

MAGYAR

# Geofizika



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA  
BUDAPEST, 1971. XII. ÉVFOLYAM, 6. SZÁM

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

**XII. évfolyam**

**6. szám**

*Szerkesztőség*

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

*Felelős szerkesztő*

Dr. SEBESTYÉN KÁROLY

*Szerkesztő bizottság*

CZEGLÉDI ISTVÁN  
Dr. POSGAY KÁROLY  
RÁDLER BÉLA  
Dr. RENNER JÁNOS

*Felelős kiadó*

SALA SÁNDOR  
igazgató

**TARTALOMJEGYZÉK**

<i>Hegymegi László – Szemerédy Pál – Tarcsai György: A tihanyi Geofizikai Observatóriumban folyó whistler vizsgálatokról .....</i>	203
<i>B. Szabó László: Radiokip-módszertani kísérletek metasztatikusan elváltozott gránitokon .....</i>	208
<i>Késmárky István: Kvadratus detektáló szűrő tervezése és analízálási lehetőségei .....</i>	216
<i>W. H. Fertl – G. W. Hammack: Agyagos termelő homokokban végzett víztelítettségi vizsgálatok áttekintő elemzése .....</i>	221
<i>Takács Ernő: Nagy fajlagos ellenállású vezérszint mélységének meghatározása frekvenciaszondázással ....</i>	232
<i>Szovjet gyártmányú szeizmométerek .....</i>	236
<i>Lapszemle .....</i>	215
<b>EGYESÜLETI HÍREK .....</b>	<b>201, 241</b>

**Index: 26 507**

**MAGYAR GEOFIZIKA**

Felelős szerkesztő: Dr. Sebestyén Károly

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

Felelős kiadó: Sala Sándor igazgató

Terjeszti: **MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE**

Megjelenik évente hatszor

Megrendelhető egész évre 60,- Ft előfizetési áron, mely összeg a MTE SZ 232-90171-2494

csekkszámlájára fizetendő be. Egyesületi tagoknak tagdíj ellenében

71.15 92 Állami Nyomda, Budapest

# A tihanyi Geofizikai Obszervatóriumban folyó whistler vizsgálatokról

HEGYMEGI LÁSZLÓ, SZEMERÉDY PÁL, TARCSAI GYÖRGY

*A cikk röviden ismerteti az ELTE Geofizikai Tanszéke és az ELGI által 1968 óta közösen végzett, whistlerrek megfigyelésén alapuló magnetoszférikus vizsgálatokat. Bemutatja a whistlerrek vételére szolgáló Tihanyban működő berendezést és a magnetoszférikus elektronsűrűség meghatározásának módját. Végül közöl egy whistlerrek segítségével számolt elektronsűrűség profilt.*

*В работе коротко описываются магнитосферические исследования, основывающиеся на наблюдениях над свистящими атмосфериками; эти исследования проводятся с 1968 г. Геофизической кафедрой Будапештского университета и Венгерским геофизическим институтом ЭЛГИ. Дается характеристика аппаратуры для приема свистящих атмосфериков, установленной в Тиханьской геофизической обсерватории и описывается метод определения плотности электронов в магнитосфере. В заключение приводится график плотности электронов, полученный по данным о свистящих атмосфериках.*

*Es werden magnetosphärische Untersuchungen besprochen, die auf Whistler – Beobachtungen beruhen, welche vom Lehrkanzel für Geophysik der Universität Roland Eötvös und vom Staatlichen Geophysikalischen Institut Roland Eötvös seit 1968 in gemeinsamer Arbeit durchgeführt wurden. Die in Tihany für diesen Zweck in Betrieb gesetzte Einrichtung wird beschrieben und die Methode für die Bestimmung der Elektronendichte der Magnetosphäre erörtert. Am Ende wird ein mit Hilfe von Whistlern errechnetes Elektronendichte – Profil mitgeteilt.*

## Bevezetés

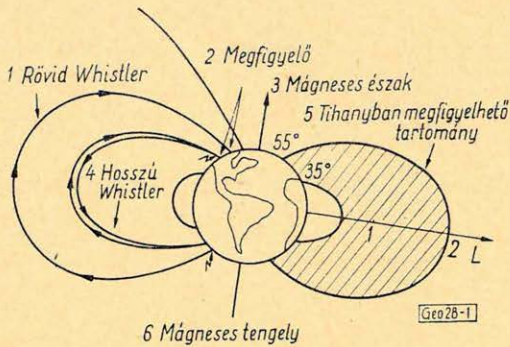
Az utóbbi évtizedben a földkörüli térség kutatása a geofizika egyik érdekföldésre érdemesített feladatává vált. Ezt a tényt igen jól érzékelteti a geofizikai célból fellőtt mesterséges égitestek igen nagy száma, a geofizikai obszervatóriumok mérési feladatainak és számának rohamos növekedése és azoknak a nemzetközi együttműködéseknek az aktív tevékenysége, amelyek a kutatások eredményességének fokozására születtek. A kutatások intenzitásának fokozásával többek között belátható közelségbe került a mágneses viharok eredetének megértése. Ez nem különíthető el a magnetoszférában végbemenő bonyolult folyamatok egészének felderítésétől, többek között az elektronsűrűség térbeli és időbeli változásának meghatározásától. A magnetoszférabeli elektronsűrűség vizsgálatához kiváló eszközt kínálnak a Föld felszínén is jól észlelhető whistlerrek, amelyeknek vétele a tihanyi Geofizikai Obszervatóriumban ( $\Phi = 46,3^\circ$   $\Lambda = 99,1^\circ$   $h = 187$  m) 1968-ban kezdődött el.

A magnetoszférában nagy szerepet játszanak az itt uralkodó elektromos terek. Ezek mérése – akár a mesterséges holdakkal kínálkozó, akár pedig a földfelszíni eszközökkel megvalósítható néhány módszert tekintjük – igen nehéz feladat és csak most van kialakulóban. Figyelemre méltó lehetőségeket kínál ezen a téren a whistler módszer.

A magnetoszféra-kutatások hatásosságának fokozására – elsősorban a magnetoszférában fellépő elektromos terek tanulmányozására – 1974–76-ra nemzetközi együttműködést szerveznek. Az ebben való részvételt az Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszéke a whistler módszer metodikájának kidolgozásával igyekszik előkészíteni.

## Általános megjegyzések

A whistlerek fokozatosan változó frekvenciájú, — nagyrészt a hangfrekvenciás tartományba eső jelek, amelyek a villámítások keltette elektromágneses impulzusokból a magnetoszférában keletkeznek. A villámkisülések folytán létrejött elektromágneses impulzusok — ha átlépi az ionoszférát — nagyjából a Föld mágneses erővonalai mentén kialakult megnövekedett elektronsűrűségű csatornáknban, az ún. ductokban terjednek az egyik hemiszféráról a másikra (1. ábra). Mivel az ionoszférában és a magnetoszférában az elektromágneses hullámok terjedési sebességét megszázó törésmutató frekvenciafüggő, az egyes frekvenciaösszetevők különböző idő alatt jutnak el az egyik hemiszféráról a másikra. Ezért az elektromágneses villámimpulzus egy füttyé húzódik szét.



1. ábra. Whistlerek terjedése a mágneses erővonalak mentén. A hosszú whistlerek az észlelő féltekéjén, a rövideket az ellenkezőn létrejövő villámok keltik. A magnetoszféra Magyarországról vizsgálható tartományába esik a Van Allen-övek egy része is.  $L$  a földfelszín feletti magasságot jelöli a geomágneses egyenlítő síkjában, föld sugár egységben mérve

Фиг. 1. Распространение свистящих атмосфериков по силовым линиям геомагнитного поля. Длинные свистящие атмосферики вызваны молниями, происходящими в полушарии наблюдателя, а короткие — молниями, возникающими на противоположном полушарии. В область магнитосферы, изучаемой в Венгрии, входит и часть зон Ван Аллена. Буквой  $L$  обозначается высота над поверхностью Земли и плоскости геомагнитного экватора, в единицах радиуса Земли. 1 — короткие свисты 2 — наблюдатель 3 — магнитный север 4 — длинные свисты 5 — область, изучаемая в Тихане 6 — магнитная ось

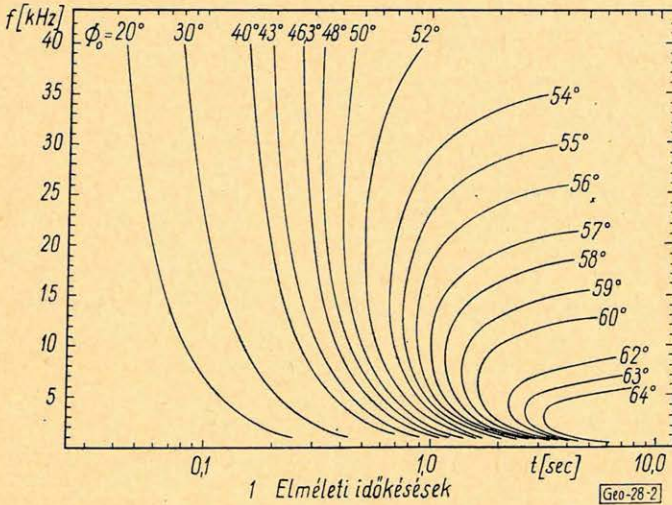
Fig. 1. Fortpflanzung der Whistler entlang die magnetischen Kraftlinien. Die langen Whistlers werden von Blitzen in der Halbkugel des Beobachters, die kurzen von jenen in der entgegengesetzten hervorgerufen. In den aus Ungarn wahrnehmbaren magnetosphärischen Bereich fällt auch ein Teil der Van Allen-Zone. „ $L$ “ bezeichnet die Höhe über der Erdoberfläche in der Ebene des Erdäquators, gemessen in Erdradius-Einheiten 1 Kurzer Whistler — 2 Beobachter — 3 Magnetischer Norden — 4 Langer Whistler — 5 Der in Tihany beobachtbare Bereich 6 Magnetische Axe

A csoportnak

$$T = \frac{1}{2c} \int \frac{f_0 f_H ds}{f^2 (f_H - f)^2} \quad (1)$$

időre van szüksége ahhoz, hogy a mágneses erővonal mentén haladva megtegye a két hemiszféra közötti utat, ahol  $c$  a fénysebesség,  $f$  a villámkisülés alatt keletkezett elektromágneses impulzus egy frekvenciaösszetevője,  $f_0$  a helyi elektron plazmafrequencia,  $f_H$  a helyi elektron girofrequencia és  $ds$  az elemi út a mágneses erővonal mentén. Minthogy az (1) integrál járuléka abban a zónában a legjelentősebb, ahol az  $f_H$  girofrequencia a legkisebb, a whistlerek kedvező lehető-

séget adnak a távoli magnetoszféra elektronsűrűségének a vizsgálatára. Az (1) integrál vizsgálatából kitűnik, hogy van egy – közelítőleg az  $f_H/4$  erővonalmenti legkisebb értékével egyenlő – kritikus frekvencia, amelyre  $T$  minimum. Ennél a frekvenciánál nagyobb, illetve kisebb frekvenciájú összetevők késve érkeznek az említett kritikus frekvenciához, az ún. orr-frekvenciához képest (2. ábra). Azok a whistlerek, amelyeken ez az orr felismerhető, alkalmasak az erővonalmenti legkisebb mágneses térerősség pontos meghatározására is.



2. ábra. Számított whistlerek [2]; az orrfrekvencia a terjedési szélesség ( $\Phi_0$ ) csökkenésével láthatóan nő

Фиг. 2. Подсчитанные свистящие атмосферерики [2]; пиковая частота заметно возрастает уменьшением ширины распространения ( $\Phi_0$ ) 1 – теоретические задержки

Fig. 2. Berechnete Whistler [2]; die Stirnfrequenz wächst offenbar mit der Abnahme der Fortpflanzungsbreite ( $\Phi_0$ ). 1 Theoretische Zeitverspätungen

3. ábra. A whistlerek vételére szolgáló berendezés blokk-sémája

Фиг. 3. Схема аппаратуры для приема свистящих атмосферериков

1 – антенна 2 – предварительный усилитель 3 – усилитель 4 – магнитофон 5 – анализатор 6 – источник тока

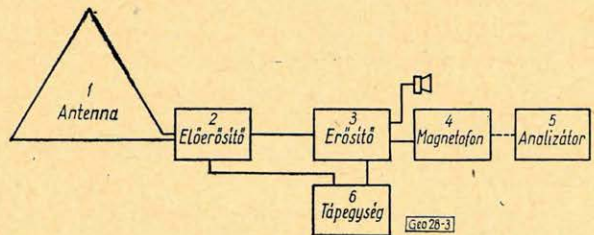


Fig. 3. Blockdiagramm der Einrichtung für die Aufnahme der Whistler. 1 Antenne – 2 Vorverstärker – 3 Verstärker – 4 Magnetophon – 5 Analysator – 6 Speiseeinheit

A whistlerek vételére szolgáló berendezés blokk-sémáját a 3. ábra szemlélteti. Antennaként egy 20 m alapú és 10 m magasságú egyetlen menetből kialakított egyenlőszárú háromszögű dróthurok szolgál. A keretantenna síkja nagyjából a mágneses meridián síkjába esik. Az antenna egyenletes frekvencia-menetét az antennához csatlakozó erősítő bemenetén kialakított kompenzáció

biztosítja. Az alacsony impedanciájú antennát transzformátor illeszt az antennánál elhelyezett zajszegény tranzisztoros erősítő bemenetéhez. Az előerősítő a hőmérsékleti hatások kiküszöbölésére a földre van süllyesztve. Az előerősítő a regisztráló házban elhelyezett főerősítőre csatlakozik. A szükséges átviteli sávot (kb.  $1-20\text{ kHz}$ ) az antennánál, az előerősítőben és a regisztráló erősítőben elhelyezett szűrők biztosítják.

#### *Az elektronsűrűség meghatározása*

Az (1) kifejezés szerint egy adott frekvencia és mágneses erővonal esetén az időkiesés kizárólag az  $f_0$  plazmafrequencia erővonalmenti elosztásától függ. Az  $f_0 = konst \cdot N^{1/2}$  összefüggés miatt pedig az időkiesést végeredményben a terjedési út mentén előforduló elektronsűrűség-értékek ( $N$ ) határozzák meg.

Az elektronsűrűség eloszlását a mért  $T(f)$  adatokból (1)  $N$ -re történő megoldásával is meghatározhatnánk, azonban (1) invertálása olyan bonyolult számításokra vezet, amelyek a gyakorlatban rutinmunkaszerűen nem végezhetők. Ezért az elektronsűrűség meghatározására irányuló direkt módszerek nem terjedtek el a gyakorlatban.

A szokásos eljárás a következő. Elméleti és tapasztalati alapon felvesznek egy függvényt az elektronsűrűség eloszlására és az időkiesés-integrál segítségével a különböző geomágneses szélességekről induló erővonalakra kiszámítják a meghatározott frekvenciákhoz tartozó időkieséseket. Az elméleti és mért időkiesések összehasonlításával, illetve az azokból képzett különféle mennyiségek felhasználásával meghatározható a terjedési útnak megfelelő erővonal földfelszíni pontjának geomágneses szélessége ( $\Phi_0$ ) és az elektronsűrűség aktuális értékét rögzítő paraméter.

Az elektronsűrűség meghatározásához szükséges elméleti időkieséseket még 1967-ben számítógéppel kiszámítottuk, majd ezekből diagramokat készítettünk a kiértékeléshez. Ezeknél a számításoknál az erővonalmenti elektronsűrűség-eloszlásra az ún. „*gírofrekvencia-modellt*” használtuk:

$$N = K \cdot f_H, \quad N: \text{elektron/cm}^3 \text{ és } f_H: \text{Hz} \quad (2)$$

ahol a  $K$  faktor értékét a számításokban  $0,01$ -nek vettük.

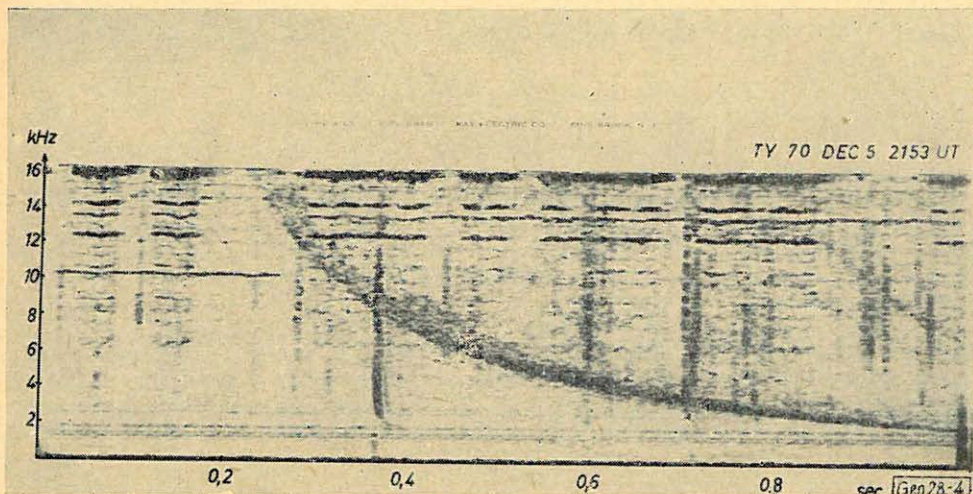
A magnetofonon regisztrált whistlerek és egyéb hangfrekvenciás jelek alaki jellemzőit leginkább a frekvencia – idő összefüggést megjelenítő spektrogramokon szokták meghatározni. Vizsgálatainkban az MTA Nyelvtudományi Intézetében üzemelő Sonagraph analízátoron készített ún. sonagramokat használtuk fel. Ezekben a sötétedés arányos az adott frekvencián adott időpillanatban beérkező jel intenzitásával (4. ábra).

Az ábrán látható vízszintes vonalak táviróadók, a függőlegesek pedig vilámok nyomai.

Az elektronsűrűségeket a hallás után kiválasztott whistlerek tartalmazó sonagramok elkészítését követően végeredményben a következő úton határozzuk meg (whistlereként külön-külön):

1. A keltő villám kijelölése (grafikus úton vagy számítással)
2. A keltő villám véges terjedési sebessége miatti korrekció elvégzése
3. Az időkiesések kiolvasása  $3, 12$  és  $15\text{ kHz}$ -en
4. Az alsó (kb.  $800\text{ km}$  alatti) ionoszféra által létrehozott időkiesés korrekciója (frekvenciafüggő)
5. A  $T_3/T_{12}$  és/vagy  $T_3/T_{15}$  hányadosok képzése
6. Az előbbi hányadosokból diagramok felhasználásával és átlagolással a  $\Phi_0$  geomágneses szélesség (terjedési szélesség) meghatározása
7. A  $T_3$  és/vagy  $T_{12}$  mért és elméleti értékeinek hányadosából a (2)-ban szereplő  $K$

aktuális értékének meghatározása 8. Az elektronsűrűség számítása a  $\Phi_0$  geomágneses szélességen induló erővonal geomágneses egyenlítőbe eső pontjában ([2] alapján,  $K$  aktuális értékével számolva).



4. ábra. Sonagram; a sötétedés arányos az adott frekvencián adott időpillanatban beérkező jel intenzitásával

Фиг. 4. Сонограмма; темные оттенки пропорциональны интенсивности сигнала, поступающего в заданный момент времени на данной частоте

Fig. 4. Sonogramm; die Verdunkelung ist der Intensität des in gegebenem Zeitpunkt einsetzenden Signals von gegebener Frequenz proportional

Az 5. ábra az 1970. dec. 4-én és 5-én végzett mérések eredményeit mutatja.

Az ezidáig regisztrált whistlerek feldolgozását folyamatosan végezzük, továbbá folyamatban van a rendszeres észlelésekhez szükséges berendezések elkészítése, amelyek a nemzetközi együttműködésbe való bekapcsolódáshoz nélkülözhetetlenek.

5. ábra. Whistlerek segítségével meghatározott magnetoszférikus elektronsűrűségek;  $h$  a föld- felszín feletti magasságot jelöli  $km$ -ben

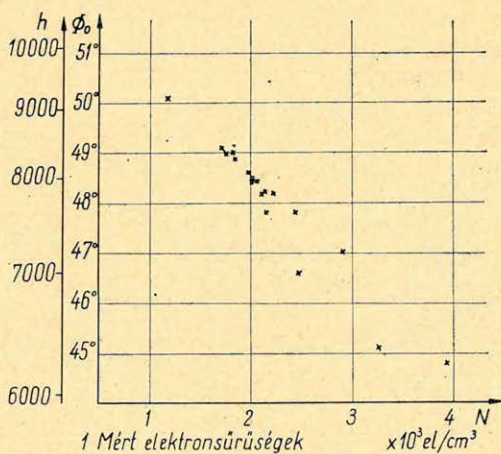
Фиг. 5. Плотности электронов в магнитосфере, определяемые по свистям атмосферикам;

$h$  — высота над поверхностью Земли в  $km$ .  
1 — измеренная плотность электронов

Fig. 5. Die mit Hilfe der Whistler bestimmten magnetosphärischen Elektronendichten;  $h$ : die Höhe über der Erdoberfläche in  $km$ .  
1 Gemessene Elektronendichten

#### IRODALOM

- [1] Helliwell, R. A.: Whistlers and Related Ionospheric Phenomena, Stanford University Press, Stanford, 1965.  
[2] Tarcsai Gy.: A magnetoszféra elektronsűrűségének vizsgálata whistlerekkel, Diplomaterv, ELTE, Budapest, 1967.



Tihany 1970 dec. 4-5

Geo 78-5

# Radiokip-módszertani kísérletek metasomatikusan elváltozott gránitokon

B. SZABÓ LÁSZLÓ

*A radiokip módszer – a terület kedvező adottságai miatt – hasznosan illeszkedett bele a mongóliai komplex földtani-geofizikai kutatásba. Eredményei ellenére hangsúlyozzuk, hogy a  $H_z$  anomáliákat kvalitatíve értékeljük a jelentős időbeli „járások” miatt. Szükséges a módszer fejlesztése a radiofrekvenciás elektromágneses tér többi –  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$ ,  $\varphi$ ,  $\delta$  – jellemzőjének mérése irányában. Bár hazai vonatkozásban a topográfiai, földtani adottságok kevésbé kedvezőek, kellő körültekintéssel a nem üledékes kőbányászati kutatásban, karsthidrológiai kérdések tanulmányozásában, esetleg új szulfidos érces lelőhelyek térképezésében figyelmet érdemel.*

*Благодаря существующим благоприятным условиям района работ метод „радиокип” может эффективно применяться в процессе комплексных геолого-геофизических работ, проводящихся в Монголии. В связи с значительными временными „дрейфами” аномалии  $H_z$  интерпретируются только качественно. Необходимо усовершенствовать рассматриваемый метод с таким расчетом, чтобы он позволял определить и другие характеристики ( $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$ ,  $\delta$ ,  $\varphi$ ) радиочастотного электромагнитного поля. Несмотря на то, что в Венгрии топографические и геологические условия менее благоприятны с точки зрения применения этого метода, он все же представляет определенный интерес при работах по разработке карьеров неосадочного происхождения, по изучению гидрологических вопросов карстовых вод, а также по поискам новых месторождений сульфидных руд.*

*Die Radiokip-Methode fügte sich in den Komplex der mongolischen geologisch-geophysikalischen Erkundungen – dank der günstigen Gegebenheiten des Gebiets – nützlich ein. Trotz der erreichten Resultate wird betont, dass die  $H_z$ -Anomalien nur kvalitatíve gewertet werden wegen der beträchtlichen zeitlichen „Gänge”. Man sollte die Methode weiter entwickeln, und zwar in Richtung der Messung und Anwendung anderer Charakteristiken des elektromagnetischen Feldes mit Radiofrequenz, so von  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$ ,  $\varphi$  und  $\delta$ .*

*Ogbleich in einheimischer Beziehung die topographischen und geologischen Verhältnisse weniger günstig sind, könnte man der Methode – mit genügender Sorgfalt – auch hier bei der Untersuchung von nicht ablagerungsartigen Steingruben, bei karsthydrologischen Studien sowie bei der Kartierung von neuen sulphidischen Erzflüssen eine gewisse Aufmerksamkeit widmen.*

A rádiófrekvenciás módszer felszíni változata, a radiokip nem ismeretlen hazai szakmai körökben. A hosszú hullámon sugárzó műsorszórási adók elektromágneses terét használja energiaforrássul. Térerősségmérőként bármely jó selektivitású, megfelelően átalakított, könnyű, hordozható vevőkészülék (táskarádió) használható, melyet megcsapolva a jelet valamilyen szélessávú  $mV$ -mérőn (pl. *TEL–MES Tr–1451.*) olvassuk le. Inhomogén, vertikális határfelületekkel határolt különböző vezetőképességű geológiai képződmények fölött térerősség-anomáliák észlelhetők, melyeket a kőzetben indukált örvényáramok többlete vagy hiánya, szekunder elektromágneses tere hoz létre. A szakirodalom [2] gyors munkák elvégzésére, előzetes felderítésre elsősorban a térmágneses vektora vertikális  $H_z$  komponensének mérését ajánlja, ugyanis pontosan függélyezett ferrit-antenna alkalmazása esetén ez a hatás csupán földtani eredetű, az adótól származó  $Z$  irányú mágneses komponens elvileg nulla. Ehhez alkalmasan megválasztott hullámhosszúságon sugárzó adó és nyugodt légköri viszonyok szükségesek.

A rendelkezésünkre álló mérőberendezéssel a  $H_z$  komponens mérésére törekedtünk. A többi elektromágneses összetevő –  $E$  komponensei,  $H$  maxi-



mális vagy minimális vétele azimutja és lehajlása, vagy a primér és szekundér tér fázisszöge – mérésére nem vállalkozhatunk. Ezen összetevők méréséről A. G. Tarhov [4], E. V. Zaharov [3] és a Nehézipari Műszaki Egyetem Geofizikai Tanszéke [2] munkái számolnak be.

### 1. A mérési terület jellemzése

A címben szereplő munkát 1970. júniustól októberig végeztük Kelet-Mongólia Barun Urt és Csojbalszán városai közötti térségben, az Arenur nevű terület néhány  $km^2$ -es körzetében. Itt dolgozott az ELGI komplex felszíni geofizikai és az OFKFKV földtani kutató expedíciója. (A mérés az utóbbi szervezet geofizikai részlegének kivitelezésében történt.) [1].

A területet granitoid intruzív képződmények építik fel. Az idősebb (perm-triász időszakbeli) durvaszemű káligránitot törte át a fiatalabb (júra) biotitos plagiogranit-granodiorit. E két alapvető kőzetfajta a felszínen egy kb.  $K-Ny$ -i irányú törésvonal mentén érintkezik. E törésvonalra nagyjából merőlegesen és vele párhuzamosan keletkeztek azok a helyi jelentőségű elmozdulások, melyek a metasomatikus elváltozásokban fő szerepet játszottak.

1. táblázat 1 Таблица Tabelle 1.

A leőhelyen gyakrabban előforduló kőzetek ellenállás-paramétereik karotázs mérésekből

Kőzet megnevezése		Fajlagos ellenállás $\rho_k$ (ohm m)	
Durvaszemű gránit	Üde, kevésbé elvált.	1000 – 2000	
	elváltozott	káliföldpátos	400 – 1500
		csillámos	200 – 800
		töredezett, zúzott	50 – 200
Biotitgránit, granodiorit	Üde	> 2000	
	elváltozott	káliföldpátos	800 – 2000
		csillámos	300 – 1000
		töredezett, zúzott	50 – 300
Greizen	kvarc-must	> 1000	
	muszk.-kvarc	100 – 300	
Vetőzóna (vetőagyagos)		15 – 25	
Kőzet-telér	andezit-porfirit	70 – 4000	
	aplit	200	
	kvarc	> 1000	

A metasomatózis eredményeképpen az eredeti üde gránitok elváltozást szenvedtek, sorrendben a káliföldpátosodás, albitosodás, grejzenesedés, kvarcosodás és agyagásványosodás folyamatainak mentek keresztül, melyek egy-egy fázisa szulfidos éréképződéssel járt együtt. (Pirit-molibdenit-kalkopirit típusú

polimetallikus ércesedés). A magmás folyamatok során kisebb elterjedésben telérkőzetek is képződtek.

A terület fedetlen vagy vékony negyedkori törmelékkal fedett, kevésbé tagolt, lepusztult térszíni formákkal rendelkezik. Átlagosan 1000 m tszf. magasságon fekszik. A kiemelkedő részeken található a greizen-testek kibúvásai – melyek közül a legnagyobb a terület jellegzetes helye – a kutatás kulcs-pontjai.

A kőzetfajták jellemzésére a radiofrekvenciás mérések „behatolási mélysége” szempontjából lényeges fajlagos ellenállás-értékeket az 1. táblázat tartalmazza, mely 34 db fúrás szelvényezése alapján készült.

## 2. Mérési feltételek, kivitelezés

A mérési területen az ulanbatori és irkutszki rádió adásait lehetett venni. Előbbi kb. 500 km távolságban volt Ny-ra, 280° irányban, frekvenciája 255 Kc; utóbbi kb. 800 km távolságban ÉNY irányban, és 295 Kc-on sugárzott. Irkutszk vételét erősebben befolyásolták a légköri zavarok, a nagyobb távolság, s így a

2. táblázat. 2. Таблица Tabelle 2.

Télerősség értékek időbeli változása a tábori bázison

Mérés ideje		255 Kc	295 Kc	Megjegyzés
		(mV)		
1970. 06. 02.	18 <sup>00</sup>	152	—	antenna általános helyzetben
	18 <sup>10</sup>	166	—	
	18 <sup>20</sup>	200	—	
	18 <sup>30</sup>	190	—	
	18 <sup>40</sup>	215	—	
	18 <sup>50</sup>	217	—	
	19 <sup>00</sup>	220	—	
	19 <sup>30</sup>	217	—	
1970. 06. 04.	17 <sup>30</sup>	97	28	antenna függőleges helyzetben
	18 <sup>00</sup>	86	30	
	18 <sup>30</sup>	70	30	
	19 <sup>10</sup>	72	23	
	20 <sup>45</sup>	93	14	
1970. 06. 05.	7 <sup>10</sup>	86	19	antenna függőleges helyzetben
	7 <sup>35</sup>	70	14	
	8 <sup>00</sup>	65	12	
	8 <sup>30</sup>	54	12	
	9 <sup>00</sup>	54	10	
	9 <sup>30</sup>	58	8	
	10 <sup>00</sup>	50	9	

bázisponton szerzett tapasztalatok (2. táblázat) birtokában a 255 Kc-t választottuk. Ez a frekvencia 1175 m hullámhosszat jelent. A gyakrabban előforduló ellenállásértékekre megadható a

$$h_{\max} \approx 0,03 \sqrt{\lambda(m) \rho(\text{ohmm})},$$

(ahol  $\lambda$ : hullámhossz,  
 $\rho$ : fajlagos ellenállás)

összefüggés [2] alapján az a mélység, mely alatt egy eltérő tulajdonságú kőzet még észlelhető:

$\rho$ (ohmm)	20	60	200	600	2000	6000
$h_{\max}$ (m)	4,6	8,0	15	25	46	80

Az előbbi értékpárokból kitűnik, hogy üde kőzetek és a nagy kvarctartalmú greizenek belsejében nagyobb biztonsággal kimutathatók diszlokációk, érces testek, elváltozott zónák.

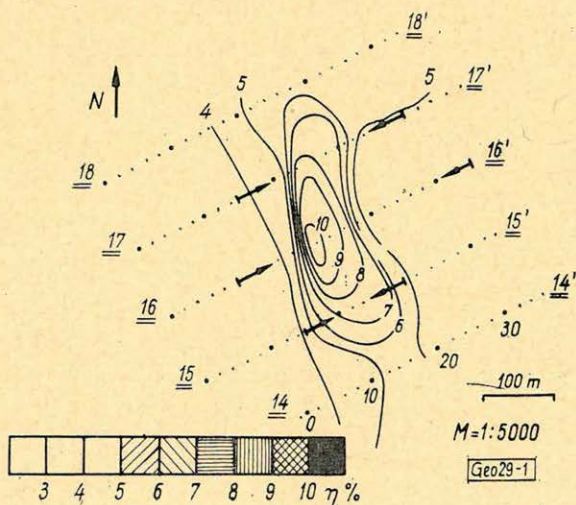
A mérést a bevezetésben vázolt berendezéssel végeztük, a feltételezett ható csapására merőleges szelvények mentén, 5 m és 10 m távolságú észlelési pontokon.

A mért mV értékek (tehát nem közvetlenül térerősség értékek) információ-tartalmának érdekességét az a körülmény adja, hogy nem sikerült tiszta  $H_z$  komponenszt mérnünk. Az érzékelő rádió ferrit-antennájának geometriai tengelye nem volt azonos az érzékenységi tengellyel. Így függőleges helyzetű antennával is mértünk tangenciális térerősségkomponenszt, vagyis a mért érték zömét képező  $H_z$  komponensre – pozitív vagy negatív előjellel – szuperponálódott egy csekély nagyságú  $H_x$  komponens, a rádió földrajzi azimutjától és a geofizikai adottságoktól függő mértékben. Ezt a kezdetben károsnak tartott zavaró irányfüggést adott helyzetünkben megszüntetni nem tudtuk. Észlelési pontonként két egymásra merőleges műszer-azimutban végeztünk leolvasásokat, mindkét értéket ábrázoltuk, majd különbségüket képezve az így nyert  $\Delta H_z$  értékeket is felhordtuk szelvény mentén.

### 3. Értelmezés.

A módszertől a komplex kutatás egészében a részletező földtani térképezés problémáinak megoldását, megközelítését vártuk elsősorban, másrészt feleletet vártunk gyakorlati bányaföldtani napi problémák esetében. A feltett kérdésekre kvalitatív válaszokat kaptunk, mivel a rádiófrekvenciás módszer eredményei feldolgozásának még nincs meg a kijárt útja.

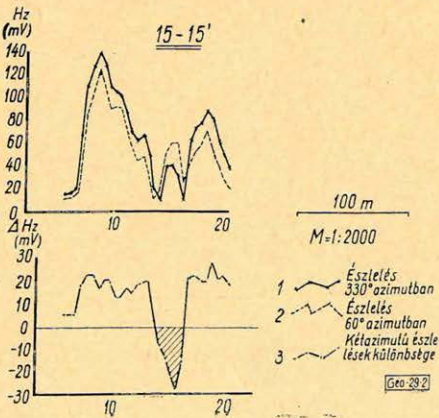
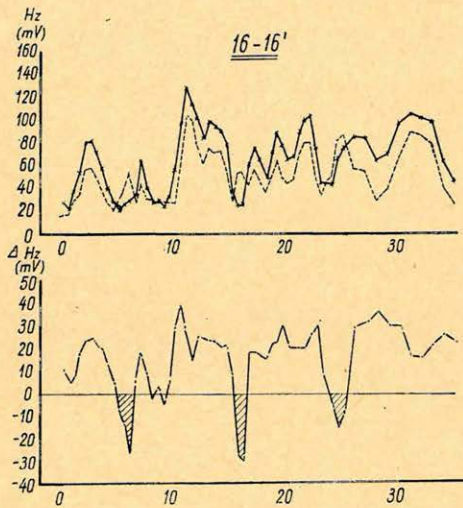
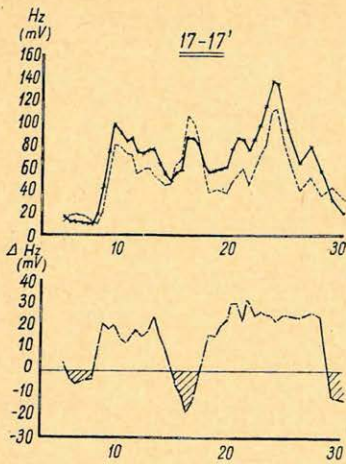
Az 1. ábrán látható gerjesztett polarizációs anomáliára három szelvényt telepítettünk annak eldöntésére, hogy a GP-ható felszínközelen is megvan-e;



1. ábra. GP anomália greizenen

Фиг. 1. Аномалии ВП над грейзенами

Fig. 1. IP – Anomalie auf Greisen



a kis megnyúlt greizentest kialakulásában szerepet játszó törések nyomozhatók-e.

A  $H_z$  és  $\Delta H_z$  szelvények (2. ábra) alapján megállapítható, hogy a GP anomália hatója — a szulfidos érces greizen — a felszínközelen is megtalálható. Az alapszint tízszeresét meghaladó  $H_z$  értékek dús ércesedést jeleznek. A greizen  $Ny$ -on tektonikusan érintkezik a gránittal,  $Ny$ -felé a fedő törmelék vastagsága megnő. A GP anomáliát hosszanti törésekkel hozhatjuk kapcsolatba, mivel a  $\Delta H_z$  negatív mezői a szomszédos szelvényeken korrelálhatók. — Az anomália közepén mélyített térképező fúrás igazolta értelmességünket.

Kutató fúrásokkal 150–200 m mélységig megkutatott területen, metasztatikusan elváltozott káligrániton (3. ábra) és greizenen (4. ábra) készített radiokip-szelvényeink tanulságai a következők.

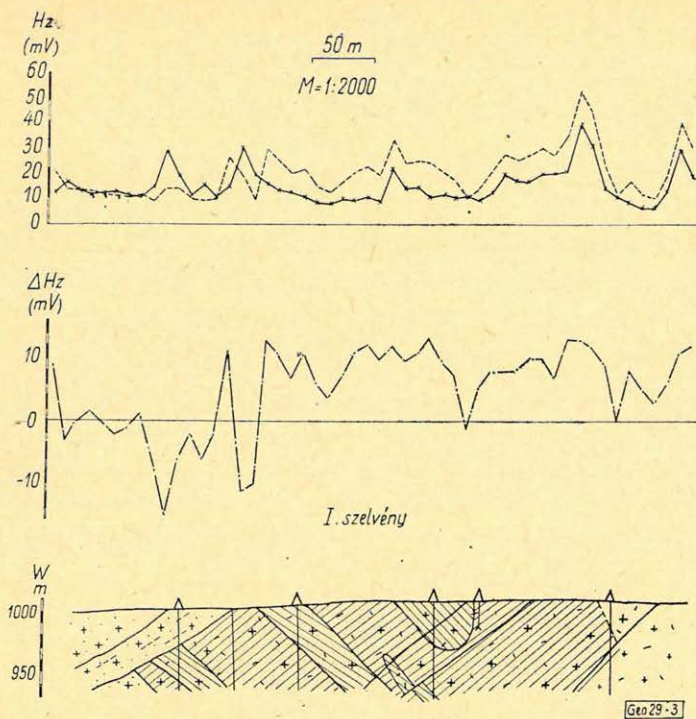
Az I. szelvény  $Ny$ -on hegyes szögben metsző fő törésrendszer a  $H_z$  abszolút értékében nem okoz 30 mV-nál nagyobb anomáliát, de a  $\Delta H_z$  karakterisztikus negatív mezője fölötté található. A  $\Delta H_z$  előjelváltozása a gerjesztett (másodlagos) térerősség tangenciális komponense elfordulását jelenti, ami a  $H$  elfordulása miatt következik be. Ily módon a  $\Delta H_z$  különbség-görbe erőteljes előjelváltozásai a  $H$  elfordulását mutatják, ami hasonló a mágneses térerősségvektor

2. ábra. Radiokip-szelvények az 1. ábrán látható GP anomálián

Фиг. 2. Результаты метода радиокип в зоне аномалии ВП, приведенной на фиг. 1.

- 1 — наблюдение в азимуте 330°
- 2 — наблюдение в азимуте 60°
- 3 — разность данных наблюдений, проведенных в двух разных азимутах

Fig. 2. Radiokip-Profile an der Anomalie der Fig. 1. 1. Beobachtung im Azimuth 330°. 2. Beobachtung im Azimuth 60°. 3. Differenz der Beobachtungen in zwei Azimuthen



### Jelmagyarázat

- |                                     |                            |
|-------------------------------------|----------------------------|
| 1  Észlelés 60° azimutban           | 6  Granodiorit             |
| 2  Észlelés 330° azimutban          | 7  Greizen (greizenesedés) |
| 3  Kétazimutú észlelések különbsége | 8  Kaliföldpátosodás       |
| $\overline{AB} = 16\text{ m}$       | 9  Agyagásványosodás       |
| $\overline{AB} = 32\text{ m}$       | 10  Elváltozás határa      |
| $\overline{AB} = 64\text{ m}$       | 11  Tektonikai vonal       |
| 4  Durvaszemű gránit                | 12  Kőzet-határ            |
| 5  Érces zóna                       | 13  Gyér érces zóna        |

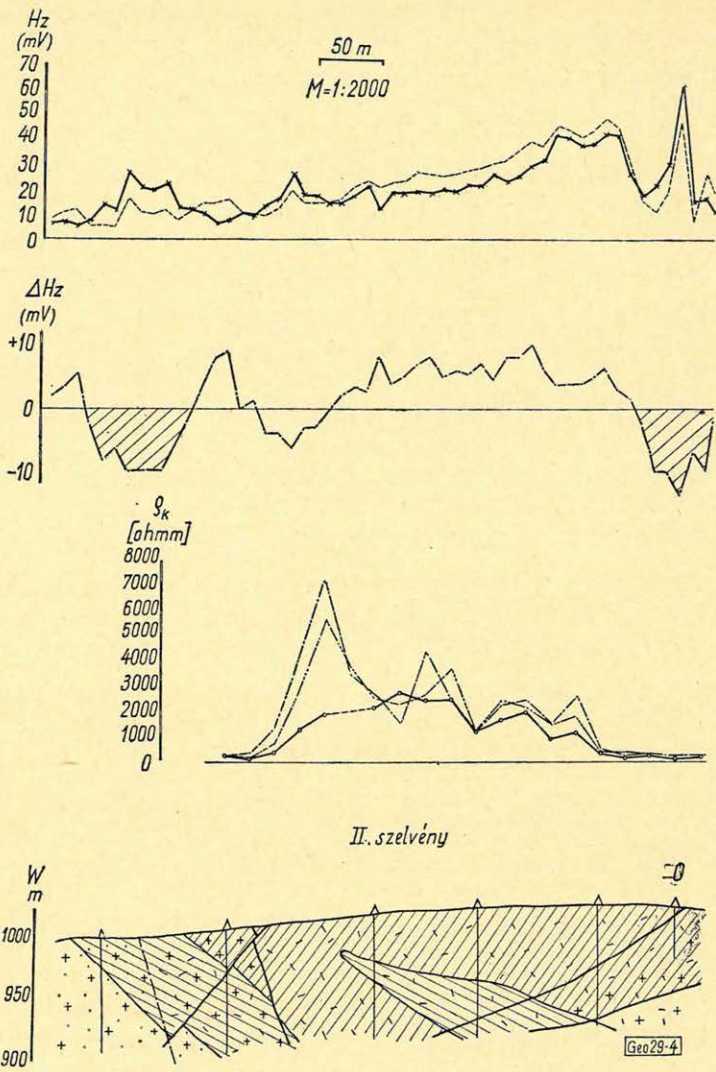
Geo 29

3. ábra. Radiokip-szelvény metasomatikusan elváltozott gránitokon

Fig. 3. Результаты метода радиокип над метасоматически измененными гранитами  
 Fig. 3. Radiokip-Profil an metasomatich veränderten Graniten. 1. Beobachtung im Azimuth 60°. 2. Beobachtung im Azimuth 330°. 3. Differenz der Beobachtungen in zwei Azimuthen. 4. Grobkörniger Granit. 5. Erz-Zone. 6. Granodiorit. 7. Greisen (Greisen-Verzerrung). 8. Kalifeldspat (Kalifeldspatisierung). 9. Tonige Mineralisierung. 10. Grenze der Veränderung. 11. Tektonische Linie. 12. Gesteinsgrenze. 13. Spärliche Erzzone.

azimutja ( $\varphi$ ) méréséhez. A  $\Delta H_z$  ilyen jellegű átváltása a csillámos-érces gránit fölé érve tapasztalható (3. ábra).

A II. szelvényen (4. ábra) a radiokip méréseket elektromos szelvényezéssel egészítettük ki. Az elektromágneses tér vertikális komponensei ( $H_z$ ), valamint



4. ábra. Radiokip- és fajlagos ellenállás-szelvények greizenen

Fig. 4. Сопоставление результатов метода радиокип с кривыми удельного сопротивления над грейзенами

Fig. 4. Radiokip-Profil an metasomatisch veränderten Graniten. 1. Beobachtung im Azimuth  $60^\circ$ . 2. Beobachtung im Azimuth  $330^\circ$ . 3. Differenz der Beobachtungen in zwei Azimuthen. 4. Grobkörniger Granit. 5. Erz-Zone. 6. Granodiorit. 7. Greisen (Greisen-Vererzung). 8. Kalifeldspat (Kalifeldspatisierung). 9. Tonige Mineralisierung. 10. Grenze der Veränderung. 11. Tektonische Linie. 12. Gesteingrenze. 13. Spärliche Erzzone

ezek különbsége ( $\Delta H_z$ ) és a  $\delta_k$  görbék a központi greizen-test fölött pozitív anomáliát adnak. A  $H_z$  abszolút értékének növekedéséből ( $40-50 \text{ mV}$ ) a felszínközeli érc tartalom  $K$ -i irányban való dúsulására következtethetünk, kapcsolatban a szélső fúrás környékén metsződő törésvonallal. A vetőt igen határozott  $H_z$  maximum és negatív  $\Delta H_z$  mező egyértelműen jelzi, mely egyben a

kivékonyodó greizen-test  $K$ -i határát képezi. A  $Ny$ -i határt a geofizikai paraméterek újabb változása jelzi. A  $\rho_k$  értékek két nagyságrendet csökkennek, a  $\Delta H_z$  pedig pozitívból negatív mezőbe megy át. E változások együttesen alátámasztják a greizentest  $Ny$ -i tektonikus végződéséről alkotott földtani elképzelést.

Mivel a központi greizen látszólagos ellenállása meghaladja a 2000 ohm-t, így a behatolási mélység növekedése miatt a módszer a primer szulfidok jelenlétére is érzékeny.

A radiokip szelvény jellege a mélyebb behatolású ( $AB = 64 m$ ) elektromos ellenállás-szelvény menetéhez jobban hasonlít, mint a kisebb behatolásúakéhoz ( $AB = 16 m, 32 m$ ), így kísérletileg is igazoltnak tekintjük az előző pontban közölt behatolási mélységadatokat.

## IRODALOM

- [1] Goda L. – Kalafut M. – Lingauer J. – B. Szabó László: Összefoglaló jelentés az arenuri rezemolibdén lelőhelyen 1969–1970. években végzett földtani kutatómunkáról. OFKFKV, Miskolc, 1971.
- [2] JELENTÉS radiofrekvenciás módszertani vizsgálatokról NME, Geofizikai Tanszék, Miskolc, 1970.
- [3] E. V. Zaharov – V. N. Dimitriev: Diffrakcija elektromagnitnüh voln na idealno provodjasceji poluploszkoszti. . . Fizika Zemli, 1966.
- [4] A. G. Tarhov: Osznovü geofiziceszkov razvedki metodom radiokip. Goszgeoltehzdat, 1961.

## Egyesületi hírek

### LAPSZEMLE

#### Helyreigazítás

Lapunk 5. számában ismertettük Csiky Gábornak az „Alföldi Olajbányász” augusztusi számában megjelent „A Tiszántúl kőolajföldtani viszonyai és a további kutatások perspektívája” c. cikkét.

Az „Alföldi Olajbányász” szeptemberi számában azonban azt olvassuk, hogy a szóbanforgó cikknél tévedésből szerepelt Csiky Gábor neve, mert az Komjáti János előadásának anyagát tartalmazta. Így mi is helyreigazítunk.

T. G.

### LAPSZEMLE

Bányászati és Kohászati Lapok, Kőolaj és Földgáz, különszám 1971. október.

Alliquander Ödön – Arnold Werner – Gyulay Zoltán: A kőolaj és földgázbányászat műszaki fejlődése, 1970. Bibliográfiai tanulmány, 130 oldal.

A néhány évvel ezelőtt megindított fejlődési beszámoló sorozatnak ez már a harmadik füzeté és az 1970. évi anyagot tartalmazza. Tárgymutatója az előző évihez képest bővült; a szerzők célja itt – tekintettel a várható gépi kezelés megkönnyítésére – ésszerű szakszókincs kialakítása.

A mű hatalmas anyagot ölel fel: a bevezetőben szereplő folyóiratjegyzék több mint 50 tételt tartalmaz (köztük a Magyar Geofizikát is), továbbá számos jelentős jellegű kiadványt sorol fel, melyeket a szerzők teljes mértékben feldolgoztak, de ezeken kívül még egyéb forrásmunkákból is vettek ki információkat.

A mélyfúrás geofizika a 3. fejezetet alkotja a 42–58. oldalon, az irodalmi felsorolás 178 tételt tartalmaz.

T. G.

# Kvadratikus detektáló szűrő tervezése és analízálási lehetőségei

K É S M Á R K Y I S T V Á N

*Egy nemlineáris detektáló szűrő tervezését és alkalmazhatóságát vizsgáltuk meg. A szűrő kimenete a bemenet kvadratikus alakjaként állítható elő. Alkalmazásának előnye az, hogy tervezése csupán a jel autokorrelációs függvényének ismeretét kívánja meg. A fázisinformációt az így nyert kimeneti csatorna elveszti, de a jel/zaj arány javulása jelentős.*

*Рассматриваются разработка и возможности применения нелинейного детектирующего фильтра. Выход фильтра получается в квадратичной форме входа. Преимущество такого фильтра заключается в том, что для его разработки требуется знать только автокорреляционную функцию сигнала. Получаемые таким образом выходной канал теряет информацию о фазах, но за то в значительной мере улучшается отношение сигнал/шум.*

*Es werden Entwurf und Anwendungsmöglichkeiten eines nichtlinearen Filters untersucht, dessen Ausgangssignal als eine quadratische Form des Eingangssignals dargestellt werden kann. Ein Vorteil seiner Anwendung wird dadurch gegeben, dass sein Entwurf nur die Kenntnis der Autokorrelationsfunktion des Signals erfordert. Der so gewonnene Ausgangskanal verliert zwar die Phaseninformation, aber eine bedeutende Besserung des Signal|Geräusch-Verhältnisses wird erhalten.*

## Bevezetés

Számos, időben megfigyelt fizikai mennyiség hasznos jelek és rendezetlen ingadozások, zajok összegének tekinthető. Az ilyen regisztrátumok kiértékeléséhez általában szükséges, hogy a hasznos jeleket jobban felismerhetővé tegyük. A szűrések feladata olyan eljárások alkalmazása, melyek a jelek és zajok statisztikai jellemzőinek ismeretében a jeleket kiemelik, a zajokat pedig elnyomják. Egyes esetekben szükséges lehet olyan detektáló szűrési eljárások alkalmazása, melyek a jel alakjától függetlenül a jel létéről, vagy nem létéről adnak felvilágosítást. Természetes követelmény a tervezendő szűrőkkel szemben, hogy a bemenetet alkotó jelre és zajra minél kevesebb előzetes ismeretet kívánjanak meg.

A statisztikai tárgyalásmód jól alkalmazható a szeizmikus adatok feldolgozásánál is. Természetesen ekkor a jelet (*reflexiót*) nem a hullámegyenlet bizonyos határfeltételeket kielégítő megoldásának tekintjük, hanem csupán a rendezetlen zajoktól eltérő viselkedését vizsgáljuk. A továbbiakban a detektálás műveletével foglalkozunk, melynek célja tehát a *jel/zaj* arány növelése és statisztikai hipotézisvizsgálat a jel léteire vonatkozóan.

Milyen tulajdonságok alapján különíthetők el a jelek a zajoktól?

*a)* jelalak *b)* energianövekedés *c)* frekvencia *d)* szelvénybeli oldalirányú fázisfolytonosság (szeizmikában fontos).

A továbbiakban az *a)* és *b)* ponttal foglalkozunk.

Ismeretes, hogy a  $W(t)$  jelalak felhasználásával tervezhető a kimeneti jel/zaj energiaarányt maximalizáló szűrő (matched filter), mely éppen a  $W$  jel



időbeli fordítottja. A kimenet a bemeneti csatorna és a  $W^{(-1)}$  szűrő konvolúciójaként áll elő:

$$y^*(t) = \int_0^T y(t-\tau) W^{(-1)}(\tau) d\tau,$$

ahol  $y(t)$  és  $y^*(t)$  a be-, illetve kimenet. Ez megfelel annak, hogy a bemenetet a  $(jel+zaj)$  várható értékével súlyozzuk. (A zaj várható értéke zéró.) A szűrő tervezéséhez tehát előre kell ismerni a jel alakját, ami általában nem adható meg.

A szeizmikus csatorna energiája képezhető (Baranov 1964) az

$$E = v^2 - \frac{\partial v}{\partial t} \int v dt$$

kifejezés alapján, ahol  $v$  a regisztrált sebesség. Az eljárás hátránya, hogy a fázisinformáció elvész, ugyanakkor a  $jel/zaj$  arány nem nő meg. Az egyszerű energia-kritérium tehát nem kielégítő.

Mivel a jel autokorrelációs függvénye viszonylag egyszerűen becsülhető általános esetben is (Dash 1970), célszerű lenne olyan kimeneti  $jel/zaj$  arány-maximalizáló szűrőt tervezni, amelyhez csupán ezt kell ismerni.

#### A kvadratikus szűrésről általában

A kvadratikus szűrő bevezethető olyan nem konstans együttthatójú konvolúciós operátorként, ahol a szűrő függ a bemenettől. Emiatt a szűrő nem jellemezhető egyértelműen átviteli függvényével.

A szűrt kimenet kifejezhető az

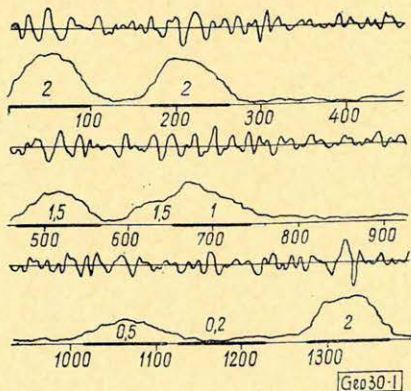
$$y^*(t) = \int_{-T}^{+T} \int_{-T}^{+T} y(t-\alpha) A(\alpha, \beta) y(t-\beta) d\alpha d\beta$$

alakban.

1. ábra. A bemenet és a szűrt csatorna. A kimeneten fel van tüntetve a jelek elhelyezése és a megfelelő  $jel/zaj$  energia

Fig. 1. Вход и фильтрованный канал. На выходе указаны распределение сигналов и соответствующее отношение сигнал/шум

Fig. 1. Der Eingang und der gefilterte Kanal. Beim Eingang werden die Lage der Signale und die entsprechende Signal/Geräusch - Energie-Verhältnis dargestellt



Áttérve digitálisan adott függvényekre: legyen  $t = k\tau$ , ahol  $\tau$  a mintavételi távolság.

Ekkor az  $\alpha = i\tau$  és  $\beta = j\tau$  jelölést bevezetve és az integrálokat szummákká alakítva

$$y^*(k\tau) = \tau^2 \sum_{i=-N}^N \sum_{j=-N}^N y(k\tau + i\tau) A(i\tau, j\tau) y(k\tau + j\tau)$$

adódik. Legyen  $\tau = 1$ ,

$$y_k^* = \sum_{i=-N}^N \sum_{j=-N}^N y_{k+i} A_{ij} y_{k+j} = \sum_{i=-N}^N y_{k+i} \sum_{j=-N}^N A_{ij} y_{k+j}$$

A fenti kifejezés mátrix alakban:

$$y_k^* = [y_{k+N} \dots y_k \dots y_{k-N}] \begin{bmatrix} A_{-N-N} & \dots & A_{-NN} \\ \vdots & & \vdots \\ A_{N-N} & & A_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{k+N} \\ \vdots \\ y_{k-N} \end{bmatrix}$$

Végül szimbólikusan:

$$y^* = Y' A Y = Y' K^*$$

alakba írható fel az  $y^*$  kimenet egy eleme, ahol  $A$  a kvadratikus szűrőmátrix,  $Y$  a bemenet (' a transzponálást jelenti),  $K^*$  a változó együtthatójú konvolúciós szűrő.

A linearitási feltételek nyilván nem teljesülnek:

- ha a szűrés a  $kY$  bemenetre hat, a kimeneten  $k^2 y^*$  jelenik meg,
- ha az operátor az  $Y = N + S$  bemenetre hat, a kimenet:

$$(N + S)' A (N + S) = N' A N + S' A N + N' A S + S' A S$$

alakú, vagy részletesebben:

$$\sum_i \sum_j N_i A_{ij} N_j + \sum_i \sum_j S_i A_{ij} S_j + \sum_i \sum_j N_i A_{ij} S_j + \sum_i \sum_j S_i A_{ij} N_j$$

A kimenet várható értékét képezve:

$$\begin{aligned} E(y^*) &= \sum_i \sum_j A_{ij} E(N_i N_j) + \sum_i \sum_j A_{ij} E(S_i S_j) + \sum_i \sum_j A_{ij} E(N_i S_j) + \\ &\sum_i \sum_j A_{ij} E(S_i N_j) = \sum_i \sum_j A_{ij} \Phi_{NN \ ij} + \sum_i \sum_j A_{ij} \Phi_{SS \ ij} + \\ &+ \sum_i \sum_j A_{ij} \Phi_{NS \ ij} + \sum_i \sum_j A_{ij} \Phi_{SN \ ij} \end{aligned}$$

ahol  $\Phi$  a megfelelő auto- illetve keresztkorrelációs függvényeket jelenti.

Látható, hogy  $N$  és  $S$  korrelálatlansága esetén a kvadratikus szűrő rendelkezik a második (b) linearitási tulajdonsággal. Ekkor a keresztkorrelációs tagok eltűnnek ( $\Phi_{NS \ ij} = \Phi_{SN \ ij} = 0$ ) és a kimenet várható értéke

$$E(y^*) = E(n_k^*) + E(s^*).$$

E tulajdonság alapján, korrelálatlan jel és zaj additív keverékét megsűrve, a kimenet a szűrt jel és a szűrt zaj összegének tekinthető.

A kvadratikusszűrő kimenete energiajellegű mennyiség.

A nemlineáris szűrőkre általában jellemző, hogy  $y(t) = n(t) + s(t)$  bemenet esetén (Davenport–Root, An Introduction to the Theory of Random Signals and Noise 1958) az a. és b. tulajdonságok miatt,  $s(t)$  jelenlétében a kimenet zajosodik és a túl kis jel/zaj arányú jelek elnyomódnak.

### Kvadratikusszűrő

Legyen adva egy

$$y(t) = n(t) + s(t)$$

bemenet, ahol  $n(t)$  valamilyen stacionárius stochasztikus folyamat, és  $s(t)$  jel egy bizonyos tartományon  $\{t - T, t + T\}$  szintén stacionárius. Ha  $n(t)$  és  $s(t)$  korrelálatlan, akkor a szűrt kimenet  $y^*(t) = n^*(t) + s^*(t)$  alakú, ahol

$$y^*(t) = \int_{-T}^{+T} \int_{-T}^{+T} y(t - \alpha) A(\alpha, \beta) y(t - \beta) d\alpha d\beta$$

vagy mátrixírásmodban:

$$y^* = Y' A Y;$$

keresendő az az  $A$  operátor, ami az  $E(s^*) / E(n^*)$  mennyiséget maximalizálja, ami a jel- és zaj-energiák várható értékeinek hányadosa.

$$\frac{E(s^*)}{E(n^*)} = \frac{\sum_i \sum_j A_{ij} \Phi_{ss\ ij}}{\sum_i \sum_j A_{ij} \Phi_{nn\ ij}} = \max.$$

Stacionárius jel és zaj folyamatokról lévén szó,  $\Phi_{NN}$  és  $\Phi_{SS}$  csupán  $|i - j|$  függvényei. (Toeplitz típusú autokorrelációs mátrix)

Legyen az  $A$  spúrjában álló elemek értéke rögzített, pl. a jel átlagos energiája. Ekkor a maximizálandó hányados nevezője fehér spektrumú zaj esetén konstans lesz. ( $\Phi_{NN\ ij} = \Phi_{NN\ ij} \delta_{ij}$ )

Feladat tehát a számláló maximalizálása.

$$\sum_i \sum_j A_{ij} \Phi_{ss\ ij} = \max.,$$

vagy szimbólikusan

$$\sum_k A_k \Phi_{ss\ k} = \max.$$

A Cauchy tétel értelmében

$$|(A, \Phi_{ss})| \leq \|A\| \cdot \|\Phi_{ss}\|.$$

Az egyenlőség  $A_k = \Phi_{ssk}$  esetén áll fenn, tehát a kvadratikus *jel/zaj* energiát maximalizáló szűrő a jel autokorrelációs mátrixával egyezik meg. (Egy konstans erejéig.)

Ez megfelel annak, hogy a bemenet kvadratikus alakját a jel kvadratikus alakjának várható értékével (autokorrelációs mátrixával) súlyozzuk. A kimenet  $\chi^2$  eloszlású, ha a jel autokorrelációja  $\delta_{(0)}$  alakú, más esetben bonyolultabb. Az  $y^*$  kimenet jellemzi a Hilbert tér  $n$  dimenziós alterében a jelnek és a bemenetnek megfelelő („*jel+zaj*”, vagy „*zaj*”) pontok távolságát, amennyiben a jel és a *zaj* autokorrelációs függvénye különböző. (Nem precíz távolság-fogalom.)

A hipotézis-vizsgálatoknál a jel  $y^*(Y) \geq C$  egyenlőtlenséggel definiált környezetébe eső  $Y$  bemenetnél fogadhatjuk el a jel hipotézisét, ahol  $C$  egy rögzített konstans.

A kvadratikus szűrő kimenete tehát felfogható a Hilbert tér (bemenetek alkotta) poligonján értelmezett függvénynek.

Az  $y^*(t)$  kimenetnek a Weierstrass tétel értelmében a jel fent definiált környezetében létezik maximuma; célszerű ezt a maximumot „*jel*”-nek minősíteni. A döntési küszöb egyszerűen megállapítható Monte-Carlo módszerrel úgy, hogy  $1 - \epsilon$  valószínűséggel legyen  $y^*(x) \geq C$ , ahol  $\epsilon$  egy kis szám. A szűrő (jel+zaj) bemenet esetén a waveletek fázisára nem érzékeny.

A kvadratikus szűrő előnye, hogy tervezéséhez csak a jel autokorrelációs függvényét kell ismerni, ami reális esetben is becsülhető. Fehér spektrumú jel esetén a szűrő azonos az irodalomból ismert burkolódetektorral (kvadratikus jelfeldolgozás).

### Eredmények

A kvadratikus detektáló szűrőt műszeizmogram-csatornákon próbáltam ki. A zajt számítógép véletlenszámgenerátorával előállított fehér spektrumú Gauss folyamat 20 és 100 Hz közti sáváteresztő szűrésével nyertem. Ehhez adtam hozzá különböző *jel/zaj* energia arányú 8-ad fokú csonkított Hermit polinom waveleteket (1. ábra).

$$W_s(t) = H_s(t) \cdot e^{-kt^2}$$

Az eredmények azt mutatják, hogy a kvadratikus szűrő a 0,5 és annál nagyobb *jel/zaj* arányú jeleket igen jól kiemeli. Nagy (45×45-ös) szűrőmátrix esetén a  $\Phi_{NS}$  és  $\Phi_{SN}$  valóban kis szórással nulla, a kimeneten alig jelentkeznek magasabb frekvenciájú zajok. (Ezeket célszerű simítással eltüntetni.) A konvolúciós szűréshez képest a számítási idő a mátrix méreteinek megfelelően hosszabb, ( $\geq$  kétszeres) bizonyos esetekben előnyei miatt mégis hasznos lehet az alkalmazása: 0,5 *jel/zaj* energia-arány esetén a lineáris detektáló szűrőnél közelítőleg kétszer olyan nagy *jel/zaj* arány javulást eredményez. Fehér spektrumú zaj esetén az eljárás különösen hatásos.

### IRODALOM

- Baranov, Picou: Energy and vector record-sections Geophysics, v. 29 p. 17–37 (1964).  
 Dash, Obaidullah: Determination of signal and noise statistics using correlation theory, Geophysics, v. 35, No. 1 (1970).  
 J. A. Srejgyer: Monte-Carlo módszerek. Műszaki könyvkiadó (1965).

# Agyagos termelő homokokban végzett víztelítettségi vizsgálatok áttekintő elemzése

W. H. FERTL – G. W. HAMMACK\*

*Mind az USA-ban, mind a tengeren túl, számos interpretációs technika áll rendelkezésre a fűrőlyukelemzésnél a vízszaturáció számítására agyagos homokoknál. A dolgozat röviden kifejti a különböző értelmezési módszerek elméletét és megbeszéli előnyeiket és alkalmazásuk korlátait. Tényleges terepi esetek felhasználásával összehasonlítja a különböző technikákat, változó agyagosság-értékeket véve figyelembe.*

*Végül bemutat egy újonnan kidolgozott módszert és megvizsgálja ennek alkalmazhatóságát.*

*Как в США, так и в других заокеанических странах разработан ряд методов интерпретации данных исследования скважин для вычисления водонасыщенности глинистых песков. В работе коротко излагается теория различных методов интерпретации и обсуждаются их достоинства, а также ограничения их применения. На фактических примерах дается сопоставление различных методов, с учетом различных величин глинистости.*

*В заключение излагается вновь разработанный метод и анализируется его применимость.*

*In den Vereinigten Staaten, sowie auch in Europa zahlreiche Interpretationstechniken stehen zu Verfügung bei der Bohrloch-Analyse für die Berechnung der Wassersaturation in tonigen Sandsteinen. Der Aufsatz stellt kurz die Theorie der verschiedenen Interpretationsmethoden dar und bespricht ihre Vorteile sowie die Schranken ihrer Anwendbarkeit. Auf Grund von realen Feldmessungen werden die verschiedenen Techniken einem Vergleich unterzogen unter Berücksichtigung von verschiedenen Tongehalt – Perzenten.*

*Endlich wird eine neu ausgearbeitete Methode vorgeführt und ihre Anwendbarkeit geprüft und bestätigt.*

## Bevezetés

A lyukelemzésnél számos interpretációs eljárás áll rendelkezésre a víztelítettség meghatározására agyagos termelő homokokban. Összehasonlító tanulmányozásnak vetettük alá ezeket a módszereket úgy, hogy valamennyi megvizsgált egyenletnél ugyanazokat a paraméter-értékeket használtuk.

Tanulmányunk megmutatja, hogy ez vagy az az interpretációs módszer miért vet el vagy tart meg egy-egy szóbakerülő agyagos homokot. Egyúttal segítségül akar szolgálni esetleges jövőbeli helytelen értelmezések ellen azért, hogy kiválasztja az egyes esetek kezelése számára legalkalmasabb módszert.

Megkíséreltük itt azt, hogy több jól ismert víztelítettség-számítási technikát bemutassunk a vízszaturáció számítására agyagos homokoknál, olyan paramétereket használva, melyek jellemzőek egy olyan agyagos-homok-területre, mint pl. a Gulf-Coast környéke. A módszereket röviden kifejtsük elméletileg és megtárgyaljuk előnyeiket és hátrányaikat. A jól ismert eljárások kiegészítése-

\* W. H. Fertl okl. olajmérnök és filozófiai doktor, vezető állású fűrőlyukelemző a Continental Oil Company termelésutatói osztályán a formáció-kiértékelési csoportban és mint oktató is működött a Texas-i egyetemen.

G. W. Hammack a Texas-i egyetemen fizikát tanult, majd különböző olajvállalatoknál szolgált: most vezető állású formáció-kiértékelő mérnök a Continental Oil Company-nál.

képpen új értelmezési módszert fejlesztettünk ki, mely előnyösen kerül ki az egyéb megoldásokkal való összehasonlításból.

Úgy érezzük, hogy a különböző agyagos-homok-interpretációs módszerek eme összehasonlító elemzése és az új, egyszerű megoldás kifejítése alapot szolgáltat a feltalálható agyagos-homokok kiértékelésének megjavításához.

### A rétegzett agyag-modell.

Az agyagos homokok interpretációjára kifejlesztett egyik legelső modell Poupon és társaitól származik. A modell kétfajta közegből áll, melyek váltakozó rétegekben helyezkednek el, mint pl. tiszta homok, vagy tiszta agyagrétegek. A megoldásnál felteszik, hogy a pala- és homoklemezek vezetőképessége szigorúan additív. A modell azt is felteszi, hogy az agyagrétegek és a szomszédos agyag-formációk elektromos vezetőképessége megegyezik.

Az ilyen „szendvics-típusú” agyagos homok vezetőképessége, mint az agyag és homok-frakció kombinált hatása így fejezhető ki:

$$C = V_{sh} C_{sh} + (1 - V_{sh}) C_{sd}, \quad (1)$$

ahol:  $C$  = az agyagos homok mért vezetőképessége,  
 $C_{sh}$  = a lemezes agyagkomponens vezetőképessége,  
 $C_{sd}$  = a tiszta homok vezetőképessége és  
 $V_{sh}$  = az agyagrétegek aránya a teljes térfogatban (agyagosság).

Ha az (1) egyenletet behelyettesítjük az alapvető Archie-képletbe, a következő kifejezést kapjuk a vízsaturációra, mely érvényes mind a tiszta, mind az agyagos homokokra:

$$s_w^n = \frac{a}{\Phi m} \left( \frac{1}{R_t} - \frac{V_{sh}}{R_{sh}} \right) \cdot \frac{R_w}{(1 - V_{sh})}. \quad (2)$$

A Humble-egyenletet alkalmazva és a saturációs kitevő ( $n$ ) értékét  $n = 2,0$ -nak véve a rétegzett agyagos modell vízsaturációjának számítására a következő formát kapjuk:

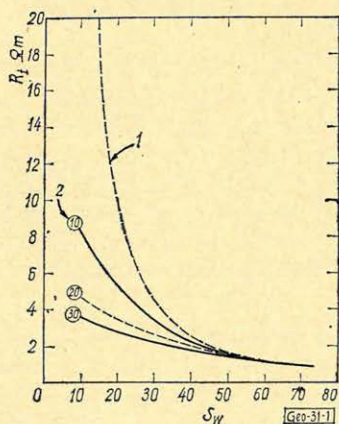
$$S_w = \sqrt[2]{\frac{0,9}{\Phi} \left( \frac{1}{R_t} - \frac{V_{sh}}{R_{sh}} \right) \cdot \frac{R_w}{(1 - V_{sh})}}. \quad (3)$$

Amint azt a (3) egyenletből láthatjuk, megbízható értékekre van szükség a porozitás ( $\Phi$ ), a formáció-víz-ellenállás ( $R_w$ ), az agyagosság ( $V_{sh}$ ) és a szomszédos agyagformáció ellenállása számára. Az 1. ábrában bemutatjuk a számított víztelítettség függését a formáció-ellenállástól és az agyagosságtól ( $V_{sh} = 10, 20, 30$ ), mely a termelő zónában jelen van. Egyéb, a Gulf-Coast-i hely-

1. ábra. Rétegzett agyag-homok-modell (Poupon és társai). 1 tiszta homok – 2 agyagosság (%)

Фиг. 1. Модель слоистого разреза, сложенного глинами и песками (Пупон и др.) 1 – чистые пески, 2 – глинистость (в %-ах)

Fig. 1. Geschichtetes Modell von tonigem Sandstein (Poupon und andere). 1 reiner Sand – 2 Tongehalt (%)



zettel kompatibilis adatok: a porozitásra: 30%, az  $R_w$ -re: = 0,045 és az  $R_{sh-ra}$  = 1,0.

### Az agyag-iszap modell

Ezt az agyag-homok-modellt L. DeWitte alkotta meg 1950-ben. Ez nem azonos az ő jóval általánosabban ismert  $SP$  – modelljével. Itt az agyag a tiszta homok pórusterében eloszolva helyezkedik el, más szóval: a formációban levő agyagásványok a formációfolyadékkal iszapot alkotnak.

Figyelembe véve mind az eloszló agyag és a vele levő víz keverékének az ellenállását, mind az eloszló agyagos anyag részellenállását ( $R_c$ ), felírhatjuk a következő összefüggést:

$$\frac{\text{Iszaptérfogat}}{R_z} = \frac{\text{Vízterfogat}}{R_w} + \frac{\text{Agyagtérfogat}}{R_c},$$

vagy

$$\frac{\Phi S_w + V_{sh}}{R_z} = \frac{\Phi S_w}{R_w} + \frac{V_{sh}}{R_c},$$

ahol:

$R_z$  = a szórt agyag és vele együtt levő víz keverékének ellenállása,

$R_c$  = a szórt agyag rezisztivitása,

$$(\Phi S_w + V_{sh}) = (R_z/R_t)^{1/2} \text{ és}$$

$$\frac{1}{R_t} = \frac{(\Phi S_w + V_{sh})^2}{R_z} = (\Phi S_w + V_{sh}) \cdot \left( \frac{\Phi S_w}{R_w} + \frac{V_{sh}}{R_c} \right). \quad (4)$$

Ennek az egyenletnek az átalakításával a következő típusú összefüggés adódik:

$$Ax^2 + Bx + C = 0,$$

vagyis:

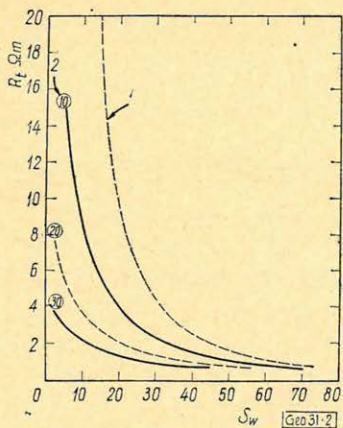
$$\frac{1}{FR_w} \cdot S_w^2 + \Phi S_w \left( \frac{1}{R_w} + \frac{1}{R_c} \right) \cdot V_{sh} + \left( \frac{V_{sh}^2}{R_c} - \frac{1}{R_t} \right) = 0.$$

Így a vízzaturációra ( $S_w$ ) a következő értékeket kapjuk:

$$S_w = \frac{R_w}{2\Phi} \left\{ -y + \sqrt{y^2 - \frac{4}{R_w} \left( \frac{V_{sh}^2}{R_c} - \frac{1}{R_t} \right)} \right\}, \quad (5)$$

ahol:  $y = V_{sh} \left( \frac{1}{R_w} + \frac{1}{R_c} \right).$

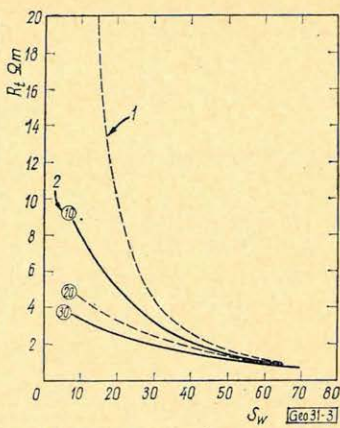
A 2. ábrában bemutatjuk a vízzaturáció számított értékeit a formációellenállás és az agyagosság függvényében. Érdekes megjegyezni, hogy az (5) egyenlet alkalmazása alacsony rezisztivitású termelő homokoknál a vízzaturációra túl alacsony értékeket szolgáltat, sőt az  $S_w$  értéke még negatívnak is adódhat. Ez a helyzet kifejezettebbé lesz, amint a szóban forgó agyagos homokoknál az agyagosság mértéke növekszik.



2. ábra. Agyag-homok-keverék – modell (L. DeWitte) 1 tiszta homok – 2 agyagosság (%)

Фиг. 2. Модель смешанной глинисто-песчаной среды (ДеВитте) 1 – чистые пески 2 – глинистость (в %-ах)

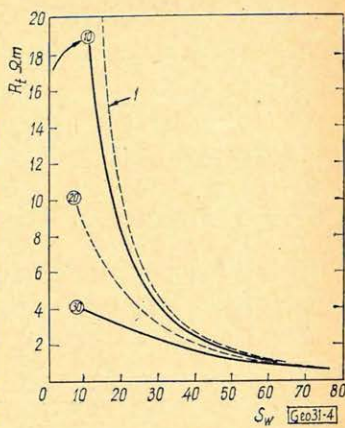
Fig. 2. Ton-Sand-Mischung – Modell (DeWitte). 1 reiner Sand – 2 Tongehalt (%)



3. ábra. Az  $y = a + c \cdot x^2$  alakú megoldás. 1 tiszta homok – 2 agyagosság (%)

Фиг. 3. Решение вида  $y = a + c \cdot x^2$  1 – чистые пески, 2 – глинистость (в %-ах)

Fig. 3. Lösung von der Form:  $y = a + C \cdot x^2$ . 1 reiner Sand – 2 Tongehalt (%)



4. ábra. Általánosított Archie-egyenlet (Hossin). 1 tiszta homok – 2 agyagosság (%)

Фиг. 4. Обобщенное уравнение Арши (Хоссин) 1 – чистые пески, 2 – глинистость (в %-ах)

Fig. 4. Verallgemeinerte Archie-Gleichung (Hossin). 1 reiner Sand – 2 Tongehalt (%)

### Parabolikus egyenlet alkalmazása

Az agyagos-homokos termelő rétegekben fellépő vízsaturáció számítására igen gyakran alkalmazott egyik összefüggés ilyen alakú:  $y = a + cx^2$ . Az agyag-homok-modellt illetően az agyagos zóna ellenállását két elektromos komponens összegeként fejezik ki, ahol az egyik a jelenlevő agyag által, a másik a pórus-térben elszórt folyadék által szolgáltatott rész. Matematikailag ez a modell így fejezhető ki:

$$C = V_{sh} C_{sh} + \frac{\Phi^m}{a \cdot R_w} \cdot S_w. \quad (6)$$

Ebből az egyenletből a vízsaturáció mind a tiszta, mind az agyagos homokokra számítható. Ha behelyettesítjük az egyenletbe a Humble-összefüggést és a saturációs kitevőt  $n = 2,0$ -nak vesszük, akkor a víztelítettség számítására a következő képletet kapjuk:

$$S_w = \frac{0,9}{\Phi} \sqrt{\left( \frac{1}{R_t} - \frac{V_{sh}}{R_{sh}} \right) R_w}. \quad (7)$$

Itt is bemutatjuk (3. ábra) a számított vízsaturáció változását a formáció-rezisztivitás és az agyagossági fok függvényében. De  $\Phi$  Witte megoldásához hasonlóan tapasztalataink azt mutatják, hogy a (7) egyenlet alkalmazásával számított víztelítettségi értékek az agyagos termelő homokokban túlzottan optimisztikusak. Az így kapott  $S_w$ -értékek általában túl kicsinyek és ha a termelő zóna agyagossága növekszik, az  $S_w$  értéke negatívvá is válhat.



## Az általánosított Archie-egyenlet

Az agyag-homok-rezervoár-modell leírására más egyenletet javasolt Hossin. Az ő modellje módot ad a vízsaturáció számítására agyagos, termelő homokokban, ha a formáció-ellenállás, a porozitás, és a zóna agyagossága ismeretes. A két parallel elektromos vezető gondolatát alkalmazva (mint az agyag és a homok), melyek hatása összeadódik, felírhatjuk, hogy:

$$C = C_{sh} + C_{sd} \quad (8)$$

ahol:  $C$  = a mért konduktivitás,  
 $C_{sh}$  = az agyag-komponens vezetőképessége,  
 $C_{sd}$  = a homok-komponens vezetőképessége.

A fizikai paraméterekkel kifejezve Hossin az alábbi alakú kifejezés felírását javasolja:

$$C = C_{sh} + C_{sd} = V_{sh}^2 C_c + \frac{\Phi^m}{a \cdot R_w} \cdot S_w^n, \quad (9)$$

ahol:  $\frac{1}{C_c} = R_c$  = a szórt agyag rezisztivitása. Ezt az értéket – rendszeren a tapasztalatokra alapozva – így közelítjük meg:  $R_c = 0,4 \times R_{sh}$  (ahol  $R_{sh}$  az agyagrezisztivitás a szomszédos agyag-zónában).

A (9) egyenlet egyszerű matematikai átalakításával – ideértve a Humble-egyenlet felhasználását – és az  $n = 2,0$  szaturációs kitevő helyettesítésével a következő kifejezést kapjuk a víztelítettség számára:

$$S_w = \frac{0,9}{\Phi} \sqrt{\left( \frac{1}{R_t} - \frac{V_{sh}^2}{R_c} \right) \cdot R_w}. \quad (10)$$

A 4. ábrán bemutatjuk a számított vízsaturációt, mint a formáció-ellenállás és az agyagosság függvényét.

## A Doll-módszer

Doll egy nem közölt módszerében a Hossin által javasolthoz igen hasonló eljárást ajánl. Doll is az additív elvet használja az agyagra és tiszta homokra, mint komponensekre és az alábbi módon fejezi ki a formáció-rezisztivitást:

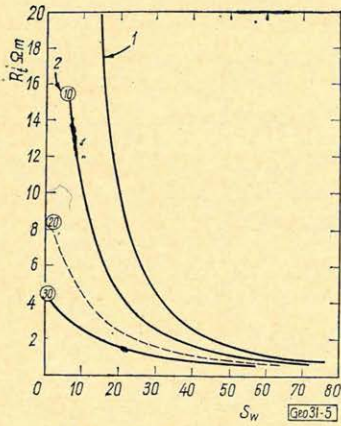
$$\frac{1}{\sqrt{R_t}} = \frac{V_{sh}}{\sqrt{R_c}} + \frac{S_w}{\sqrt{F \cdot R_w}}. \quad (11)$$

Matematikai átalakítás és az  $a = 1,0$ , valamint az  $(m) = 2,0$  (cementációs kitevő), továbbá az  $(n) = 2,0$ , (szaturációs kitevő) értékek behelyettesítése után a következő formulát kapjuk az agyagos homokban való vízsaturáció-számításra:

$$S_w = \frac{1}{\Phi} \left( \sqrt{\frac{R_w}{R_t}} - V_{sh} \sqrt{\frac{R_w}{R_t}} \right). \quad (12)$$

Rövid pillantás a (12) egyenletre mutatja, hogy a határfeltételek teljesítve vannak ( $R_c \rightarrow R_w$  és  $V_{sh} \rightarrow 0$ ).

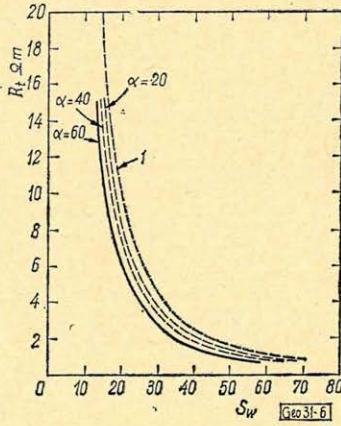
Az 5. ábrában bemutatjuk, hogy az ezzel a módszerrel számított vízszaturáció hogyan alakul a formáció-rezisztivitás és az agyagosság függvényében. Érdekes megemlíteni, hogy az a módszer igen optimisztikus adatokat szolgáltat, vagyis túl alacsony vízszaturációs értékeket. Különösen áll ez olyan termelő zónákra, melyeknél az agyagosság százalékszámja magas.



5. ábra. Doll-módszer (kézirát) 1 tiszta homok – 2 agyagosság (%)

Фиг. 5. Метод Долла (по рукописи) 1 – чистые пески, 2 – глинистость (в %-ах)

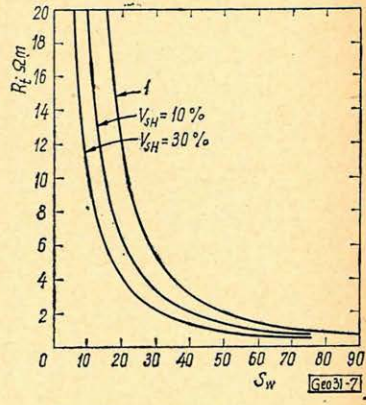
Fig. 5. Doll-Methode (unpubliziert). 1 reiner Sand – 2 Tongehalt (%)



6. ábra. Patchett-módszer ( $R_{mf} = 0,45 \text{ ohm m}$ ,  $R_w = 0,045 \text{ ohm m}$ ) 1 tiszta homok

Фиг. 6. Метод Патчетта ( $R_{mf} = 0,45 \text{ омм}$ ,  $R_w = 0,045 \text{ омм}$ ) 1 – чистые пески

Fig. 6. Patchett – Methode. 1 reiner Sand



7. ábra. Simandoux-módszer. 1 tiszta homok

Фиг. 7. Метод Симанду 1 – чистые пески

Fig. 7. Simandoux-Methode 1 reiner Sand

### Patchett módszere

Számos kvantitatív agyagos-homok-technikát ajánlottak már, ahol ilyen típusú formulákat használnak:

$$\frac{1}{R_t} = A \cdot S_w + \frac{B}{R_w} \cdot S_w^2, \quad (13)$$

ahol  $A$  és  $B$  – a fizikai paraméterekkel kifejezve – az agyag vezetőképességét ( $C_s$ ) és a tiszta-homok formációfaktorának reciprok értékét ( $F$ ) reprezentálják. Ismeretes továbbá, hogy az agyagosság befolyásolja az  $SP$  – görbét. De Witte már az előbb ajánlott egy módosított  $SP$  – egyenletet, mely figyelembe veszi az agyageffektust így:

$$PSP = K \log \frac{C_s F + S_w/R_w}{C_s F + S_w/R_{mf}}$$

Patchett a két egyenletet kombinálva a vízszaturációt a következő matematikai alakban fejezte ki:

$$S_w = \sqrt{\frac{FR_w}{R_t} \cdot \frac{R_{mf}}{R_{mf} - R_w} \cdot \frac{x-1}{x}}, \quad (14)$$

ahol:

$$x = I\theta^{PSP/K}$$

$F$  = formáció-faktor a sűrűség-mérésből (*density log*) a Humble egyenlet felhasználásával,

$R_w$  = a formáció-víz rezisztivitása megbízható forrásból.

Kitűnik, hogy ez a megoldás javított kiértékelést ad az agyagos termelő homokokra, feltéve, hogy az  $SP$ -görbét közvetlenül felhasználhatjuk. Ez viszont azt involválja, hogy ez a technika nem alkalmazható ott, ahol az  $SP$ -görbét az elárasztás erősen befolyásolja, vagy olyan esetekben, amikor az iszap-filtrátum rezisztivitási értéke a formáció-vízét erősen megközelíti. Nyilván nem alkalmazható a módszer olajbázisú iszappal fúrt, vagy gázzal töltött kutakban.

A 6. ábrában bemutatjuk a számított vízszaturációt, mint a formáció-ellenállás és a tároló-kőzet agyagosságának függvényét. Amint az általános szokás, az agyagosságot az  $SP$ -eltérítés függvényében fejeztük ki (pl. így:  $\alpha = PSP/SSP$ ).

#### A Simandoux egyenlet

*Simandoux* kiterjedt tanulmányokat végzett homokból és agyagból összetett mesterséges közegeket illetően és ezek alapján a következő alakú kifejezést ajánlotta a vezetőképesség számára:

$$C_t = V_{sh} C_c + S_w \cdot \frac{\Phi^m}{a \cdot R_w}. \quad (15)$$

Itt  $C_c$  a szórt agyag konduktivitása. Ha a szaturációs kitevőre az  $n = 2,0$  értéket vesszük fel, akkor a *Waxman* és társai által (1968) találthoz hasonló parabolikus egyenletet kapunk:

$$y = bx + cx^2.$$

Matematikai átalakítás és a Humble egyenletek alkalmazása után a vízszaturációt így fejezhetjük ki:

$$S_w = \left\{ -\frac{V_{sh}}{R_c} + \sqrt{\left(\frac{V_{sh}}{R_c}\right)^2 + 5\left(\frac{\Phi^2}{R_t R_w}\right)} \right\} \cdot \frac{0,4 R_w}{\Phi^2}. \quad (16)$$

A Francia Petróleum Intézetben végrehajtott laboratóriumi kísérletek ezt az összefüggést alátámasztották. Úgy érezzük, hogy pillanatnyilag ez a megoldás szolgáltatja a legjobb módot a víztelítettség számítására az agyagos termelő homokokban. Ez az egyenlet lényeges része lett a számítógépre kidolgozott *Saraband* homokkő-analízisnek, melyet *Schlumberger*ék használnak otthon és melyet a Tengerentúli *Schlumberger* cég rendelkezésre bocsát a párisi számítóközpontjában elvégzett számításoknál.

A 7. ábra bemutatja a vízszaturáció ezzel a képlettel számított értékeit a formáció-rezisztivitás és az agyagosság függvényében.

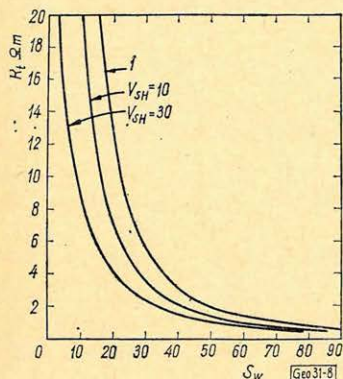
#### Új agyagos-homok-módszer

Amint már előbb is tárgyaltuk, a *Doll*-féle megoldás közvetlen alkalmazása a vízszaturáció számára olyan értékeket szolgáltat, melyek igen kicsinyek lehetnek, sőt még negatívvá is válhatnak. Véleményünk szerint azonban ezen a

korlátozottságon segíteni lehet. Doll alapvető megfontolásaiból kiindulva, a módszer módosítását ajánljuk. A megoldás abban áll, hogy két különböző szaturációs kitevőt használunk, és pedig  $n = 2,0$ -t a tiszta homokos tagra, és  $n_1 = 1,0$ -át az agyag-komponensre. Ennek megfelelően a Doll-féle egyenlet általunk javasolt módosított alakja a következő lesz:

$$S_w = \frac{1}{\Phi} \left\{ (0,81 R_w/R_l)^{\frac{1}{n}} - V_{sh} (R_w / (0,4 R_{sh}))^{\frac{1}{n}} \right\}. \quad (17)$$

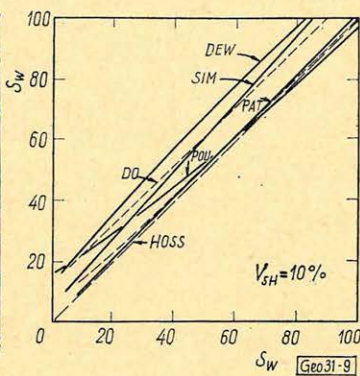
Miután az  $n$  értékét kipróbáltuk, az  $n_1$  számára az  $n_1 = 1,0$  értéket választottuk. A 8. ábra mutatja a számított vízszaturáció változásokat a formáció-rezisztivitás és a rezervoár-kőzet agyagosságának függvényében. Amint később erről még szólni fogunk, úgy látszik, hogy a javasolt módszer a víztelítettség számára hasonló értékeket ad, mint a Simandoux egyenlet, és pedig az agyagos-széles értékközébe, különösképpen pedig olyan rezervoárjellemzőkre, melyek a Gulf-coaston felfedezhetők.



8. ábra. Az új módszer ( $n = 1,0$ ). 1 tiszta homok

Fig. 8. Новый разработанный метод ( $n = 1,0$ ) 1 — чистые пески

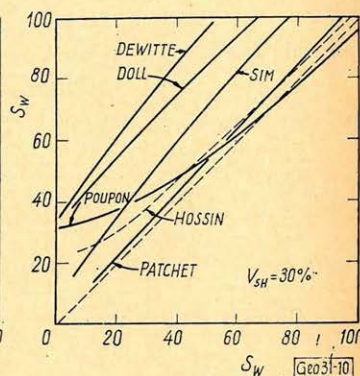
Fig. 8. Die neue Methode. 1 reiner Sand



9. ábra. Az agyagos-homokos módszerek (vízszintes tengely) összehasonlítása az Archie egyenlettel (függőleges tengely), százalékban

Fig. 9. Сопоставление методов определения водонасыщенности глинистых песков (горизонтальная ось) с уравнением Арши (вертикальная ось) в %-ах

Fig. 9. Vergleich der Ton-Sand-Methoden (horizontale Achse) mit der Archie-Gleichung (vertikale Achse), %



10. ábra. Az agyagos-homokos módszerek összehasonlítása (vízszintes tengely) az Archie egyenlettel (függőleges tengely), százalékban

Fig. 10. Сопоставление методов определения водонасыщенности глинистых песков (горизонтальная ось) с уравнением Арши (вертикальная ось) в %-ах

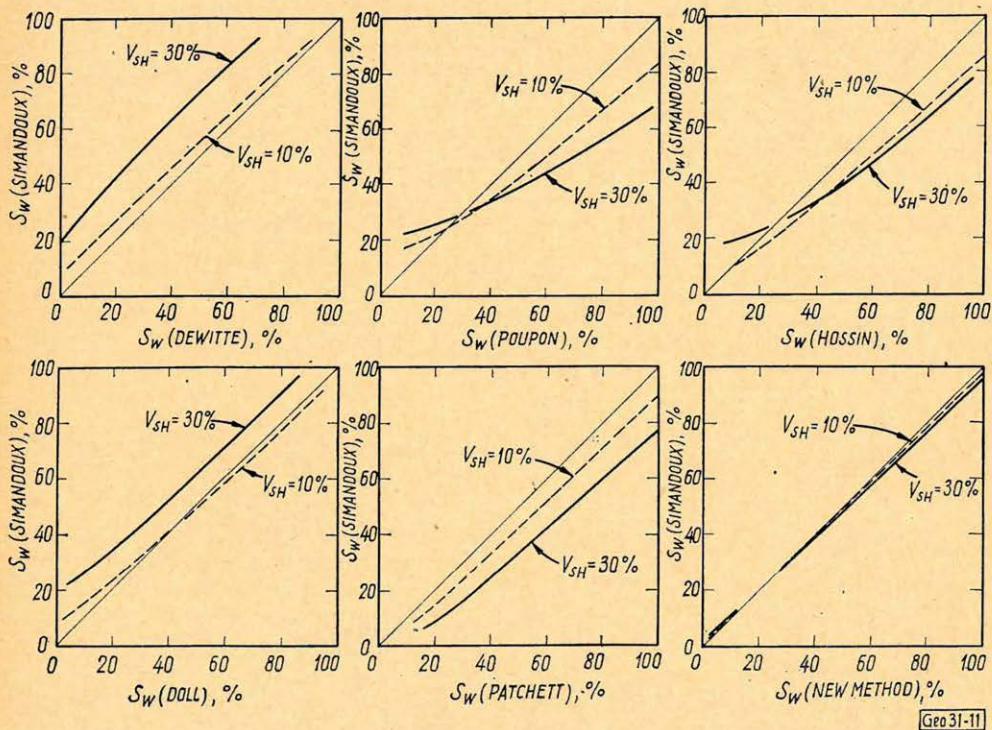
Fig. 10. Vergleich der Ton-Sand-Methoden (horizontale Achse) mit der Archie-Gleichung (vertikale Achse), %

### A különböző módszerek összehasonlítása

A 9. és 10. ábrákon megkíséreltük, hogy bemutassuk az imént tárgyalt agyagos-homok-technikák viszonyát, összehasonlítva azokat a tiszta homokokra vonatkozó sztenderd Archie-típusú egyenlettel. Ezekből a grafikus ábrázolásból kitűnik, hogy attól függően, hogy az elemző szakember melyik agyagosági módszert választotta, bármilyen potenciális termelő zóna ajánlásra

vagy elvetésre kerülhet. Azt is megjegyezhetjük, hogy az ilyen nyilvánvaló ellentmondások kifejezettebbé válnak, ha a rezervoár-kőzet agyagossága növekszik. Pl. egy eléggé agyagos tároló kőzet ( $V_{sh} = 30\%$ ) szélősegesen optimista  $S_w$  – értékeket adhat, ha a De Witte – vagy Doll – megoldást választjuk, míg a Poupon-féle megoldás az  $S_w > 75\%$  tartományban még az Archieféle tisztahomok-megoldásnál is pesszimistikusabbnak mutatkozik. A 9. és 10. ábrákon mutatkozó specifikus kölcsönös kapcsolatok a különféle agyagos-homok módszerek között nem szorulnak magyarázatra.

Még érdekesebb azonban valamennyi, ebben a dolgozatban tárgyalt agyagos-homok-technika közvetlen összehasonlítása, ha a Simandoux-egyenletet használjuk referencia-bázisnak. A 11. ábrán látható a számítási eredmények grafikus ábrázolása olyan formációra, melynek agyagossága  $10\%$  és egy eléggé agyagos ( $V_{sh} = 30\%$ ) rezervoár-kőzetre.



Geo31-11

11. ábra. Több agyagos-homokos módszer összevetése a Simandoux-egyenlet adta megoldással  
 Фиг. 11. Сопоставление некоторых методов определения водонасыщенности глинистых песков с решением по уравнению Симанду

Fig. 11. Vergleich mehrerer Ton-Sand-Methoden mit der Lösung geliefert von der Simandoux-Gleichung

Amint várható, valamennyi agyagos-homok-technikánál a látható eltérések kifejezettebbé válnak az agyagtartalom növekedtével egy potenciális termelő homokban. Mindebből több fontos következtetést vonhatunk le.

Eléggé tiszta, azaz nem túl agyagos formációkban ( $V_{sh} < 10\%$ ) a De Witte – Doll- és Patchett- megoldások gyakorlatilag egymáshoz közeleső eredményeket adnak. Ugyanez áll a Hossin-féle módszerre is abban az alsó tarto-

mányban, melynél  $S_w < 40\%$ . Azonban a legjobb megegyezést a Simandoux módszer és a mi újonnan kidolgozott agyagos-homok-módszerünk között találjuk (11. f. ábra). Az agyagosabb rezervoár-kőzetben ( $V_{sh} = 30\%$ ) a fentebbi észrevételek még kifejezettebben igazolódnak. A Doll- és DeWitte-megoldások 10–25 szaturáció-százalékkal is túl optimistikusnak bizonyulnak, míg Poupon és Hossin túl pesszimistikus értéket adnak az  $S_w > 26-28\%$ -os értéknél, Patchett pedig az egész szaturációs tartományban. Itt is kiváló egyezést látunk azonban a mi újonnan kifejlesztett módszerünk és a Simandoux módszer között (11. f. ábra).

Végül ellenőriztük új módszerünk és a Simandoux-féle megoldás megegyezési tartományát olyan rezervoár-feltételek mellett is, melyek a Gulf-coast vidékén találhatóéktól eltérnek. A tanulmányozott helyzetek között vannak kis és nagy-porozitású kőzetek, édes és sós vizek és az agyag-rezisztivitás különböző értékei, valamint az agyagosság változó értéke a rezervoár-kőzetben (10%-tól 40%-ig).

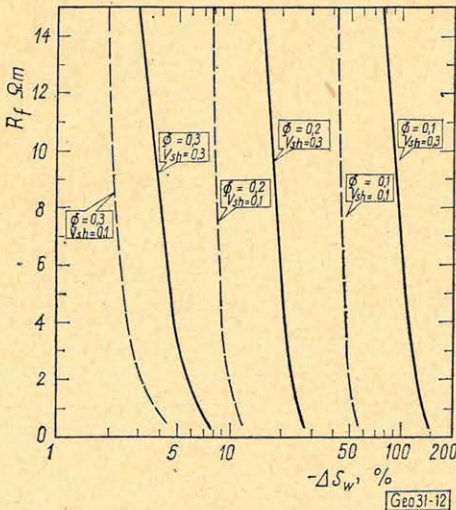
Általában a mi módszerünkkel és a Simandoux-egyenlettel meghatározott vízsaturáció-értékek között az eltérés matematikailag az alábbi módon fejezhető ki:

$$\Delta S_w = \underbrace{\left(1 - \frac{0,4}{\Phi}\right) \left(\frac{R_w V_{sh}}{\Phi R_c}\right)}_{f_1} + \underbrace{\frac{1}{\Phi} \sqrt{\frac{R_w}{R_t}} \left(\frac{0,4}{R_t}\right) \sqrt{\left(\frac{V_{sh}}{R_c}\right)^2 R_w R_t + 5 \cdot \Phi^2 - 0,9}}_{f_2}$$

vagy:

$$\Delta S_w = f_1 + f_2$$

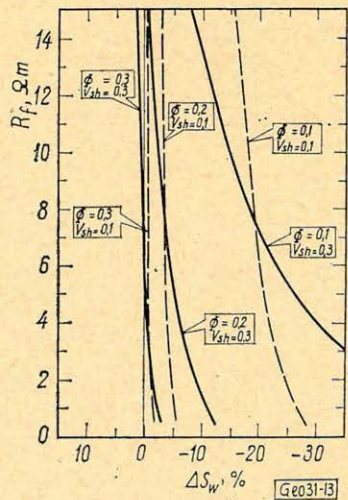
Tekintsük külön-külön az  $f_1$  és  $f_2$  tagokat. Az alábbi következtetések vonhatók le:



12. ábra. A Simandoux-módszer és az új módszer összevetése ( $R_w = 1,0$  és  $R_c = 6,0$ ).

Fig. 12. Сопоставление метода Симанду с новым методом ( $R_w = 1,0$  и  $R_c = 6,0$ )

Fig. 12. Vergleich der Simandoux-Methode mit der neuen Methode ( $R_w = 1,0$  und  $R_c = 6,0$ )



13. ábra. A Simandoux-módszer és az új módszer összehasonlítása ( $R_w = 0,04$  és  $R_c = 0,4$ )

Fig. 13. Сопоставление метода Симанду с новым методом ( $R_w = 0,04$  и  $R_c = 0,4$ )

Fig. 13. Vergleich der Simandoux-Methode mit der neuen Methode ( $R_w = 0,04$  und  $R_c = 0,4$ )

(1)  $f_1$  független a formáció-rezisztivitásától,

(2)  $f_2$  csökken, ha az  $R_c$  növekszik.

Nyilván nem várhatjuk, hogy a Simandoux és a mi új módszerünk közötti egyezés minden elképzelhető rezervoárhelyzetben jó lesz, minthogy a számított vízsaturációk közötti eltérés ( $\Delta S_w$ ) a porozitásnak, az agyagosságnak, a formáció-víz rezisztivitásának, az agyagos keveréknek és a formációnak kombinált függvénye. A 12. ábra bemutat egy esetet, ahol nincs egyezés: itt  $R_w = 1,0$ , és  $R_c = 6,0$ . Ilyen helyzet előfordulhat pl. a Sziklás-hegység területén.

Általában azonban azt várhatjuk a módszertől, hogy öt százaléknál kisebb eltéréssel szolgáltatja a Simandoux-egyenlet adta szaturáció-értékeket, ha  $R_w$  kisebb, mint 0,065 és a  $\Phi$  nagyobb, mint 25%. Továbbá:  $R_f$ -nek a termelő zónában 0,8-nál nagyobb kell lennie és az agyagosság a tároló-kőzetben ne haladja meg a 30%-ot. A 13. ábra bemutatja azokat a viszonyokat, melyek a Gulf-Coast közelében várhatók, vagyis ahol  $R_w = 0,04$  és  $R_c = 0,4$ . Megjegyezzük, hogy ilyen feltételek mellett valamennyi „gyakorlatilag” érdekes (művelő) Gulf-homok esetében igen jó egyezés áll fenn a Simandoux és az új módszer szerinti értékek között. Ugyancsak megjegyezhetjük, hogy mindazon homokoknál, melyeknél a porozitás 25%-nál nagyobb (vagy ezzel egyenlő), és az agyagosság 10–30%, kiváló egyezés áll fenn a két egyenlet között.

### Végkövetkeztetések

Ma az ipar különböző technikákat alkalmaz folyamatosan az agyagos homokok vizsgálatára. A kiszámított szaturációs értékekben mutatkozó eltérések növekednek a tartóközet agyagosságával együtt. A DeWitte és Doll- technikák túl optimisztikus értékeket szolgáltatnak és erősen agyagos termelő zónákban teljesen irreális eredményeket adnak. Az átmeneti zónákban elhelyezkedő agyagos termelőhomokokban, azaz olyanokban, ahol magas értékű vízsaturáció van jelen, a Hossin és Poupon-módszerek túl pesszimisztikusak és alkalmazásuk olyan zónák elvetéséhez vezethet, melyek gyakorlatilag kihasználhatók lennének.

Tanulmányunk alapján vagy a Simandoux-egyenlet, vagy az általunk kifejlesztett új módszer használatát ajánljuk agyagos-homok-technikaként, különösen olyan rezervoároknál, melyek a Gulf-coast területhez hasonló jellegűek.

### IRODALOM

- DeWitte, L.: Kapcsolat porózus kőzetek folyadéktartalma és rezisztivitásai között; Oil and Gas Journal, 1950 augusztus 24., 120–132 old.
- Doll, H. G.: Kéziratban levő módszer.
- Hossin, A.: Vízsaturáció számítása az agyagos cement-módszerrel (általánosított Archie-egyenlet); Bull. A. F. T. P.
- Patchett, J. G.: Módszer a vízsaturáció meghatározására agyagos homokokban, Journal Petroleum Technology, 1967 október.
- Poupon, A. és társai: Adalék az elektromos szelvények interpretációjához agyagos homokokban; Journal Petroleum Technology, 1954 augusztus, 29–34 old.
- Simandoux P.: Dielektromos mérések porózus közegben, alkalmazás a vízsaturáció mérésére, az agyagos kőzetek viselkedésének vizsgálata; Revue de l'Institut Français du Pétrole, Pótkötet, 1963.
- Waxman, M. H. és Smits L. J. M.: Elektromos vezetőképesség olajtartalmú agyagos homokokban; Society of Petroleum Engineers Journal, 1968. június.

# Nagy fajlagos ellenállású vezérszint mélységének meghatározása frekvenciaszondázással

TAKÁCS ERNŐ

*Kétrétegeshez közeli  $\rho_2 > \rho_1$  rétegsor fölött a frekvencia-szondázásnál két, a tápdipoltól különböző távolságban ( $R$ ) levő mérődipolt használva meghatározható a  $\frac{\rho_{\max}}{\rho_{\min}}(R)$  függvény egy szakasza. Ennek ismeretében a között diagram felhasználásával kis  $R$  távolságoknál is megbízható mélységszámítás végezhető.*

*При применении двух измерительных диполей, расположенных на различных расстояниях  $R$  от питающего диполя над разрезом  $\rho_2 > \rho_1$ , близким к двуслойному, метод частотного зондирования позволяет определить отрезок функции  $\frac{\rho_{\max}}{\rho_{\min}}(R)$ . Зная эту функцию, с использованием предлагаемой диаграммы можно уверенно определить глубину залегания опорного горизонта даже при небольших расстояниях  $R$ .*

*Über einer annähernd zweigeteilten Schichtenfolge mit  $\rho_2 > \rho_1$  können wir einen Abschnitt der Funktion  $\frac{\rho_{\max}}{\rho_{\min}}(R)$  bestimmen, indem wir bei der Frequenzsondierung einen Dipol anwenden, welcher vom Speisedipol in verschiedenen Distanzen ( $R$ ) angebracht wird. Auf Grund dessen können wir – auch im Falle kleiner  $R$ -Distanzen – eine zuverlässige Tiefenrechnung ausführen.*

A mesterséges áramterű frekvenciaszondázási adatok kvantitatív értékelése nehezebb feladat, mint geometriai szondázás esetén. Egyrészt azért, mert a görbék összetettebbek, ugyanis egy-egy réteget két szélső érték indikál. Másrészt alakjuk a táp-, és a mérődipol távolságától [ $R$ ] is függ.  $R$  jelentős növelésével – amikor a mérődipol a tápdipolnak ún. hullámnójába kerül – egyszerűsödik ugyan a helyzet, ez azonban nagy teljesítményű tápáram-forrást követel és a terepi munkát is nehezíti.

Amennyiben a kutatás feladatát egy viszonylag vastag, nagy fajlagos ellenállású vezérszint reliefjének meghatározása képezi és a rétegsor a kétrétegeshez közeli, kis  $R$  távolságok esetén is könnyen elvégezhető a kvantitatív értékelés. A rétegsor akkor tekinthető a kétrétegeshez közelállónak, ha a vezérszint fajlagos ellenállása és a fedőösszlet átlagos fajlagos ellenállása között lényegesen nagyobb a kontraszt, mint a fedőösszleten belüli rétegek fajlagos ellenállásai között. Továbbá az  $R$  távolság megfelelő megválasztásával gondoskodtunk arról, hogy a görbe kis-frekvenciás szakasza döntő módon a nagy fajlagos ellenállású réteg hatására alakuljon ki.

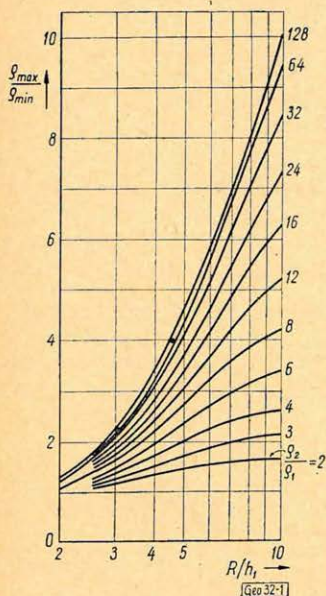
A frekvencia-szondázás több lehetséges változata közül az az eset kerül tárgyalásra, amikor a gerjesztés elektromos dipólussal történik és ekvatoriális helyzetű elektromos mérődipollal az elektromos térerősség amplitudóját határozzák meg.

A tápdipolba különböző körfrekvenciájú  $[\omega]$  áramot engedve, a

$$\varrho(\omega) = \frac{\pi R^3}{AB \overline{MN}} \frac{\Delta U(\omega)}{I(\omega)}$$



képlettel látszólagos fajlagos ellenállás-értékek számíthatók.  $\overline{AB}$  és  $\overline{MN}$  a táp-, illetve mérő-dipol elektródatávolságát,  $\Delta U(\omega)$  a mérőelektródák közötti feszültség,  $I(\omega)$  a tápáram erősségének amplitudóját jelenti.  $\varrho(\omega)$ -t a periódusidő ( $T$ ) négyzetgyökének függvényében a geometriai szondázásnál is szokásos, logaritmikus beosztású koordináta-tengely-rendszerben ábrázolva kapjuk a frekvencia-szondázási görbét.



1. ábra. Kétréteges elméleti görbék a  $(\varrho_2/\varrho_1) = 32$  és  $64$  esetre

Фиг. 1. Двухслойные теоретические кривые для  $(\varrho_2/\varrho_1) = 32$  и  $64$

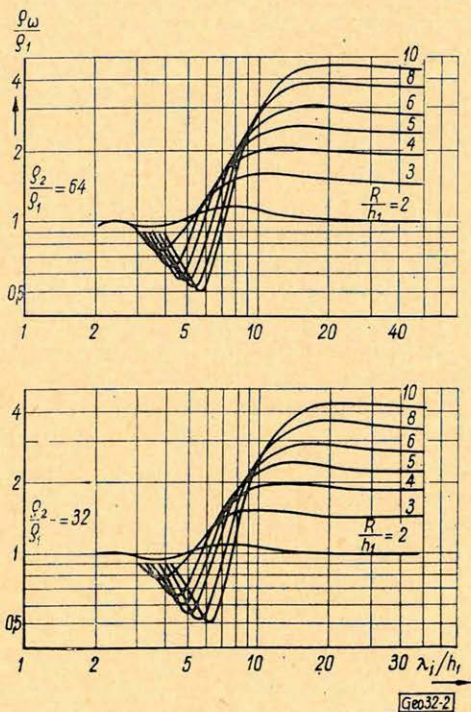
Fig. 1. Zweischichten-theoretische-Kurven für Fälle

$$\frac{\varrho_2}{\varrho_1} = 32 \text{ und } 64.$$

A fenti elektróda-elrendezéshez két-réteges metszetre a Lomonoszov Egyetem Számítógép Központja közölt adatokat elméleti görbékhez táblázatok alakjában [1]. A belőlük megrajzolt,  $(\varrho_2/\varrho_1) = 32$  és  $64$  esetre vonatkozó elméleti görbék az 1. ábrán láthatók. Az abszcisszára a  $\lambda_1/h_1$  érték került, ahol  $\lambda_1$  az elektromágneses hullámhossz a  $h_1$  vastagságú fedőrétegben és a

$$\lambda_1 = \sqrt{10^7 \varrho_1 T}$$

számítható.  $\varrho_1$ -t ohmm-ben,  $T$ -t sec-ban kell helyettesíteni és  $\lambda_1$  m-ben adódik. Az ordináta-tengely a  $\varrho(\omega)/\varrho_1$  relatív látszólagos fajlagos ellenállás tengelye.



2. ábra. A  $\frac{\varrho_{max}}{\varrho_{min}}(R)$  diagram kétréteges metszetre

Фиг. 2. График  $\frac{\varrho_{max}}{\varrho_{min}}(R)$  для двухслойного разреза

Fig. 2. Zweischichten-Profil-Diagramme für  $\frac{\varrho_{max}}{\varrho_{min}}(R)$

A görbék paramétere a dipolok középpontjának az első réteg vastagságára normált távolsága ( $R/h_1$ ).

A görbéket az alábbi sajátságok jellemzik:

1. A nagyfrekvenciás görbeszakasz baloldali aszimptótája a  $\varrho_1$  érték vonalával esik egybe.

2. A nagyobb ellenállású alsó réteg a görbe kisfrekvenciás szakaszán karakterisztikus minimumot és maximumot alakít ki. A  $\varrho_{\max}/\varrho_{\min}$ -arány  $\varrho_2/\varrho_1$ -nek és  $R/h_1$ -nek függvénye.

3. A jobboldali aszimptóta  $\varrho_2/\varrho_1$ -nek és főként  $R/h_1$ -nek függvénye, hiszen értékszintjét az  $R$ -hez tartozó egyenáramú látszólagos fajlagos ellenállás szabja meg.

4. A görbe kisfrekvenciás szakasza akkor mutatja a határozottan nagyobb fajlagos ellenállású réteget, ha  $R > 3 h_1$ .

A frekvencia-szondázási görbék ismertett sajátságai a bemutatott elméleti görbékkel történő értékelésnek nem kedveznek, mert a mért és a számított görbék illesztése  $\varrho_2/\varrho_1$  ismerete nélkül nem végezhető el megnyugtatóan.

Ugyanakkor a 2. pontban említett sajátság alapján lehetőség van arra, hogy a  $\varrho_{\max}/\varrho_{\min}$  értéknek  $R$ -től való függését használjuk fel a kvantitatív értékelésben. Ehhez az szükséges, hogy legalább két különböző  $R$  távolságra álljanak frekvencia-szondázási görbék rendelkezésre. Az egyszerre két, vagy több mérődípollal való mérés nem jelent sok idővesztést, mert az elektródák kiterítése után a frekvencia-szondázás nagyon gyorsan elvégezhető. A fenti módon lényegében a görbéket legjobban jellemző  $\varrho_{\max}/\varrho_{\min}$  arány változása határozható meg  $R$  függvényében. Amennyiben ilyen adat az elméleti görbék alapján is rendelkezésre áll, egyetlen diagrammal meghatározható a nagy fajlagos ellenállású réteg mélysége.

A (2) adatainak felhasználásával számított  $\frac{\varrho_{\max}}{\varrho_{\min}} \left( \frac{R}{h_1}, \frac{\varrho_2}{\varrho_1} \right)$  görbék a 2. ábrán láthatók. Hajlásszögük, különösen a kisebb  $R/h_1$  értéknél ( $R/h_1 = 2-7$ )  $\varrho_2/\varrho_1$  megváltozására érzékenyen reagál.  $(\varrho_2/\varrho_1) > 64$  esetén ez a változás már lényegesen kisebb mérvű. A  $\varrho_{\max}/\varrho_{\min}$  arány  $R/h_1$ -el is jelentősen változik. A  $(\varrho_2/\varrho_1) < 4$  esetben azonban, ha  $(r/h) > 5$ , a változás már kismérvű.

A 2. ábra diagramjával tehát a hullám-zóna kialakításához szükséges  $R$ -hez képest kis távolságok mellett is elvégezhető a kiértékelés. A megbízhatóság  $\varrho_2/\varrho_1$  növekedésével fokozódik.

A nagy ellenállású réteg mélységének kiszámítása a következőképpen történik:

1. A terepi mérések adataiból meghatározzuk a  $\frac{\varrho_{\max}}{\varrho_{\min}}(R)$  függvény egy szakaszát. Ehhez két, különböző  $R_1$  és  $R_2$  távolságban elhelyezett mérődipol szükséges. Ügyelni kell arra, hogy a kisebb  $R$  érték a kutatandó vezérszint mélységének legalább 2-3-szorosa legyen. Amennyiben erre vonatkozóan előzetes adatok nincsenek, kísérleti úton kell meghatározni  $R_1$  érték-tartományát. A használt két  $R$  távolság célszerű aránya 1,2-1,5.

2. Az  $\left( \frac{\varrho_{\max}}{\varrho_{\min}} \right) R_1$  és  $\left( \frac{\max}{\min} \right) R_2$  értékeket a 2. ábra diagramjának léptékében pauszra hordjuk fel az első az  $I$ , a másodikat az  $R_2/R_1$  abszcisszájú ordinátákra.

3. Az abszcissa-tengelyeket fedésben tartva jobbra és balra tologatással a mért értékekből nyert görbeszakaszt a diagram megfelelő görbéjéhez illesztjük.

4. A metszet  $\rho_2/\rho_1$  értékét a diagram egyezést adó görbéjének paramétere szolgáltatja.

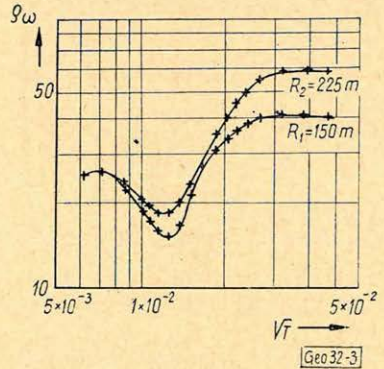
5. A mért  $\rho_{\max}/\rho_{\min}$  pontokat az abszcisszára vetítve az  $R_1/h_1$  és  $R_2/h_1$  értékek leolvashatók, amelyekből  $h_1$  meghatározható.

A diagram használatát példaként Diósgyőrben mért adatokon mutatjuk be. A kis mélységben levő nagy fajlagos ellenállású triászkorú mészkő fölött a

3. ábra. Az  $R_1 = 150$  és  $R_2 = 225$  m-es távolságon mért frekvencia-szondázási görbék Diósgyőrben

Фиг. 3. Кривые частотного зондирования, полученные в районе Диошдьер при расстояниях  $R_1 = 150$  и  $R_2 = 226$  м

Fig. 3. Frequenzsondierungskurven, gemessen mit Distanzen  $R_1 = 150$  und  $R_2 = 225$  m in Diósgyőr



3. ábrán látható frekvencia-szondázási görbéket kaptuk.  $R_1 = 150$  és  $R_2 = 225$  m távolságokon  $150 \left( \frac{\rho_{\max}}{\rho_{\min}} \right) = 2,2$  és  $225 \left( \frac{\rho_{\max}}{\rho_{\min}} \right) = 4,0$  értékű. Ezeket az 1 és  $(R_2/R_1) = 1,5$  abszcisszájú pontokban a 2. ábra tengelyeire felhordva megkapjuk a terepi méréseknek megfelelő görbeszakaszt, amelynek végpontjait a diagram görbéihez illesztett helyzetben a 2. ábrán körök jelzik. Leolvasható, hogy  $\frac{\rho_2}{\rho_1} \approx 128$ ,  $(R_1/h_1) = 3,1$  és  $(R_2/h_1) = 4,6$ . Tehát a mészkő teteje 49 m mélységben van.

$\rho_2/\rho_1$  ismeretében most már kiválaszthatjuk a rétegsornak megfelelő elméleti görbéket és ellenőrizhetjük, hogy a görbe alakja valóban megfelel-e a két-réteges esetnek.

## IRODALOM

A. N. Tichonov és társai: Tablicü amplitud i faz elektromagnitnovo polja v szlojsztom proszt-ransztve M. G. U. Vicsiszlitelnüj Centr 1968.

# Szovjet gyártmányú szeizmometerek (műszerismertetés)

*Es wird eine Beschreibung einiger Seismometer-Typen sovjetischer Herstellung gegeben und die technischen Einzelheiten mitgeteilt.*

*В работе дается описание некоторых типов сейсмоприемников советского производства и излагаются их основные технические характеристики.*

A Szovjetunióban a szeizmikus műszerek hosszú sorát dolgozták ki mind tudományos, mind ipari célokra. Ezek segítségével minőségileg új, pontos és megbízható észlelési anyag kapható. A szeizmográfok erősítési szintjei és frekvencia-tartományai széles határok között változnak.

Földrengést vizsgáló és ipari célú szeizmikus észlelések, a luniszoláris hatás okozta deformációknak, a kéreg egyes egymáshoz viszonyított elmozdulásának megfigyelése lehetővé teszik a földkéreg szerkezetének, a szeizmikus aktivitásnak és a rengésálló építkezések problémáinak vizsgálatát.

Egy rövid tanulmányban nehéz a szeizmikus felszerelések összességét ismertetni. Mi itt csak a szeizmográfok legjellemzőbb képviselőit ismertetjük, amelyeket a szeizmikus állomásokon használnak.

## *Szeizmométerek állandó és időlegesen működő szeizmikus állomások számára*

Állandó és ideiglenesen működő szeizmikus állomásokon különböző ingás típusú, elektrodinamikus átalakítású, elektromágneses csillapítású szeizmométereket használnak.

A nagyítás mértéke és a frekvencia-tartományok igen változatosak.

Az amplitudó-frekvencia-karakterisztika alapján széles és szűk sávban működő szeizmométerek készülnek.

## *SzK-D típusú lassúperiódusú szeizmométerek*

Az SzK-D típusú lassúperiódusú szeizmométerek két típusát gyártják: SzVK-D— a vertikális és SzGK-D- a horizontális talajmozgás-összetevő regisztrálására.

Az ilyen típusú szeizmométerek mind közeli, mind távoli földrengések széles periódustartományában történő rögzítésére szolgálnak és állandó szeizmikus állomásokon használatosak. Ezek ingás műszerek elektromágneses átalakítással és elektromágneses csillapítással. Állandó erősítés mellett, melynek nagysága 1000, 0,2-től 25 sec-ig regisztrálnak.

A spektrum lassúperiódusú tartománya torzításmentesen rögzítődik.

Az SzK-D típusú szeizmométerek a Föld belső szerkezetének és ezzel együttjáró kérdések kutatására használatosak, valamint lehetővé teszik szuperlassú felületi hullámok rögzítését, ami a Föld köpenyének kutatásához igen fontos.

A műszerek mágneses rendszerűek, mágneses söntöléssel és berendezéssel a saját rezgéseknek és az inga zéróhelyzetének szabályozására.

Az *SZK-D* szeizmométerek por és nedvesség behatolása ellen védőborítással vannak ellátva és megbízhatóan működnek  $-15$ -től  $+25$  C°-ig 85% relatív páratartalom mellett.

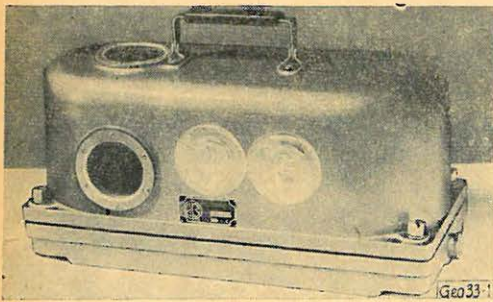
*Fontosabb technikai paraméterek*

Inga:	<i>SzVK-D</i>	<i>SzGK-D</i>
a saját lengések szabályozási intervalluma <i>sec</i> -ban .....	5–40	5–40
inerciamomentum <i>kg·m<sup>2</sup></i> .....	0,35	0,35
redukált hossz, <i>m</i> .....	0,5	0,5
a magnetoelektrikus és indító érzékenysége <i>sec/cm</i> .....	0,03	0,03
A tekercsek ellenállása, <i>ohm</i>		
regisztráláshoz .....	19–20	19–20
csillapításhoz .....	22,5–23	22,5–23
ellenőrzéshez .....	4	4
Méreték, <i>mm</i> -ben .....	810×315×340	810×315×340
Súly, <i>kg</i> .....	48	35

*Sz5Sz típusú szeizmométerek*

Az *Sz5Sz* szeizmométerek kategóriájukban a legjobbak közé tartoznak. Rendeltetésük a talaj és építmények rezgésének lassúperiódusú részét regisztrálni, melyeket 3–8 *ballos* földrengések, vagy nagy robbantások váltottak ki, valamint nagymagasságú építmények lengésének tanulmányozására szolgálnak. A műszert szeizmikus állomásokon, expedíciókban és különböző építkezéseken használhatjuk eredményesen.

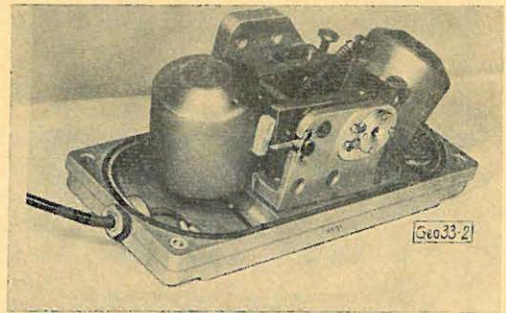
Az *Sz5Sz* szeizmométer univerzális, a talaj horizontális és vertikális komponensű rezgéseit rögzíti.



1. ábra. *Sz5Sz* szeizmométer

Фиг. 1. Сейсмометр *C5C* в закрытом виде

Fig. 1. Seismometer *Typ S5S*



2. ábra. *Sz5Sz* szeizmométer felnyitott állapotban

Фиг. 2. Сейсмометр *C5C* в раскрытом виде

Fig. 2. Seismometer *Typ S5S* geöffnet

*6B-III.* vagy *6B-IV M* galvānométerrel együtt használják a szokásos rendszerben.

A regisztrált elmozdulások köze  $15 \cdot 10^{-15}$ -től  $15$  *m*-ig terjed a  $0,01$ – $5$  *sec* intervallumban. Az inga saját lengései  $3$ – $10$  *sec* intervallumban szabályozhatók,

Az inga eredeti konstrukciós megoldása lehetővé teszi, hogy a szeizmometert vertikális vagy horizontális komponensek regisztrálására átállítsuk, valamint, hogy súlyát  $11\text{ kg}$ -ig, méreteit  $355 \times 147 \times 100\text{ mm}$ -ig csökkentjük.

A szeizmográf hermetizált és termokompenzátorral ellátott, ami lehetővé teszi, hogy az inga null helyzetét stabilizáljuk külső hőmérsékletváltozások esetén. A műszer stacionárius és expedíciós körülmények között tud dolgozni –  $40$ -tól  $+50\text{ C}^\circ$ -ig  $100\%$  relatív páratartalomig.

### Fontosabb technikai paraméterek

Inga:

saját lengések periódusa, <i>sec</i> .....	5
redukált hossz, <i>cm</i> .....	42,5
inerciamomentum, $g \cdot \text{cm}^2$ .....	$6 \cdot 9 \cdot 10^5$
A tekercsek érzékenysége $mV \cdot \text{sec}/\text{cm}$ munkában.....	130
csillapításnál.....	70

A tekercsek ellenállása:

munkában.....	93
csillapításnál.....	93

### SzSzRZ szeizmográf

Az erős és pusztító földrengések regisztrálására szolgáló SzSzRZ szeizmográf lehetővé teszi a talajfelszín és építmények sebességének és gyorsulásának regisztrálását  $3$ -tól  $10\text{ ball}$ -ig.

A műszer „készenléti” rendszerben működik és automatikusan bekapcsolódik egy elektromechanikus berendezés segítségével a földrengés hatására.

Az SzSzRZ doboza sem fényt, sem nedvességet nem ereszt át; ebben érzékelő elemek vannak elhelyezve, melyek segítségével fotografikusan regisztrálható a talajsebesség, vagy gyorsulás  $3$  komponense, valamint a megvilágító rendszer, a szalagtovábbító mechanizmus a kazettákkal, időjeladó, a műszert irányító automatika és az áramforrás.

Érzékelő elemként a következőket használjuk fel:

Három kisérzékenységű accelerométert a gyorsulások  $20$  és  $10^3\text{ cm/sec}$  intervallumban történő regisztrálására (a földrengések ereje  $5 - 10\text{ ball}$ ); három érzékenyebb accelerométert a gyorsulások regisztrálására  $5$  és  $100\text{ cm/sec}^2$  között ( $3 - 7$  ballos rengések), három velocimétert a sebességek regisztrálására  $0,4$  és  $50\text{ cm/sec}$  között ( $3 - 7$  ballos rengéseknél).

Az accelerométerek és a velociméterek individuális mágneses rendszerben működnek.

A műszer  $12$ -tól  $40$ -ig terjedő számú regisztrálási ciklust tud egy perforált filmszalagra rögzíteni és  $-20$ -tól  $+30\text{ C}^\circ$ -ig dolgozik  $30\%$  páratartalomnál.

### Szeizmométerek mérnök-szeizmikus kutatásokhoz

SzM-2 szeizmométer közeli és helyi  $3 - 4$  ballos földrengések rögzítésére szolgál, valamint építmények és gépek ipari forrás okozta mozgásainak és rezgés-sebességének regisztrálására.

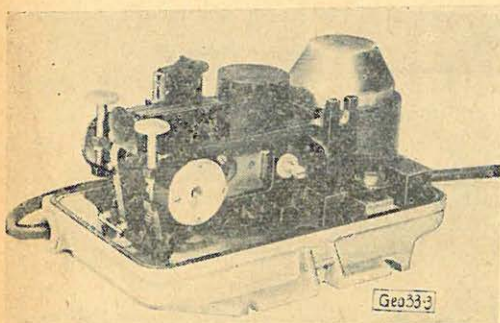
A műszer lehetővé teszi a rezgések vertikális és vízszintes összetevőjének rögzítését  $0,1\text{ mikrontól } 3\text{ mm-ig}$ ,  $0,5$ -tól  $100\text{ Hz-ig}$ .

A műszer lengőrendszerét magneto-elektrikus átalakítóval és elektromágneses csillapítóval látták el.

Az *SzM-2M* termokompenzátorral van ellátva, mely biztosítja a lengő egyensúlyú helyzetének állandóságát  $\pm 20\text{ C}^\circ$  hőmérsékletváltozás esetén. A műszer érzékenysége 2, 5, 10, 20, 50, 100-szorosára lehet csökkenteni.

A műszer megfelelően dolgozik  $-20$ -tól  $+40\text{ C}^\circ$ -ig 100% relatív páratartalom mellett. A műszer súlya 5 kg.

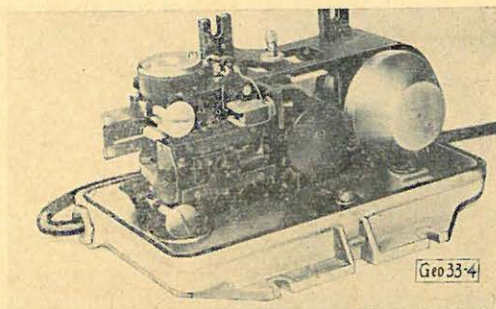
*UBPP* szeizmométer a nagyamplitudójú talaj- és épületrengések regisztrálására, valamint nagy rezgéseknek kitett gépezetek vizsgálatára szolgál.



3. ábra. *SzM-2M* szeizmométer a talajfelszínrengés vertikális komponensének regisztrálására előkészítve

Fig. 3. Сейсмометр *SM-2M*, подготовленный для регистрации вертикальной составляющей колебаний грунта

Fig. 3. Seismometer Typ *SM-2M* vorbereitet zur Registrierung der vertikalen Bewegungskomponenten der Bodenoberfläche-Schwingungen



4. ábra. *SzM-2M* szeizmométer a talajfelszínrengés horizontális komponensének regisztrálására előkészítve

Fig. 4. Сейсмометр *SM-2M*, подготовленный для регистрации горизонтальной составляющей колебаний грунта

Fig. 4. Seismometer Typ *SM-2M* vorbereitet zur Registrierung der horizontalen Komponente der Bodenoberfläche-Schwingungen

A műszerrel 200 mm-ig terjedő kitérések is regisztrálhatók, vagy  $10^6$ -szoros szögeltérések 1-től 100 Hz-ig, melyet úgy értek el, hogy egy alapra két ingát helyeztek magneto-elektrikus átalakítóval oly módon, hogy a lengéscentrumok a forgástengelytől különböző irányban vannak elhelyezve. A műszer hőszigetelése megbízható, és egy egész sor konstrukciós megoldás következtében nagy mechanikai szilárdsággal bír, 50 g-s megterhelésig megbízhatóan dolgozik.

#### Fontosabb technikai paraméterek

Erősítés a regisztrálás során:

elmozdulások <i>GB-III.</i> galvanométerrel .....	8
elmozdulások <i>GB-IV.</i> galvanométerrel .....	80
szögelfordulás munkában <i>GB-III.</i> galvanométerrel ...	8000
szögelfordulás munkában <i>GB-IV.</i> galvanométerrel ...	8000

Inga:

redukált ingahossz, $m$ .....	1
inerciamomentum, $kg \cdot m^2$ .....	$3 \cdot 2 \cdot 10^{-4}$
saját lengések periódusa .....	1,6–20
érzékenység $sec/cm$ -ben .....	$5 \cdot 10^{-5}$
méretek, $mm$ -ben .....	$290 \times 180 \times 150$
súly, $kg$ .....	10,2

*Nagy elmozdulások vizsgálatára szolgáló VIB szeizmométer*

Ehhez a szeizmométer-csoporthoz olyan szeizmométerek tartoznak, melyek 5–8 ballos rengések regisztrálására, valamint ipari és modellező robotantások után lejátszódó folyamatok rögzítésére szolgálnak.

2-től 10-szeres nagyításokra képesek 0,05–5 sec intervallumban, ezért használhatók épületek és gépek rezgésvizsgálatára is.

Ebbe az osztályba ingás műszerek tartoznak magnetoelétrikus átalakítóval és el vannak látva olyan egységekkel, melyekkel a lengő null helyzete állítható, megváltoztatható az inga redukált hossza és saját lengésének periódusa.

A műszerek felépítése egyszerű, megbízhatóan működnek, méreteik és súlyuk nem nagy.

A szeizmométerek 5 variánsban készülnek:

*VIB–A* egykomponensű műszer, a felszínen történő észlelésekhez szolgál, felhasználható megfelelő orientálás mellett bármelyik komponens regisztrálására,

*VIB–U* egykomponenses műszer, a *VIB–A*-hoz hasonló célokra használható, valamint fúrólyukakban is működhet 20 m-s mélységig;

*VIB–CG* és *VIB–CU* a talajmozgás vízszintes és függőleges komponensének regisztrálására szolgálnak. Működnek felszínen és fúrólyukban 100 m mélységig.

*VIB–TKC* háromkomponenses lyukműszer, mely 100 m mélységig működik.

Fontosabb technikai paraméterek

	<i>VIB–A</i>	<i>VIB–U</i>	<i>VIB–CB</i>	<i>VIB–CG</i>	<i>VIB–TKC</i>
Inga:					
redukált hossz,					
$cm$ .....	10–120	10–120	13–624	13–624	13–624
sajátlengések					
periódusa					
$sec$ -ben ....	0,6–1,1	0,6–1,1	0,65–5	0,65–5	0,65–5
Elektromech.					
kapcsolat					
koefficiense					
$mV/sec/cm$ .	8,0	8,0	1,2	1,2	1,2
méretek					
$mm$ -ben ...	$170 \times 180 \times$ 160	$145 \times 160 \times$ 225	$\varnothing 107 \times 265$	$\varnothing 107 \times 265$	$\varnothing 107 \times 840$
súly, $kg$ .....	4	5	8	8	25

Sajnos, a dolgozat keretei nem teszik lehetővé, hogy a Szovjetunióban kidolgozott és gyártott szeizmikus műszerek teljességét ismertessük, de a szakemberek kiegészítő ismertetésre számíthatnak a *VIO „Masinoeksport”* cég részéről.



# Egyesületi hírek

## Emlékezés Hans Ertel professzorra

1904 – 1971

Nagy veszteség érte nemcsak az NDK-t, hanem a magyar geofizikus, meteorológus és hidrológus társadalmat is Ertel professzor 1971. július 2-án bekövetkezett halálával, hiszen szoros barátságot tartott velünk, s ismételten ellátogatott hozzánk.

Ertel professzor igen magasra ívelő tudományos pályája munkáscsaládból indult el, s egyideig ő maga is munkásként dolgozott. Érettségi nélkül kapott engedélyt 1922-ben arra, hogy a berlini egyetemre beiratkozzék. Még egyetemi hallgató korában jelentek meg első tanulmányai, úgy hogy 1932-ben, doktorrá avatásakor már komoly tudósnak számított.

A doktori fokozatnak kitüntetéssel való megszerzése után először a berlini meteorológiai intézet meteorológiai-földmágnességi obszervatóriumában, majd a berlini egyetem meteorológiai intézetében dolgozott, hogy 1946-ban, mint rendes tanár, ennek az egyetemnek geofizikai tanszékét vegye át. Később a Német Tudományos Akadémia „*Institut für physikalische Hydrographie*”-jának lett az igazgatója, ahol 1969-ben történt nyugalomba vonulása után haláláig, mint tudományos tanácsadó működött.

Ki kell emelnünk, hogy a Német Tudományos Akadémiának nemcsak rendes tagja, hanem egy ideig alelnöke is volt. Tagja volt ezenkívül a természet-kutatók hallei akadémiajának, rendes tagja a svéd „Kungl. Vetenskaps Societeten Uppsala”-nak és levelező tagja volt az Osztrák Tudományos Akadémiának is.

Magyar vonatkozásban meg kell említenünk, hogy tiszteleti tagja volt a Magyar Hidrológiai Társaságnak és szerkesztőbizottsági tagja az „*Időjárás*” c. folyóiratnak. Széleskörű szerkesztői tevékenységéhez tartozott még a Gerlands *Beiträge zur Geophysik* kiadása és számos más tudományos folyóirat szerkesztésében való közreműködése is.

Ertel professzor munkabírásának és sokoldalúságának legjobb bizonyítéka az a több mint 200 tanulmány, amelyek a geofizika, meteorológia, geomorfológia, oceanográfia, hidrológia és geodézia sok problémáját nagy mélységgel és egészen kiváló matematikai felkészültséggel tárgyalják, maradandó emléket állítva neki a természettudomány anyai ágában.

A Magyar Geofizikusok Egyesülete is tisztelettel és hódolattal adózik a halott nagy tudósnak és emlékéet kegyelettel megőrzi.

*Tárczy-Hornoch Antal*

## СОДЕРЖАНИЕ

Л. Хедьмеги — П. Семереди — Дь. Тарчай: Об исследованиях, проводящихся в Тиханьской геофизической обсерватории для изучения свистящих атмосфериков	203
Л. Б. Сабо: Методические исследования по методу „радиокип“ на метасоматически измененных гранитах	208
И. Кешмарки: Разработка квадратичных детектирующих фильтров и возможности их применения	216
В. Х. Фертл — Г. В. Хаммак: Сводный анализ результатов исследований по изучению водонасыщенности продуктивных глинистых песков	221
Э. Такач: Определение глубины залегания опорного электрического горизонта высокого удельного сопротивления методом частотного зондирования	232
Сейсмометры советского производства	236
Обзор журналов	215
Новости в обществе венгерских геофизиков	201, 241

## INHALTSVERZEICHNIS

L. Hegymegi — P. Szemeredy — Gy. Tarcsai: Whistler-Untersuchungen im Geophysikalischen Observatorium Tihany	203
L. B. Szabó: Radiokip-Methodologische Versuche an metasomatisch veränderten Graniten	208
L. Késmárki: Entwurf eines quadratischen Detektionsfilters und seine Anwendungsmöglichkeiten	216
W. H. Fertl — G. W. Hammack: Vergleich der Wassersättigungs-Berechnungen in tonigen Sandsteinen	221
E. Takács: Bestimmung der Tiefe eines Leithorizonts von hohem spezifischen Widerstand mittels Frequenzsondierung	232
Seismometer sovjetischer Herstellung	236
Rezension und Presseschau	215
Nachrichten der Gesellschaft	201, 241