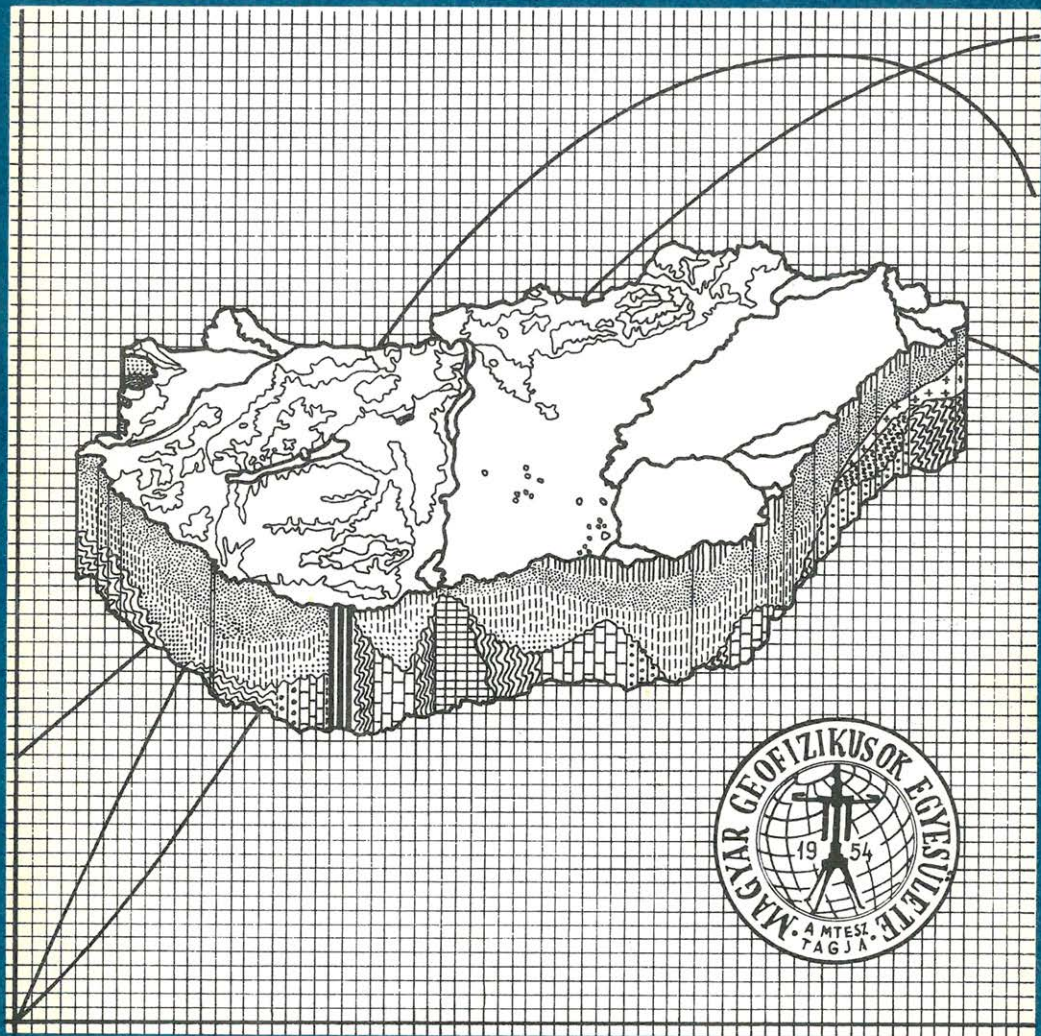


# MAGYAR 2 GEOFIZIKA

*Sci. Libris*



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA  
BUDAPEST, 1981. XXII. ÉVFOLYAM, 2. SZÁM

TARTALOMJEGYZÉK

<i>Ádám A., Kardeván P., Kormos I., Nagy Z., Pongrácz J., Régeni P., Szabadváry L., Szarka L., Zimányi I.</i> : Analóg modell a geoelektromos módszerek tanulmányozására az MTA GGKI-ben.....	41
<i>Czuczorné, Miletits J., Verő J.</i> : Az obszervatóriumi vizsgálatok eredményeinek alkalmazása a geoelektromos terepkutatásban.....	62
<i>Bencze P., Márcz F.</i> : Légköri elektromos és ionoszféra vizsgálatok, valamint gyakorlati alkalmazásuk lehetőségei.....	72
Egyesületi hírek .....	61, 78

---

*Főszerkesztő:* Dr. Sebestyén Károly, a MGE társelnöke

*Szerkesztő bizottság:* Dr. Bencze Pál, Dr. Bodoky Tamás, Czeglédi István, Deres János, Gellért Tamás, Gerzson István, Dr. Horváth Ferenc, Hursán László, Lakatos Sándor, Marton Tibor, Dr. Posgay Károly, Rádlér Béla, Tóth Géza, Dr. Tóth Péter

*Szerkesztőség címe:* 1368 Budapest VI., Anker köz 1. főemelet 17. Postafiók 240.

## Analóg modell a geoelektromos módszerek tanulmányozására az MTA GGKI-ben

ÁDÁM A\*, KARDEVÁN P.\*\*, KORMOS I.\*\*\*\*, NAGY Z.\*\*\*, PONGRÁCZ J.\*, RÉGENI P.\*\*\*, SZABADVÁRY L.\*\*, SZARKA L., ZIMÁNYI I.\*\*

*Mivel a geoelektromos és elektromágneses kutatómódszerek a magyarországi geofizikai kutatásban kiterjedt alkalmazást nyernek, szükségessé vált a bonyolult, háromdimenziós geológiai szerkezetek értelmezésének megoldása is.*

*Az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézetében néhány más magyar intézménnyel való együttműködésben felépült elektromágneses modellező laboratórium ezt a célt szolgálja.*

*A modellezés követelményeinek kielégítésére egy különlegesen széles frekvenciatartományban működő modellező berendezést kellett tervezni. A berendezés jelenlegi formájában elektromos dipólrendszerű mesterséges frekvenciaszondázások, valamint néhány egyenáramú kutatómódszer modellezésére alkalmas műszereket foglal magában.*

*A mért adatok nagy száma és a paraméter-számítások igénye számítógépes adatfeldolgozást tett szükségessé.*

*A modellező berendezést már eddig is felhasználtuk a dunántúli elektromos vezetőképesség-anómália területén a törési zónákhoz kapcsolódóan előforduló jól vezető dike-ok kutatására. Alkalmaztuk a berendezést az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet bauxitkutatási munkájában, valamint a Geofizikai Kutató Vállalat részére inhomogén medencealjzat-szerkezetek fölötti frekvenciaszondázások modellezésében is.*

*Поскольку в Венгрии геоэлектрические и электромагнитные метод имеют важно е геофизической разведке, стало необходимым решать интерпретацию сложнейших трех-размерных геологических структур.*

*Для этой цели служит электромагнитная моделирующая лаборатория, которая была создана в Шопроне в Геодезическом и Геофизическом Исследовательском Институте совместной работой нескольких венгерских учреждений.*

*Чтобы удовлетворить требованиям моделирования, было необходимо планировать установку, работающую в экстремально широкой области частот.*

*Эта установка в нынешнем этапе развития состоит из группы инструментов, которые пригодны для моделирования искусственных частотных зондирований электрическими диполями и для моделирования нескольких электроразведочных методов постоянными токами.*

*Большое количество измеряемых данных и потребность в вычислении разных параметров сделали необходимым применение ЭВМ.*

*До сих пор эта моделирующая установка была применена в исследовании дайков с хорошей электрической проводимостью находящихся в разломных зонах на территории аномалий с электрическими проводимостями Задунайского Края. Установка также применялась в боксит-разведочной работе Геофизического Института им. Этвеша и с ней моделировали для Геофизического Разведочного Предприятия частотные зондирования над основаниями геологических бассейнов.*

*As geoelectric and electromagnetic methods play a significant role in geophysical prospecting in Hungary, it became necessary to solve the interpretation of complicated geological structures.*

*The electromagnetic modeling laboratory built up in the Geodetic and Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences in cooperation with several Hungarian institutions serves this purpose.*

*To meet the modeling requirements an extremely wide frequency band modeling apparatus was to be planned. This involves in its present form instrument packages for modeling artificial frequency soundings using electric dipoles and for modeling some DC methods as well.*

\* MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézete, Sopron

\*\* Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest

\*\*\* Geofizikai Kutató Vállalat, Budapest

\*\*\*\* Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet, Budapest

*The large quantity of the measured data and the requirements for parameter calculations made it necessary to use computerized data processing.*

*This modeling apparatus has been used for investigations of high conductivity dykes related to faulting zones in the Transdanubian conductivity anomaly. We have used this apparatus in the bauxite exploration work of the Roland Eötvös Geophysical Institute and for modeling frequency soundings above inhomogeneous basement structures for the Geophysical Exploration Company.*

## *A hazai modellépítésről*

Mintegy másfél évvel ezelőtt a Geofizikai Kutató Vállalat, valamint az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet és az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézete kutatási-együttműködési szerződést kötöttek, amely geoelektromos – főként elektromágneses – laboratóriumi modellkísérletek megindítását és koordinált végzését tűzte ki célul.

A geoelektromos módszerek területéhez kapcsolódó laboratóriumi modellkísérleteknek hazánkban több évtizedre visszatekintő múltja van. Már az ötvenes évek végén és a hatvanas évek elején történtek modellszámítások az MTA Geofizikai Kutató Laboratóriumában, az NME Geofizikai Tanszékén és az ELGI-ben is.

A hatvanas évek második felében a Geofizikai Kutató Vállalat jogelődje saját erejéből tett nagyobb erőfeszítéseket a tellurikus mérések és különösen az egyenáramú mélyszondázások modellezésére.

Ezek a vállalati keretek között megvalósított modellkísérletek használható eredményeket adtak mind a kutatási metodika, mind a mérési eredmények értelmezése problémakörének a gyakorlat oldaláról történt vizsgálataihoz. Az eredmények egy része publikációkban is megjelent.

A 70-es évek első felében a geoelektromos kutatásokban a korszerűbb, az egyenáramú módszerekhez viszonyítva nagyobb felbontóképességgel jellemezhető elektromágneses módszerek térhódítása volt megfigyelhető, így pl. a szénhidrogénkutatásban a magnetotellurikus szondázásokat, valamint az egyenáramú mélyszondázásokat felváltó frekvenciaszondázásokat kezdtük alkalmazni.

Ezek a módszerek, hasonlóan a korábbi geoelektromos módszerekhez, leegyszerűsített, rendszerint egy, legfeljebb kétdimenziós földtani-geofizikai modellekre levezetett matematikai-fizikai összefüggésekre épülnek. Az ilyen egyszerű modellek ritka határesetek, amelyek a természetnek csak különböző mértékű közelítésekkel felelnek meg, ami szükségszerűen létrehozza az igényt arra, hogy megvizsgáljuk e módszereknek a bonyolult földtani szerkezetekre vonatkozó kérdéseit.

Természetes, hogy a „modellezés” többféle utat követhet. A számítástechnika rohamos fejlődése az utóbbi évtizedben a geoelektromos kutatómódszerek területén is létrehozta a numerikus módszereken alapuló számítógépes modellezést. Ez szükségszerűen felvetette azt a kérdést, hogy a számítógépes numerikus modellezés helyettesítheti-e a kicsinyített fizikai modelleken végzett méréseket, vagyis az *analóg modellezést*.

Az elmúlt években a külföldi szakirodalom megfigyeléséből lényegében ugyanaz a következtetés volt levonható, mint amire itthon is jutottunk: a kétféle út nem egymást helyettesíti, hanem a kettő egymás kiegészítésére szolgál.

Az analóg modellek jelenleg az elektromágneses kutatómódszerek esetében alapvető fontosságúak a háromdimenziós problémák vizsgálatában.

Ezt a felfogást jól tükrözték egyébként az 1976-ban Sopronban megrendezett IAGA Workshop előadásai is, amelyeket az elektromágneses indukciós szakterület élvonalbeli szakemberei tartottak.

Ugyanebben az időben felismertük azt, hogy az elektromágneses módszerek modellezése bármennyire szükségesnek látszik is, meghaladja az OKGT GKÜ saját, belső lehetőségeit, még olyan feltétellel is, hogy az OKGT hajlandó volt a mérésekhez szükséges egyedi eszközök kifejlesztését anyagilag jelentős mértékben támogatni.

Az OKGT GKÜ vezetősége mind a hatékonyság, mind a tudománypolitikai irányelvek szempontjából meggondoltan vetette fel más, a témát érintő szakterületen közösen érdekelt intézmények együttműködésének szükségességét a modellkísérletekben. Ez a gondolat egyetértésre talált egyrészt az MTA GGKI vezetőségénél, akik helyet és szellemi kapacitást is biztosítottak a kísérletekhez, másrészt az ELGI vezetőinél, akik jelentősen segítették a komplex mérőberendezés kialakítását és felszerelését.

A negyedik együttműködő partner a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet volt, vállalva az egyedi célú berendezések fejlesztésével járó nehézségeket.

Intézményeink együttműködése révén jelenleg három területen indult meg a modellezés alkalmazása a módszerek vizsgálatában:

1. A földkéreg és a felső köpeny felépítésének, tehát a nagymélységű szerkezeteknek vizsgálata elektromágneses indukciós szondázások révén. (Magnetotellurikus és geomágneses szondázások.) Az ezekkel nyert általános geofizikai adatok a földtani kutatási koncepciók, a kutatási stratégia kidolgozásához szükségesek és alapvető ismeretelméleti szerepük van.
2. A Pannon medence nagy ellenállású aljzata domborzatának, illetve az üledékes rétegsor sajátosságainak meghatározása a szénhidrogén-kutatási feladatokhoz kapcsolódva, elektromos és elektromágneses frekvencia-szondázásokkal.
3. A Magyar Középhegységben, illetve annak előterében levő pár száz m-nél mélyebb medencék vizsgálata kisfrekvenciás és egyenáramú módzerekkel bauxit és szénkutatás céljából.

A felvázolt feladatkör olyan, rendkívül széles frekvenciatartományban működő modellező berendezés tervezését tette szükségessé, ahol – figyelembe véve a modellkísérletek konkrét dimenziótartományát – a 10 kHz – 10 MHz frekvenciatartományban történő hullámgerjesztésre és elméletileg egyenáramú mérésekre is lehetőség van.

A modellezés céljára szolgáló közeget (sóoldat és modelltestek) valamennyi esetben ugyanaz a nagyméretű műanyagkádb tartalmazza. A gerjesztés és a térérzékelés eszközei a célnak megfelelően változhatnak, elhelyezésükre és egyben térbeli helyzetük (koordinátáik) meghatározására azonban ugyanaz a mechanika szolgál.

A tanulmány a berendezés bemutatása mellett a vázolt kutatási területeken elért néhány jellegzetes eredményt is ismertet.

## A modellezés törvénye

A modellezés törvényeit a Maxwell egyenletekből vezették le. A teljesség kedvéért ezeket az alábbiakban Dosso (1967) munkájából idézzük átírva:

$$\operatorname{rot} \bar{E} + \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} = \bar{0} \quad (1)$$

$$\operatorname{rot} \bar{H} - \bar{j} - \frac{\partial (\varepsilon \varepsilon_0 \vec{E})}{\partial t} = \bar{0} \quad (2)$$

ahol

$$\bar{B} = \overline{\mu \cdot \mu_0} \bar{H} \quad \text{és} \quad \bar{j} = \sigma \bar{E}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{10^{-9}}{9} \frac{F}{m}$$

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \frac{H}{m}$$

A fenti egyenletekben végezzük el az alábbi helyettesítéseket:

$$\bar{E} = e_0 \bar{E}'; \quad \bar{H} = h_0 \bar{H}'; \quad \sigma = \sigma_0 S; \quad D = d_0 D' \quad \text{és} \quad t = t_0 T$$

ahol  $\bar{E}'$ ,  $\bar{H}'$ ,  $D'$  és  $T$ , valamint  $\mu$  és  $\varepsilon$  dimenziómentes mennyiség és  $e_0$ ,  $h_0$ ,  $\sigma_0$ ,  $d_0$  és  $t_0$ , valamint  $\mu_0$  és  $\varepsilon_0$  az elektromos, a mágneses térerősség, az elektromos vezetőképeség, a hosszúság és az idő egysége, illetve a vákuum mágneses permeabilitása és dielektromos állandója.

Az 1. és 2. Maxwell egyenlet tehát:

$$\operatorname{rot} \bar{E}' + \alpha \frac{\partial \bar{H}'}{\partial T} = \bar{0} \quad (3)$$

$$\operatorname{rot} \bar{H}' - \beta \frac{\partial \bar{E}'}{\partial T} - \gamma \bar{E}' = \bar{0} \quad (4)$$

ahol

$$\alpha = \frac{d_0 \mu \mu_0}{t_0} \left( \frac{h_0}{e_0} \right) \quad (5)$$

$$\beta = \frac{d_0 \varepsilon \varepsilon_0}{t_0} \left( \frac{e_0}{h_0} \right) \quad (6)$$

$$\gamma = d_0 \sigma_0 S \left( \frac{e_0}{h_0} \right). \quad (7)$$

A (3) és (4) egyenlet akkor lesz invariáns a mértékegység megváltozásakor, ha az  $\alpha$ ,  $\beta$  és  $\gamma$  dimenzió nélküli mennyiségek invariánsok.

Feltételezve, hogy az  $\varepsilon \varepsilon_0$  és  $\mu \mu_0$  a vákuum értékei, tehát  $\varepsilon = \mu = 1$ ,  $e_0/h_0$  az egyenletekből kiküszöbölhető és így a mértékegység-változásakor az invariancia feltételeként kapjuk:

$$\sigma_0 f_0 d_0^2 = \text{const}, \quad (8)$$

amelyet a természeti („ $t$ ” index) és a modellbeli („ $m$ ” index) viszonyoknak egyidejűleg ki kell elégíteni, tehát

$$\sigma_m f_m d_m^2 = \sigma_t f_t d_t^2 . \quad (9)$$

### A konduktív frekvenciaszondázó modell mérés technikája

A modellkísérleteket megfelelően beállított fajlagos ellenállású NaCl-oldatban\* végezzük. Az elektrolitot  $4 \times 3 \times 0,5$  m<sup>3</sup> méretű poliészter kád tartalmazza. A medencealjzat különféle szerkezeteit a kádba helyezett nagyellenállású modellestek képviselik. A konduktív mérésekhez, elsősorban a dipól-dipól rendszerű elektromos frekvenciaszondázáshoz szelektív mérőrendszert fejlesztettünk ki.

A mérőrendszerrel szemben támasztott legfontosabb követelmények a következők voltak:

1. Földszimmetrikus konstans gerjesztőáram előállítás 10 kHz és 10 MHz közt beállítható frekvenciával.
2. Az elektrolit felszínén keltett elektromos erőtér mérése szelektív mikro-voltmérővel.
3. Egyszerű kezelhetőség.
4. Nyújtson lehetőséget a mérések automatizálására.
5. Biztosítson lehetőséget a mért jel relatív fázishelyzetének meghatározására.

A fenti követelményeket egy szintérgenerátorral és egy vele szinkronhangolt mérővevővel elégítettük ki. A szintérgenerátor 100 Hz-es lépésekben konstans amplitúdójú kimenőfeszültséget állít elő. Ez a feszültség áramgenerátoros végfokozatot vezérel, amely közvetlenül a gerjesztő elektródapárral lett egybeépítve. Az áramgenerátoros kimenet és a gerjesztő elektródák közelsége azért lényeges, mert 10 MHz-en már néhányszor 10 pF söntkapacitás is lerontaná az áramgenerátor kimenőimpedanciáját.

A szelektív mikrovoltmérő egy háromszor transzponált mérővevő. A generátorral való automatikus szinkronhangolást az biztosítja, hogy a vevő első oszcillátora azonos a generátor kimenőjelét előállító egyik jellel. A generátor  $t_i$  kimenőjelét keveréssel állítja elő: egy fix frekvenciájú oszcillátor (megegyezik a vevő 1. KF frekvenciájával) és egy szintetizált, digitálisan programozható oszcillátor jelének különbségét képezi. Ily módon a generátor kimenőjele, illetve a vevő vételi frekvenciája

$$f_{ki} = f_{be} = f_{prg} - f_{KF} .$$

Ez a megoldás biztosítja a 3. és 4. követelmények teljesítését.

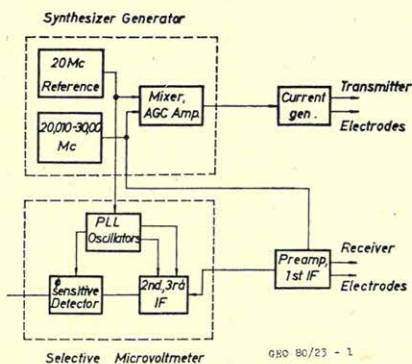
Az 5. követelmény teljesítéséhez az is szükséges, hogy a generátor és a vevő valamennyi oszcillátor jelének frekvenciája egyetlen referencia oszcillátorhoz legyen szinkronizálva, azaz koherens legyen. Ezt fáziszárt hurkok alkalmazásával sikerült elérni. A detektálás természetesen szorzótípusú; fázisérzékenydetektorral történik.

\* Az oldat fajlagos ellenállását  $\pm 2\%$ -os hibával tudjuk beállítani az OK 102/1 típusú konduktométerrel, pontosan ismert normál KCl-oldat segítségével.

A generátorhoz hasonlóan a vevőnek is az elektródákhoz csatlakozó egységét közvetlenül a mérőelektródákhoz kellett telepíteni. Erre egyrészt a kis jelszintek ( $\mu V$ -os tartomány), másrészt a szükséges nagy bemenőimpedancia miatt volt szükség. (A mérőelektródákat terhelő áram meghamisítaná az erővonalképet.)

A kihelyezett egységben kapott helyet az előerősítő, az 1. keverő és az 1. KF erősítő.

A generátor és a vevő egyszerűsített tömbvázlata az 1. ábrán látható.

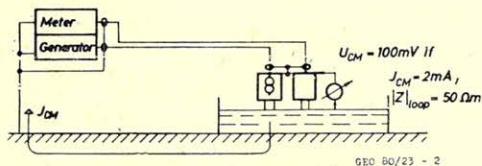


1. ábra. A generátor és a vevő egyszerűsített tömbvázlata  
Рис. 1. Схематическая блок-диаграмма генератора и приемника

Fig. 1. Simplified block diagram of the generator and the receiver.

A vázolt mérőberendezés gondos kivitelezése dacára az első mérési kísérletek sikertelennek bizonyultak a rendszer telepítési geometriai sajátosságai miatt.

Nagyobb frekvenciákon (főleg 1 MHz fölött) a hasznos jelet nagyságrendekkel is meghaladó zavarjel jelentkezett. Ezt a zavarjelet az a közös módusú aszimmetrikus áramkomponens hozta létre, amely nem a két gerjesztőelektróda között, hanem a gerjesztőelektródák és a föld (elektrolit) között aszimmetrikusan folyt. Az áramgenerátor szimmetriája kisfrekvencián teljesen optimálisra állítható. Nagyobb frekvenciák felé az áramkörben jelen levő képzetes impedanciák (parazita kapacitások) miatt ez a kiegyenlítés elromlik, a kimeneten azonos fázisú jel is megjelenik. Az ebből származó közös módusú zavaráram csak a generátor-vevő komplexum földjén át, a hálózati védőföld felé tud záródni. A földhurok, melyben a zavaráram folyik, a 2. ábrán látható.



2. ábra. A földhurok, amelyben a zavaráram folyik

Рис. 2. Петля заземления, где протекает ток помех

Fig. 2. Ground-loop where the disturbance current flows.

Az azonos fázisú komponens a rajzon szemléltetett hurkon végigfolyva, a hurok impedanciájának megfelelő feszültségesést létesít az elektrolit és az áramgenerátor földje között. Ha ez a föld a vevő kihelyezett előerősítőjének földjével közös (márpedig a generátor és vevő földjei galvanikusan össze vannak kötve, a koaxiális kábelek pedig 10 m hosszan futnak szorosan egymás mellett), akkor az



előbb említett feszültségesés az előerősítő differenciális bemeneteire is rákerül, mint közös módusú zavar. Az előerősítő közös zavarelnyomása (CMR) 40–46 dB (10 MHz-ig). Mivel ez az érték a műszer frekvenciatartományának 10 MHz-es sáv szélessége mellett nem javítható jelentősen, ezért a közös módusú komponensnek az előerősítő bemenetére jutását kell megakadályozni. E célból:

1. Az előerősítő földjét le kellett választani a rendszer, illetve az áramgenerátor földjéről és lehetőség szerint az elektrolithoz kellett földelni.
2. Az áramgenerátor földjét a lehető legkisebb impedancián keresztül kell az elektrolithoz kötni, hogy a nagy földhurok lesöntöljük. Mivel az áramgenerátor és az előerősítő földje között mindenképp marad némi kapacitás, ezért előnyös, ha az áramgenerátor földjén keletkező közös módusú zavart a lehető legjobban lecsökkentjük.

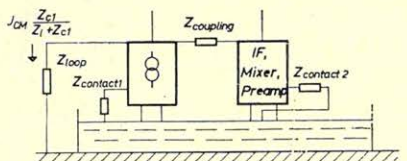
A gyakorlati kivitelezés a következőképp történt:

Az előerősítő tápellátását földfüggetlen telepekről biztosítottuk, hogy az előerősítő földje az elektrolithoz köthető legyen. Ehhez persze a két csatlakozó jelvezeték is kapacitásszegény elválasztással kellett ellátni. A megoldást kisméretű nagyfrekvenciás toroidtranszformátorok jelentették. A transzformátorok primer és szekunderköre közti kapacitást 1,5 pF-ra sikerült lezorítani. Problémát jelentett azonban a transzformátorok szórt inductivitása. Ezt a 20 MHz-es KF jel esetén egyszerű rezonáns kihangolással ki lehet küszöbölni, az oszcillátor jel esetén azonban ez a módszer nem volt alkalmazható a 20–30 MHz közt változó gélfrekvencia miatt. Mivel a szórt inductivitás 6–10 dB ingadozást okozott az oszcillátorjel szintjében, ezt egy határoló erősítő beiktatásával kellett korrigálni.

Az elektrolithoz földelést a két mérőelektróda középvonalában a semleges középpontban elhelyezett elektróda biztosítja. Az áramgenerátor földeléséhez aránylag nagy felületű elektróda szükséges, amely nem helyezhető el a két adó elektróda között már csak azért sem, mert a létrehozott erővonalképet eltorzítaná. Ezért a földelő elektródát a két adóelektróda szimmetriatengelyében, a vevővel ellentétes oldalon helyeztük el. A földelő elektróda távolságát akkorára választottuk, hogy a rajta folyó áram ne zavarhassa számottevően a mérést (a kimutatható falhatás távolságánál nagyobbra).

A kapacitásszegény leválasztás eredményeként az előerősítő földjére már csak erős leosztással kerül a közös módusú zavar. A csillapítást a csatoló impedancia (szórt kapacitás) és a földelő elektróda kontaktellenállásának aránya szabja meg. A zavarcsökkentés másik tényezője a földhurok impedanciájának (ami többszáz ohm is lehet, hiszen 6 MHz körül rezonanciája van) és az áramgenerátor „földelő” kontaktellenállásának aránya. Az eredő zavarelnyomás a két tényező szorzata (3. ábra).

A fent leírt berendezés a 4. ábrán látható.



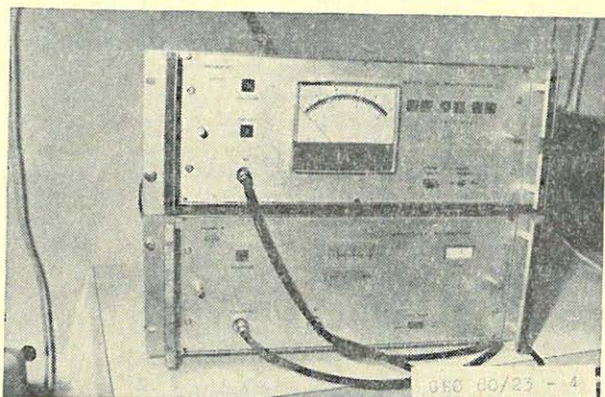
$$\text{Noise reduction factor} : K_1 \cdot K_2 = \frac{Z_{loop} + Z_{C1}}{Z_{C1}} \cdot \frac{Z_{coupling} + Z_{C2}}{Z_{C2}}$$

050 80/23 - 3

3. ábra. Az eredő zavarelnyomás számításához

Рис. 3. К вычислению результирующего подавления помехи

Fig. 3. To the computation of the resulting disturbance rejection.



4. ábra. Szelektív mikrovoltmérő és szintézer generátor

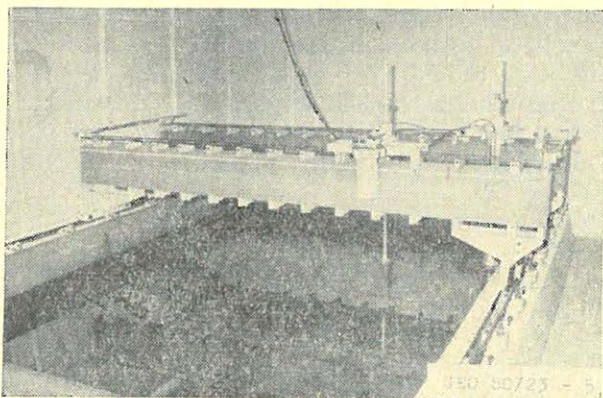
Рис. 4. Селективный микровольтметр и генератор с экстремально широким диапазоном частот

Fig. 4. The selective microvoltmeter and the synthesiser generator.

### *Elektródmozgató mechanika*

A modellezés során az adó- és mérőrendszer megfelelő pontosságú mozgása két, a kád hosszirányba mentén guruló híd szerkezettel és az azokon keresztirányban mozgó 1–1 kocsival van megoldva. Az elektród tartó rudakat ezek a kocsik tartják.

A modellező berendezés mechanikája (5. ábra) túlnyomórészt műanyagokból (ongroplast, bonamid, textilkakelit, polimetilakrilát, poliészter műgyanta) készült, mivel ezekkel lehetett csak biztosítani a nagy feszítávolság ellenére a könnyű mozgathatóságot, a korrózióállóságot, valamint a MT-mérések későbbiekben tervezett lehetőségét.



5. ábra. Elektródmozgató mechanika a mérőkád felett Faraday kalitkában

Рис. 5. Устройство для движения электродов над баком находящиеся в клетке Фарадея

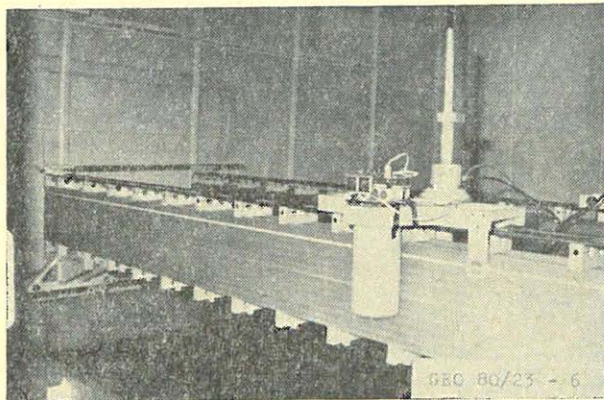
Fig. 5. Apparatus for moving the electrodes above the tank in a Faraday-cage.

A helyzetmeghatározás és az adott pontra történő visszaállítás a két koordináta mentén elhelyezett mérőszalagok segítségével  $\pm 0,5$  mm pontossággal végezhető el. (A kádnak olyan pontja fölé, amelynek összrendezői a mérőszalagokon nem ismertek,  $\pm 1$  mm hibával tudunk felállni.)

Az elektród tartó kocson elhelyezett függőleges irányú beállító szerkezettel (6. ábra) az adó- és a vevődipól z-koordinátáját folytonosan változtathatjuk. A z-beállítás hibája  $\pm 0,05$  mm.

Az elektród tartó rudak  $90^\circ$ -onként elforgathatók.

Az elektródák anyaga platina. Hosszméretük 2 mm, átmérőjük tápelektrodáknál 2, mérőelektrodáknál 1 mm.



6. ábra. Elektród tartó rudak a hídszerkezeten

Рис. 6. Консольный стержень электродов на мостовой конструкции

Fig. 6. Rod for holding the electrodes on the bridge frame.

### A konduktív váltóáramú modellezés gyakorlata

Az előzőekben leírt berendezés kezelése rendkívül egyszerű és így a modellezés nagyon termelékeny.

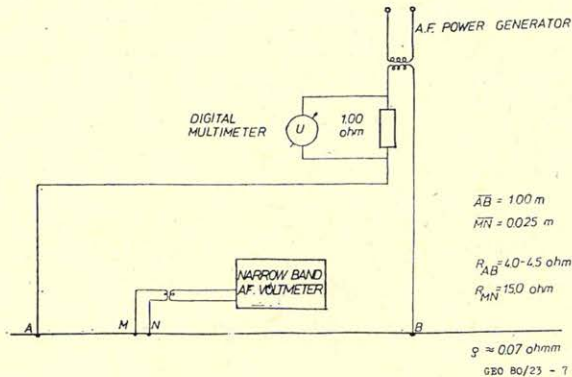
A mérési konfiguráció — modellszerkezetek, elektródarendszer — kialakítása után egy pontban való *frekvenciaszondázás*nál a frekvenciát digitálisan változtatjuk 10 kHz és 10 MHz között min. 100 Hz-es lépésekben és a mikrovoltmérő állását leolvassuk. A méréshatárt vagy rögzítjük, vagy nagyobb méréstartományok áthidalása végett egy automatika állítja be a megfelelő tartományt  $1 \mu\text{V}$  és 300 mV között 8 fokozatban. Az áramgenerátor 50 mA-t táplál a frekvenciától függetlenül az A, B elektródán keresztül az elektrolitba, tehát ezt szabályozni nem kell.

A másik gyakran használt mérési eljárásnál, a *szelvényezés*nél a frekvenciát a kívánt értékre állítjuk. Az adó és a vevő közötti távolságot rögzítve, a két rendszert együtt mozgatjuk a modellszerkezet felett. A szelvényt  $x-y$  rekorder rajzolja le. A mérőrendszer helyzetét ( $y$ ) a kád hossza mentén, illetve a keresztirányú tartóhidakon kifeszített ellenálláshuzalról levett feszültségértékek határozzák meg.

## Az egyenáramú mérés eszközei

A konduktív frekvenciaszondázó modellező berendezés frekvenciatartományának alsó határa 10 kHz. Ez a frekvencia a rendszer többi geoelektromos paraméterét (fajlagos ellenállás, lineáris méretek) is figyelembe véve, az egyenáramú módszerek modellezése számára még éppen megfelelő, de az alacsonyabb frekvenciákon (hangfrekvenciákon) végzett mérések egyszerűbb technikai követelménye miatt célszerűnek láttuk, hogy az egyenáramú modellkísérletek céljára egy másik berendezést alkalmazzunk.

Generátorként 300 – 500 Hz közötti frekvenciára állított (*TR 0161 típusú*) max. 10 W kimenő-teljesítményű hanggenerátort használunk. Az A, B elektródákon keresztül az elektrolitba betáplált áram erősségét egy 1 abs. ohm ellenálláson eső feszültség szabályozásával (*TR 1660 digitális multiméterrel*) tartjuk a megadott értéken 0,3%-os hibán belül (7. ábra).



7. ábra. Az egyenáramú modellező berendezés blokkdiagramja

Рис. 7. Схематическая диаграмма установки для моделирования методами постоянных ТОКОВ

Fig. 7. Block diagram of the DC modeling unit.

Az MN-dipól potenciálkülönbségét a kimenő jel frekvenciájára hangolt voltmérővel (*Brüel and Kjaer Te 2107*) mérjük. A műszer érzékenysége a legkisebb méréshatárban  $\sim 300 \frac{\text{mm}}{\text{mV}}$ .

Az elektródarendszer a vizsgált módszer követelményeihez igazodik. Mozgatása ugyanazzal a berendezéssel történik, mint a konduktív frekvenciaszondázó modellezésnél.

Mérési programban potenciáltérképezés (PM), fúrás-felszín közti gradiens térképezési módszer (FFG), valamint a hagyományos geoelektromos szondázások szerepelnek.

Potenciáltérképezés esetén  $\rho_{\infty}$ -aljazatú kétréteges feltér felszínén a mért és számított térerősség-értékek legnagyobb relatív eltérése 3% volt (8. ábra).

## A modelladatok feldolgozása

Törvényszerűségek kimutatása céljából a modellméréseket a kutatórendszer egyes paramétereinek és az elektródaelrendezés valamilyen rendszer

szerinti változtatásával végezzük. Így egy-egy modellmérési feladat megoldásához átlagosan tízezres nagyságú  $\Delta U_{MN}$  feszültségmérés tartozik.

A geofizikai értelmezést általában leszámított mennyiségek ( $\sqrt{T}$ ,  $\rho_w$ ,  $S$  számított mélységek stb.) kiértékelésével végezzük.

A mért adatok nagy száma, a paraméterszámítások szükségessége és egy esetleges későbbi, más szempontú adatfeldolgozás igénye számítógép használatát teszi szükségessé.



8. ábra. A mért és a számított potenciálkülönbségek hányadosa potenciál-térképezésnél (PM) kétréteges féltér felszínén A és B tápelektroda mellett (Szarka, 1980)

Рис. 8. Отношения измеряемых и вычисленных разностей потенциалов на поверхности двухслойной среды в методе потенциального картирования А и В – питающие электроды (Szarka, 1890)

Fig. 8. Ratio of measured and computed potential differences in potential mapping (PM) on the surface of a two layer half-space. A and B are the feeding electrodes (Szarka, 1980)

A modellmérési adatok feldolgozása az MTA GGKI HP-2100A számítógépén történik. A mért adatokat lyukszalagon tároljuk.

A feldolgozó programok FORTRAN-nyelven készülnek. Az együttműködő intézmények kiértékelési algoritmusait programozzuk, vagy az MTA GGKI kész matematikai programjait alkalmazzuk speciális céljainkra.

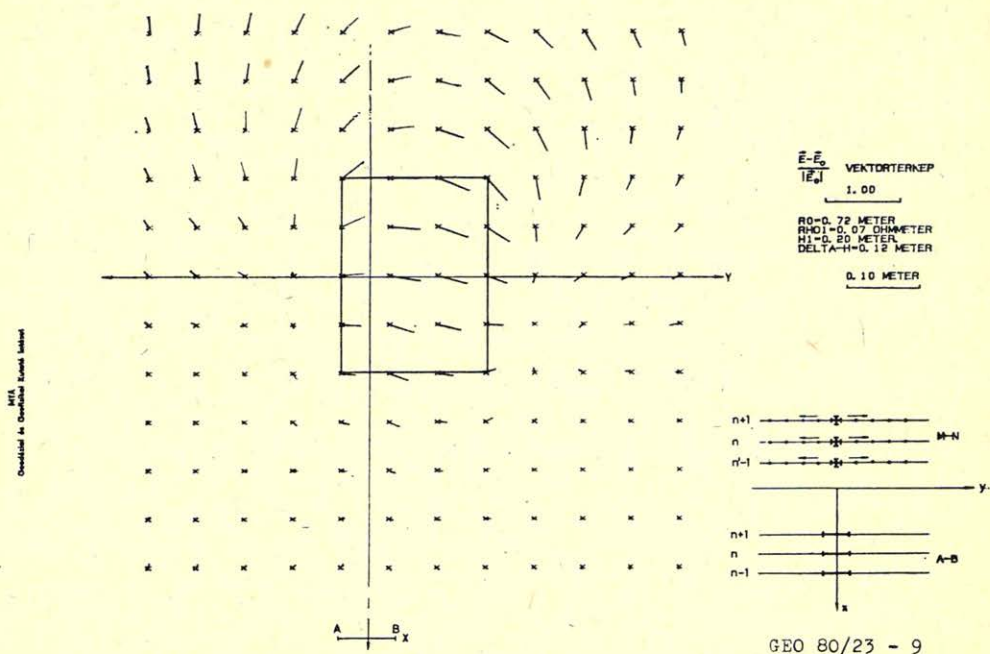
Az MTA GGKI számítógépe az összes szokásos perifériával rendelkezik. A rajzoló plotteren a számított mennyiségeket – mélységtérképeket, szondázási görbéket stb. – ki tudjuk rajzoltatni. Ezek a rajzok a kiértékelés gyors és szemléletes segédesszéi. Az alábbi két példával érzékeltetjük ezt:

A 9. ábrán az egyenáramú modellmérésekkel nyert elektromos térerősség vektorának anomáliatérképét láthatjuk egy háromdimenziós nagyellenállású kiemelkedés körül.

Az elektrodaelrendezést az ábrához tartozó magyarázó rajz szemlélteti.

A horizontálisan homogén kétréteges esetben ugyanezzel az elrendezéssel megmért térerősségeloszlás segítségével határoztuk meg az  $\frac{\overline{E} - \overline{E}_0}{|\overline{E}_0|}$  vektoranomália-térképet, ami a jelentkező anomália helyéről és jellegéről tájékoztat.

A 10. ábrán egy háromdimenziós lépcsősor felett, két különböző elektrodaelrendezéssel nyert szondázási görbéket láthatunk. A szondázási görbék pontjait 19 mérési frekvencián határoztuk meg. A mért  $\sqrt{T} - \rho_w$  értékpárokat speciális harmadfokú polinomokkal, az ún. Spline-függvényekkel kötöttük össze, ami a pontok közötti szakaszokon követelményeinket teljesen kielégítő pontosságú



9. ábra. Elektromos térerősség relatív vektorának vektoranomaliatérképe háromdimenziós nagyellenállású kiemelkedés körül (Elektrodaelrendezést lásd az ábra jobb oldalán alul)

Рис. 9. Карта аномалий векторов электрического поля вокруг одной трёхразмерной антиклинали с бесконечным сопротивлением (Установка находится на правой стороне рисунка)

Fig. 9. Anomaly map of the electric field intensity vector around a 3D high resistivity uplift (See the electrode configuration rightside bottom of the figure.)

interpolációt biztosít. A rajzot a 62,5 mm modulusú log-log papírral egyező méretben készítettük. Ezzel az eljárással mentesülünk attól, hogy minden egyes lemért szondázási görbét kézzel rajzoljunk meg. Olyan gépi programot is szerkesztettünk, ami a GKV által használt grafikus kiértékelési eljárást numerikusan valósítja meg.

A 10. ábrán az MN-dipól szelvénye a nagyellenállású kiemelkedés fölött halad át. A mérési pontok helyét az 1., 2., 3. szám adja meg.

### Földtani-geofizikai feladatok vizsgálata modellmérésekkel

#### a) A dunántúli vezetőképesség-anómália hatóinak modellezése

A Dunántúli Középhegységben, illetve annak előterében észlelt vezetőképesség-anómália (11. ábra) okát a földkéreg töréseit kitöltő jólvezető képződményeknek tulajdonítottuk néhány km vastag mezozoos és paleozoos takaró alatt. Feltételeztük, hogy a jólvezető anyag grafit, grafitos pala, (amelynek telerei „megvezették” a tektonikát, tehát a földkéreg ezek mentén töredezett össze a medence izosztatikus kiegyenlítődését kísérő süllyedésekor) vagy magas hőmérsékletű elektrolit (Ádám, 1977). A felszíni tektonikai vonalak (törési

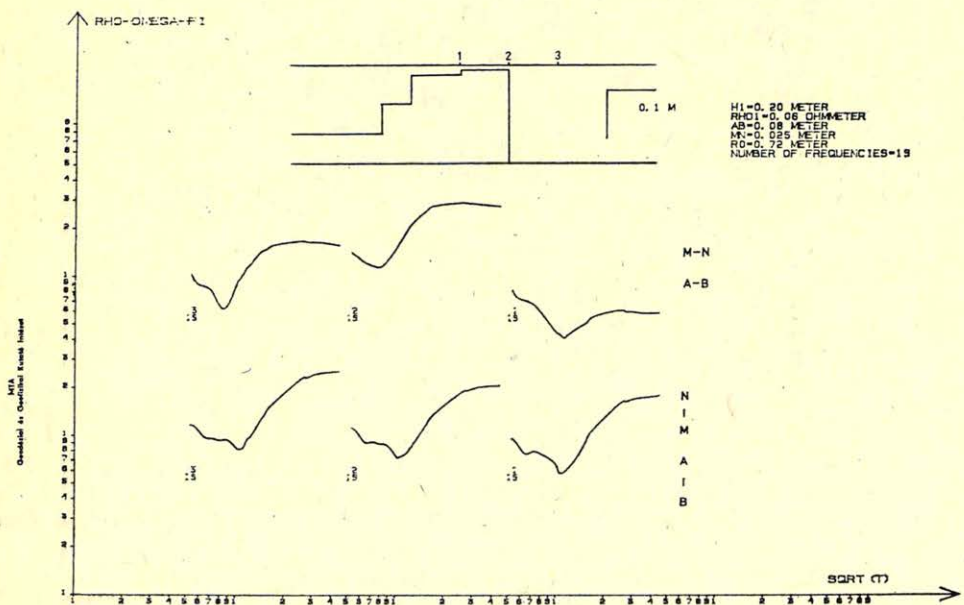
zónák) és az EM indukciós iránymennyiségek ( $Z_{xy \max}$  impedancia, a Wiese-vektor iránya) kapcsolatát statisztikus vizsgálatok igazolták (Ádám, 1980).

A modellvizsgálatokkal azokat a geoelektromos módszereket kerestük, amelyek a természetes EM indukciós szondázásokon kívül lehetőséget adnak a törési zónákhoz kapcsolódó, de nagyellenállású kőzettel lefedett jólvezető dike-ok tanulmányozására.

Az egyenáramú módszerek a nagyellenállású közeg árnyékoló hatása miatt eleve nem jöhettek számításba, ezért mesterséges frekvenciaszondázáshoz folyamodtunk és dipólekvatoriális elrendezésben elektromos gerjesztéssel és elektromos érzékeléssel mértünk.

A jólvezető dike-t a modellkád elektrolitjában szigetelő aljzatba ágyazott függőleges fémlap képviselte, amelyet ugyancsak szigetelő lappal fedtünk le. A méréseket különböző paraméterkombinációkban végeztük el az anomália jellegének és nagyságának megítélése végett. Jólvezető dike-kal és anélkül, szigetelővel fedve és fedetlen helyzetben szondáztunk és szelvényeztünk.

A 12. ábra két különböző oldatmélység ( $h_1$ ) mellett a fedetlen dike hatását mutatja a szondázási görbére. A szondázási görbe jellegzetes pontjai, pl. a minimumai a frekvenciategely mentén eltolódnak az oldatmélység függvényében. A szondázási görbe kis- és nagyfrekvenciás szakasza dike-kal, vagy anélkül egymáshoz viszonyítva ellentétesen mozog. Összehasonlításul a kisebb oldatmély-



GEO 80/23 -10

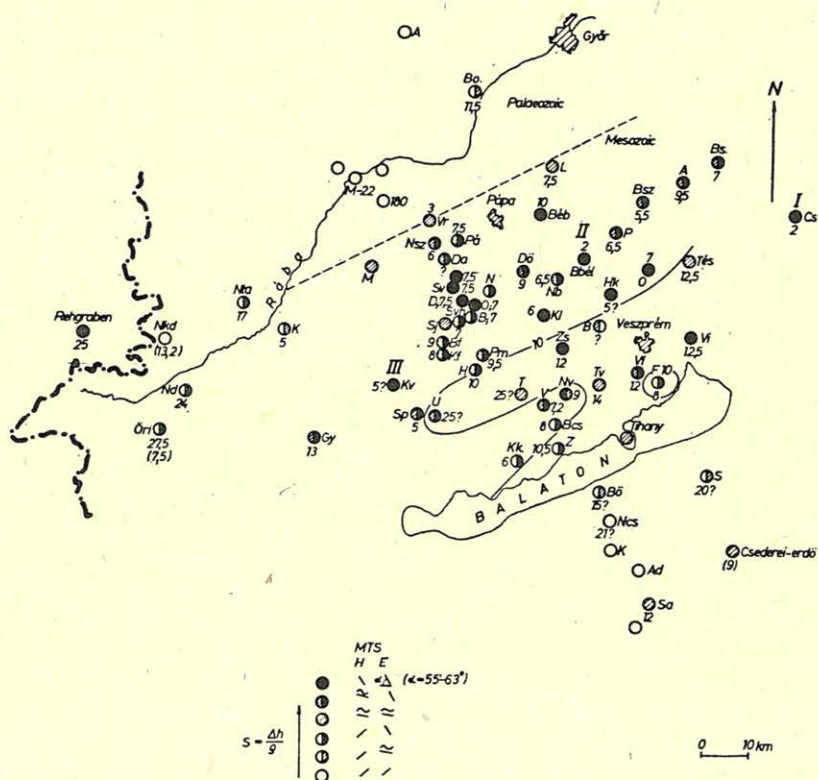
10. ábra. Háromdimenziós lépcsősor felett dipól ekvatoriális és azimutális (tengelyirányú) elrendezéssel mért frekvenciaszondázási görbék

Рис. 10. Кривые частотных зондирований измерённых экваториальными и азимутальными установками над одной трёхразмерной ступенчатой структурой

Fig. 10. Frequency sounding curves measured by dipole equatorial- and axial configuration above a 3D step-like structure

ségre a fedett dike hatását is bemutátjuk (13. ábra). Megállapítható, hogy az elektromos dipól-dipól rendszer szigetelővel leárnnyékolt dike-ok kimutatására nagyon érzéketlen.

A kis (0,1 MHz) és nagy (4 MHz) frekvencián végzett szelvényezés is (14. ábra) megerősíti a fenti megállapításokat. A jólvezető dike kis frekvencián csökkeneti, nagy frekvencián pedig növeli a térerősséget. Ezek az effektusok jelentősen lecsökkennek az árnyékoló réteg hatására, amint azt a szondázás esetében láttuk.



GEO 80/23 -11

11. ábra. A dunántúli vezetőképesség-anómália indikációi a  $\varrho_{\max}$  és  $\varrho_{\min}$  MTSZ görbék alapján. (Ezek közül a  $\varrho_{\min}$  felel meg az E polarizációnak.) A félkörök fedettsége a bal oldali jelkulcs szerinti összefüggésben van a MTSZ görbék csökkenő ágának – a jólvezető réteg  $S$  értékétől függő – kialakulásával (Ádám, 1977)

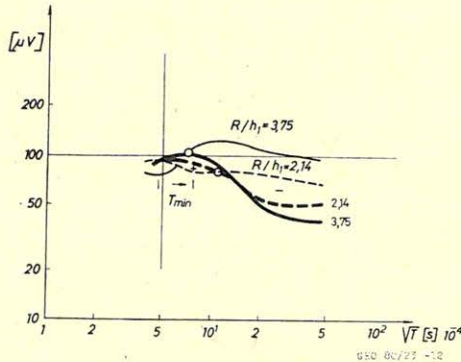
Рис. 11. Признаки Задунайской аномалии на основе магнетотеллурических  $\varrho_{\max}$  и  $\varrho_{\min}$  ( $\varrho_{\min}$  соответствует Е-поляризации). Полуокруги обозначают существование нисходящих частей магнетотеллурических кривых в зависимости от значений  $S$  слоя хорошей проводимостью (Ádám, 1977)

Fig. 11. Indications of the Transdanubian conductivity anomaly on the basis of  $\varrho_{\max}$  and  $\varrho_{\min}$  MTSZ curves ( $\varrho_{\min}$  corresponds to the E polarization). The half circles (according to the key on the left side) indicate the existence of a decreasing part on MTSZ curves depending on the  $S$ -value of the high conductivity layer (Ádám, 1977).



b) Potenciáltérképezés (PM) modellezése bauxitkutató céljából

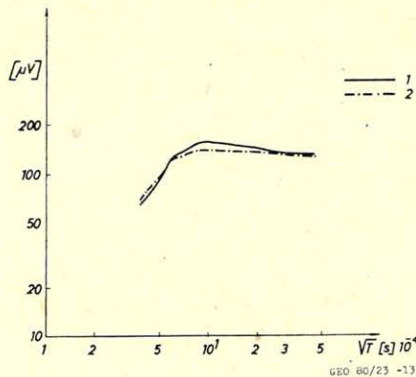
„A Bakony hegység Ny-i peremén a feltárt, vagy feltételezett bauxittestek kis méretűek, 50–100 m átmérőjű tektonikusan preformált dolomit árkokat, bemélyedéseket töltenek ki. Kimutathatók még kisebb, karsztkúthoz, vagy kanyonhoz hasonló szerkezetek is. A kis méretek ellenére gazdaságilag mégis jelentősek, mert a bauxit bennük igen vastag és jó minőségű, felszínről bányászható és karsztvízveszély nincs” (MÁELGI 1975. évi jelentéséből).



12. ábra. Dipól-dipól ekvatoriális frekvenciaszondázási görbék szigetelőbe ágyazott jólvezető dike felett különböző fedő elektrolit vastagság ( $h_1$ ) mellett ( $R$  = az adó- és a vevődipól távolsága const.)

Рис. 12. Диполь-экваториальные кривые частотного зондирования над дайком с хорошей проводимостью, находящийся в среде с бесконечным сопротивлением под раствором NaCl с разными толщинами ( $h_1$ ), ( $R$  = расстояние между диполями = констант)

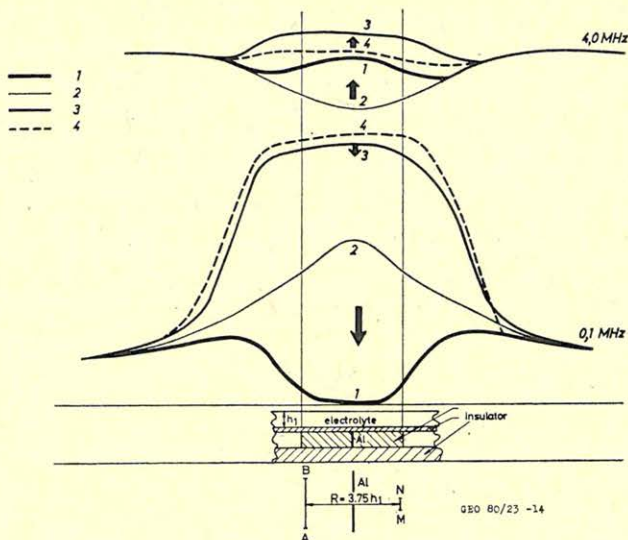
Fig. 12. Dipole-dipole equatorial frequency sounding curves above a highly conductivity dyke placed in insulator media with various electrolite overburden thicknesses ( $h_1$ ), ( $R$  = distance between the dipoles = const.)



13. ábra. Szigetelővel fedett dike (2) hatása a szondázási görbére összehasonlítva dike nélküli szerkezet hatásával (1)

Рис. 13. Сравнение эффекта дайка с хорошей проводимостью под изолирующем слое (2) и эффекта той же структуры без дайка

Fig. 13. Effect of the high conductivity dyke covered by an insulating layer (2) on sounding curves as compared to the effect of the same structure but without the dyke.



14. ábra. Szelvényezési dipól-dipól ekvatoriális elrendezéssel 0,1 és 4 MHz-en jólvezető fedetlen (1) és szigetelőlappal fedett (3) dike, valamint ugyanolyan dike nélküli szerkezetek (2, 4) esetében

Рис. 14. Профилирование при помощи диполь-экваториальной установки на частотах 0,1 и 4,0 МГц в случаях

- непокрытого высокопроводящего дайка (1),
- дайка, покрытого изолирующим слоем (2) и
- той же структуры, но без дайка

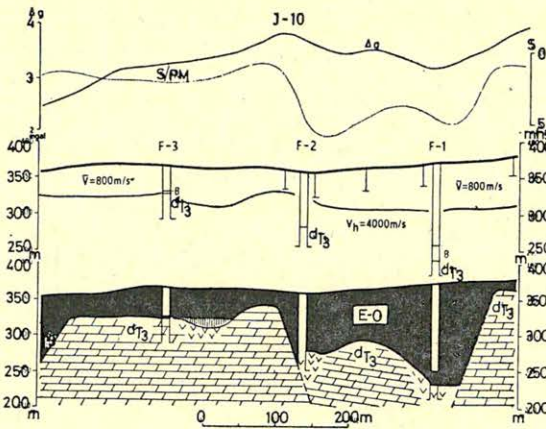
Fig. 14. Profiling with dipole-dipole equatorial configuration on frequencies 0.1 and 4 MHz in the case of highly conductive uncovered dyke (1), dyke covered by an insulator layer (2), and in the case of similar structures but without highly conductive dyke.

A geofizikai mérések feladata:

1. a triász időszaki dolomit- (és mészkő) kibúvások területének vizsgálata;
2. a 30–300 m fedővel borított területen az aljzat domborzatának meghatározása.

A cél mindkét esetben a bauxittároló szerkezetek közvetlen kimutatása. Ennek érdekében komplex geofizikai kutatást végeznek, amelynek egyik fontos módszerét képezi a potenciáltérképezés. Amint az pl. J – 10 szelvényen (15. ábra) látható, a potenciáltérképezés korrigált S szelvénye alapján az árkos szerkezet jól kijelölhető, a mélységadatok megbízhatóságát azonban csak az utólag lemélyített fúrások révén adhatjuk meg.

Modellmérésekkel meghatározható, hogy a PM anomáliakép miként tükrözi az altalaj horizontális inhomogenitásainak (vető, bemélyedés, sasbérc stb.) hatását, továbbá a nagyellenállású aljzattalborzat mélységének az S értékekből lineáris kapcsolat feltételezése alapján történő leképzése az inhomogenitás paramétereinek függvényében milyen mélységi torzításokat tartalmaz. Ennek érdekében a 16. ábra szerint egy kétdimenziós, sasbérctet reprezentáló modellsorozatban vizsgáltuk meg a torzítás jellegét (Szarka, 1980). Látható, hogy a mért adatokból levezetett mélység hibával terhelt, amelynek elhanyagolása a mélységmeghatározást meghamisítja. A modellvizsgálatokat jelenleg árkos szerkezeteken folytatjuk.

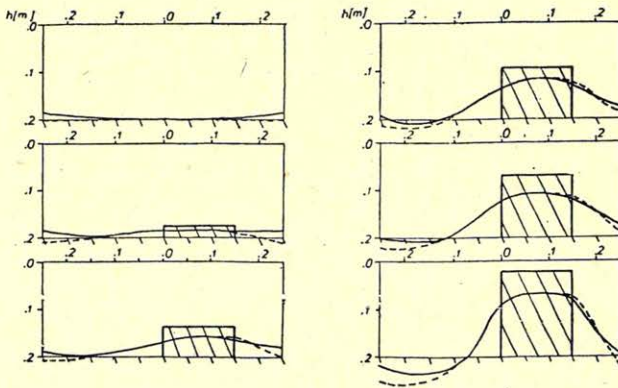


GEO 80/23 -15

15. ábra. Bauxittároló dolomittömbök felett végzett potenciáltérképezés (S/PM) és gravitációs szelvény ( $\Delta g$ ) a fúrások (F) alapján rekonstruált földtani szerkezettel (MÁELGI 1975. évi jelentéséből)

Рис. 15. Потенциальное картирование (S/PM) над доломиточными породами, содержащими бокситы и геологический профиль на основе гравиметрической съемки ( $\Delta g$ ) вместе с геологическим разрезом, полученным по скважинам (MÁELGI, 1975)

Fig. 15. Potential mapping (S/PM) above bauxite bearing dolomite blocks and the geological profile based on gravity profile ( $\Delta g$ ) with the geological structure reconstructed from borehole (F) informations (MÁELGI, 1975)



GEO 80/23 -16

16. ábra. Egyenáramú potenciáltérképezés (PM) alapján számított mélységértékek (h) kapcsolata a reális szerkezetekkel. A folyamos vonalak az S-intervallumban számított mélységeket, míg a szaggatott vonalak a korrigált mélységeket mutatják az S-intervallumon kívül a peremeken (Szarka, 1980)

Рис. 16. Отношение между глубинами из измеренных данных, погученных методом потенциального картирования и реальными структурами. Непрерывные линии показывают глубины в интервале S. Вне интервала S эту глубину показывает пунктирная линия (Szarka, 1980)

Fig. 16. Relation between computed depth values (h) from DC potential mapping (PM) and the real structures. Continuous lines represent depth values in the S-interval. Broken lines represent depth values outside of the S-interval at the margins (Szarka, 1980).

c) *Frekvenciaszondázások modellezése inhomogén medencealjzat szerkezetek felett*

A Pannon medence északi peremén levő ún. *Paleogén medencerész* területén a szénhidrogén-kutatással kapcsolatos frekvenciaszondázások tervezésében, valamint a mérések adatainak értelmezésében a frekvenciaszondázások modellezése fontos kísérleti eszközt jelent.

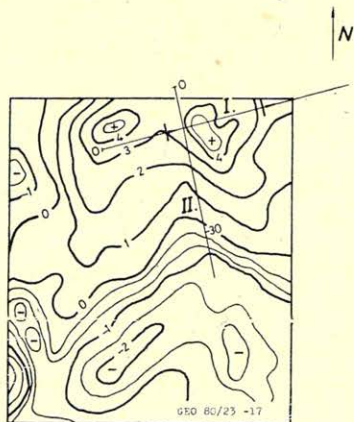
A *Paleogén medencében* a tág határok között változó vastagságú miocén és oligocén korú rétegsor aljzatát képező triászkorú mészkő (néhol vékony eocén képződménnyel együtt) a geoelektromos módszerek szempontjából ideális nagy fajlagos ellenállású vezérszint. Szerkezetét tekintve azonban igen inhomogén, nagy elvetési magasságú törések, ugyanakkor horizontálisan viszonylag kis kiterjedésű blokkok jellemzik.

A frekvenciaszondázások elmélete a horizontálisan homogén, vízszintesen rétegzett közegre van kidolgozva, az inhomogén közegre vonatkozó elmélet területén az információk viszonylag hiányosak, vagy nagyon leegyszerűsített esetekre vonatkoznak (*Iszaev, Kaufman et. al., 1970*). Néhány inhomogén aljzat szerkezetre korábbi modellkísérletek publikált eredményei alkalmazhatók (*Kuznyecov et. al., 1972, 1974*).

A frekvenciaszondázások modellezésével számos módszertani kérdést sikerült tisztázni és a *Paleogén medencerész* kutatásában eredményesen használtuk fel a modellkísérletek tapasztalatait.

Így például a jelen dolgozat 9. és 10. ábráin bemutatott modellfeladatok egyrészt a szondázások tápdipólusának célszerű elhelyezésére, valamint a töréses szerkezetek felett kapott FRSZ szondázási görbék értelmezéséhez adtak útmutatást.

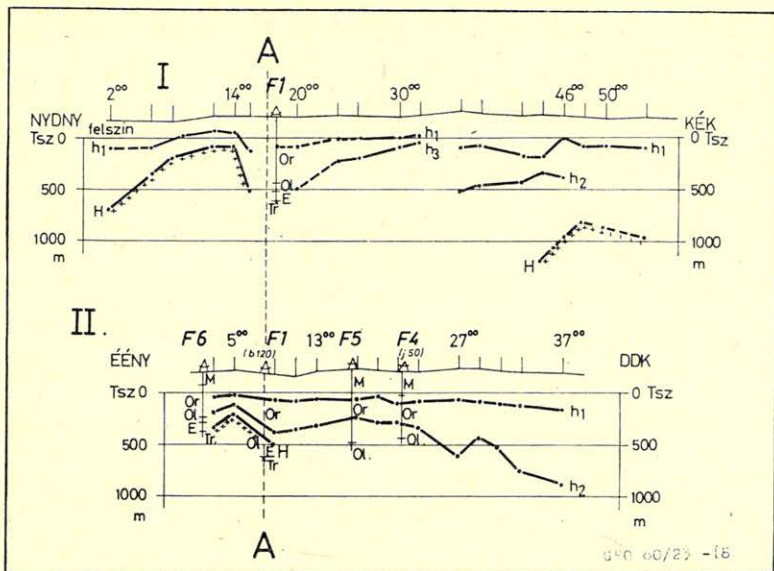
A 17., 18. és 19. ábrákon példákat mutatunk be a paleogén medencerész területén az ún. *Vatta – Maklári árok* térségében végzett kutatások eredményei-



7. ábra. Frekvenciaszondázások mérési vonalainak elhelyezkedése a gravitációs anomáliákhoz viszonyítva

Рис. 17. Карта измеряемых профилей частотных зондирований вместе с гравитационными аномалиями

Fig. 17. Location of the measuring lines of the frequency soundings as compared to the gravity anomalies.



18. ábra. A 17. ábrán látható frekvenciaszondázási vonalak mélység-szelvénye. *H* – triász mészkő felszíne, *h*<sub>1</sub> és *h*<sub>2</sub> miocén, illetve oligocén rétegek. *A–A* – a mérési vonalak metszódésének vetülete. *F*<sub>1</sub>, *F*<sub>2</sub> stb. fúrások

Рис. 18. Геологическое строение разреза профилей частотного зондирования показано на рис. 17. *H* – поверхность известняков, *h*<sub>1</sub> и *h*<sub>2</sub> – миоценовые и олигоценные слои. *A–A* – проекция перекрестов измеряемых профилей. *F*<sub>1</sub>, *F*<sub>2</sub>, и т. д. – скважины

Fig. 18. Depth profile of the frequency sounding profiles shown on Fig. 17. *H* is the surface of Triassic limestones, *h*<sub>1</sub> and *h*<sub>2</sub> are miocene and Oligocene layers. *A–A* is the projection of the crossing of the measuring profiles. *F*<sub>1</sub>, *F*<sub>2</sub>, etc. are boreholes.

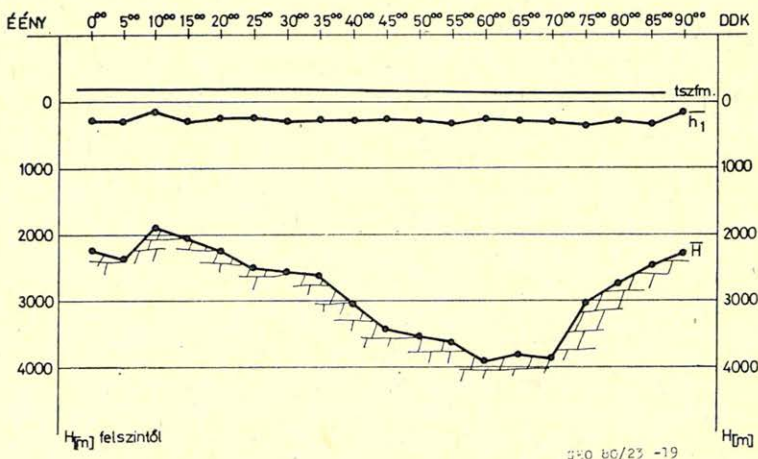
ből, amelyek mérési és értelmezési feladataiban a modelladatok is felhasználást nyertek.

A 17. ábra a gravitációs mérési adatok szűrésével kapott anomáliatérképen a frekvenciaszondázások vonalainak elhelyezkedését mutatja, feltüntetve a frekvenciaszondázások eredményeként meghatározott törések helyét is.

A 18. ábra a 17. ábrán látható két mérési vonal mélység-szelvényét mutatja, a *H* jelű határfelület az értelmezés alapján megfelel a triász mészkő felszínének, *h*<sub>1</sub> és *h*<sub>2</sub> a miocén, ill. oligocén rétegsorban követhető rétegek. A kutatásnál itt alkalmazott viszonylag kis adó-vevő távolság mellett elsősorban a törések helyének meghatározására volt lehetőség, illetve a sekélyebb medencerészek az aljzat felszínének követésére is. Az aljzat folyamatos nyomon követésére a 19. ábrán látható példa.

A modellmérésekből kapott fontos módszertani következtetések például: Ha a frekvenciaszondázások mérési vonala a fő szerkezeti dőlés irányába esik és az adó-vevő dipólokot összekötő „R” dipólsugár közelítőleg a fő szerkezeti csapásiránnyal párhuzamos, úgy a mért FRSZ adatok értelmezésében a horizontálisan homogén rétegsorra vonatkozó elvek felhasználhatók, feltéve, hogy az adó és vevő (a táp és mérő dipól) között nincsen olyan mértékű medencealjzat kiemelkedés, ami „árnyékoló oldalhatást” okoz. Az ilyen hatások elkerülésére az

## FRSZ MÉLYÉGSZELVÉNY



19. ábra. A Vatta – Maklári árkot harántoló frekvenciaszondázási vonal.  $H$ -triász mészkő felszínként értelmezett szondázási adatok,  $h_1$ -referenciaszint (első réteg)

Рис. 19. Профиль частотного зондирования через Ватта-Маклар сбросовый риб.  $H$  – глубины, полученные из зондирований и истолкованные как поверхность триасового известняка,  $h_1$  – уровень сравнения (первый слой)

Fig. 19. Frequency sounding profile across the Vatta – Maklár trench.  $H$  values have been interpreted from the soundings as surface data of the Triassic limestone,  $h_1$  is the reference level (1st layer).

adó telepítési helyének megválasztása különös gondot igényel. A hatások felismerése céljából ún. „többszörös fedésű” szondázási rendszert alakítottunk ki a szénhidrogén-kutató méréseknél, amelyben egy adóhelyzethez rendelhető mérési vonalszakasz (ún. legyező) hosszát és helyzetét, valamint egy mérési helyen az újabb adókról történő ismétléseket módszertani szempontok alapján tervezzük, illetve szabályozzuk, felhasználva a modellmérések eredményeit is.

### A fejlesztés irányai

- Egyik soron levő feladatnak tekintjük a frekvenciaszondázásnál az elektromos komponensek mérése mellett a mágneses érzékelő tekercsrendszer kialakítását. Kísérleteink igazolták, hogy bizonyos feladatok megoldására a mágneses komponensek mérése eredményesebbnek ígérkezik (pl. szigetelő közegbe ágyazott jólvezető test indikálása).
- A konduktív gerjesztés mellett a közeljövőben kialakítjuk a magnetotellurikus problémák tanulmányozására a síkhullám gerjesztést is a megfelelő antennarendszer megépítésével (Dosso, 1967).

### IRODALOM

- Ádám, A. (1977): The Transdanubian crustal conductivity anomaly. Acta Geod. Geophys. Mont. Hung., 12, 73 – 79.
- Ádám, A. (1980): Statisztikus összefüggések az elektromos vezetőképesség-eloszlás és a töréses tektonika között a Dunántúlon. Magyar Geofizika, 3, 95 – 107.

- Dosso, H. V. (1967):* Analytical and analogue methods of studying electromagnetic variations at the Earth's surface. Vol. I–II. Institute of Earth Sciences, The University of British Columbia, pp. 212.
- Iszaev, G. A., Kaufman, A. A., Rabinovics, B. I., Satohin, V. N. (1970):* Dőlt határfelületek hatása az elektromos kutatómódszereknél alkalmazott elektromágneses terekre (oroszul). Az alkalmazott geofizikában használt elektromágneses terek elmélete c. monográfia, Nauka Kiadó, Novoszibirszk.
- Kakas, K., Nyitrai, T., Rezessy, G., Szabadváry, L. (1976):* Komplex Geofizikai Kutatás a Dunántúli Középhegységben. MÁELGI 1975. évi jelentése, 11–22.
- Kormos, I., Régeni, P. (1978):* Some problems of the indirect frequency synthesis. HIKI–25 Years. 1978 Conference Proceedings Vol. 3. pp. 55–58.
- Kuznyecov et al. (1972):* Frekvenciaszondázás az elektromos vezérszint lépcsőmodellje felett (oroszul). Prilkadnaja Geofizika, 67.
- Kuznyecov et al. (1972):* Horizontálisan inhomogén közeg elektromágneses szondázása dipól elrendezéssel (oroszul). Prilkadnaja Geofizika, 68.
- Kuznyecov et al. (1974):* Szigetelő, árnyékoló réteget magában foglaló horizontálisan inhomogén közeg elektromágneses szondázása dipól elrendezéssel (oroszul). Prilkadnaja Geofizika, 73.
- Régeni, P., Mohácsi, (1978):* A tracking selective microvoltmeter. HIKI–25 Years. 1978. Conference Proceedings Vol. 3. pp. 60–63.
- Szarka, L. (1980):* A potenciáltérképezés analóg modellezése. Magyar Geofizika XXI/5 193–200.

## Egyesületi hírek

Az Alföld földtani térképezése 1964-ben indult a Földtani Intézetben.

A térképek szerkesztésének alapja:

10 m mélységű sekély fúrások, félméterenkénti mintavétellel,  
 kőzetminták elemzése,  
 talajvíz elemzése,  
 paleontológiai vizsgálatok,  
 ásványtani vizsgálatok,  
 geokémiai vizsgálatok,  
 az 1951–53-ban készült kútkataszter adatai,  
 egyéb, a területen végzett 1000 m körüli fúrások.

Földtani térképek:

agrogeológiai térképek, (mész tartalom, vízáteresztő képesség)  
 építésföldtani térképek (képződmények 2 m, 5 m és 10 m mélységben)  
 vízföldtani térképek (a talajvíz mélysége, a talajvíz nyugalmi szintje, a talajvíz oldottanyag tartalma, vízáadó rétegek 700 m-ig)  
 mélyföldtani térképek

A sorozat eddig megjelent atlaszai

Szolnok	1969
Csongrád	1974
Tiszafüred	1975
Heves	1975
Hódmezővásárhely	1978
Karcag	1979
Szeged	1979
Püspökladány	1980
Gyoma	1980

(Aczél E.)

## Az obszervatóriumi vizsgálatok eredményeinek alkalmazása a geoelektromos terepkutatásban

CZUCZORNÉ, MILETITS JUDIT\* – VERŐ JÓZSEF\*

*A geomágneses variációk eredetének ismertetése után a tanulmány áttekinti a geomágneses tevékenység előrejelzésének lehetőségeit, különös tekintettel a pulzációkra. A geomágneses és pulzációs tevékenység előrejelezhetősége a naptevékenység szintjétől függően változik. Különösen jó az előrejelzési lehetőség kis naptevékenységű években, amikor hosszúéletű koronalyukakból eredő nagysebességű napszélnyalábok határozzák meg a tevékenységet.*

*После изложения причин геомагнитных вариаций статья рассматривает возможности прогноза геомагнитной активности, уделяя особое внимание пульсациям. Возможность прогноза геомагнитной и пульсационной активности изменяется в зависимости от уровня солнечной активности. Возможность прогноза особенно хороша в годах малой солнечной активности, когда активность определяется высокоскоростными струями солнечного ветра, исходящих из долгосуществующих корональных дырок.*

*Following a summary of the origin of geomagnetic variations, the possibilities to predict the geomagnetic activity level with special emphasis on pulsations are reviewed. The changing predictability of the geomagnetic and pulsation activity is shown to depend on the solar activity, especially on the presence of longlived coronal holes, mainly in years with low solar activity.*

A természetes elektromágneses tér különböző variációit alkalmazó indukciós módszerek alkalmazása szempontjából nem mellékes, hogy tudjuk, milyen volt a tevékenység típusa egy időszakban, illetve milyen tevékenység várható egy adott napon, illetve mikor várható egy bizonyos frekvenciasávban nagyobb tevékenység. A geomágneses obszervatóriumokban összegyűlt anyag, kiegészítve megfelelő napfizikai és magnetoszféra-fizikai ismeretekkel lehetővé teszi, hogy ezen a téren felmérjük lehetőségeinket. Evvel a kérdéssel intézetünk már régebben is foglalkozott (Verő, 1968; Ádám és Holló, 1973).

A következőkben elsősorban a geomágneses tevékenység egészével, a *Pc 3–4* típusú és a *Pc 1* típusú pulzációkkal foglalkozunk összefüggéseik és az előrejelzés szempontjából.

A geomágneses tevékenység meglehetősen széles spektrumú változások összességéből áll. Nem értjük bele a nem-korpuszkuláris eredetű nyugodt (és zavart) napi szabályos változást, amelynek erős nyári maximuma van, emellett naptevékenységi maximum idején ugyancsak jóval nagyobb.

A geomágneses tevékenység legjelentősebb összetevője a *substorm-típusú* tevékenység. Ez lényegében a magnetoszféra csóvájában lejátszódó kitérészerű folyamat megnyilvánulása; általában 30 perctől 3 óráig tart. Közvetlen okozója a sarkifényöv felett kialakuló elektrojet, illetve ennek az áramrendszernek a közepes szélességeken is megnyilvánuló hatása. A substormok szoros kapcsolatban állnak a bolygóközi mágnes tér irányával; ha ez a mágnes tér déli (tehát a Föld északi sarkától a déli felé mutató iránnyal párhuzamos, és ilyen irányított-ságú) komponens tartalmaz, akkor ezek a bolygóközi erővonalak összekapcsolódnak a magnetoszférabeli mágneses erővonalakkal, részecskegyorsítás játszódik

\* MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézete, Sopron



le, a magnetoszféra csóvájában energia gyűlik össze, és 30 perccel a déli komponens megjelenése után elkezdődik az első substorm, amelyet mintegy órák időközökben még több is követhet.

A substormokban megjelenő energia elsődleges forrása a Naptól eredő részecskeáramlás, a napszél. Minél nagyobb a napszél sebessége (és részecskesűrűsége), annál nagyobb energiamentiség juthat a magnetoszférába az összekapcsolódás révén. Így a geomágneses tevékenység kapcsolatban van a napszélsebességgel, ezen keresztül pedig a naptevékenység ciklusával. Azonban nemcsak a vázolt módon, hanem a napszél inhomogenitásainak hatására (pl. lökésfrontok áthaladásakor) is megnő a geomágneses tevékenység, csak hogy ilyenkor a lökésfront áthaladását hirtelen ugrásszerű viharkezdet jelzi, míg a nagy napszélsebesség folytán fellépő tevékenység nem hirtelen, hanem fokozatos kezdetű. Az utóbbi, tehát a fokozatos kezdetű geomágneses viharok a Nap koronalyukaival, a hosszú időn át hiába keresett M-régiókkal kapcsolatosak. A koronalyukak sajátos erővonal-elrendeződése folytán nagysebességű napszéláramok erednek belőlük, s ezek a Föld környezetébe jutva okozzák a nagy geomágneses tevékenységet. A koronalyukak a naptevékenység maximuma utáni időben, egészen a napfénytevékenységi minimumig jelennek meg, hosszú élettűek, sok napkörülfordulást (27 nap) is megélhetnek, így ilyenkor a geomágneses tevékenységnek 27 napos periodicitása erős. Evvel szemben a hirtelen kezdetű viharok általában napkitörésekkel, tehát egyszeri jelenségekkel kapcsolatosak, ennek megfelelően nincs, vagy nagyon gyenge a 27 napos visszatérési hajlamuk.

Bár a geomágneses tevékenység többé-kevésbé követi a naptevékenységi ciklust, mégsem pontos közöttük a kapcsolat. Különösen feltűnő a geomágneses tevékenység késése a naptevékenységhez képest, ami éppen avval van kapcsolatban, hogy a koronalyukak a naptevékenység leszálló ágára jellemzőek. Úgy-hogy az is megtörténhetik, mint az 1968-as naptevékenységi maximumnál, hogy a tevékenység maximuma csak 1973–74-ben jelentkezett, a szokatlanul nagy koronalyuk aktivitás miatt.

A geomágneses pulzációk *Pc 3–4* típusának keletkezését még nem sikerült véglegesen tisztázni. [Verő, 1978]. Annyi azonban kétségtelen, hogy legalábbis jelentős részük nem a magnetoszférán belül, hanem vagy annak határán (*Kelvin–Helmholtz instabilitás* révén), vagy azon kívül (a napszél és a magnetopauzáról visszavert protonok ciklotron, vagy más néven két-nyaláb-instabilitása útján) keletkeznek. [Golikov et. al., 1980]. A befelé terjedés során jelentős átalakulás megy végbe. A mágneses erővonalak mentén helyi rezonancia alakul ki, bizonyos periódusokat kiemelve; ezek a periódusok a mágneses szélesség függvényében változnak, hosszabb szélességen nagyobbak, illetve a plazmapauzánál bekövetkező részecskesűrűség-csökkenés miatt a rezonáns periódus a megfelelő felszíni metszéspontok körül szintén csökkenik [Orr, 1973]. Emellett az ionoszféra is módosítja a pulzációkat.

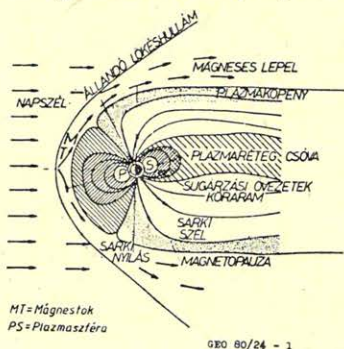
A pulzációk egy része magnetoszférán belüli eredetű lehet, pl. a plazmapauza mozgása, vagy a nagyobb energiájú részecskék sűrűségének erős változása, esetleg a napszél és a vele kapcsolatos mágnes tér robbanásszerű behatolása folytán. A két típus elválasztására egyelőre nincs biztos lehetőség (*1. ábra*).

Az elmondottakon kívül, elsősorban a szabálytalan *Pc 1*-típusú pulzációk esetében más keletkezési mechanizmusokkal is kell számolnunk, pl. energetikus részecskéknek a föld környezetében való behatolásával kapcsolatban.

A pulzációk tevékenységét befolyásoló tényezők között a legfontosabb a napszél sebessége; az amplitúdó nagyjából a sebesség négyzetével arányosan

változik. Így közvetve kapcsolat van a geomágneses tevékenységgel is, amely ugyancsak (lineárisan) változik a napszélsebesség függvényében.

Ok-okozati kapcsolatban a tevékenységgel azonban csak a pulzációk kis része van, inkább nagy geomágneses tevékenység esetében.



1. ábra. A magnetoszféra szerkezete

Рис. 1. Структура магнитосферы

Fig. 1. Structure of the magnetosphere

A pulzációk periódusát elsősorban a bolygóközi mágnes tér nagysága szabályozza: nagyobb térerősség esetén a periódus rövidebb (természetesen egy adott állomáson, mert a periódus a szélesség függvényében is változik). Mivel nagyobb bolygóközi mágneses térerősség esetén az erővonal-összekapcsolódás is hatékonyabb, a geomágneses tevékenység növekedésével a pulzációk periódusa csökken, egyúttal a magnetoszféra mérete is kisebbedik. Mindezek ismét csak látszólagos kapcsolatok, pontosabban közös okra vezethetők vissza, s nem ok-okozati kapcsolat áll fenn.

A pulzációk tevékenységének változását a naptevékenységi ciklus alatt még nem nagyon ismerjük. Mivel elsődlegesen a napszélsebesség határozza meg a tevékenységet, ennek változását kellene ismernünk a ciklus során. Annyi kétségtelen, hogy a napszélsebesség a leszálló ágban átlagosan is nagyobb; azonban az 1973–74-es rendkívül nagy átlagos napszélsebesség, és az ennek megfelelő nagy pulzációs tevékenység mindenképpen kivételes volt. Napfoltmaximum idején, tehát éppen jelenleg is, télen (vagy esetleg november–február között globálisan, az egész Földön) a pulzációk tevékenysége kisebb az egyidejű napszélsebességek alapján vártnál. Ilyenkor a nagy ionoszférikus-plazmaszférikus részecskesűrűség folytán vagy a rezonancia nem tud kialakulni, vagy csillapítás lép fel az ionoszférában. A csökkenés mértéke mintegy 30–50%-ot érhet el.

A *Pc 1* (gyöngy) típusú pulzációkat a plazmapauza környezetében lejátszódó részecske-hullám kölcsönhatások hozzák létre, ennek megfelelően leggyakrabban a plazmapauza környezetének erővonalai felszíni beérkezése helyén, vagyis valamivel a sarkifény-övezet alatt, a 65° szélesség táján a leggyakoribbak. Onnan valószínűleg az ionoszférán keresztül terjednek az alacsonyabb szélességekre. Időbelileg a plazmapauza instabilitás állapota, különösen kifelé való mozgása kedvező kialakulásuknak. Emiatt geomágneses viharok után, de többnyire már nyugodtabb időszakokban jelentkeznek. Bizonyos, némileg eltérő sajátosságú típusaik (pl. az *IPDP*, a csökkenő periódusú erőteljes pulzáció-sorozatok) viszont éppen a geomágneses viharokra jellemzőek.

Az elmondottak alapján a következőket várjuk a geomágneses tevékenység és a *Pc 3–4* illetve *Pc 1* pulzációk kapcsolatában, valamint 27 napos visszatérési hajlamával kapcsolatosan. A felhasznált adatok a *Nagycekn melletti obszervatórium* 23 éves adatsorából származnak. [Holló et al., 1972; Verő, 1972; Cz. Miletits et al., 1978.]

A geomágneses tevékenység növekedésével általában nő a pulzációs tevékenység. Evvel együtt, amint márszó volt róla, a periódusok általában rövidebbek, és a pulzációk kevésbé szabályosak. Jellemző az is, hogy a pulzációkban „utóhatás” jelentkezik, vagyis a tevékenység szintjének csökkenése a pulzációk esetében némileg, 1–2 nappal késik a geomágneses tevékenységhez képest. Ennek az utóhatásnak a keletkezése még nem tisztázott, lehet látszólagos (vagyis a bolygóközi tér paraméterei viharok után nem az átlagos értékűek, ennek hatása lenne a nagyobb tevékenység), eredhet a plazmapauza kifelé mozgásából (viharok idején a plazmaszféra kiürül, a plazmapauza jóval kisebb magasságba kerül, utána alulról, az ionoszféra felől részecskék áramlanak felfelé, s újra feltöltik, felfújják a plazmaszférát), esetleg más módon is. Mindenesetre a két jelenség közötti ilyen kapcsolat bizonyos rövid távú előrejelzésre lehetőséget ad. A *Pc 1* esetében az utóhatás még egyértelműbb, és megjelenése kétségtelenül a plazmapauza mozgásával kapcsolatos.

A 27 napos visszatérés és azokra a tevékenységfajtákra jellemző, amelyek a koronalyukakkal és a nagysebességű napszél-áramokkal kapcsolatosak. Ezek szerint a naptevékenységi ciklus csökkenő ágában várhatunk erős 27 napos visszatérési hajlamot. Ez vonatkozik a geomágneses tevékenységre, de a pulzációkra (*Pc 3–4*) is, hiszen ezek amplitúdója a napszél sebességének négyzetével arányos. A *Pc 1* esetében az utóhatás során megjelenő tevékenység maximum 27 napos visszatérésű viharok esetén szintén ismétlődik.

Ezek mellett a rövidebb távú előrejelzési lehetőségek mellett nem szabad elfeledkeznünk arról sem, hogy a geomágneses-pulzációs tevékenységnek vannak hosszabb periódusai, éves-évszakos, és más periódusú, pl. 11 éves változásai is. Így a geomágneses tevékenységnek határozott maximuma van tavasszal és ősszel, minimuma pedig télen és nyáron. A pulzációk évszakos változása jelentéktelen a naptevékenység maximumának időszakától eltekintve; a maximum idején nálunk téli minimum lép fel, de nem egyértelmű, hogy ez valóban téli-e, tehát a déli féltekén június – júliusban jelentkezik-e, vagy ott is december januári minimum van-e. Mindenesetre ennek a téli minimumnak a fellépésével akkor kell számolni, ha az ionoszféra *F2* rétegének  $f_0F2$  határfrekvenciája 9 MHz fölé emelkedik helyi dél körül. Még annyi különbség is van a pulzációs tevékenységben tél és nyár között, hogy télen általában később kezdődik a *Pc 3–4* tevékenység, de nem fejeződik be sokkal előbb, vagyis nincs egyszerű kapcsolat a nap hosszával.

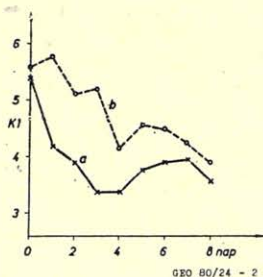
A *Pc 1* tevékenységben a legjelentősebb a naptevékenységi ciklus hatása; közepes szélességeken, naptevékenységi maximum idején alig lép fel *Pc 1*. Más időszakokban viszont határozott téli maximum jelentkezik, többszörösen gyakoribb a *Pc 1* tevékenység december – januárban, mint nyáron.

Az elmondottak alapján várható, hogy bizonyos mértékű kapcsolat egy tetszőleges nap és az utána következő nap(ok) geomágneses és pulzációs tevékenysége között még akkor is van, ha valódi előrejelzésre nincs lehetőség. Némileg a helyzet ahhoz a meteorológiai előrejelzéshez hasonlítható, amely nyáron meleget, télen hideget jósol; ennek beválása elég jó, minden különösebb tudományos megalapozás és az időjárás mechanizmusának ismerete nélkül is. Így az

ilyen, a megtartási hajlamból következő látszólagos előrejelzést meg kell különböztetnünk a valóditól (bár természetesen gyakorlatilag az első is használható).

Nézzük végig néhány, az elmondottak alapján várt hatás jelentkezését a Nagycenk melletti obszervatórium adatai alapján. A vizsgálatokat általában egy-egy éves időszakokra végeztük, pontosabban ilyen időszakokból válogattuk ki a megfelelő helyzeteket. Egyes vizsgálatokat több évre is elvégeztünk a nap-tevékenység függvényében jelentkező különbségek szemléltetésére. Az évek kiválasztását elsősorban a rendelkezésre álló adatok, másodsorban pedig a nap-tevékenységi ciklusban elfoglalt helyzetük szabta meg.

Először lássuk az utóhatás jelentkezését a  $Pc\ 3-4$  pulzációkban. A 2. ábrán bemutatjuk az 1979. évre a zavart napok (a  $\Sigma T$  tellurikus tevékenységi index 30 vagy nagyobb) után a  $K_1$  napi pulzációs index lefutását külön azokra az esetekre, amikor a zavart nap utáni 5 napon nem volt újabb zavart nap, illetve ez alatt még egy zavart nap volt (ha még több zavart nap fordult elő a kulcnap utáni 5 nap alatt, az utóhatás már elmosódik). Azt látjuk, hogy az elszigetelt zavart nap után gyorsan, a másik esetben kissé lassabban csökkenik a pulzációs tevékenység 5,5-es indexről 3,4–4,2-re (ez 2,0 mV/km-es amplitúdóról 0,9–1,4 mV/km-re való csökkenést jelent), majd az 5–7. napon újabb 0,4 index-egységes emelkedés következik. Ez a mintegy 20%-os emelkedés jelenti az utóhatást. Jelentkezésének időpontja tipikus ebben az évben: annyit kell még hozzátennünk, hogy a látszólag kis, csupán 20%-os emelkedés azért jelentős, mert az utóhatás során többnyire szabályos pulzációk jelentkeznek, szemben a vihar alatti sokszor szabálytalan, valószínűleg lokális eredetűekkel, s emiatt indukciós kutatások céljára az utóhatás idején jelentkező pulzációk jobban használhatók.



2. ábra. Az utóhatás jelentkezése a  $Pc\ 3-4$  típusú pulzációkban az 1979-es évre

- a) a  $K_1$  napi pulzációs index lefutása azokra az esetekre, amikor a zavart nap utáni 5 napon nem volt újabb zavar,  
 b) a  $K_1$  napi pulzációs index lefutása azokra az esetekre, amikor a zavart nap utáni 5 napon még egy zavart nap volt

Рис. 2. Возникновение последействия в пульсациях типа  $Pc\ 3-4$  на 1979 год

- a) Кривая суточного пульсационного индекса  $K_1$  в случаях, когда 5 дней после дня с помехой новая помеха не была,  
 б) Кривая суточного пульсационного индекса  $K_1$  в случаях, когда 5 дней после дня с помехой был ещё один день с помехой.

Fig. 2. The appearance of the after-affect in the pulsations, year 1979

- a) Average value of the daily pulsation index  $K_1$  following disturbed days as key days, when during the next 5 days no more disturbed days occurred  
 b) Key days are here disturbed days after which at least one more disturbed day occurred in 5 days

A *Pc 3–4* típusú pulzációkban jelentkező utóhatásnál határozottabb és egyértelműbb a *Pc 1* típusban fellépő utóhatás. Ennek szemléltetésére az 1976 – 77-ben végzett regisztrálás eredményeit mutatjuk be, ugyancsak  $\sum T > 30$  alapon kiválasztott kulcsnapok után. Itt a jelentkező különbségek miatt külön csoportba kell sorolni a kérdéses kulcsnap előtt és után fellépő, hasonló tevékenységű napok száma szerint eltérő eseteket. Mint tipikus szélsőségeket, a 3. ábrán bemutatjuk a *Pc 1* tevékenység alakulását a következő három esetben:

- elszigetelt zavart nap, sem előtte, sem utána nincsen 5 napon belül újabb zavart nap
- tevékenység eleje: előtte nincs 5 napon belül zavart nap, utána 2 vagy több következik
- tevékenység vége: előtte 2 vagy több zavart nap, utána nincsen zavart nap.

### 3. ábra. A *Pc 1* tevékenység alakulása

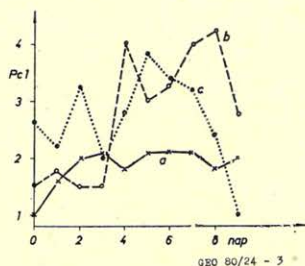
- elszigetelt zavart nap esetén
- tevékenység eleje
- tevékenység vége

Рис. 3. Формирование *Pc 1*-активности

- в случае изолированного дня с помехой
- начало активности
- конец активности

Fig. 3. The distribution of the *Pc 1* activity

- Following isolated disturbed days
- After first disturbed days (beginning of activity)
- After last disturbed days (end of activity)



A *b* és *c* esetben egyaránt két csúcs lép fel, 4 illetve 2, valamint 8, illetve 5 nappal a kulcsnap után. Ez azt jelenti, hogy a zavar vége után lép fel nagy *Pc 1* tevékenység, 2, illetve 5 nap múlva. Egyetlen elszigetelt zavart nap nem elegendő ahhoz, hogy erős utóhatás alakuljon ki.

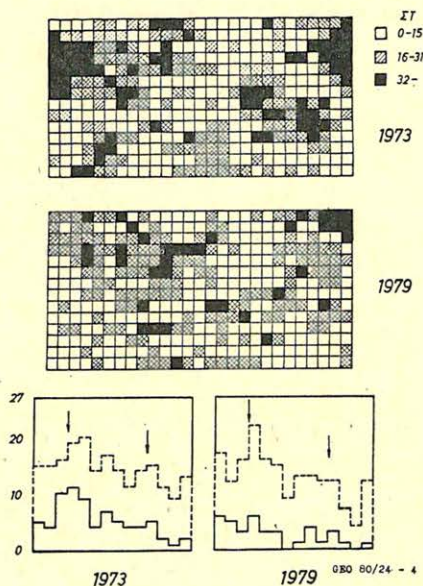
Végeredményben tehát egy-egy erősebben zavart, viharos nap után 5–7 nappal lehet számítani mind a *Pc 1*, mind a *Pc 3–4* típus esetében erősebb tevékenységre.

Áttérve a 27 napos visszatérés vizsgálatára, két év, az 1973-as és az 1979-es adatait hasonlítjuk össze. Az első annak az időszaknak a része, amikor kivételesen erős volt a nagysebességű napszél-áramok előfordulása, a második a napfoltmaximum idején, szinte teljesen mentes a 27 napos visszatérési hajlamtól.

Ezt mutatja a 4. ábra, ahol a gyenge, közepes és erős tevékenységű napok eloszlását mutatjuk be a 27 napos periódus szerint rendezve. Megjegyzendő, hogy egyik év sem képvisel szélsőséget: 1973-nál erősebb volt a 27 napos periódus a következő, 1974-es évben; az év első felében volt egy hosszúéletű tevékeny góc, míg a következő évben végig két ilyen góc is fellépett. 1979 első felében még volt némi 27 napos ismétlődés, míg a második félévben ez teljesen eltűnt, s ez az állapot folytatódott 1980-ban is. A naptevékenység maximuma éppen 1979 végére, 1980 elejére esett. Az 5. ábrán a két időszakban látjuk 3 csoportba sorolt napok után 27 nappal a tevékenység eloszlását. Elég egyetlen adatot kiemelni számszerűleg is: nyugodt napok után 1973-ban 6%-ban, zavartak után 47%-ban következett újabb zavart nap 27 nap múlva; evvel szemben 1979-ben a megfelelő értékek 7 és 10%. Ez a különbség is jól szemlélteti a két helyzet közötti eltérést. Még azt is figyelembe kell vennünk, hogy a különbségek egy része ered-

het nem 27 napos, hanem annál hosszabb periodicitásból, pl. a fél éves hullámból is, mert tavasszal és ősszel nagyobb a zavart napok gyakorisága bármikor, így a zavart nap után 27 nappal is.

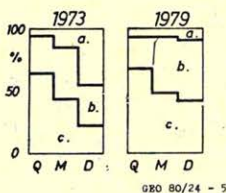
Ha most nem a geomágneses tevékenységet, hanem a pulzációkat vizsgáljuk, akkor szem előtt kell tartanunk, hogy a kettő közötti kapcsolat részben közvetett (közös okra, a napszél sebességének változására) vezethető vissza, részben látszólagos (viharok idején nem szabályos  $Pc$  3-4 típusú, hanem szabálytalan, s éppen ezért lokális, nem használható pulzációk lépnek fel), s csak egészen kis részben jelentkezik valódi, fizikai kapcsolat. Ennek ellenére termé-



4. ábra. Gyenge, közepes és erős tevékenységű napok eloszlása a 27 napos periódus függvényében, az 1973-as és 1979-es évekre

Рис. 4. Распределение слабых, средних и сильных дней в зависимости от 27-дневного периода на 1973 и 1979 гг.

Fig. 4. The distribution of days with low, medium and high activity in the 27-days solar rotation in the years 1973 and 1979

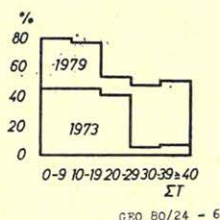


5. ábra. 1973-ban és 1979-ben a tevékenység eloszlása gyenge, közepes és erős tevékenységű csoportba sorolt napok után 27 nappal

Рис. 5. Распределение активности 27 дней после дней причисляемых к группам слабой, средней и сильней активности в 1973 и 1979 гг.

Fig. 5. The geomagnetic activity levels in 1973 and 1979 27 days after low, medium and high activity days

szetesen a látszólagos kapcsolatok alapján is lehet előrejelzést készíteni. A 6. ábrán azt tüntettük fel, különböző tevékenységű napok után 27 nappal, milyen arányban várható kis pulzációs tevékenység 1973, illetve 1979 adatai alapján. Jól látszik, hogy 1973-ban, amikor nagy volt a pulzációs tevékenység, akkor ez az érték kis tevékenység esetén 43% volt, nagy tevékenységnél 6–7%-ra csökkent, vagyis az előrejelzési lehetőség jó volt. 1979-ben kis tevékenység után 78%, nagy



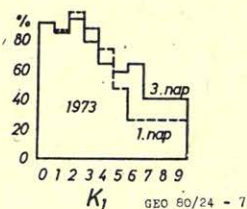
6. ábra. Különböző tevékenységű napok után 27 nappal a kis pulzációs tevékenység gyakorisága az 1973-as és 1979-es évekre

Рис. 6. Частота малой пульсационной активности 27 дней после дней с различными деятельностями на 1973 и 1979 гг.

Fig. 6. The probability of low pulsation activity at the 27-th days after days with different activity levels

tevékenység után 50% volt a kis pulzációs tevékenységű napok száma. Ezek szerint ilyen naptevékenység maximuma körüli években is van előrejelzésre bizonyos lehetőség, de ez javarészt a geomágneses és pulzációs tevékenység hosszú periódusú változásaiból származik: a jelen esetben 1979 első felében nagyobb volt a geomágneses tevékenység, a második felében kisebb, ami naptevékenységi maximum idején elég szokatlan: ugyanakkor erősen jelentkezett november – decemberben a már említett téli minimum, s ez az összeesés hozta létre a látszólagos elfogadható előrejelezhetőséget. Ezt bizonyítja a 7. ábra, ahol a kulcsnap utáni 3. napon mutatjuk be ugyanezt az eloszlást: ha a pulzációs tevékenység nagyon kicsi (0 index), 90%-ban követi 3 nap múlva kis tevékenység, ha nagyon nagy (7–9), mindössze 40%-ban. Ez az összefüggés jelzi, hogy 1979-ben valóban látszólagos kapcsolattal van dolgunk, de természetesen ez az előrejelzést nem befolyásolja.

Visszatérve még egyszer a rövid távú előrejelzés lehetőségére, a 7. ábrán feltüntettük az 1 napos késéssel várható kis tevékenység gyakoriságát is. Késég-



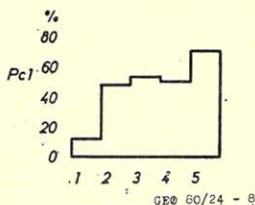
7. ábra. A kis pulzációs tevékenység gyakorisága különböző tevékenységű kulcsnapok utáni 3. napon és 1. napon az 1973-as évre

Рис. 7. Частота малой пульсационной активности 3 дня и 1 день после ключевых дней с разными активностями на 1973 год.

Fig. 7. The probability of low pulsation activity after key-days with different activity levels in 1973

telen, hogy bizonyos különbség van a két eloszlás között olyan értelemben, hogy 1 nappal előre jobban jelezhető a várható pulzációs tevékenység, a különbség azonban nem túlságosan nagy, így az előrejelzés itt is megmutatkozóan hosszú periódusú tevékenység változásokon alapul.

Az 1 napos megmaradási hajlam különben a *Pc 1* esetében a viharutóhatás mellett jelentős előrejelzési lehetőséget nyújt; 1976–77-ben *Pc 1* mentes napok után 11, közepes *Pc 1* tevékenység után 50, erős *Pc 1* tevékenység után 71%-ban volt várható a következő napon is *Pc 1* tevékenység. (8. ábra.) Ez a megmaradási hajlam azonban csak részben magnetoszférikus eredetű, valószínűleg szorosabban kapcsolódik az ionoszféra paramétereire.



8. ábra. Az 1 napos megmaradási hajlam a *Pc 1* típusú pulzáció esetében az 1976–77-es évekre

Рис. 8. Тенденция сохранения пульсации типа *Pc 1* на 1976–77 гг.

Fig. 8. Persistency of the *Pc 1* activity for one day in the years 1976–77.

Összefoglalva az előrejelzés lehetőségeit az egyes vizsgált csoportokban:

### I. *Pc 1*

1. 1 napos előrejelzés: *Pc 1* tevékenység utáni napon, különösen ha a tevékenység erős volt, újabb *Pc 1* tevékenységre lehet számítani (50, illetve 70%).

2. 3–8 napos előrejelzés: geomágnesesen tevékeny napok után néhány nappal a *Pc 1* megjelenésének valószínűsége nő (50–90%-os valószínűsége).

3. 30–35 napos előrejelzés: geomágneses tevékenység után (eltekintve a naptevékenység maximumának időszakától) 27 nappal újabb nagy tevékenységű időszak várható, ez után 3–8 nappal pedig megnőtt a *Pc 1* tevékenység.

### II. *Pc 3–4*

1. 1 napos előrejelzés: a *Pc 3–4* tevékenységnek hosszabb periódusú (féléves, éves) hullám, valamint a napszél sebességének megmaradási hajlama folytán nagy tevékenységű napok után néhány napig szintén nagyobb tevékenység várható.

2. 5–8 napos előrejelzés: geomágneses tevékeny napok után ennyi idővel némileg megnő a *Pc 3–4* tevékenység, elsősorban a szabályos pulzációké.

3. 27 napos előrejelzés: olyan időszakokban, amikor nagy időtartamig megmaradó koronalyukak okozzák a geomágneses tevékenységet, a geomágneses tevékenységgel együtt a 27 napos napkörülfordulás múltán a pulzációs tevékenység növekedése is várható.

Az elmondottakon kívül, előrejelzés készítésénél figyelembe kell venni még a hosszú periódusú változásokat is, de ezek a leírt előrejelzési lehetőségekben automatikusan benne vannak, mert periódusuk (1/2, 1, 11 év) sokkal hosszabb, mint azok. Különösen jelentős közöttük a tevékenység napéjegyenlőség körüli csúcsa, a *Pc 1* téli maximuma és naptevékenységi maximuma idején fellépő minimuma,



amely a jelenség szinte teljes megszűntét jelentheti, valamint a *Pc 3, 4* téli minimuma a naptevékenység maximuma idején.

Az elmondottak alapján az várható, hogy jelenleg, 1980-ban a 27 napos napkörülforduláson alapuló előrejelzés szinte lehetetlen; a rövidebb, 1–8 napos előrejelzésnek lehetősége megvan. Ugyancsak számolni kell a naptevékenység maximumára jellemző periodicitásokkal: nagyon kevés a *Pc 1*, a *Pc 3–4* típusnak pedig téli minimuma van.

1980 tavasza óta a *Geofizikai Kutató Vállalat* részére hetente adunk előrejelzést a várható tevékenységről, valamint összefoglalást az elmúlt időszak tevékenységéről. Ezek az előrejelzések nagyon kevés kivétellel eleve a „nagyon bizonytalan” minősítést kapták. A *Pc 3–4* esetében még külön meg kell említeni, hogy mivel téli időszak nem esett bele az előrejelzésekbe, a téli minimumot sem tudtuk kihasználni. Így nem meglepő, hogy előrejelzéseink beválása nagyon gyenge volt;

ha az előrejelzett tevékenység gyenge, 55%-ban volt gyenge pulzációs tevékenység

ha közepes, 61%-ban, ha erős, 60%-ban.

Várható, hogy a naptevékenység minimuma felé haladva ennél lényegesen jobb eredmény lesz elérhető mind a *Pc 3–4*, mind a *Pc 1* tevékenység előrejelzésében. Megjegyzendő még, hogy 1980-ban a tavaszi tevékenységi maximum sem volt meg.

Az elérhető eredmények becslésére az 1974-es év alapján az április–szeptemberi, tehát az 1980-as előrejelzésekkel egyező időszakból elvégeztük ugyanezt az előrejelzést, majd az eredményeket az előzőekben ismertetett módon összehasonlítottuk a tényleges pulzációs tevékenységgel. Itt gyenge előrejelzett tevékenység esetén 48%-ban, közepes esetén 8, erős esetén 11%-ban találtunk kis pulzációs tevékenységet (1974-ben sokkal nagyobb volt a pulzációs tevékenység!). Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a gyenge tevékenységű napok 75%-át itt sikerült előrejelezni, míg 1980-ban csak 43%-át. A ténylegesen várható eredmények nagyjából ezen két adat között helyezkednek el a naptevékenység függvényében.

## IRODALOM

- Ádám, A., Holló, L.*: On the prognosis of micropulsations activity (27 days recurrence tendency connection between activity indices and spectra) *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.*, 8 (1973) 207.
- Cz. Miletits, J., Holló, L., Tátrallyay, M., Verő, J.*: Experimental results with the characterization of geomagnetic micropulsations. VI. Summary of results, recommendation. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.*, 13 (1978) 231.
- Golikov, Y. Y., Plyasova-Bakounina, T. A., Troitskaya, V. A., Chernikov, A. A., Pustovalov, V. V., Hedgecock, P. C.*: Where do solar wind-controlled micropulsations originate? *Planet. Space Sci.*, 28 (1980) 535.
- Holló, L., Tátrallyay, M., Verő, J.*: Experimental results with the characterization of geomagnetic micropulsations I. The methods of characterization used in the investigations. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.* 7 (1972) 155.
- Orr, D.*: Magnetic pulsations within the magnetosphere: A review. *J. Atm. Terr. Phys.*, 35 (1973) 1.
- Verő, J.*: Az elektromágneses tér pulzációinak előrejelzéséről. *Geof. Közl.*, 17 (1968) 63.
- Verő, J.*: Experimental results with the characterization of geomagnetic micropulsation. III. Effect of the geomagnetic activity on pc 3–4 and pi-2 type geomagnetic micropulsations. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.*, 7 (1972) 177.
- Verő, J.*: A bolygóközi mágnes tér hatása a geomágneses tevékenységre II. *Fizikai Szemle* 28 (1978) 137.

## Légekőri elektromos és ionoszféra vizsgálatok, valamint gyakorlati alkalmazásuk lehetőségei

BENCZE PÁL\* – MÁRCZ FERENC\*

*A légekőri elektromos paraméterek (vezetőképesség, potenciálgradiens, vertikális áram) vizsgálataának gyakorlati vonatkozásait tekintve a levegő szennyezettségével és elektromos állapotának az emberi szervezetre gyakorolt hatásával kapcsolatos kutatások emelhetők ki. Ami az ionoszférára vonatkozó vizsgálatokat illeti, azok elsősorban a rövid hullámon történő távolsági hírközlés biztonságának növelését szolgálhatják.*

*Считая практические отношения исследований атмосферно-электрических параметров (проводимость, градиент потенциала, вертикальный ток) можно выделить испытание, связанное с загрязненностью воздуха и влияние электрического состояния на человеческий организм. Что касается ионосферных исследований, то они могут служить для увеличения безопасности дальней ВЧ передачи.*

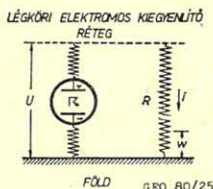
*Regarding the utility of the study of atmospheric electric parameters (conductivity, potential gradient, vertical current), the investigations connected with the contamination of air and the effect of the electrical state of the air on human organism may be emphasized. The study of the ionosphere can be used first of all to the increase of the security of long-distance HF telecommunication.*

Az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet Nagycenk melletti geofizikai obszervatóriumában 1960-ban kezdődött meg egyes légekőri elektromos paraméterek regisztrálása. Ezekhez járult 1966-tól a rádióhullámok ionoszférikus abszorpciójának mérése. Az obszervatóriumban végzett megfigyelésekkel párhuzamosan más obszervatóriumokban mért, más légekőri elektromos és ionoszféraparaméterekre vonatkozó adatokat is felhasználva az említett paraméterek idő- és térbeli változásának, azok törvényszerűségeinek megállapításával kapcsolatos vizsgálatok kezdődtek.

Az utóbbi években egyre inkább előtérbe került a tudományos kutatás eredményeinek gyakorlati hasznosítása. A következőkben ezen alapvetően *alapkutatás jellegű vizsgálatok* gyakorlatban való alkalmazásának lehetőségeivel foglalkozunk. Ahhoz, hogy fejtegetéseink érthetőkké váljanak, elkerülhetetlen néhány alapvető fogalom tisztázása. A légekőri elektromos teret a ma általánosan elfogadott felfogás [Wilson, 1920] szerint a globális zivatartevékenység hozza létre és tartja fenn a Föld felszíne és a felső légekőrben elképzelt kiegyenlítő réteg, mint egy gömbréteg kondenzátor két fegyverzete között [Israel és Lahmeyer, 1948] (1. ábra). Mivel a levegő elektromosan nem teljesen szigetelő, — a talajban és a levegőben levő radioaktív anyagok sugárzása, valamint a galaktikus eredetű, nagyenergiájú részecskék fluxusa (galaktikus kozmikus sugárzás) ionizálja azt — az elektromos tér a „szép idő”-vel rendelkező területeken függőleges irányban áramot hoz létre. Így jön létre a *globális légekőri elektromos áramkör*, amelynek elemei a *vezetőképesség, a térerősség (potenciálgradiens) és a vertikális áram*. A globális áramkörre jellemző törvényszerűségek a Föld felszínén végzett mérésekkel csak zavartalan helyen tanulmányozhatók. A légekőri elektromos

\* MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézete, Sopron

áramkör elemei közül ugyanis a vezetőképesség a helyi hatásokra nagyon érzékeny. Ezek többé-kevésbé a másik két áramköri elemben is tükröződnek. Ami a globális hatások, vagyis az alap kutatás szempontjából zavaró, az fontos az alkalmazott kutatás, a gyakorlati alkalmazás szempontjából. Ugyanis a levegő elektromos vezetőképessége az elektromos töltéssel rendelkező részecskék, az ionok koncentrációjával és mozgékonyaságával, tehát nagyságának reciprokértékével arányos. Ebből következik, hogy minél nagyobb a nagy mozgékonyaságú kis ionok koncentrációja, annál nagyobb a vezetőképesség és fordítva. A nagy mozgékonyaságú kis ionok koncentrációja azonban elsősorban a levegő szennyezettségének a függvénye. Minél szennyezettebb a levegő, annál nagyobb a kondenzációs magok koncentrációja, amelyek a kis ionokat befogva, azoknál kisebb mozgékonyaságú közepes, valamint nagy ionokat hoznak létre és így a levegő vezetőképessége is csökken. Mivel a légköri elektromos potenciálgradienst (a talaj felszíne felett) 1 m magasságú légoszlopon mérjük, annak nagysága a helyi hatásokra legkevésbé



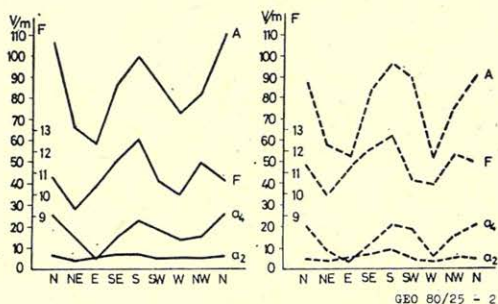
1. ábra. A légköri elektromos tér kialakulása (elvi vázlat)

Рис. 1. Образование атмосферно-электрического поля (принципиальная схема)

Fig. 1. The formation of the atmospheric electric field (principal sketch)

érzékeny vertikális áram és a vezetőképesség függvénye. Így a vezetőképességen keresztül az antropogén hatások a potenciálgradiensben is tükröződnek, mint azt a következő példák is mutatják. Ha a mérőhely távol van levegőt szennyező forrásoktól, akkor a nap azonos időszakában, szép idő esetén a potenciálgradiensnek a szél irányától és erősségétől gyakorlatilag függetlennek kell lennie. A 2. és 3. ábrán azoknak a vizsgálatoknak az eredményeit mutatjuk be, amelyeket a Nagycenk melletti obszervatóriumban regisztrált potenciálgradiens-értékekkel végeztünk [Márcz, 1965]. Látható, hogy északi és déli szélirány esetén a potenciálgradiens ingadozásai sokkal nagyobbak, mint keleti, vagy nyugati szélirány esetén. Ez arra enged következtetni, hogy a szennyező források hatása még egy olyan zavartalan környezetben működő megfigyelő hely adataiban is kimutatható, mint a Nagycenk melletti obszervatórium. Megállapításunkat alátámasztja a potenciálgradiens-ingadozások és a szél erőssége közötti összefüggésre vonatkozó vizsgálat eredménye is, amely szerint az ingadozások amplitúdója a szélerősség növekedésével nő. A szélerősség növekedésével ugyanis adott helyen távolabbi szennyező források is éreztetik hatásukat. Megjegyzendő, hogy a különböző eredetű légtömegekben a kondenzációs magok koncentrációja is különböző, tehát elektromos vezetőképességük is eltérő. A sarki eredetű légtömegek tisztábbak, bennük a kondenzációs magok koncentrációja kisebb, mint a trópusi eredetű légtömegekben, amelyek sok lebegő anyagot tartalmaznak. Így a fenti vizsgálatok eredményét a nagy kiterjedésű meteorológiai folyamatokkal kapcsolatos légtömegcsere is befolyásolja, ennek hatása azonban antropogén szennyező források jelenléte esetén háttérbe szorul. A levegő szennyezettségére utal pl. nagy városok közelében a légköri elektromos potenciálgradiens napi menete

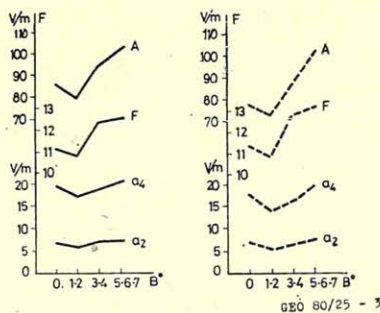
is, amely az ipari üzemek tevékenységének eredményeként megnövekedett levegő szennyezés következtében munkanapokon magasabb értékeket mutat, mint munkaszüneti napokon [Mühleisen, 1953] (4. ábra).



2. ábra. A légköri elektromos potenciálgradiens-ingadozások amplitúdója ( $A$ ), frekvenciája (szélsőértékek száma óránként) ( $F$ ), valamint a 6–12 és 24–60 perc periódusú változások átlagamplitúdói ( $a_2$ ,  $a_4$ ) középértékének változása a szél irányával (bal oldalon az összes, jobb oldalon a csapadék nélküli napok adatai alapján)

Рис. 2. Средняя величина амплитуды ( $A$ ), растоты ( $F$ ) флуктуаций градиента потенциала и амплитуд-вариаций с периодом 6–12 ( $a_2$ ) и 24–60 ( $a_4$ ) мин., как функция направления ветра (налево – на основании всех данных, направо – на основании данных дней без осадков)

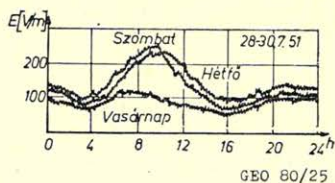
Fig. 2. The variation of the average amplitude ( $A$ ), frequency ( $F$ ) (the number of extremes per hour) of the atmospheric electric noise, as well as that of the mean amplitude of fluctuations of periods 6–12 ( $a_2$ ) and 24–60 ( $a_4$ ) min. with the direction of wind (left – based on all data, right – on the basis of days without precipitation)



3. ábra. A légköri elektromos potenciálgradiens-ingadozások amplitúdója ( $A$ ), frekvenciája (szélsőértékek száma óránként) ( $F$ ), valamint a 6–12 és 24–60 perc periódusú változások átlagamplitúdói ( $a_2$ ,  $a_4$ ) középértékének változása a szél erősségével (bal oldalon az összes, jobb oldalon a csapadék nélküli napok adatai alapján)

Рис. 3. Средняя величина амплитуды ( $A$ ), частоты ( $F$ ) флуктуаций градиента потенциала и амплитуд-вариаций с периодом 6–12 ( $a_2$ ) и 24–60 ( $a_4$ ) мин., как функция балла ветра (налево – на основании всех данных, направо – на основании данных дней без осадков)

Fig. 3. The variation of the average amplitude ( $A$ ), frequency ( $F$ ) (the number of extremes per hour) of the atmospheric electric noise, as well as that of the mean amplitude of fluctuations of periods 6–12 ( $a_2$ ) and 24–60 ( $a_4$ ) min with the intensity of wind (left based on all data, right – on the basis of days without precipitation)



4. ábra. A légköri elektromos potenciálgradiens napi változása munka- és munkaszüneti napokon  
 Рис. 4. Суточные вариации градиента потенциала атмосферно-электрического поля в рабочие и выходные дни

Fig. 4. The diurnal variation of the atmospheric electric potential gradient on working days and holidays

A légköri elektromos vizsgálatok végeredményben, mint arra még az alábbiakban röviden kitérünk, a mindennapi élet szempontjából azért fontosak, mert a levegő elektromos állapotának tapasztalat szerint élettani hatása van. Megfigyelések bizonyítják, hogy ha a levegő nem tartalmaz megfelelő számú kis iont (pl. a levegő szennyeződése, elhasználódása esetén, légkondicionáló berendezéssel ellátott helyiségekben), légzőszervi megbetegedések és egyéb, a munkavégzőképességet csökkentő hatások lépnek fel. A pontos hatásmechanizmus még nem tisztázott, de úgy látszik, az emberi szervezet a törzsfajlás folyamán hozzászokott és ez a jó „közérzethez” is szükséges, hogy az egységnyi térfogatú levegőben a sok elektromosan semleges molekulán kívül mindig van néhány ezer kis ion.

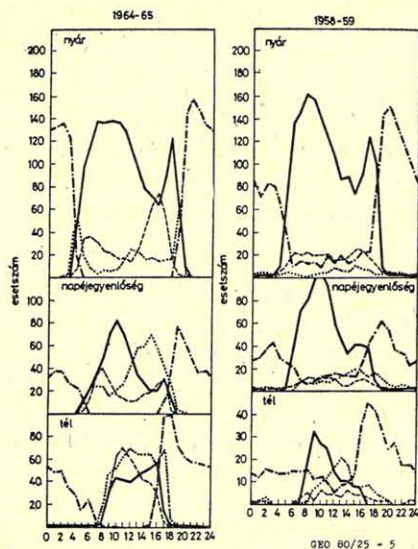
A Föld légkörében az ionoszféra a Nap hullámtermészetű, elektromágneses sugárzása és az eredetileg elektromosan semleges állapotú légkör közötti kölcsönhatás eredményeként jön létre. A sugárzás spektrumának 1300 Å-nél rövidebb hullámhosszúságú része a semleges gázkeveréket ionizálni képes és így mintegy 50 km felett a térfogategységben a magasság növekedésével az elektromosan töltött részecskék (elektronok, ionok) száma a semleges molekulákhoz, atomokhoz viszonyítva nő. Az alsó ionoszférának nevezett 50-től 150 km-ig terjedő magasságintervallumban az elektromos töltéssel rendelkező részecskék száma annyira kevés, hogy az elektronok mozgását mintegy 90 km alatt, az ionokét 140 km-nél kisebb magasságban, a semleges részecskékkel való gyakori ütközés következtében a semleges közeg mozgása is befolyásolja. Mivel az elektronok, ionok mozgását eredendően a mángeses tér határozza meg, az eredő mozgás a két erő viszonyának megfelelően alakul.

A légkörnek ebben a magasságtartományában a semleges gázkeverék mozgása gyakorlatilag a vízszintes síkra korlátozódik. Nyugati szél esetén a földmágneses tér az ionokat felfelé, keleti szél lefelé való mozgásra kényszeríti. Az északi, illetve déli szélkomponens a függőleges mozgás szempontjából alárendelt szerepet játszik.

A légkör felszínközeli részében időjárási frontokkal, orografikus akadályokkal kapcsolatban olyan légköri hullámok keletkeznek, amelyek az alsó ionoszféráig is eljuthatnak, mivel függőleges irányban alig szenvednek csillapítást. Függőleges hullámhosszuk 10–20 km, vízszintes hullámhosszukhoz (100–500 km) viszonyítva kicsi. A kis függőleges hullámhossznak az a következménye, hogy a mozgás iránya kis függőleges távolságon belül ellentétessé válik, szélnyírás jön létre. Az ilyen irányváltással jellemzett zónák magassága a hullám terjedése következtében változik. Mivel az előbb elmondottak szerint az ionok mozgását a semleges

gázkeverék áramlása és a földmágneses tér együttesen alakítja ki, ott, ahol a semleges áramlás iránya a hullámmozgás eredményeként a magasság növekedésével nyugatiról keletre változik, az ionkoncentráció növekedése jön létre. Az alsó rétegben fellépő nyugati szél ugyanis felfelé, a felső rétegben uralkodó keleti szél lefelé való mozgást kelt, melynek eredményeként az eredeti, a Nap ionizáló sugárzásának hatására kialakult ionsűrűség-eloszlás megváltozik, az irányváltás magasságában rétegződés jön létre. Az ily módon közepes földrajzi szélességeken a szélnyírás következtében létrejött réteget *szporadikus E rétegnek* nevezik. A réteg kialakulásához vezető folyamat természetéből adódik, hogy annak vastagsága az állandó ionoszféra rétegekéhez viszonyítva nagyon kicsi, 1–3 km. A háttéreléktronsűrűségnél nagyobb elektronsűrűség ilyen kis vastagságú rétegben azonban csak akkor maradhat fenn, ha abban az ellentétes előjelű töltések egyesülése, a töltéssemlegesítődés igen lassú. Ez a körülmény olyan ionok jelenlétét teszi szükségessé, amelyeknek a rekombinációs tényezője nagyon kicsi. Ilyen tulajdonsággal az alkáli földfémek (Mg, Ca), továbbá a vas és alumínium ionjai rendelkeznek, melyek meteoritek felületéről elgőzölögve a légkör 90–120 km közötti részében kerülnek a levegőbe.

A szporadikus jelző az előfordulásra utal. Ugyanis a *szporadikus E réteg* keletkezésének nem mindig vannak meg a feltételei. A réteg jelenléte viszont az alkalmi hűrosszeköttetést illetően nagy gyakorlati jelentőséggel bír. A rádióhullámok terjedését a levegőben a térfogategységben levő elektronok száma szabályozza. Az elektronkoncentráció határozza meg azt a frekvenciát, amellyel a töltéseket tartalmazó térrész töltéseit pl. elektromos tér segítségével szétválasztva, az elektromos tér megszűnését követően a különböző előjelű töltéscsoportok az egyensúlyi helyzetnek megfelelő semleges állapot körül rezegnének. Ennek az önrezgésnek a frekvenciáját plazmafrekvenciának nevezzük. A rádióhullámok az ionoszférában abban a magasságban verődnek vissza, ahol a rádióhullám frekvenciája az elektronkoncentráció által meghatározott plazmafrekvenciával egyenlő. Tehát minél nagyobb az elektronkoncentráció egy adott magasságban, annál nagyobb annak a rádióhullámnak a frekvenciája, amely ebből a magasságból még visszaverődik. A még visszavert legnagyobb frekvencia a beesési szögnek is függvénye, a beesési szög növekedésével ez a frekvencia nő. Normális körülmények esetén az elektronsűrűség az ionoszférában nem ér el akkora értékeket, hogy az ultrarövidhullámok visszaverődéséhez szükséges feltételek teljesülnének. Ezért nem lehet az ionoszférát ebben a sávban már távolsági összeköttetések létrehozására felhasználni és szükséges a kölcsönös láthatóság adó és vevő között. Mivel a szélnyírás eredményeként közepes földrajzi szélességen létrejövő szporadikus E rétegben az elektronkoncentráció a háttéreléktronsűrűség 5–10-szeresét is elérheti, a szporadikus E réteg biztosíthatja az ultrarövidhullámok visszaverődését is. Így válnak láthatóvá pl. távoli televízió adóállomások adásai. Ha tehát sikerül a *szporadikus E réteg* pontos keletkezési mechanizmusát, szerkezetét tisztázni, idő- és térbeli előfordulásának törvényszerűségeit megállapítani, fellépése előrejelezhetővé válik. Az előrejelezhetőség a közvetítő lánc nélküli távolsági összeköttetés lehetőségét jelentené ezeken a frekvenciákon is. Az 5. ábrán a különböző magasságokban jelentkező *szporadikus E rétegek* gyakoriságának napi változását látjuk a békéscsabai ionoszféraszondázó állomás adatai alapján [Benceze, 1969]. Látható, hogy a szporadikus réteg típusától eltekintve az előfordulás valószínűsége a napkelte és napnyugta körüli órákban a legkisebb. Ezen kívül a délutáni órákban is jelentkezik egy kisebb minimum. A gyakoriság napi változása nem mutat összefüggést a naptevékenységgel. Az évszakos vál-



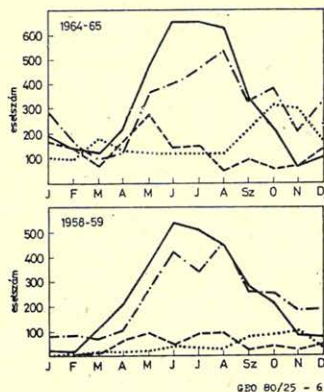
5. ábra. A különböző magasságban megjelenő sporadikus E réteg gyakoriságának napi változása (... E réteg maximuma (~110 km) alatt, \_\_\_\_\_ az E réteg maximuma körül, - - - - az E réteg maximuma felett, - . - . - éjszakai típus)

Рис. 5. Суточные вариации частоты появления спорадического слоя E в различных высотах (..... ниже максимума (~110 км) \_\_\_\_\_ около максимума, - - - - выше максимума слоя E и - . - . - ночной тип)

Fig. 5. Diurnal variation of the occurrence frequency of sporadic E layers appearing at different altitudes (.... below the E layer maximum (~110 km), \_\_\_\_\_ at the height of the maximum of the E layer, - - - - above the E layer maximum, - . - . - night type)

tozást tekintve (6. ábra) a sporadikus E réteg a nyári hónapokban a leggyakoribb (Bence, 1969). Gyakorisága augusztustól fokozatosan csökken és februárban, márciusban a legkisebb. A gyakoriság évszakos változása azt mutatja, hogy a *sporadikus E réteg* előfordulásának valószínűsége a naptevékenység növekedésével valamelyest csökken. A fentiek figyelembevételével tehát a *sporadikus E réteg* a napkelte és napnyugta körüli időszakok kivételével a nyári hónapokban használható fel a legnagyobb gyakorisággal ultrarövid hullámon történő távolsági összeköttetések létesítésére.

Az összeköttetés létesítése szempontjából a *sporadikus E réteg* szerkezete sem közömbös. Minél homogénebb vízszintes irányban az elektronsűrűség-eloszlás, annál megbízhatóbb az összeköttetés. A sporadikus E réteg szerkezete célszerűen a rádióhullámok inkoherens szóródásának módszerével tanulmányozható. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a réteg részleges átlátszóságát rádióhullámok szempontjából az abban fellépő elektronsűrűség-irregularitások okozzák. A légköri gravitációs hullám hatására az irányváltás magasságában kialakuló elektronsűrűség-maximumot „modulálhatja” más légköri hullámmal kapcsolatos függőleges, vagy vízszintes szélnyírás. Irregularitásokat okozhatnak az elektronsűrűség-eloszlásban az áramlási sebesség gyors térbeli változása esetén fellépő instabilitások, különböző méretű örvények keletkezése. Az egyenetlen elektronsűrűség-eloszlás további forrása lehet a sporadikus E réteg fennmaradásához szükséges, meteoritikus eredetű fématomok egyenetlen eloszlása.



6. ábra. A különböző magasságban megjelenő sporadikus E réteg gyakoriságának évszakos változása (.... E réteg maximuma (~110 km) alatt, — az E réteg maximuma körül, — — — az E réteg maximuma felett, - . - . - éjszakai típus).

Рис. 6. Сезонные вариации частоты появления спорадического слоя E в различных высотах (.....ниже максимума (~110 км), — около максимума, - - - - выше максимума слоя E и - . - . - - ночной тип)

Fig. 6. Seasonal variation of the occurrence frequency of sporadic E layers appearing at different altitudes (.... below the E layer maximum (~110 km), — at the height of the maximum of the E layer, - - - - above the E layer maximum, - . - . - night type)

#### IRODALOM

Bencze, P.: Szporadikus E ionizáció közepes földrajzi szélességen. Geofizikai Közlemények XVIII. (1969), 47–57.

Israel, H. und Lahmeyer, G.: Studien über das atmosphärische Potentialgefälle 1. Das Auswahlprinzip der luftelektrisch „ungestörten Tage”. Terr. Magn. 53 (1948), 373–386.

Márcz, F.: A lélegektromos nyugtalanság és a meteorológiai elemek összefüggése a Nagycenk melletti geofizikai obszervatórium megfigyeléseiben. MTA Műsz. Tud. Oszt. Közleményei, 35 (1965), 155–165.

Mühleisen, R.: Die luftelektrischen Elemente im Grosstadtbereich, Untersuchung der Schwankungen und Extremwerte des Potentialgradienten. Z. f. Geophys. 19 (1953), 142–160.

Wilson, C. T. R.: Investigations on lightning discharges and on the electric field of thunderstorms. Phil. Trans. Roy. Soc. London (A) 221 (1920), 73–115.

## Egyesületi hírek

Egyesületünk 1981. évi tisztújító közgyűlése alkalmából alábbiakban néhány jellemző statisztikai adatot ismertetünk lapunk olvasóival (a közgyűlésre készült beszámoló alapján).

*Az egyesületi taglétszám alakulása a beszámolási időszakban*

Évszám	1978.	1979.	1980.
Létszám	820	820	752
Budapest	589	573	495
Vidék	231	247	257



Az Egyesületnek jelenleg 752 tagja van.  
A tagság területi megoszlásai

Alföldi csoport	95 fő
Mecseki csoport	113 fő
Soproni csoport	25 fő
Zala megyei csoport	24 fő
Vidéken összesen:	257 fő
Budapesti, ill. budapest intézményekhez tartozó	495 fő

A nagyobb budapesti intézményeknél dolgozó tagok munkahely szerinti megoszlása:

OKGT	20 fő
GKV	110 fő
ELGI	153 fő
ELTE	15 fő
SZKFI	20 fő
Egyéb	177 fő

*1980. évi nagyrendezvények*

Dátum	Hely	Megnevezés	Elő- adás	Részt- vevő	Megjegyzés
II. 21 – 22.	Visegrád	Ifjúsági Napok	6	84	
V. 8.	Budapest	Orsz. Elnökségi Ülés		42	
VI. 12 – 13.	Szeged	Geofizikai Robbantási napok	7	53	Közösen az OMBKE-val
VI. 4 – 6.	Budapest	Alkalmazott geotermika c. tanf.	7	49	Mélyfúrási Geof. Szako.
VIII. 21 – 29.	Budapest	ESG – ESC nemzetközi konferencia	580	800	
		Kiállítás	–	800	
IX. 16 – 20.	Székes- fehérvár	25. Geofizikai Szimp. Geofizikai műszerbemutató	70	400	
			–	400	
XI. 11.	Budapest	Egyed László emlékére rendezett előadóülés	5	36	
XII. 18.	Budapest	Orsz. Elnökségi Ülés		48	

A közgyűlés határozatairól a következő számunkban adunk olvasóinknak tájékoztatást.

# T á j é k o z t a t ó

## a Nemzetközi Földmágnességi és Aeronómiai Asszociáció (IAGA) „Elektromágneses indukció (Föld és Hold)” c. 1980. évi isztambuli workshopjáról

Az IAGA I-3 munkacsoportja: „Elektromágneses indukció és elektromos vezetőképesség (Föld és Hold)” Edinburgh (1972), Ottawa (1974), Sopron (1976) és Murnau (1978) után 1980. augusztus 17-21. között az isztambuli Egyetem Geofizikai Tanszékén tartotta 5. Workshopját. A workshopot a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió Nemzetközi Földmágnességi és Aeronómiai Asszociációja, valamint az isztambuli egyetem földtudományi fakultása közösen szervezték és 17 országból 95 kutató vett részt rajta. Az európaiak a többi kontinensbelihez képest túlsúlyban voltak.

A Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió utazási költséggel támogatta a workshop néhány résztvevőjét.

A workshopot az isztambuli egyetem, valamint a török UGGI Nemzeti Bizottság képviselői nyitották meg üdvözölve a résztvevőket.

A tudományos program 9 félnapos ülésből állt, amelyekből az utolsót az ún. summarizer-ek (összefoglalók) jelentései, valamint az elnöki megjegyzések töltötték ki.

A workshop programja a következő tématerületekre terjedt ki:

1. Ásványok és kőzetek elektromos sajátosságai a földkéreg és a felsőköpeny fizikai állapotának megfelelően
2. Geofizikai kutatások elektromágneses módszerekkel
3. Észlelési technika szárazföldön és a tengeren
4. Direkt és inverz problémák az elektromágneses kutatásokban
5. Az átviteli függvények időbeli változásai (Szeizmikus-mágneses és vulkanikus-mágneses hatások)
6. Elektromos vezetőképesség-eloszlás az alsó kéreg részben
7. Elektromágneses indukció az óceánokban.

65 előadás hangzott el, amelyek közül 11 meghívott review-előadás volt.

Az egyik esti ülésen megvitatták az ELAS-projekt (asztronszféra elektromos vezetőképessége terén elért újabb eredményeket. Az ELAS-projektot az IAGA 6. számú határozatával hívta életre 1977-ben Seattle-ban. Egy másik esti ülésen a török geofizikusok tájékoztatót adtak az elektromágneses földrengés-előrejelzésben elért eredményeikről, amelyeket az anatóliai törési zóna és Dél-Európa földrengéses területein nyertek.

A munkacsoport ügyrendi üléseket is tartott, amelyeken ajánlásokat fogadott el a következő workshop helyére és tematikájára vonatkozóan. Tárgyalt az IAGA edinburghi általános ülészakán a munkacsoport részéről megrendezésre kerülő 3 konferenciáról, valamint a review-előadások publikálásáról a Geophysical Survey-ben stb. stb.

A review előadások közül Hintze és Parkhomenko az ásványok és kőzetek elektromos sajátosságait ismertette. Hintze két területet emelt ki: a bazaltok, valamint a felsőköpeny ásványainak laboratóriumi vizsgálatát. Parkhomenko a laboratóriumi eredményeket transzformálta elméletileg lehetséges geoelektromos mélységi szelvényekbe.

Strangway review-ja számot adott a 10 Hz-10 kHz (ELF-VLF frekvencia tartomány) közötti frekvencia-tartományban végzett magnetotellurikus szondázások sokoldalú alkalmazhatóságáról.

Mosnier az elektromágneses érzékelő rendszerek főbb típusainak leírása után review-jában kihangsúlyozta, hogy egyetlen készülék, beleértve a SQUID-et sem alkalmas valamennyi probléma megoldására. A mérési technikáról szóló második review-ben Fischer részletes leírást adott a SQUID magnetométerről, valamint az ún. Remote Reference Method-ról, mint a lokális zaj elnyomásának leghatásosabb eszközéről. Rámutattak a közvetlen terepi MT adatfeldolgozás hasznosságára.

Tarlowski review-jában számot adott arról, hogy a fejlődés a direkt és az inverz problémák megoldása terén az elektromágneses kutatásokban meglehetősen lassú és az elmúlt két év során jelentős új gondolat nem merült fel.

Három review előadás foglalkozott az átviteli függvények időbeli változásával. Beamish „Az elektromágneses átviteli függvények időbeli függősége” címen, Rossignol „A geodimanikai jelenségeket kísérő mágneses tér anomáliák” címen és Kharin „Az átviteli függvények időbeli vál-

tozásai" címen tartott előadást. Ezekben az előadásokban számos példa segítségével jól szemléltették az elektromágneses térváltozások „előfutár” jellegét, különös tekintettel a földrengések előfordulására. Nagy jelentősége volt ennek a témakörnek a vendéglátó Törökország számára.

Gregori igen átfogó review-jában, számítógéppel gyűjtött adataival, rámutatott az alsó földkéregben az elektromos vezetőképesség szerkezetének az egész Földre kiterjedő sajátosságaira és utalt annak jelentőségére a Föld fizikájában.

Fonarev főként a sarki óceán területén úszó jégtáblákon végzett elektromágneses kutatások eredményeivel foglalkozott review-jában.

A török vendéglátók, a helyi szervezőbizottság és ennek elnöke, M. A. Isikara professzor színes programmal gondoskodott a vendégek kikapcsolódásáról is. Ezek közé tartozott egy egy-napos kirándulás Isztambul környékére, egy ún. „török este”, valamint az isztambuli egyetem fogadása. Ezek alkalmat szolgáltattak arra, hogy a résztvevők között emberi és baráti kapcsolatok elmélyüljenek.

*Ádám Antal*  
az IAGA I-3 munkacsoport  
elnöke

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Адам, А., Кардеван, П., Кормош, И., Надь, З., Понграц, Я, Регени, П., Сабадвари, Л., Сарка, Л., Зимани, И.:</i> Аналоговое моделирование для исследования геоэлектрических методов в Геодезическом и Геофизическом Исследовательском Институте Академии Наук ВНР .....	41
<i>Й. Ц. Милетич, Й Верё:</i> Применение результатов обсерваторных исследований в геоэлектрической разведке .....	62
<i>П. Бенце, Ф. Меру:</i> Атмосферно-электрические и ионосферные исследования и возможности их практического применения .....	72
Новости в овшества Венгерских Геофизиков.....	61, 78

## CONTENTS

<i>Ádám, A., Kardeván, P., Kormos, I., Nagy, Z., Pongrácz, J., Régeni, P., Szabadvári, L., Szarka, L., Zimányi, I.:</i> Analogue model for studying geoelectric methods in the Geodetic and Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences ...	41
<i>J. Cz. Miletits, J. Verő:</i> On the use of geomagnetic observatory results in geoelectric field work .....	62
<i>P. Bencze, F. Márcz:</i> Atmospheric electric and ionospheric investigations, as well as the possibilities of their practical application .....	72
News about the Association .....	61, 78

### MAGYAR GEOFIZIKA

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

Kiadja a Lapkiadó Vállalat, 1073 Budapest, Lenin körút 9-11. Telefon: 429-350. Levélcím: 1906 Budapest. Pf. 223

Felelős kiadó: Síklósi Norbert igazgató

81.155. Állami Nyomda, Budapest. Felelős vezető: Bresztovszky Péter igazgató

Terjeszti a MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

Egyesületi tagoknak tagdíj ellenében

Megjelenik évente hatszor

**Index: 26 507**

