

A gerjesztett potenciál-jelenségek analitikus vizsgálata*

DANKHÁZI GYULA – VERŐ LÁSZLÓ**

Az utóbbi időben a szakirodalom egyre többet foglalkozik a GP jelalak analízisével. A vizsgálatok célja általában az, hogy a GP mérések során nyerhető információkat – pl. a lecsengő görbe korai és késői szakasza, a frekvencia függvényében ábrázolt impedancia és fázisszögkarakterisztika – milyen módon lehet a gerjeszthető kőzetek térbeli elhelyezkedésének, kiterjedésének, az érc mennyiségi és minőségi jellemzőinek meghatározásánál hasznosítani. Az előadás ismerteti azokat az alapösszefüggéseket, amelyeket az ELGI-ben dolgoztak ki. Abból az alapvető feltételezésből indulunk ki, hogy a kőzetek két csoportra oszthatók elektromos tulajdonságaik szerint, és pedíg vezetőkre és szigetelőkre. Ezek is további két csoportra oszthatók, mégpedig tiszta vezetőkre (ilyenek pl. a tökéletes tisztaságú színesfémek) és polarizációs vezetőkre (ilyenek a szennyezett fémek, elektrolitok, kőzetek stb.), szigetelők esetében pedig vákuumra és dielektrikumra. Ennek megfelelően a kőzetet átjolyó áram négy komponensből tevődik össze, egy tiszta vezetőkben folyó áramból, egy szennyezett vezetőkben, a tiszta vezetést csökkentő polarizációs áramból a vákuumban folyó eltolódási áramból és az eltolódási áramot növelő és a dielektrikum polarizációjából, adódó polarizációs áramból. Az előadásban rámutattunk arra, hogy ez az utóbbi két áram a GP anomália kialakulásánál nem játszik szerepet, mivel a GP jelenséget alapvetően a vezetők polarizációs árama okozza. Ebből az elgondolásból kiindulva az előadás ismerteti azokat az elvi megfontolásokat, amelyek segítségével idealizált esetekre, labor-mérésekkel igazolható számszerű összefüggéseket kaptunk.

Az előadás befejezésül ismerteti annak a műszernek a főbb jellemzőit, amellyel a labor- és terepi méréseket végeztük, majd az elméleti úton kapott eredményeket összeveti a kőzetmintákon, illetve terepen kapott mérési eredményekkel, ezenkívül a további kutatásokra vonatkozó megjegyzést tesz.

Работы по методу ВП должны были бы давать более значительный объем информации о геометрических и вещественных характеристиках оруденения. Все же это затрудняется за счет отсутствия обобщенной теории о возникновении явления ВП, но облегчается благодаря повышению обьему информации, получаемой при применении современных электронных устройств и современных методов обработки данных.

К упомянутой теории можно прийти при помощи эмпирических соотношений, основывающихся на полевых и лабораторных исследованиях, но и по пути, разработанному ЭЛГИ. Для упрощенной модели орудененных горных пород найдены основные соотношения, позволяющие получить при помощи двух параметров, зависящих от вещественного состава, полное математическое описание явления ВП для областей как частот, так и времен. Найденные соотношения были подтверждены и количественно, наблюдениями, проведенными в соответствии с условиями идеализации. Теорию необходимо и можно усовершенствовать для интерпретации результатов наблюдений, проводимых при более сложных условиях.

В ЭЛГИ при работах по разработке аппаратуры – как наземной, так и скважинной, – учитываются требования, предъявляемые рассматриваемой теорией.

It would be desirable to obtain from induced potential observations as many informations as possible, concerning geometrical and material characteristics of mineralization. This latter is made difficult by the fact that we do not possess a comprehensive theory of the origin of IP phenomenon, but on the other hand it is made easier through the significantly increasing information content as a result of application of modern electronics and data processing methods.

The theory sought for can be approached by means of empirical connections based on field and laboratory measurements, but also through a procedure applied at the Eötvös Loránd Geophysical Institute. For a simplified model of the ore containing rock we succeeded in obtaining basic connections giving a complete mathematical description of the IP phenomenon by means of two parameters depending on material character, and this for the frequency- and time-domain as well. An expansion of the theory for explaining observations made under more complicated circumstances is necessary and it can be made without major difficulties.

* Elhangzott 1974. októberben a XIX. Szimpóziumon Torunban.

** Dankházi Gyula – Verő László; Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet.

With instrumental development works of the Eötvös Loránd Geophysical Institute — both as regards the construction of surface and borehole apparatuses — the requirements raised by the theory had been taken into account.

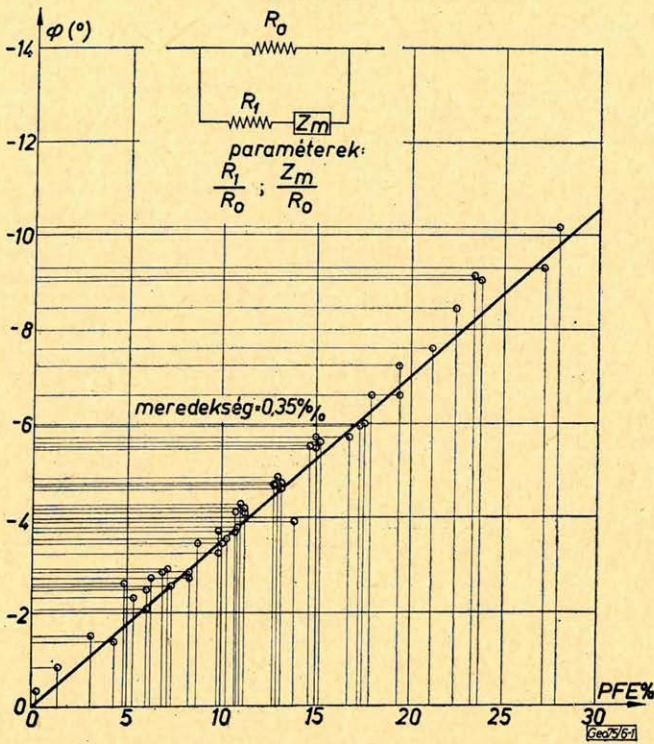
A GP mérések első terepi alkalmazása óta eltelt lassan már három évtizednyi időszakban az értelmezés alapjául szinte kizárólag a különböző, elsődlegesen is nevezhető paraméterek szolgáltak. Ezeknek nagyságát a mérés folyamán közvetlenül meghatározhatták, és ezen értékek szelvényeken vagy térképeken való ábrázolása legtöbb esetben a feldolgozás befejező lépése is volt. Gyakran ez a módszer is megfelelő eredményeket adott, számos probléma azonban megoldatlan maradt. Kevés információt kaptunk az ércesedés olyan anyagi jellemzőiről mint például: milyen érc fordulnak elő és milyen formában, mekkora a koncentráció. Sőt a geometriai jellegű adatok sem határozhatók meg mindig elegendő pontossággal. Természetes, hogy szinte az első terepi mérésekkel egyidőben megindultak az interpretáció tökéletesítésére irányuló törekvések, bár Dieter, Paterson és Grant még néhány évvel ezelőtt is siralmasan kevésnek tartotta az értelmezés érdekében tett erőfeszítéseket. Az adatfeldolgozás korszerű módszerei azóta számos eredményt hoztak, főleg a geometriai adatok pontosabbá tételében. Ennek oka részben az, hogy — analógiák alapján — más hatószámítási módszerek eredményei is átvehetőek, de talán ennél is jelentősebb, hogy ezekhez a vizsgálatokhoz nincs szükség a GP jelenség fizikai-kémiai alapjainak ismeretére.

Nyilvánvalóan más a helyzet az anyagi jellemzőkkel. Ahhoz, hogy ilyen másodlagos paramétereket is bevonhassunk az értelmezési folyamatba, két dologra van feltétlenül szükség: olyan mérési adatokra, amelyek tartalmazzák a kívánt információt, valamint elméletileg megalapozott feldolgozási módszerre.

A szokásos GP paraméterekből (PFE , η , M) még semmiféle feldolgozási módszerrel sem lehet az anyagi minőségre következtetni. Ehhez ugyanis a teljes frekvenciaspektrum, vagy a teljes lecsengési görbe ismerete szükséges, mint azt már Grant is megállapította. Ezek viszont két tetszőleges frekvenciához tartozó ellenállásból, illetve egyetlen időponthoz tartozó amplitúdóból, vagy egy integrálközéptértékből nem határozhatók meg. Mind a time-, mind a frequency-domain-ben szükség van tehát a mérések információtartalmának növelésére, és ami ezzel jár, a mérőműszerek specifikációs adatainak nagymértékű javítására és a feldolgozási módszerek tökéletesítésére. Ez a kettő szoros kölcsönhatásban van egymással, hiszen a jelenleg használt GP paraméterek a mérőműszer jellemzőitől is függenek.

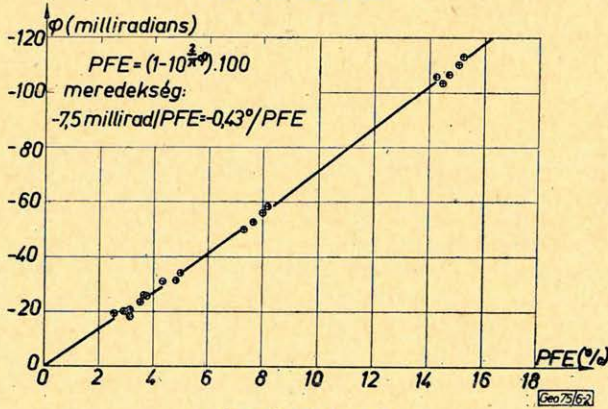
A frequency-domain mérésekben talán a fázisszög szerepének tisztázása jelenti a legfőbb újdonságot. Ha sikerül a referenciajel problémáját szinkron detektálással vagy rádiós átvitelrel megoldani, a terepi rutinmérésekre elegendő lehet egyetlen frekvencia használata is. Ezt számos empirikus összefüggés igazolja. Scott, Telford és Collett $-0,31\%$ arányosságot talált a $\varphi_{0,1}$ és a $PFE_{0,1}^1$ értékek között (1. ábra). Elméleti vizsgálataikhoz Madden és Cantwell helyettesítő áramkört vették alapnak, de az áramkör paramétereire más, nagyságrendileg sem azonos értékeket kaptak. Sauck, Zonge és Sumner egy dekádnyi frekvencia-különbségre megállapított összefüggése — megfelelő átalakítás után — szintén $-0,31\%$ értéket ad. Van Voorhis, Nelson és Drake szintén a $PFE_{0,1}^1$ és φ összefüggését vizsgálta terepen, és a 2. ábrán látható összefüggést kapta.

SCOTT et al.



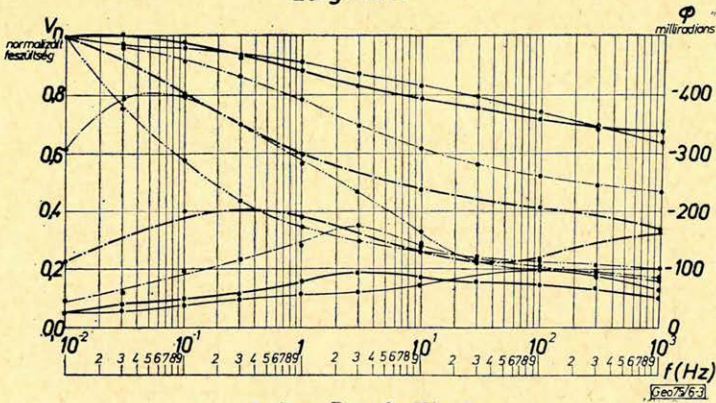
1. ábra Puc. 1. Fig. 1.

Van Voorhis et al.

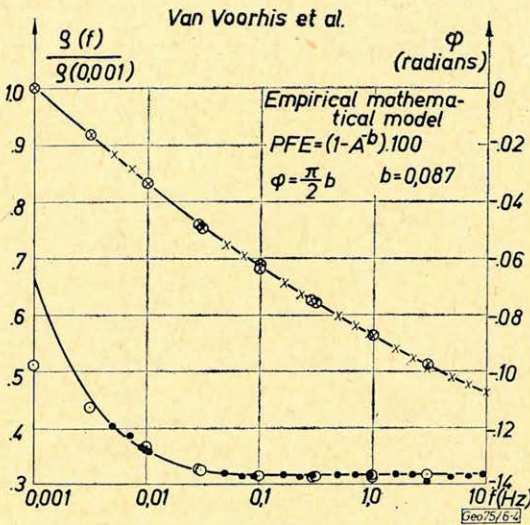


2. ábra Puc. 2. Fig. 2.

A GP jelenség fizikai-kémiai modelljéről sokkal többet árul el a fázisszög-frekvencia, vagy ellenállás-frekvencia összefüggés vizsgálata széles frekvencia-tartományban. Zonge, Sauck és Sumner laboratóriumi méréseinek néhány eredménye látható a 3. ábrán. Ezeket a karakterisztikákat igen eltérő közettani összetételű mintákon kapták. Van Voorhis, Nelson és Drake eredményei láthatók a 4. ábrán. Az empirikus matematikai modell alacsony frekvencián már



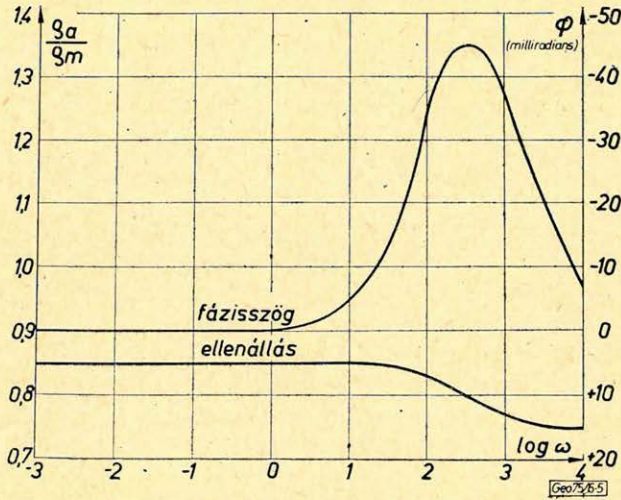
3. ábra Puc. 3. Fig. 3.



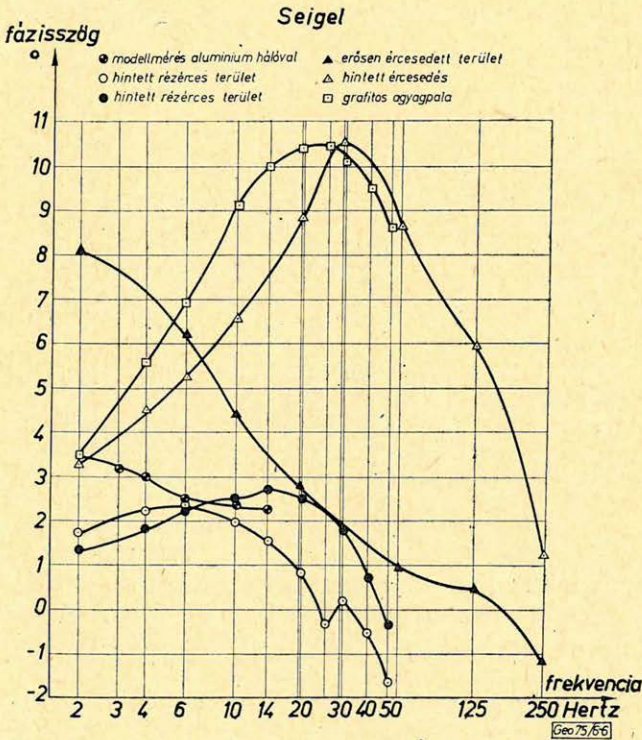
4. ábra Puc. 4. Fig. 4.

nem ad kielégítő eredményt. Ugyanezek a szerzők a GP fizikai modelljeként a vezető szemcséket tartalmazó közetmátrix ellenállását megadó Maxwell-féle képlet és a veszteséges kapacitás modell kombinációját veszik fel, és ebből legegyszerűbb esetben az 5. ábra ellenállás-frekvencia és fázisszög-frekvencia karakterisztikáit kapták. Seigel a mágneses gerjesztett polarizációs módszerrel vizsgálta a fázisszögnek a frekvenciától való függését. Úgy találta, hogy nagyon jól vezető testeknél a MIP fázisszög maximuma alacsony frekvenciáknál van, kevésbé vezető testeknél viszont nagyobb frekvenciákon (6. ábra).

A time-domain-ben kétségkívül a lecsengési görbe korai, 10 msec nagyságrendű késleltetési idővel felvett szakasza és a teljes lecsengési görbe jelalak vizsgálata jelenti a legnagyobb előrelépést. Hutchins – és vele teljesen azonos eljárást követve Phillips és Richards – 15 msec késleltetéssel mért lecsengési görbéket bontott tényezőkre. Úgy találták, hogy a GP effektus leírható egy vagy két exponenciális függvényvel, ha a lecsengési görbét már megszabadították az elektromágneses csatolás vagy az áramelektrodák polarizációjának hatá-



5. ábra Puc. 5. Fig. 5.

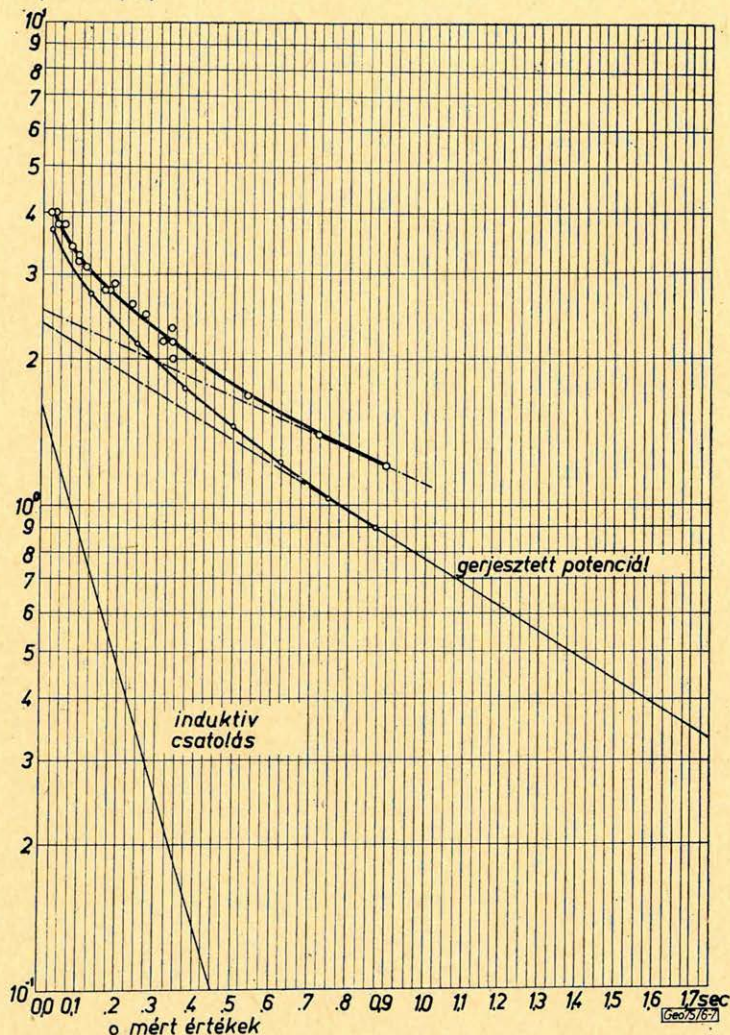


6. ábra Puc. 6. Fig. 6.

sától (7. ábra). A közölt adatok száma még elég kicsiny ahhoz, hogy pontosabb jelalak-jellemzéssel (amplitúdó és időállandó) is kísérletezhessünk.

normalizált
amplitudo (%)

Hutchins



7. ábra

Puc. 7.

Fig. 7.

A korántsem teljes és nem minden célzatosság nélkül összeválogatott eredmények ismertetésének a célja az volt, hogy bebizonyítsuk, az ELGI-ben kidolgozott elmélet nem mond ellent minden tapasztalati ténynek és más úton kapott elméleti eredménynek. Ugyanakkor a legújabb vizsgálatok pontosabb felvilágosítást adnak a torzító hatásokról is, például az ellenállás-inhomogenitások spektrális torzításáról, vagy az áramelektroda polarizációs hatásáról. Ezeket egy általánosságra igényt tartó elmélet nyilván nem veheti figyelembe, ezekről nem adhat számot.

Az előrebecsített mérési adatokból már sejthető, hogy milyen fázisszög-frekvencia, ellenállás-frekvencia karakterisztikát, milyen lecsengési görbe alakot várunk, és az nyilvánvaló, hogy a két, elvileg ekvivalens mérési technika alapösszefüggéseit azonos fizikai modelltől kiindulva kell megkapnunk. Meg-

fontolásainkban mindaddig, amíg lehetséges volt, csak elvileg is igazolható tényeket vettünk figyelembe, illetve csak általánosan elfogadott tapasztalati tényekre támaszkodtunk.

A félvezetőktől, anizotróp anyagoktól eltekintve az áramvezetés három módon történhet: vezetőkben az Ohm-törvénynek megfelelően, vákuumban eltolódási áramról beszélünk, szigetelő dielektrikumban pedig egy polarizációs áram is fellép, amely a vákuumbeli áramot a dielektromos állandó arányában megnöveli. Mindhárom áram szerepel a Maxwell-egyenletek következő összefüggésében:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{P}}{\partial t}, \quad (1)$$

ahol a jelölések a szokásosak és mindent SI mértékrendszerben adunk meg. A *GP* mérések frekvencia-tartományában a két differenciális áram elhanyagolható, más szóval a *GP* jelenség a kvázistacionárius Maxwell-egyenletekkel írható le:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{j}_0 & \operatorname{rot} \vec{E} &= -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \\ \operatorname{div} \vec{E} &= 0 & \operatorname{div} \vec{H} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Ezek azonban semmiféle utalást sem tartalmaznak a *GP*-re, így az irodalmi és saját tapasztalatunk alapján is arra a következtetésre jutottunk, hogy a fenti Maxwell-egyenletek kiegészítésre szorulnak. Erre vonatkozó elképzelésünket a következő modellel szemléltethetjük. Híg elektrolitba szórjunk néhány térfogatszázaléknyi, mikroszkopikus méretű fémreszeléket, és biztosítsuk homogén eloszlását. Mérjük meg az elektrolit fajlagos ellenállását a fémszemcsék bevitele előtt, majd utána, először egyenárammal, majd növekvő frekvenciájú váltóárammal. Mint közismert, az elektrolit fajlagos ellenállása a fémszelék bevitelével megnőtt, és a váltóáram frekvenciájának növelésével csökken, majd $10 - 100 \text{ Hz}$ körül már megközelíti a tiszta elektrolit fajlagos ellenállását. A jelenség magyarázata elképzelésünk szerint az, hogy a fémszemcsék körül kialakuló elektródpotenciál potenciálvölgyet alakít ki, amelyet az elektrolit ionjai kitöltöttek. A szabad ionok száma csökken, megnő az *elektrolit + fém* rendszer fajlagos ellenállása. Külső, állandó tér hatására a potenciálvölgyek eltorzulnak, váltakozó térben pedig a kötött ionok állandó átrendeződése miatt látszólag megnő a szabad ionok száma, csökken a fajlagos ellenállás. A vezetésben tehát szabad és kötött, elektromos töltéssel rendelkező részecskék is szerepet játszanak, de a *GP* jelenség csak a kötött részecskékhez kapcsolódik. Az (1) egyenletet tehát a következőképpen kell kiegészítenünk:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j}_0 - \vec{j}_p + \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{P}}{\partial t}, \quad (3)$$

ahol \vec{j}_0 a teljes, szabad és kötött ionokra is vonatkozó áramsűrűsége, \vec{j}_p pedig a kötött ionok polarizációs áramsűrűsége. A negatív előjel azt fejezi ki, hogy az ionok kötődése révén az áram csökken. Az egyenlet jobb oldalának két utolsó tagját a továbbiakban már elhagyjuk.

A Maxwell-egyenletek ilyen bővítésének elvi helyességét egy korábbi közleményünkben bebizonyítottuk, mikor kimutattuk, hogy a két áram különb-

ségének divergenciája azonosan nulla. Más szavakkal ez azt jelenti, hogy a GP kialakulása és megszűnése sem energiatermeléssel, sem energiavesztéssel nem jár.

Vizsgáljuk meg, sikerült-e a \vec{j}_p polarizációs áram bevezetésével közelebb jutni a GP kvantitatív értelmezéséhez! Az érces közet modellje homogén és izotróp, csak olyan mennyiségű fémszemcsét tartalmaz, hogy az egyes szemcsék potenciálterei nem kerülhetnek kölcsönhatásba. Ha \vec{j} -vel jelöljük a közetben ténylegesen folyó áramot, akkor

$$\vec{j} = \vec{j}_0 - \vec{j}_p. \quad (4)$$

Mindkét oldalt szorozva ϱ_0 -lal, a kötött és szabad ionok összegéhez rendelhető fajlagos ellenállással

$$\varrho_0 \vec{j} = \varrho_0 \vec{j}_0 - \varrho_0 \vec{j}_p, \quad \text{azaz} \quad \vec{D} = \vec{E} - \vec{P}. \quad (5)$$

A dielektrikumokra vonatkozó hasonló egyenlet:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} - \vec{P} = \varepsilon_0 \varepsilon_d \vec{E}. \quad (6)$$

A hasonlóság így is szembetűnő, de még nyilvánvalóbbá válik, ha a \vec{j}_0 kis értékei mellett általánosan elfogadott érvényű

$$\vec{j}_p = -\kappa_c \vec{j}_0 \quad (7)$$

összefüggést is felhasználjuk, ahol κ_c arányossági tényező. Ezt is beszorozva ϱ_0 -lal:

$$\varrho_0 \vec{j}_p = -\kappa_c \varrho_0 \vec{j}_0, \quad \text{azaz} \quad \vec{P} = -\kappa_c \vec{E}. \quad (8)$$

Ugyanez dielektrikumban:

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \kappa_d \vec{E}. \quad (9)$$

ahol κ_d a dielektrikum polarizációs szuszceptibilitása. A két egyenletpár közti hasonlóság szembetűnő. Az előjelbeli eltérés abból adódik, hogy a dielektrikum bevitele a vákuumhoz képest megnövekedett töltésszámot jelent, a fémszemcsék viszont ionokat kötnek le. Eltérés mutatkozik abban is, hogy csak egyik egyenletben szerepel ε_0 . Ez a térorók közötti nagyságrendi eltérésekre, és látszólag dimenzióbeli ellentmondásra is utal. Ez az ellentmondás azonban feloldódik, ha meggondoljuk, hogy teljesen önkényes a dimenzió hozzárendelése ε_0 -hoz, hiszen ε_d -hez, a dielektromos állandóhoz is rendelhetjük ε_0 dimenzióját. Ekkor κ_d is dimenziót kap, ezzel a látszólagos ellentmondás feloldódik. Az analógiák alapján a κ állandót a vezető polarizációs szuszceptibilitásának nevezük, dimenziója F/m .

Az előző összefüggésekből könnyen belátható, hogy

$$\kappa_c = \frac{\varrho - \varrho_0}{\varrho}, \quad \varrho_0 \equiv \varrho \varepsilon_{c0}, \quad (10)$$

ahol ϱ (nem ohmm dimenziójú) a szabad ionokhoz rendelhető fajlagos ellenállás. ε_{c0} pedig a nem polarizálható vezető dielektromos állandója, dimenziója

F/m , értéke pedig azonosan 1. Ez az egyenlet alakilag teljesen azonos a FE jól ismert definíciójával. Egyszerűsített közetmodellünket tehát két fizikai paraméterrel jellemezhetjük, mégpedig a fajlagos ellenállással és a polarizációs szuszceptibilitással.

A továbbiakban keressünk kvantitatív kapcsolatot ezen paraméterek, a gerjesztő áram és a gerjesztett potenciál között.

Jelöljük a polarizációból eredő töltéssűrűséget δ -val, erre fennáll, hogy

$$\operatorname{div} \vec{P} = -\delta, \quad (11)$$

továbbá a kontinuitási egyenlet is:

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{j}_0 = 0. \quad (12)$$

Egyszerű behelyettesítésekkel a két egyenletből a következő alakú differenciál-egyenletet kapjuk:

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} + \frac{1}{\varrho_0 \kappa_c} \delta = 0. \quad (13)$$

Ez az egyenlet írja le a polarizációs töltéssűrűség időbeli változását. Ha felhasználunk még két ismert összefüggést, mégpedig

$$\Phi = - \iiint_v \frac{\operatorname{div} \vec{P}}{R} dv \quad (14)$$

és

$$\operatorname{div} \vec{j} = 0, \quad (15)$$

ahol φ a potenciál, R pedig a polarizálódó részecskék és a mérési pont közötti távolság, akkor a gerjesztett potenciál időbeli lefutását leíró differenciálegyenlethez jutunk, amely time-domain esetén a következő alakú.

$$\frac{d\Phi}{dt} + \frac{1}{\varrho_0 \kappa_c} \Phi = \frac{I}{4\pi r \varepsilon_c}. \quad (16)$$

Ennek megoldása a gerjesztő áram bekapcsolásakor.

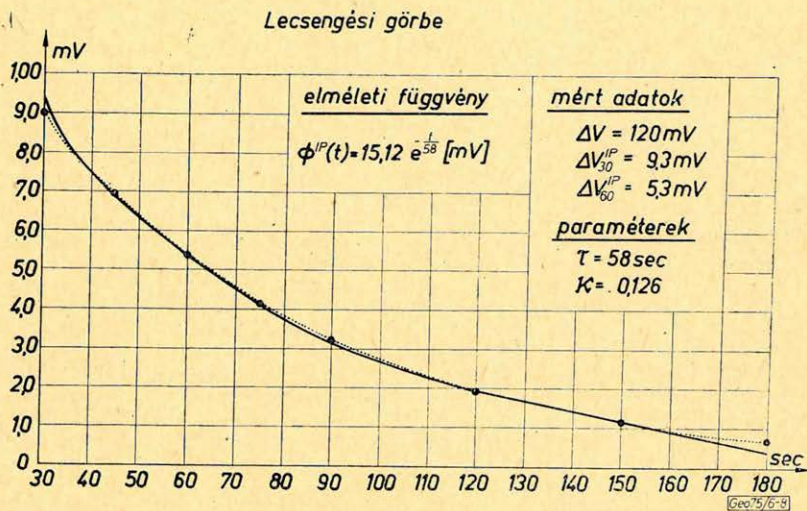
$$\varphi = \frac{I \varrho_0}{4\pi r \varepsilon_c} \left(1 - \kappa_c e^{-\frac{t}{\varrho_0 \kappa_c}} \right). \quad (17)$$

kikapcsolásakor pedig

$$\varphi = \frac{I \varrho_0 \kappa_c}{4\pi r \varepsilon_c} e^{-\frac{t}{\varrho_0 \kappa_c}}. \quad (18)$$

Az egyenletekben r a mérőpont és a gerjesztő pontszerű áramforrás közötti távolság, I a gerjesztő áram, κ_c pedig a vezető polarizációs állandója ($\varepsilon_c = 1 - \kappa_c$). A (17) a tapasztalattal egyezően azt mutatja, hogy polarizálható közeg esetén a potenciál csak hosszabb, mintegy $5 \varrho_0 \kappa_c$ -nyi idő után veszi fel állandósult értékét, kikapcsoláskor pedig κ_c -ed részére esik, majd a bekapcsolási jelenséggel azonos exponenciális mentén közelíti meg a nulla értéket. A

8. ábrán a laboratóriumi mérési eredményt és az ebből számított paramétereket mutatjuk be.



8. ábra

Puc. 8.

Fig. 8.

A frequency-domain-re vonatkozó differenciálegyenlet:

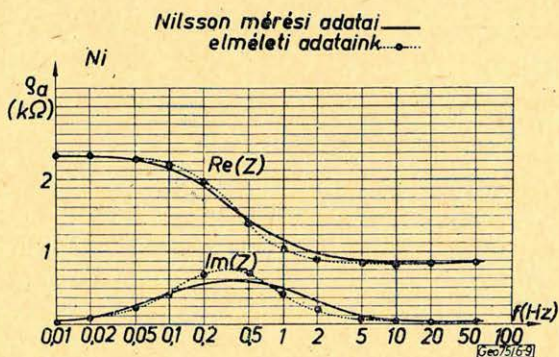
$$\frac{d\Phi}{dt} + \frac{1}{\rho_0 \kappa_c} = \frac{I\nu}{4\pi r \epsilon_c} \sin \omega t. \quad (19)$$

Ennek megoldása, ha a bekapcsolásnál fellépő bekapcsolási jelenségektől eltekintünk:

$$\Phi = \frac{I\nu \rho_0}{4\pi r \epsilon_c} \left(\frac{1 + \kappa_c^2 \epsilon_c^2 \rho_0^2 \omega^2}{1 + \kappa_c^2 \rho_0^2 \omega^2} \right)^{1/2} \sin(\omega t + \varphi), \quad (20)$$

illetve

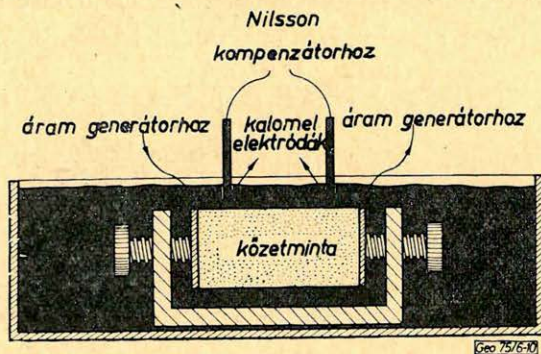
$$\varphi = -\arctg \frac{\rho_0 \omega \kappa_c^2}{1 + \epsilon_c \rho_0^2 \omega^2 \kappa_c^2}. \quad (21)$$



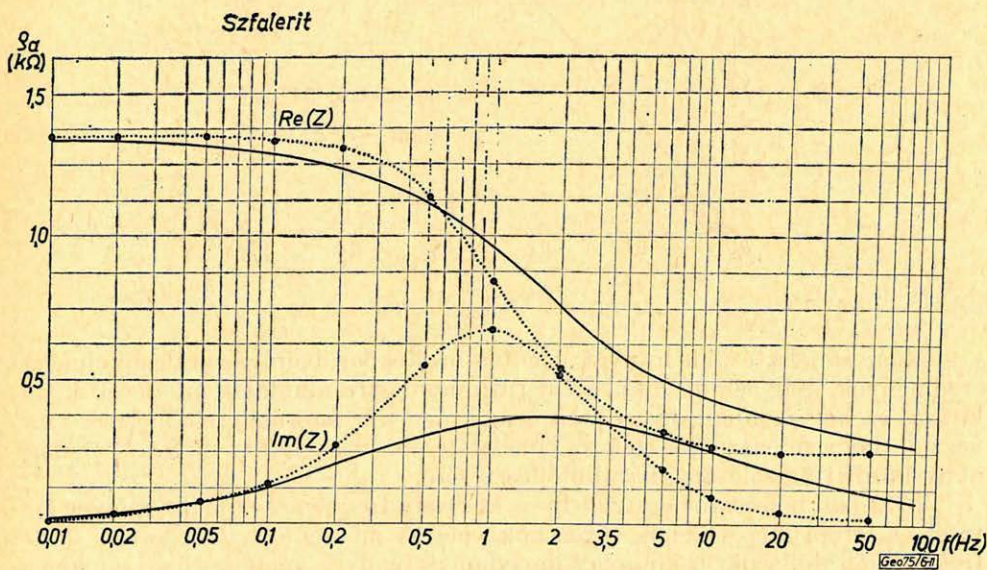
9. ábra Puc. 9. Fig. 9.

Ezen formulák helyességét kvalitatíve a már bemutatott eredmények is igazolják, Nils-son 1971-ben publikált kísérle-
tei azonban már számszerű bizonyítékot is szolgáltatnak, mind az impedancia-frekven-
cia, mind a fázisszög-frek-
vencia összefüggés alakjára vonatkozólag. A 9. ábrán Nils-son mérési eredményei, vala-
mint a (20) és (21) képlet alap-
ján számolt elméleti karakte-
risztikák láthatók.

Ilyen jó egyezés csak az ideális körülmények között végzett méréseknél tapasztalható. Az ideális körülmények Nilsson kísérleteiben két dolgot is jelentettek. Először is azt, hogy a polarizálható test a legegyszerűbb alakzat, egyetlen lemez volt, és jelentette azt is, hogy az egész mérőberendezés geometriája is a legegyszerűbb volt. A kőzetmintákon végzett mérés (10. ábra) mindkét ideális feltételt nélkülözte, így nem lehet egyértelműen eldönteni, hogy az elmélettel csak kvalitatíve összhangban levő eredményeket a kőzetminta összetettebb GP effektusa, vagy csupán a bonyolultabb geometria okozta (11. ábra). Általános problémája ez a kőzetmintákon végzett méréseknek, mivel nincs tisztázva, hogy maga a mérőberendezés mennyiben befolyásolja a mérési eredményeket.



10. ábra Puc. 10. Fig. 10.

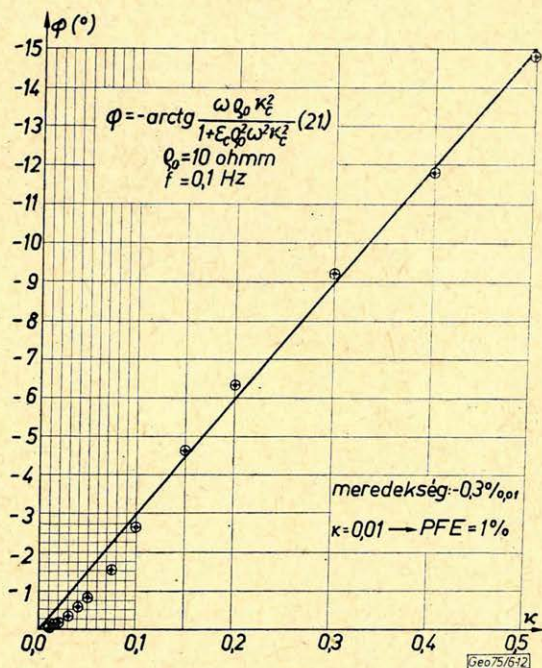


11. ábra Puc. 11. Fig. 11.

A frekvencia-karakterisztikák esetében közvetlenül látható a mérési eredmények és az elmélet egyezése. A fázisszög- PFE , illetve a $\varphi = \kappa_c$ összefüggésre ez már nem igaz, hiszen a (21) képlet nem egyszerű, lineáris kapcsolat. Ha azonban felvesszük κ_0 és ω értékét, κ_c -t pedig változtatjuk, akkor a 12. ábrán látható összefüggést kapjuk. A görbe meredeksége $\sim -0,3^\circ/\%$.

Nilsson már említett, kőzetmintákon végzett mérései, de saját terepi méréseink is azt mutatták, hogy az egyszerű modellhez képest a GP jelenség

(például az ellenállás-frekvencia függvény inflexiós pontja) egy dekáddal magasabb frekvenciákon jelentkezik. Erre utal az is, hogy Scott, Telford és Sumner adataival viszonylag alacsony, $\rho_0 = 10 \text{ ohmm}$ mellett kaptunk szám-szerű egyezést. Az eltérés magyarázatául azt tételezzük fel, hogy az ércszemcsék potenciálterei közt kölcsönhatás lép fel. Az elmélet továbbfejlesztésével ezt is le kell írni elméletileg, majd kísérletileg igazolni kell.



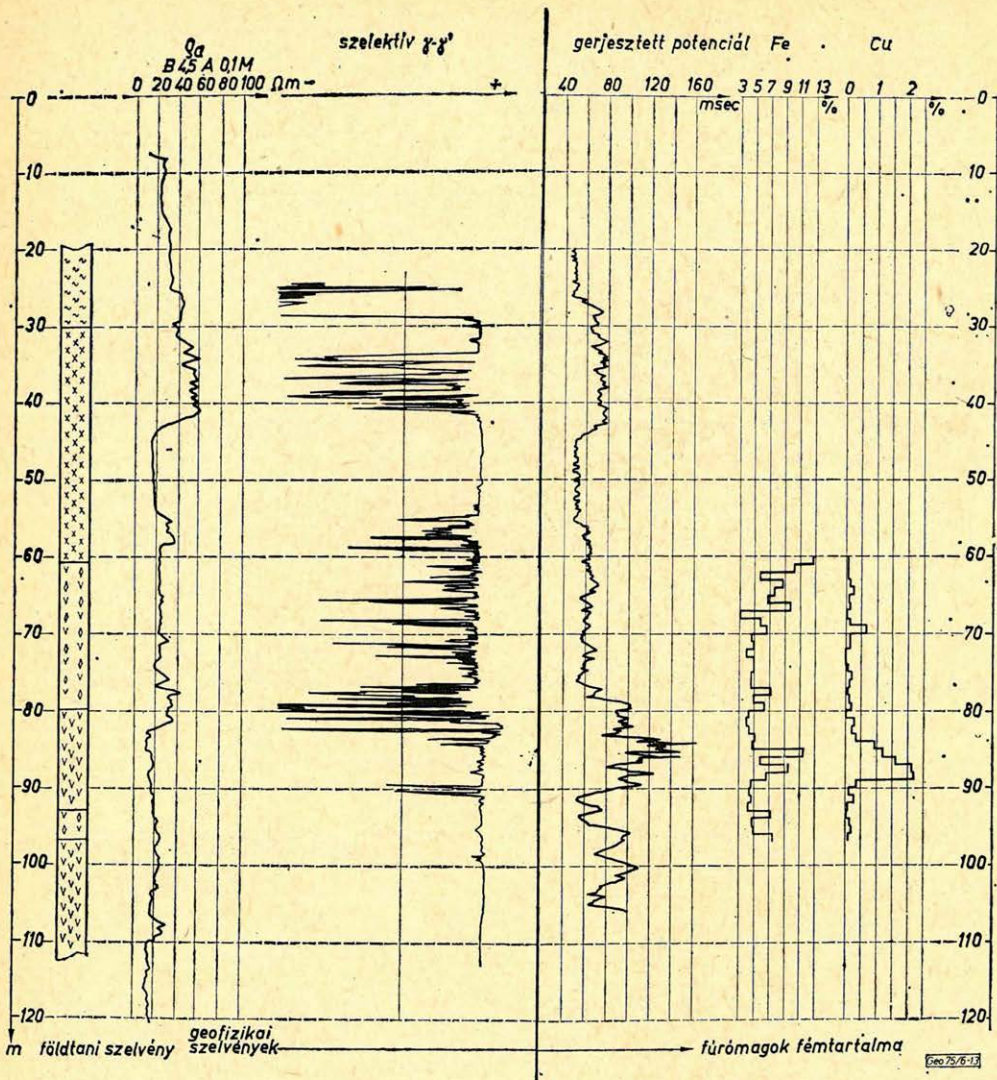
12. ábra – Puc 12. – Fig 12.

Műszerfejlesztésünk irányát jelentős mértékben befolyásolták az elméleti eredmények. Bár célunk elsősorban rutinmérésekre alkalmas műszerek kialakítása, ezeket azonban olyan pontosságra, olyan paraméterek mérésére tervezzük, hogy felhasználhassuk az elmélet terepi, vagy laboratóriumi körülmények közötti igazolására, továbbfejlesztésére.

1973-ban befejeztük egy 200 W-os kísérleti frequency-domain műszer építését és terepi méréseket is végeztünk vele. A műszer 0,1, 0,5, 2,0 és 10 Hz frekvencián dolgozik, a komplex impedancia reális és imaginárius komponenseit méri.

Ugyancsak 1973-ban fejeztük be egy time-domain karottázsműszer építését. Elektronikus megoldással gondoskodtunk a mérés automatizálásáról, így folytonos szelvényt tudunk felvenni vele. Több fúrásban is kipróbáltuk, a 13. ábrán egy érckutató fúrásban felvett GP szelvényt láthatunk az ellenállás és szelektív $\gamma - \gamma$, valamint ércföldtani szelvénnel együtt. Jól látható, hogy a GP szelvény milyen határozottan detektálja az érces képződményeket.

A felszíni és karottázs műszereket azonos műföldön hitelesítjük polarizációs szuszceptibilitásra (κ_c), így a fúrólukbeli mérések igen sok hasznos információt szolgáltatnak a felszíni mérések számára is.



13. ábra - Puc 13. - Fig 13.

Mint az előadásból, de gyakorlati tevékenységünkéből is kiderül, azoknak a véleményével értünk egyet, akik feltétlenül szükségesnek tartják a szélessávú frekvenciaspektrum, vagy a lecsengési görbe minél nagyobb intervallumának mérését. Ezen adatok birtokában a legegyszerűbb esetben már következtetni tudunk a ható anyagi minőségére. Igyekezünk hasonló megoldást találni bonyolultabb, a valóságot jobban megközelítő modellekre is, de tudjuk, hogy ez a GP méréseket befolyásoló igen sok tényező miatt nehéz feladat lesz.

IRODALOM

- [1] Dankházi Gy.: Theoretical aspects of the induced polarization (Geofizikai Közlemények, XXI. 1-4. 59-79.)
- [2] Dieter K., Paterson N. R., Grant F. S.: IP and resistivity type curves for three-dimensional bodies (Geophysics, XXXIV. 4. 615-632)

- [3] *Grant F. S.*: On the need for measuring IP decay curves in situ (Preprint)
- [4] *Hutchins, R. W.*: A new induced polarization instrument (Preprint)
- [5] *Nilsson B.*: A new combined resistivity- and induced polarization instrument and a new theory of the induced polarization phenomenon (Geoexploration IX. 1. 35 – 34)
- [6] *Phillips W. J., Richards W. E.*: A comparison of transient decay curves obtained with different electrode arrays and configurations over a mineralized zone (Geophysical Prospecting XXII. 1. 22 – 53)
- [7] *Scott H. J., Telford W., Collett L. S.*: IP field phase measurements (Preprint) 41st Annual International SEG Meeting, Houston.
- [8] *Seigel, H. O.*: The magnetic induced polarization (MIP) method (Geophysics, XXXIX. 3. 321 – 339.)
- [9] *Van Voorhis G. D., Nelson P. H., Drake T. L.*: Complex resistivity spectra of porphyry copper mineralization (Geophysics XXXVIII. 1. 49 – 60.)
- [10] *Zonge K. L., Sauck W. A., Sumner J. S.*: Comparison of time, frequency and phase measurements in induced polarization (Geophysical Prospecting XX. 3. 626 – 648.)

EGYESÜLETI HÍREK

SZÉNÁS GYÖRGY

1921—1974.

1974. év végén fiatalon, távozott sorainkból Szénás György, a Magyar Geofizikusok Egyesülete tagja, az Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet főgeológusa.

Szénás György kiváló geológus és geofizikus volt, kedvvel és hozzáértéssel olvasta a hazai és szinte az összes külföldi szakirodalmat. Doktori disszertációjában rámutatott a geofizikai kutatásban rejlő lehetőségekre, és az addigi földtani és geofizikai eredményeket felhasználva, tisztázta hazánk geofizikai térképezésének földtani alapjait. Szándékában volt az újabb geofizikai és földtani kutatások, valamint az új tektonikai szemléletek figyelembevételével korszerű egyetemi geológiai tankönyvet írni, amelynek vázlatát már el is készítette.

Kiváló könnyed stílusa, nagy nyelvismerete, rutinos szerkesztővé tette és az Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet kiadványainak szerkesztésében múlthatatlan érdemeket szerzett.

Munkásságát jellemzi, hogy a Kárpát-medencéről írt monográfiája szinte az egész földrész szakembereinek érdeklődését felkeltette.

Hosszabb időn át dolgozott Kínában, előadott a magyar egyetemeken kívül a montreáli egyetemen egy évig meghívott tanárként. Nagy érdemeket szerzett a modern geofizikai-geológiai szemlélet kialakításában. Korai halála egy alkotó élet teljében levő munkatársunk munkája végére tett pontot.