

A 6FV100 és 6FV40 alacsonyfrekvenciás indukciós szondák értelmezési görbeseregei

PLUSZNYIN M. I., VILGE B. I., BARÁTH ISTVÁN

Az értelmezési görbesereg kidolgozását a Moszkvai Geológiai Kutató Egyetem Geofizikai Kutató Módszerek Tanszéke segítségével végeztük el. Az alacsonyfrekvencia lehetővé tette az egyszerű algoritmus alkalmazását.

A választott földtani modellre BESZM-6 számítógéppel végeztük el a számítást, s eredményeképpen került sor az értelmezési görbesereg összeállítására.

A görbeseregek alkalmasak a 6FV100 és 6FV40 típusú alacsonyfrekvenciás indukciós mérések anyagának értelmezésére.

Разработка комплекта палеток для интерпретации данных, полученных зондами 6FV100 и 6FV40 низкочастотного индукционного каротажа осуществлялась с помощью Кафедры общих геофизических методов МГРИ.

Применение низкой частоты дало возможность составить сравнительно простой алгоритм. Расчеты проведены на ЭВМ БЭСМ-6 для установленной геологической модели. На основе расчетных данных составлены палетки для интерпретации из которых несколько приложено к данной работе.

Составленные палетки пригодны для интерпретации данных, полученных зондами 6FV100 и 6FV40 низкочастотного индукционного каротажа.

We have worked out the interpretation master curves with the assistance of the Department of Geophysical Prospecting Methods of the Moscow University for Geological Investigation. The low frequency allowed the application of the simple algorithm.

For the selected geological model, the calculations were performed with BESZM-6 computer and, as a result of them, we made up the interpretation master curves.

The master curves are suitable for the interpretation of the results of 6FV100 and 6FV40 type low-frequency induction measurements.

Az értelmezési görbesereg kidolgozásában segítséget nyújtott a Plusznjin M. I. professzor vezette Moszkvai Geológiai Kutató Egyetem (MGR I) Geofizikai Kutatómódszerek Tanszéke. Ezt a lehetőséget célszerű volt felhasználni, mivel

- a Tanszék rendelkezett kipróbált, jó programcsomaggal, amelyet a 6F1 indukciós szonda számításánál használtak;
- az alacsonyfrekvencia folytán lehetőségessé vált az algoritmus lényeges egyszerűsítése, gyors gépre vitele és eredményes számítások elvégzése;
- az ipari követelmények ma már megkívánják, hogy a kifejlesztett geofizikai szondák módszertani segédlettel, s ezen belül megfelelő értelmezési segédlettel legyenek ellátva, amelyek miatt meg kellett gyorsítani a munkákat és élni a Tanszék nyújtotta lehetőségekkel.

A számításokat a következőképpen végeztük el:

Az [1, 2, 3]-nak megfelelően

$$\sigma_a = \sigma_m \cdot G_m + \sigma_i \cdot G_i + \sigma_t \cdot G_t \quad (1)$$

ahol

σ – vezetőképesség,

G – geometriai tényező,

a, m, i, t indexek – a látszólagos, fúróiszap, elárasztott zóna és réteg értékeket jelölik.

A látszólagos vezetőképesség (σ_a) és a mágneses tér összegezett vertikális aktív összetevője, amely a tér levegőbeni értékére normált (h_z), a következő kapcsolatban áll:

$$\sigma_a = \frac{2h_z}{\mu \omega L^3}. \quad (2)$$

A h_z -t a hattekerceses 6FV100 és 6FV40 típusú alacsonyfrekvenciás indukciós szondákra az alábbiak szerint kapjuk [4,6]:

$$\begin{aligned} h_z &= \frac{\mu \omega L_1^2}{2} \left[\sum_{j=0}^m \sigma_j G_j(L_1) + \frac{M_{A_2}}{M_{A_1}} \cdot \frac{L_1}{L_2} \sum_{j=0}^m \sigma_j G_j(L_2) + \right. \\ &\quad \left. + \dots + \frac{M_{A_9}}{M_{A_1}} \cdot \frac{L_1}{L_9} \sum_{j=0}^m \sigma_j G_j(L_9) \right] = \\ &= \frac{\mu \omega}{2} \left[L_1^2 \cdot K_1 \cdot \sum_{j=0}^m \sigma_j G_j(L_1) + L_2^2 \cdot K_2 \sum_{j=0}^m \sigma_j G_j(L_2) + \right. \\ &\quad \left. + \dots + L_9^2 \cdot K_9 \sum_{j=0}^m \sigma_j G_j(L_9) = K_1 \cdot h_{z_1} + K_2 \cdot h_{z_2} + \dots + K_g \cdot h_{z_g} \right], \quad (3) \end{aligned}$$

ahol

L_1, L_2, \dots, L_9 – a hattekerceses szonda kéttekerces szondapárjai,
 M_{A_n} – az adótekerces mágneses momentuma,

$$K_n = \frac{M_{A_1}}{M_{A_n}} \cdot \frac{L_1}{L_n};$$

h_{z_n} – az „ n ”-edik kéttekerceses szonda tere,

$n = 1, 2, \dots, 9$,

$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 4 \cdot 10^3$ [Hz],

$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [H/m],

$G_j(L_n)$ = a j -szakasz geometriai tényezője az „ n ”-edik kéttekerceses szondára.

Az (1) egyenlet megoldásához szükséges a fúróluk (G_m), elárasztott zóna (G_i) és réteg (G_t) geometriai tényezőinek ismerete.

A fúróluk geometriai tényezője:

A fúróluk geometriai tényezője a következőképpen számítható [2]:

$$G_m(\alpha) = 1 - \frac{\alpha}{\sqrt{1+\alpha^2}} + \frac{2\alpha}{\pi} \int_0^\infty F(m) \cos \alpha m dm, \quad (4)$$

ahol

$$\alpha = \frac{L}{\frac{d}{2}},$$

$\frac{d}{2}$ – a fúróluk sugara,

$$F(m) = K_0(m) - \frac{m}{2} \{2K_0(m) K_1(m) - m [K_1^2(m) - K_0^2(m)]\},$$

$K_0(m), K_1(m)$ – Mac Donald-függvények.

Ha $m \rightarrow 0$, akkor

$$K_0(m) \approx -1nm - \frac{m^2}{4} \cdot 1nm + \frac{m^2}{2} - C + \dots,$$

$$K_1(m) \approx \frac{1}{m} + \frac{m}{2} \cdot 1nm - \frac{m}{4} + \dots,$$

$$F(m) = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} m^2 \cdot 1nm,$$

$$F(0) = \frac{1}{2}.$$

A $d/2$ sugarú fúrással harántolt réteg geometriai tényezője (G_t):

A $d/2$ sugarú fúrással harántolt elemi réteg geometriai tényezője [1, 2, 3, 6]:

$$G_z = \frac{L}{2} \int_{d/2}^{\infty} \frac{r^3 dr}{\left\{ r^2 + \left[(z - z_c) + \frac{L}{2} \right]^2 \right\}^{3/2} \left\{ r^2 \left[(z - z_c) - \frac{L}{2} \right]^2 \right\}^{3/2}}, \quad (5)$$

ahol

z_c = az „L” hosszúságú kétkerces szonda központjának z -tengely menti koordinátája,

$$G_z = \frac{1}{8L} \cdot \left[2 + \frac{L^2}{2(z - z_c)^2} - \frac{2(z - z_c)^4 + \left(\frac{d^2}{2} - L^2 \right) (z - z_c)^2 + \frac{L^2}{2} \left(\frac{d^2 + L^2}{4} \right)}{(z - z_c)^2 \sqrt{\left((z - z_c)^4 + \left(\frac{d^2 - L^2}{2} \right) (z - z_c)^2 + \left(\frac{d^2 + L^2}{4} \right)^2 \right)}} \right]. \quad (6)$$

Ha a (6) egyenletet a réteg alsó z_1 és felső z_2 határai között integráljuk, akkor megkapjuk a véges vastagságú réteg geometriai tényezőjét (G_t).

$$G_t = \frac{1}{8L} \int_{z_1}^{z_2} G_z(z - z_c) dz = \frac{1}{8L} \int_{z_1 - z_c}^{z_2 - z_c} G_z(z) dz, \quad (7)$$

ahol

$$G_z = 2 + \frac{L^2}{2z^2} - \frac{2z^4 + \left(\frac{d^2}{2} - L^2 \right) \cdot z^2 + \frac{L^2 (d^2 + L^2)}{8}}{z^2 \cdot \sqrt{z^4 + \frac{d^2 - L^2}{2} \cdot z^2 + \left(\frac{d^2 + L^2}{4} \right)^2}}.$$

Az elárasztott zóna geometriai tényezője (G_i);

Legyen a következő modellünk, (1. ábra),

ahol

$D/2$ – az elárasztott zóna sugara,

$G_{s_1} \cdot G_{s_2}$ – az ágyazó kőzetek geometriai tényezője.

A véges vastagságú réteg elárasztott zónájának geometriai tényezőjét megkapjuk, ha az egész tér geometriai tényezőjéből kivonjuk a fúróluk (G_m), a $D/2$ sugarú „fúrólukkal” harántolt réteg (G_t) és a $d/2$ sugarú fúrólukkal harántolt ágyazó kőzetek geometriai tényezőjét (G_{s_1}, G_{s_2}) valamennyi – a hattekercses szondához tartozó – kéttetekereses párra:

$$G_i = 1 - G_m(d/2) - G_t(D/2) - G_{s_1}(d/2) - G_{s_2}(d/2). \quad (8)$$

Az ágyazó kőzetek geometriai tényezőjét a (7) szerint számoltuk ki:

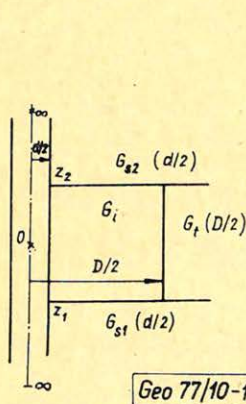
$$G_{s_1} = \frac{1}{8L} \int_{z_1}^{-\infty} G_z(z - z_c) dz$$

és

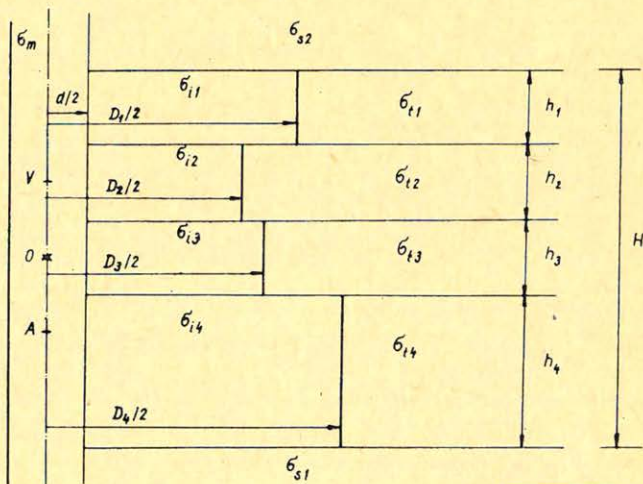
$$G_{s_2} = \frac{1}{8L} \int_{z_2}^{\infty} G_z(z - z_c) dz.$$

A görbesereg számítása:

A görbesereg számításánál az alábbi földtani modelltől indultunk ki. (2. ábra) [6],



1. ábra
Puc. 1
Fig. 1



2. ábra

Puc. 2

Fig. 2

ahol

A, V	– a generátor, ill. mérőtekercs,
„0”	– a kéttekerces szonda középpontja,
$\sigma_{i1} - \sigma_{i4}$	– az elárasztott zóna vezetőképessége,
$\sigma_{t1} - \sigma_{t4}$	– a réteg vezetőképessége,
$\sigma_{s1} - \sigma_{s2}$	– az ágyazó kőzetek vezetőképessége,
σ_m	– a fúróiszap vezetőképessége,
$h_1 - h_4$	– a rétegek vastagsága,
$\frac{D_1}{2} - \frac{D_4}{2}$	– az elárasztott zóna sugarai.

A tényleges számításokat az alábbi paraméterkombinációkra végeztük el:

$$\frac{\sigma_t}{\sigma_m}; \quad \frac{D}{d}; \quad \frac{\sigma_s}{\sigma_m}; \quad \frac{\sigma_i}{\sigma_m} \quad \text{és} \quad \frac{H}{L},$$

ahol

$$\sigma_n = \frac{1}{R_n} \quad \text{és} \quad H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4.$$

A fenti paraméterek értékei a következő határok között változtak:

$$\frac{R_t}{R_m} = 0,1; 0,5; 1; 2,5; 5; 10; 20; 40; 100.$$

$$\frac{D}{d} = 1; 2; 4; 8.$$

$$d = 100; 150; 214; 252; 300 \text{ mm}$$

$$\frac{R_s}{R_m} = 1; 5; 20; 100.$$

$$\frac{R_i}{R_m} = 2,5; 5; 10; 20; 40; 100.$$

$$\frac{H}{L=1} = 1; 2; 4; 8 = \frac{H}{L=0,4}.$$

A számítás eredményét a mélyfúrési geofizikában elfogadott módon ábráztuk, azaz $R_t/R_m = f(R_a/R_m)$.

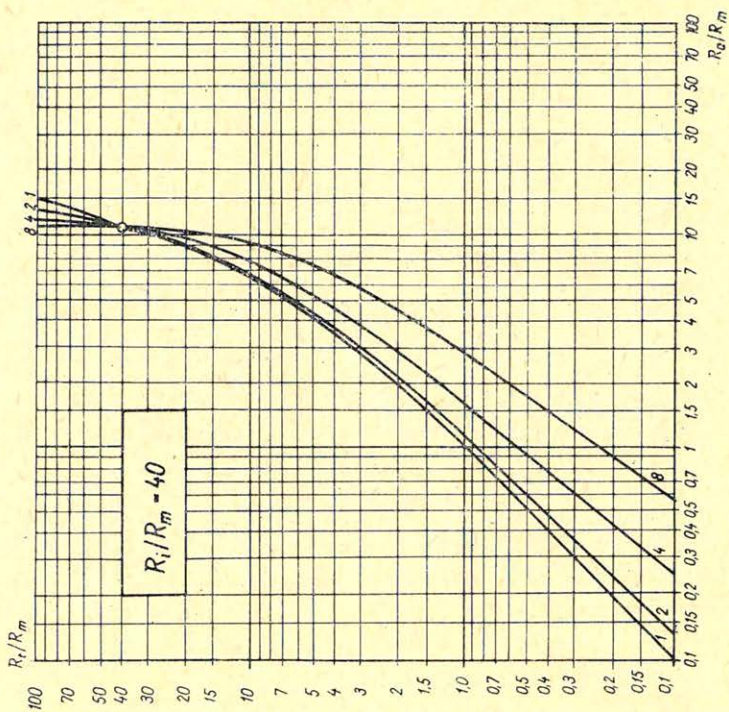
A megszerkesztett görbeseregekből mutatunk be néhányat a 3–6. ábrákon.

Következtetések:

1. A kidolgozott értelmezési görbesereg alkalmas a 6FV100 és 6FV40 típusú alacsonyfrekvenciás indukciós szondák mérési adatainak értelmezésére.
2. A kisebb behatolású 6FV40 típusú szonda $R_t/R_m = 2,5$ -nél (3. ábra) $D/d \leq 4$ esetén a látszólagos fajlagos ellenállás nem tér el lényegesen a ténylegestől, ha $R_t < R_i$; $R_t > R_i$ esetén az elárasztás növekedésével ($D/d \rightarrow 8$) a görbék úgy tolnának el balra, hogy a látszólagos fajlagos ellenállás értéke jelentősen csökken a ténylegeshez viszonyítva és $D/d > 8$ -nál gyakorlatilag az elárasztott zóna fajlagos ellenállását kapjuk.

PALETKA N°-9
(Szonda 6FV40)

A paletka paramétere
 $R_1/R_m = 40$
A görbe paramétere
 $D/d = 1,2, 4,8$



Geo 77/10-4

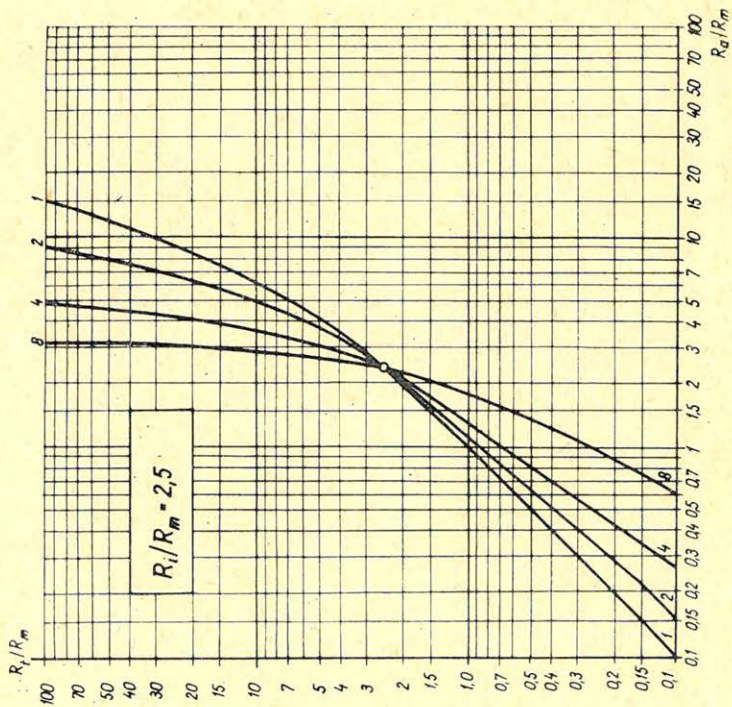
Fig. 4

Puc. 4

4. ábra

PALETKA N°-5
(Szonda 6FV40)

A paletka paramétere
 $R_1/R_m = 2,5$
A görbe paramétere
 $D/d = 1,2, 4,8$



Geo 77/10-3

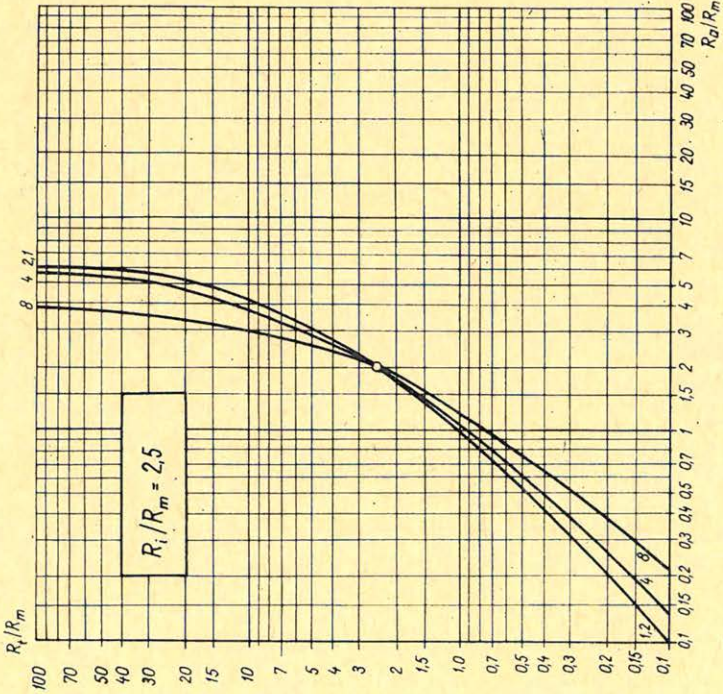
Fig. 3

Puc. 3

3. ábra

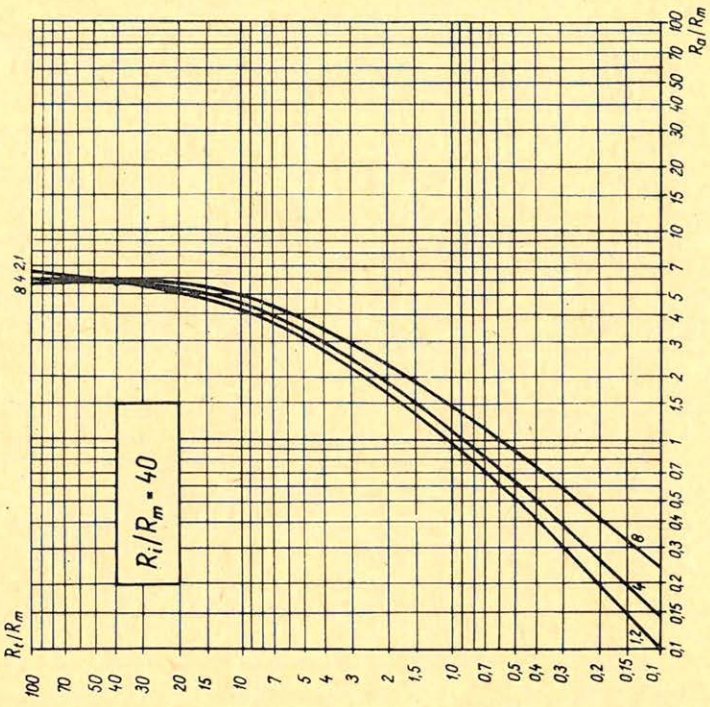
PALETKA N°-20
(Szonda 6FV100)

A paletka paramétere
 $R_i/R_m = 2,5$
 A görbe paramétere
 $D/d = 1, 2, 4, 8$



Geo 77/10-5

5. ábra Fig. 5



Geo 77/10-6

6. ábra Fig. 6

3. Növekvő elárasztásnál ($R_t/R_m = 40$), amint a 4. ábrán látható a szondával kapott látszólagos értékek – az e tanulmányban nem ismertetett korrekció után – nem térnek el lényegesen a valódi fajlagos ellenállás értékektől a szonda reális mérési tartományában [5, 6].
4. Az 5. és 6. ábrán látható, hogy a nagybehatozású 6FV100-as indukciós szondára $D/d \leq 2$ esetén gyakorlatilag nincs hatással az elárasztás akár növelő, akár csökkenő elárasztásnál.
5. $R_t/R_m = 2,5$ -nél (5. ábra) $R_i/R_m \geq R_t/R_m$ esetén az ábrán mutatott elárasztási viszonyok mellett a látszólagos és tényleges fajlagos ellenállás értékek elég jó egyezést mutatnak.
6. Növelő elárasztásnál, ha R_t/R_m és D/d nagy, vagy csökkenő elárasztásnál a látszólagos és tényleges fajlagos ellenállás értékek között lényeges eltérés van a 6FV100 alacsonyfrekvenciás indukciós szonda reális mérési tartományban [5, 6].

IRODALOM

1. *M. I. Plusznyin*: Indukcionnűj karotázs, Izd. Nyedra 1968.
2. *A. A. Kaufmann*: Teorija indukcionnovo karotazsa, Izd. Nauka Novoszibirszk 1965.
3. *H. G. Doll*: Introduction to induction logging and application to logging of wells drilled with oil base mud. J. of Petroleum Technology, Vol. 1 No. 6, June 1949.
4. *B. I. Vülge – Baráth István*: A 6FV100 és 6FV40 szondák interpretációs görbéinek számítási eredményei BESZM – 6 számítógépen. Kézirat 1976.
5. *Baráth István*: A 6FV100 és 6FV40 típusú indukciós szondák homogén közegben. Magyar Geofizika, 1976. XVII. évf. 3. szám.
6. *Baráth István*: Az alacsonyfrekvenciás indukciós karotázs módszertana. Kandidátusi disszertáció 1976.

Lapszemle

(Folytatás a 97. oldalról)

Számos szabadalom rövid ismertetését adja a Geophysics 1976. decemberi száma.

Szeizmikus kutatási körből valók:

US No. 3,944,019 PAULETICH:

Deep water sound imploder

Főleg a tengerfenék vizsgálatát célozza ércutatási feladatokkal.

US No. 3,952,283 R. A. BRODING:

Group Recorder Alarm

geofoncsoportok csatlakozásának jelzésére szolgál.

US No. 3,952,833 D. H. REED et al.

Method and Apparatus for Generating Pressure Waves in Water by Implosion.

Tengeri szeizmikus mérések céljait szolgáló impulzuskeltő berendezést ismertet.

US No. 3,958,661 C. D. DRANSFIELD et al.:

Method and Apparatus for Generating Seismic Waves

Szárazföldi szeizmikus rezgéskeltőt ír le.

Ugyancsak szeizmikus rezgéskeltésről szól az

US No. 3,968,855 J. C. Mollere:

Seismic Marine Gun Assembly című szabadalom.

Piezoelektromosh idrofonokat ismertet két további szabadalom:

US No. 3,961,304 H. P. BACKWELL jr. és

US No. 3,970,878 C. O. BERGLUND

Szeizmikus jelek regisztrálására vonatkozik az

US No. 3,961,306 N. A. ANSTEY:

Method of Forming Color Graphic Displays from Input Data és a

Canada No. 987,397 C. F. HADLEY:

Digital Seismic Recording megnevezésű szabadalom.

(Folytatás a 118. oldalon)