényképekkel analóg energetikai, integrál ábrázolásokra. Ezen probléma megoldásának nehézsége abban rejlik, hogy a nagyfrekvenciás rugalmas rezgések gyorsan csillapodnak a kőzetösszletekben és nagyon nehéz egyeztetni a szeizmikus kutatás mélységi behatolásának megőrzését (5 – 10 km) a nagyfrekvenciás terekre való rátéréssel.

A második probléma a szeizmikus vevőberendezések aperturáinak növekedése és a hullámok szelvénymenti regisztrálásáról a területi regisztrálásra való átmenet; ilyenkor az szükséges, hogy a területi észlelési pontok közötti távolságok ne legyenek nagyobbak a hullámhossz felénél. Ha négyszög alakú vételi elrendezést veszünk alapul 100 hullámhosszal egyenlő oldalhosszúsággal, úgy a diszkrét eljárásnál 40 ezer észlelési pont szükséges. Természetesen felmerül annak szükségessége, hogy a szeizmikus hullámterek regisztrálásának más, célszerűbb eljárásait keressük, melyeknél nincs szükség a geofonok szétrakására és a terepen való áthelyezésére, vagyis ki kell dolgozni a szeizmikus hullámok „kontaktmentes” vételi és regisztrálási módjait.

A fentebb említett problémák nagyon bonyolultak és sokoldalúak, de aligha indokolt, hogy ezeket megoldhatatlanoknak tekintsük. Ezekben az irányokban kutatási jellegű elméleti és kísérleti vizsgálatokat, valamint feltalálói tevékenységet kell végezni.

## Egyesületi hírek

Az Európai Geofizikai Társaság ülése Amsterdamban 1976. szept. 7–10. között

Az Európai Geofizikai Társaság (European Geophysical Society – EGS) 1971 augusztusában alakult meg, több éven át tartó előkészítő megbeszélések után. Célja az, hogy fórumot teremtsen a legáltalánosabb értelemben vett geofizikai tudomány munkásainak kutatási eredményeik bemutatására, lehetőséget nyújtson azok kritikai megtárgyalására, a fontos eredmények, fejlődési lépések nyomkövetésére és a nézőpontok kiszélesítésére. Különösképpen szólni kíván a Társaság a földtudományok fiatal művelőihez, akiknek igen hasznos lehet, ha munkáikat nemzetközi hallgatóság előtt bemutatathatják.

A társaság érdeklődési köre kiterjed a szilárd Földdel, a hidroszférával, az atmoszférával, a magnetoszférával és a bolygóközi térrel, valamint a Holddal és a bolygókkal foglalkozó kutatási területre, felöleli tehát a következő diszeplinákat: geodézia, szeizmológia, meteorológia, földmágnesség és paleomágnesség, oceanográfia, vulkanológia, geokémia és kőzetan, hidrológia, tektonofizika, planetológia és a nappolygók-közötti kapcsolatok.

A Társaság eddig két konferenciát tartott: az elsőt Zürichben, 1973 szeptemberében, a másodikat Triesztben, 1974-ben. 1975-ben nem tartottak ülést, tekintettel arra, hogy erre az évre esett az UGGI közgyűlése Grenoble-ban.

A harmadik ülés helyéül Amsterdamt választották, az időpont 1976. szeptember 7–10. Előadást bejelenteni és kivonatot beküldeni (ezt szigorúan előírt alakban) június 15-ig lehet, valamennyi, a Társaság érdeklődési körébe eső témával kapcsolatban. Az általános program keretében, illetve ehhez csatlakozóan a következő tárgyú szimpóziumokat rendezik:

1. Az ütközési zónák kéregdeformációi (felelős: *J. G. Ramsay*, Leeds)
2. A lemeztectonika kinematikája és dinamikája (felelős: *S. K. Runcorn*, Newcastle)
3. A paleomágnesség eredmények megbízhatósága (felelős: *K. Storetvedt*, Beigen)
4. A tengeri mágnesség anomáliák eredete (felelős: *N. Petersen*, München)
5. A légkör halogén alkatrészeinek eredete, reakciói és eltűnése, (felelős: *D. H. Ehalt* és *J. E. Lovelock*, Jülich, illetve Bower Chalk)
6. Hullámok a magas légkörben (felelős: *H. Volland* és *J. Testud*, Bonn, illetve Issy-les Moulineaux)
7. A magnetopauza régiója (felelős: *M. J. Rycroft* és *J. Lemaire*, Southampton, illetve Bruxelles)
8. Az interplanetáris médium (felelős: *F. M. Neubauer* és *F. Mariani*, Braunschweig, illetve Róma).

A szimpóziumok a rendelkezésre álló idő egyharmadrészt fogják igénybe venni, a többi az ezeken kivüleső témák számára van fenntartva. A szimpóziumokon bekért és szabadon beküldött előadások vegyesen szerepelnek. Szívesen látják még nem végzett diákok diplomadolgozatait is.

A részvételi díj: EGS-tagoknak: 60 Dfl (holland forint), diák-résztvevőknek: 30 Dfl, nem EGS-tagoknak: 80 Dfl. A május 15. után beérkező díjakhoz 25 Dfl felár járul. Szállásigénylések június 15-ig küldendők be. Diákok számára mérsékelt díjú szállásról gondoskodnak.

A részvétel bejelentése, illetve bejelentési-lap-igénylés a következő címre küldendő:

Third EGS Meeting (Registration)  
c/o Vrije Universitát  
de Boelelaan 1105  
AMSTERDAM  
The Netherland

Előadás-bejelentés, illetve a kivonat beküldése a következő címmel történhet:

Third EGS Meeting (Programme Committee)  
c/o Vening Meinesz Laboratorium  
Lucas Bolwerk 7  
UTRECHT  
The Netherland

Az ülés házigazdája az Amsterdami Szabad Egyetem, ahol a helyi rendező bizottság működik.

T. G.

## Néhány szó a porózus kőzetek fajlagos ellenállásának változásáról\*

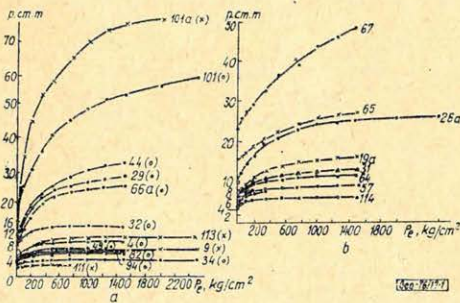
(A Szerkesztőség és MARKÓ LÁSZLÓ\*\* hozzászólásai)

Lapunk hasábjain (1975. XVI. évf. 2. szám) közlemény jelent meg Egerer Frigyes tollából a kőzetek fajlagos ellenállásának nyomás okozta változásáról és az ebből fakadó következtetésekről. Az említett dolgozathoz kapcsolódóan közöltük Markó László észrevételeit, melyek a porózus kőzetek viselkedését elemezték.

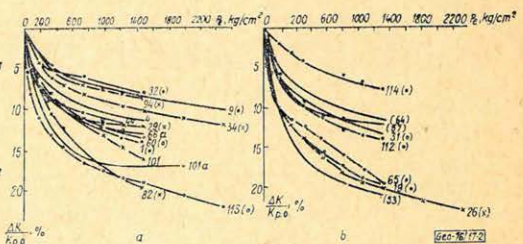
A felmerült nézeteltérések tisztázásához néhány vizsgálati eredményt adunk alábbiakban közre, melyeket szovjet szerzők (1) a Kaukázus előteréből származó nagyszámú homokkő mintán jól definiált eszközzel és módszerrel mértek. A homokkövek 2500–3500 mélységből származtak és részben agyagosan, részben karbonátos-agyagosan cementáltak voltak.

A vizsgálatok kiterjedtek a kőzetminták nyomás alatti viselkedésére az alábbi kőzetparaméterekre vonatkozóan: porozitás, fajlagos ellenállás, rugalmas hullámok terjedési sebessége.

Számunkra jelen viszonylatban elsősorban a fajlagos elektromos ellenállás nyomás alatti változása érdekes, ezért ezt emeljük ki a hivatkozott dolgozathoz, annak 2. ábráját bemutattva (1. ábra).



1. ábra – puc. – Fig.



2. ábra – puc. – Fig.

Az ábra baloldali része agyagos, a jobboldali agyagos-karbonátos cementációjú minták vizsgálati eredményeit adja (a görbékhez írt számok a minták számozását jelentik). Az ábrából egyértelműen kiolvasható, hogy a porózus kőzetek fajlagos ellenállása a nyomás növekedtével *növekszik*. A növekedés mértéke meglehetősen különböző az egyes mintákon, de a cementált ágtól függetlenül főleg a 0–500 kg/cm<sup>2</sup> nyomásváltozási tartományban a legnagyobb.

A hivatkozott dolgozat bemutatja a porozitás változását is ugyanazokon a mintákon, melyeken a fajlagos ellenállás változását mérték.

\* Kiegészítés az 1975. XVI. évf. 2. sz. Egerer Frigyes cikkéhez.

\*\* OGIL Budapest.

Idézzük a dolgozat 1. ábráját (2. ábra), melyen ugyancsak két csoportban a porozitás változása %-ban a függőleges, a nyomás a vízszintes tengelyen szerepel.

Az ábrából megállapítható, hogy a porozitás csökkenése a  $0-500 \text{ kg/cm}^2$  nyomásnövekedés esetén a legnagyobb (az eredeti érték kb.  $15\%$ -a). A kétféle változás az ismert összefüggések alapján nyilvánvalóan kapcsolatban van egymással, de feltételezhető, hogy az ellenállás-változásban a pórus térfogat csökkenésén kívül a pórusgeometria nyomás alatti változása is szerepet kap.

Fentieket igazolja egyébként az Egerer Frigyes válaszában közölt 6. ábra is, mert a nyomás növekedéséhez ebből is a fajlagos kőzetellenállás növekedése olvasható ki (a  $q/q_0$  hányados  $1$ -nél nagyobb és növekszik).

Mindezekkel szemben Egerer Frigyes ismertetett vizsgálatait azt mutatták, hogy az általa vizsgált kőzetek fajlagos ellenállása a nyomás növekedtével csökken. Feltételezve a mérési módszerek egyenlő megbízhatóságát az ellentmondás csak a minták minőségében fennálló különbségekből fakadhat. Egerer Frigyes a vizsgálatokat száraz kőzetekre végezte és ez alapon jutott a közölt eredményekre. Bár ezek önmagukban értékesek, de mert a *CH* kutatás-termelés jellegzetes kőzettartománya az, amely számottevő porozitással és folyadék kitöltéssel rendelkezik, az ilyen mintákon nyert eredményeket tekinthetjük mélybeli viselkedésük jobb leírásának.

Az (1) irodalmi hivatkozás részletes irodalom-jegyzéket is tartalmaz.

(1) Aveszjan G. M., Metvejenko A. A., Sztefankevicz Z. B.: Vlijanije vszesztoronnevo davlenija na fiziceszkie szvojsztva peszcsanikov.

Prikladnaja Geofizika 1969. 55. szám. 149–164. old.

Egerer Frigyes cikkének megjelenése után Markó Lászlótól további észrevételek érkeztek. Ezeket (kissé rövidített formában) az alábbiakban adjuk közre. (Szerkesztőség)

Az Egerer Frigyes válaszához csatolt 6. ábra, amelyhez a szerző semmiféle magyarázatot nem ad, számomra azt mutatja, hogy a fajlagos ellenállás a nyomás növekedésével nő. Ez teljes mértékben azt támasztja alá, amit én is állítottam. Viszont nem támogatja a 2. és 4. ábrán látható tendenciát, mégpedig azt, hogy a fajlagos ellenállás a nyomással csökken. A szerző helyesen jegyzi meg, hogy ezek az ábrák a kőzetváz viselkedését mutatják. Véleményem szerint a 6. ábrán látható fajlagos ellenállás növekedés elsősorban a nyomásnak a kőzet pórusnagyságára és szerkezetére gyakorolt hatását tükrözi, és nem látom ezáltal bizonyítottnak azt, hogy lektori véleményem ezzel ellentétes lenne. Hisz aláhúzottan szeretném ismételtlen kimondani, hogy magának a kőzetváznak a vezetőképessége még igen nagy nyomások mellett is elhanyagolható a folyadékkal töltött pórussteréhez képest. Különösen áll ez abban a kőzettartományban, amelyben a karotázs dolgozik. Lássunk egy példát. A 2. ábra kőzete esetében  $50 \text{ Hz}$  frekvencia mellett a kőzetváz fajlagos ellenállása  $0,1 \text{ Mp/cm}^2$  fedőnyomás esetében  $250 \text{ kohmm}$ ,  $1 \text{ Mp/cm}^2$  esetén pedig  $40 \text{ kohmm}$ .

Ha a kőzetváz vezetőképességét is figyelembe akarjuk venni, akkor a vízzel telített kőzet vezetőképessége az alábbi összefüggéssel írható fel:

$$\frac{1}{R} = \frac{1 - \Phi}{R_{\text{váz}}} + \frac{\Phi^m}{R_w},$$

ahol:  $R$  = a kőzet fajlagos ellenállása  
 $R_{\text{váz}}$  = a kőzetváz fajlagos ellenállása

- $R_w$  = a rétegvíz fajlagos ellenállása  
 $\Phi$  = a porozitás  
 $m$  = az úgynevezett porozitás kitevő.

Ha  $R_{váz} = \infty$ , akkor  $\frac{1}{R_o} = \frac{\Phi^m}{R_w}$ . Ez az Archie formula.

Vizsgáljuk meg, milyen változást okoz a kőzetváz nyomás okozta vezetőképesség változása a kőzet fajlagos vezetőképességében, illetőleg fajlagos ellenállásában.

A fenti két összefüggés alapján

$$\frac{R}{R_o} = \frac{1}{1 + \frac{1 - \Phi}{\Phi^m} \cdot \frac{R_w}{R_{váz}}}$$

Legyen  $\Phi = 0,2$   
 $R_w = 0,5$ ,

ekkor

$$\frac{R}{R_o} = \frac{1}{1 + \frac{10}{R_{váz}}}$$

Vegyük a  $0,1 \text{ Mp/cm}^2$  melletti kőzetváz ellenállást, akkor Egerer kolléga mérési szerint

$$\frac{R}{R_o} = \frac{2,5 \cdot 10^4}{1 + 2,5 \cdot 10^4} = 0,99996,$$

vagyis abban az esetben, ha csupán a kőzetváz vezetőképességének nyomás okozta változását vesszük figyelembe,  $0,004\%$  fajlagos ellenállás csökkenés adódik.

Az  $1 \text{ Mp/cm}^2$  melletti  $40 \text{ kohmm}$  kőzetváz-fajlagos-ellenállás esetén az ugyanilyen okból adódó fajlagos-ellenállás-csökkenés  $0,025\%$ . Ennek alapján nekem az a véleményem, hogy magának a kőzetváznak a vezetőképessége még nagy nyomásváltozások esetén sem befolyásolja észrevehetően a kőzet fajlagos ellenállását a mélyfúrési geofizika gyakorlata szempontjából. Ez az, amit lektori véleményemben nem részleteztem ennyire ki, de amelyre szerettem volna utalni. Most is fenntartom azt a véleményemet, hogy a kőzetek fajlagos ellenállása a nyomás növekedésével nő és ez a nyomás hatására a póruster által elszenvedett változással kapcsolatos és ezt a kőzetváz vezetőképességében bekövetkezett változás (az Egerer féle mérések szerint is) nem ellensúlyozza. Természetesen ez olyan kőzetekre vonatkozik, amelyekben az Archie formula érvényes. A kérdéssel való foglalkozást mindenesetre továbbra is érdekesnek tartom, de a figyelmet, pénzt és energiát azon jelenségek vizsgálatára tartom célszerűnek fordítani, amelyek a természetben valóságos környezetükben előforduló kőzetek viselkedésének tanulmányozására irányulnak.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |            |
|---|------------|
| <i>И. Барат</i> : Методические вопросы низкочастотного индукционного каротажа . . . . .   | 45         |
| <i>П. Тот</i> : Международные годы магнитосферических исследований (ИМС 1976–78 г.) . . . . .   | 62         |
| <i>В. Д. Завьялов</i> : Экспериментальные исследования по сейсмической голографии . . . . .   | 67         |
| Статья содержит замечание <i>редакции и Л. Марко</i> к работе Фридьема Эгерера, появившейся во 2 номере журнала „ВЕНГЕРСКАЯ ГЕОФИЗИКА“ за 1975 г. . . . . | 78         |
| Обзор книг . . . . .  | 44, 61, 66 |
| Новости в Общества Венгерских Геофизиков . . . . .  | 1, 77      |

## CONTENTS

|  |            |
|--|------------|
| <i>I. Baráth</i> : Methodical questions of low frequency induction logging . . . . .                                   | 45         |
| <i>P. Tóth</i> : International Magnetospheric Study Yeares (IMS – 1976 – 78) . . . . .                                 | 62         |
| <i>V. D. Zavjalov</i> : Experimental investigations in seismic holography . . . . .                                    | 67         |
| <i>Remarks of the Editor and of L. Markó</i> : On the Variations of the Specific Resistivity of Porous Rocks . . . . . | 78         |
| Review of books . . . . .  | 44, 61, 66 |
| News about the Association . . . . .   | 1, 77      |

---

*Főszerkesztő*: Dr. Sebestyén Károly MGE társelnöke

*Technikai szerkesztő*: Ujhelyi Györgyné egyesületi titkár

*Szerkesztő bizottság*: Dr. Bencze Pál, Dr. Bodoky Tamás, Czeglédi István, Deres János, Gerzson István, Hursán László, Lakatos Sándor, Dr. Posgay Károly, Rádler Béla, Tóth Géza, Dr. Tóth Péter

*Szerkesztőség címe*: 136S. Budapest, VI., Anker köz 1. félem. 17. Postafiók 240.

# Pályázat

## 1976. évi kutatási jutalmakra

A Magyar Tudományos Akadémia pályázatot ír ki  
a távlati tudományos kutatások  
terén elért jelentős eredmények jutalmazására.

A pályázaton részt vehetnek tudományos kutatók és egyetemi oktatók, ill. kollektívák, továbbá kutatással foglalkozó más szakemberek függetlenül attól, hogy milyen munkahelyen dolgoznak.

A pályázatban – két évnél általában nem régebbi – nyomtatásban megjelent tanulmány-nyal vagy közlésre alkalmas kézirattal (kivételesen kutatási zárójelentéssel) lehet részt venni.

A kutatási jutalom az eredmény jelentőségétől függően egyéni pályázó esetében 5000 – 15 000 Ft, kutatói kollektívák esetében 6000 – 35 000 Ft.

*Nem részesíthetők a fenti jutalomban:*

- Az Akadémia tagjai, a kutatóintézetek és egyéb kutatóhelyek igazgatói, a tanszéki akadémiai kutatócsoportok vezetői;
- akik adott kutatási tevékenységért a munkabéren és járulékain, illetve a már megjelent tanulmány szerzői díján kívül más ellenértékben (kutatási szerződési, szakértői, újtási, szabadalmi díjban, kutatási eredményért kapott külön jutalomban stb.) részesültek;
- kutatási jutalomban már részesített, vagy ezzel kapcsolatban már érdemben elbírált pályamunkák, kivéve ha az elbírálás óta elért számottevő új tudományos eredményt tartalmaznak.

*A pályázatnak tartalmaznia kell:*

1. A pontosan kitöltött pályázati űrlapot (beszerezhető: az MTA Tudományos Testületi Titkárságán Bp. V., Münnich F. u. 7. sz. alatt, az egyetemek rektori hivatalaiban, továbbá akadémiai- és ipari kutatóintézetekben).
2. A kutatási eredményt tartalmazó tanulmányt (közlésre alkalmas kéziratot). Szükség esetén a kutatások gondozásáért felelős tárcák koordináló bizottságai adnak felvilágosítást arra nézve, hogy az adott pályamunka, tematikája alapján melyik főirányhoz, illetőleg kutatási területhez tartozik.

A pályázatot (tanulmányt és pályázati űrlapot) 1976. május 30-ig kell a kutatóhely vezetőjéhez benyújtani, aki a pályázati űrlapra felvezeti szakvéleményét, és a pályázatot június 15-ig továbbítja az Akadémia Tudományos Testületi Titkárságának.

Az előírt határidő után, vagy hiányosan, továbbá nem kellően rendezett alakban benyújtott pályázatok nem vehetők figyelembe. A már benyújtott pályázati anyagot kiegészíteni, vagy módosítani nem lehet.

A kutatási jutalmak kiosztására december hó második felében kerül sor.

A kutatási jutalomban részesített pályamunkákat az MTA – a főirányért felelős tárcavélemények figyelembevételével – szabadon hasznosíthatja.

A Tárcaszintű kutatások terén A KÖZPONTI FÖLDTANI HIVATAL gondozásában a következő terv szerepel:

1. Az ország természeti erőforrásainak kutatása és feltárása.

*A Magyar Tudományos Akadémia  
Elnöksége*