

A felszíni elektromágneses kutató módszerek helyzete és fejlődése, alkalmazásuk újabb eredményei a hazai szénhidrogén-kutatásban*

NAGY ZOLTÁN**

A Geofizikai Kutató Vállalatnál a geoelektromos módszerek alkalmazási területén a kutatási eszközök korszerűsítése, a digitális jelegrögzítésű terepi mérések kizárólagos alkalmazása alapvető változást jelentett. A geoelektromos mélykutatásnak a többéves fejlesztés eredményeként kialakult jelenlegi profilját az elektromágneses módszerek alkalmazása képezi, amely a magnetotellurikus szondázásokat (MTSZ) és a mesterséges úton gerjesztett elektromágneses térrel végzett frekvenciaszondázásokat (FRSZ) önállóan vagy együttesen használja a kutatási feladatok megoldásához.

Az előadás áttekinti a mélykutatásban alkalmazott elektromágneses módszerek nemzetközi és hazai fejlődését. Az 1980-ig kialakított módszertani elvek alkalmazását és eredményeit konkrét példákon mutatja be.

В Геофизическом Предприятии в области применения методов полевой электроразведки основным изменением было усовершенствование полевых станций, применение в полевых работах исключительно цифровой регистрации.

Сложившийся в результате многолетнего развития глубинной электроразведки современный профиль образовался под влиянием применения электромагнитного способа полевой разведки, в котором для решения задач разведки самостоятельно или совместно используются магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) и частотное зондирование, проводимое возбуждением искусственного электромагнитного поля (ЧЗ).

В статье проводится обзорение развития электромагнитных методов в Венгрии и других странах в глубинной разведке. Результаты применения разработанной до 1980 года методики показываються на конкретных примерах.

Significant changes were attained in the utilization of geoelectric methods at the Geophysical Exploration Company by the modernization of equipment including sole employment of digital data acquisition instruments.

Several years of developments in geoelectrical surveys for exploring greater depth zones led to the greater utilization of electromagnetic methods that includes magnetotelluric (MT) and frequency deep sounding (FS) methods and their combinations.

The paper gives description about the developments of electromagnetic methods abroad and in Hungary. Data acquisition technology and means developed up to 1980 at the Geophysical Exploration Company are discussed, and actual examples are cited.

Bevezetés

Az elmúlt évtizedben a geoelektromos kutatómódszerek reneszánsza az egész világon észrevehető volt. Ebben főként az elektromágneses mérések jutottak szerephez. Míg korábban – főleg Nyugaton – a szénhidrogénkutatásban a szeizmika és a gravitáció mellett a geoelektromos kutatómódszerek szerepe és részaránya nem volt jelentős, addig az utóbbi években a helyzet változásának lehetünk tanúi.

* A dolgozat a szerzőnek 1979. május 31-én, az MGE 11. Vándorgyűlésén, Miskolcon, valamint az MGE Felszíni Szakosztályának 1980. május 29-i és 1981. január 26-i előadói ülésén megtartott előadásait összegzi.

** Geofizikai Kutató Vállalat, Budapest.

Elektromágneses kutatómódszereket újabban a direkt szénhidrogénkutatásban is alkalmazznak.

A geoelektromos kutatómódszerek az elmúlt évtizedben a hazai szénhidrogénkutatásban is sokat fejlődtek, mind a műszerezettség és a mérés technika színvonalát, mind a kutatási metodika és az interpretáció módszertani alapjait tekintve.

A hazai szénhidrogénkutatásban az elektromágneses módszerek alkalmazása, a terepi digitális jelrögzítésre, illetve a számítógépes adatfeldolgozás és értelmezés eszközeire alapozva, új lehetőségeket nyitott meg a geoelektromos mérések számára, ez természetesen kihat az alkalmazási feladatkörükre is.

A fejlődés egyes állomásairól az elmúlt évek folyamán több esetben mutattak be részeredményeket különböző szakmai fórumon – nemzetközi geofizikai szimpóziumokon, hazai vándorgyűléseken és egyesületi előadásokon – a Geofizikai Kutató Vállalat geoelektromos kutatásokkal foglalkozó szakemberei.

A jelen dolgozat célja az, hogy bemutassa a VI. ötéves terv kezdetére elért hazai fejlődési színvonalat, és rámutasson azokra az alkalmazási lehetőségekre, amelyekben az elektromágneses módszerek eredményesen segíthetik a szénhidrogénkutatás geofizikai feladatainak teljesítését.

A szakterület külföldi fejlődésének útját figyelve, látjuk az eddig elért hazai eredmények mellett a még megoldatlan feladatokat is, részben a megoldás célszerű útjával együtt.

A továbbfejlődés útjának megválasztását a várható eredményeknek, a szükséges ráfordításoknak és a műszaki-gazdasági helyzet adottságainak összehangolt feltételei fogják behatárolni.

A szénhidrogénkutatás eredményeit gyarapító további helyes útirány megválasztásához, egyrészt a szakterület művelőire vár a megoldható, vagy bizonyos technikai felszereltség esetén vállalható feladatok további tisztázása. Másrészt a társterületek kutatóin, az eredmények potenciális felhasználóinak számító geofizikus-geológus szakembereken, valamint a kutatások irányítóin is múlik a geoelektromos mérésekkel korszerű színvonalon nyújtott információk hatékony felhasználása olyan értelemben is, hogy az adott kutatási volumen felhasználását a legcélszerűbb feladatokra irányíthassuk.

1. A hazai szénhidrogénkutatás geoelektromos módszerei és feladataik a hatvanas években, a Geofizikai Kutató Vállalatnál

A 70-es évek kezdetén megváltoztak azok a feltételek, melyek szerint korábban kialakítottuk – egy-elő kutatási koncepció keretében – az 1963/64-ben megindított geoelektromos mérési tevékenységünk módszertani alapelveit.

A geoelektromos tevékenység kezdetben a szeizmikus mérések tervezéséhez szolgáltatott előzetes geofizikai adatokat, majd egyre inkább a szeizmikus mérések értelmezéséhez, esetenként a szeizmikus adatok kiegészítéséhez adott információkat. Ezt a megállapítást már a GKV jogelődje, az OKGT GKŰ megalapításának 20 éves évfordulójára 1972-ben kiadott monográfiában is megtaláljuk [1].

A kezdeti tellurikus (*TE*) mérések az egyenáramú dipol mélyszondázásokkal (*DE*) kombinálva, majd a hatvanas évek második felében magnetotellurikus mérésekkel (*MT*) kiegészítve, részben a még szeizmikusan felmértelen területek megismerését vitték előre új eredményekkel. Másrészt a geoelektromos mérések a szeizmikus mérésekkel egyidejűleg alkalmazva, a komplex geofizikai kutatást

voltak hivatva szolgálni, azon felismerések alapján, hogy azonos geofizikai objektum többoldalú és reálisabb megismerésére, jobb kutatási eredményekre vezethet a különböző geofizikai módszerek adatainak integrálása az értelmezésben. [2], [3], [4], [5],

A bugyi – nagykátai rögvonulat térségeinek, a Jászságnak és a makói árok térségeinek geoelektromos kutatása ilyen módszertani elvek alapján történt. Hasonló koncepció alapján folytak ebben az időben a MÁELGI geoelektromos mérései is, főleg a Tiszavidék és a Tiszántúl térségeiben. [6], [7], [8], [9]

A GKV emellett geoelektromos mérési kapacitásának jelentős részét fordította a szeizmikus terepi technológia előkészítéséhez és operatív irányításához történő adatszerzésre, *VESZ* módszerrel, *AMNB* elrendezésű sekélyszondázásokkal, amelyek a szeizmikus vonalak robbantópontjain történtek, megelőzve a szeizmikus méréseket. Ez a tevékenység az 1967 – 1972 közötti időszakot jellemezte. [1], [10].

Az említett mérések technikai hátterét ebben az időszakban hazai gyártmányú műszerek és mérőberendezések képezték, amelyek elsősorban fotoregisztációs jelrögzítést biztosítottak. A mérőeszközök stabilitása és pontossága megfelelt a módszerekkel szemben támasztható követelményeknek.

Egy szakterület fejlődésében mindig több-kevesebb mozgató szerepe van az olyan, belső indítékokból eredő szakmai fejlődési igényeknek is, amelyek forrása rendszerint a szakterület nemzetközi fejlődési trendjének és megjelenő új eredményeinek megfigyelése, valamint a hazai alkalmazásuk lehetőségeinek és feltételeinek, illetve a várható eredményeknek elemző vizsgálata.

1970 körül, a geoelektromos szakterület általános fejlődése alapján, a Geofizikai Kutató Vállalatnál folyó geoelektromos kutatás továbbfejlesztésére is kialakultak a belső, szakmai indítékok, azonban a továbbfejlődést elindító tényleges változások egyéb, részben spontán ható külső tényezők egyidejű megjelenéséhez köthetők.

2. *A geoelektromos szakterület általános fejlődési tendenciái a hatvanas évek végétől napjainkig*

A hatvanas évek közepétől – amikor a hazai szénhidrogénkutatásban a *TE+DE+MT* mérések együtteséből kialakított geoelektromos kutatási rendszerre még a tapasztalatszerzés időszaka volt jellemző – nemzetközi téren a geoelektromos szakterület fejlődésében az elektromágneses kutatómódszerek kerültek előtérbe. Míg korábban a geoelektromos módszerek Nyugaton általában a nem szénhidrogénkutatáshoz kapcsolódó geofizikai tevékenységben terjedtek el, addig a hatvanas évek második felében napvilágot látott információk alapján, az elektromágneses módszerekben Nyugaton is a szénhidrogénkutatás új, potenciális eszközét kezdték látni.

Ezeket a véleményeket nem kismértékben azokra az eredményekre alapozták, amelyeket a hatvanas években a geoelektromos módszerek alkalmazásával a Szovjetunióban értek el. [11], [17], [18]

Az elektromágneses módszerek rendkívül sokféle változata volt és van fejlődésben. Ezek közül bennünket elsősorban a mélykutatás – és így a szénhidrogénkutatás – számára lehetőségeket nyújtó változatok érdekelnek. Ezek a *magnetotellurikus szondázások (MTSZ)*, amelyek a Föld természetes eredetű elektromágneses terének oszcillációit használják fel hullámforrásként; valamint a *mesterségesen létrehozott EM térrel végzett mélyszondázások* két változata:

1. az időtartományban tranziens EM teret használó ún. „*térbeállítás*” (EMT) módszere és

2. a frekvenciatartományban végzett elektromágneses szondázás, vagy rövidebben „*frekvenciaszondázás*” ($FRSZ$) módszere.

Le kell rögzítenünk, hogy ezeknek a módszereknek elvi alapjai már korábban is ismertek voltak *Cagniard*, *Tyihonov* stb. alapvető munkái nyomán. [14], [12], [13], [15].

Az alkalmazott geofizika számára azonban csak a hatvanas évek végén váltak külföldön is, korszerű eszközháttérrel, kidolgozott metodikával és kutatási tapasztalatokkal rendelkező kutatóeszközökké ezek a módszerek. [16], [18], [19], [20], [21].

Itt természetesen olyan komplex, módszertani fejlődésre kell gondolnunk, amely a méréstechnika és a számítástechnika rohamos fejlődésének új eredményeit felhasználva, teljesen új, korszerű adatgyűjtést és adatfeldolgozást eredményezett.

A szűk frekvencia és dinamika tartománnyal, kedvezőtlen jel/zaj viszonyú elektronikával jellemezhető és általában a hagyományos fotoregisztrációs jelrögzítést alkalmazó méréstechnika helyett megjelentek a korszerű, széles frekvenciatartományban működő, kis zajú, vagy megfelelő elektronikus szűrőkkel kedvező jel/zaj viszonyt biztosító, nagy dinamikájú mérőberendezések és a mágneses, digitális jelrögzítés. Nyugaton ez a folyamat lényegében lépést tartott a szeizmikus módszerek hasonló korszerűsödésének folyamatával. [18], [19], [22],[23].

Ez egyben azonnal tág lehetőséget nyitott a számítógépes adatfeldolgozás fejlődésének és alkalmazásának is, amely az új módszerek hatékonyságát azzal növelte tovább, hogy a hagyományos jelrögzítéshez tartozó kézi adatfeldolgozásban gyakorlatilag meg nem valósítható algoritmusok (digitális szűrés, Fourier transzformációk, jel/zaj javítás ismételt jelösszegzésekkel stb.) köznapihasználatát lehetővé tette. [24], [25], [26], [27]

Az új módszerekkel kapott mérési tapasztalatok rávilágítottak arra, hogy a valóságos földtani modellek vizsgálata az elektromágneses tér, az elektromágneses hullámterjedés törvényeinek további elméleti kutatását igényli két és háromdimenziós inhomogén vezetőképesség eloszlású szerkezetekre. [28], [29], [30].

1970-től az elektromágneses módszerek interpretációs elmélete további fejlődésnek indult az ugyancsak fejlődésben levő numerikus matematikai-fizikai módszerek és az egyre korszerűbb nagy számítógépek felhasználásával. Ez az elektromágneses terek két és három dimenziós vizsgálatának (2D, 3D) ma is állandóan új eredményeket adó területe. [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41].

A fejlődés elsősorban a magnetotellurikus módszer, vagyis az elektromágneses síkhullám terének vizsgálatát érintette, és a számítógépes modellezés egyre gyarapodó eredményei a magnetotellurikus értelmezés gyakorlatában új szemlélet meggyökeresedését segítették elő, amelynek lényege a földtani modell laterális inhomogenitásainak (dőlt vagy vertikális diszkontinuitás) felismerése és szétválasztása a vezetőképességnek a mélység függvényében történő változásaitól (horizontális rétegzettség). A törvényszerűségek elemzésében és rendszerezésében itt jelentős szerepe van a szovjet MT iskolának. [42], [43], [44].

A horizontális rétegzettségű modellek kritériumait kielégítő esetekre a magnetotellurikus szondázási görbék inverz interpretációs algoritmusai (1D) váltották fel a geoelektromos interpretációra korábban jellemző, elméleti görbeseregeket alkalmazó, fokozatos közelítésen alapuló grafikus feladatmegoldásokat.

Ezek az inverz algoritmusok a mérési adatokra legjobban illeszthető geofizikai modell paramétereit különböző optimalizációs eljárásokkal, a valószínűség elméletre alapozva határozzák meg, számítógépes úton. [45], [46].

Az *MT* módszer mellett az *EMT* és *FRSZ* módszerekre az *EM* tér számítása elsősorban a direkt feladat megoldására terjedt ki, az inverz algoritmusok a jövő feladatait képezik. [47], [48], [49], [50].

A mesterséges térgerjesztés módjától és a mérési geometriától függően nem síkhullámú elektromágneses térrel is számolni kell. Az inhomogén modellek vizsgálatában a numerikus modellezés helyett itt nagyobb szerepet kaptak a különböző fizikai (kád) modellező eljárások, szerepük az értelmezési problémák megoldásában jelenleg sem nélkülözhető. [51], [44], [52], [53], [54]

Az elektromágneses módszerek fentebb áttekintett fejlődését tanulmányozva megállapítható, hogy ezeket a méréseket elsősorban szerkezetkutató céllal használják. Ugyanakkor a 70-es évek folyamán több olyan elektromágneses kutatómódszer is megjelent külföldön, amely szénhidrogének jelenlétének „közvetlen” kimutatását célozza.

Ezek az eljárások az előzőekben tárgyalt elektromágneses módszerek *EMT*, ill. *FRSZ* méréseivel rokon változatok, amelyek magukba foglalják a korábban az érckutatás leghatékonyabb kutatómódszereként nyilvántartott gerjesztett potenciál módszer (*IP* vagy *GP*) elvét is. A különböző márkajelzésű eljárások (*Electraflex*, *TRANSIEL*, *TUBEL*, *WEGA-D system*) részben a *CH* telep és környezete közötti eltérő vezetőképesség következtében létrejövő impedancia-különbség okozta *EM* hullámreflexión alapulnak, részben a *CH* telep felett a migráló fluidumban jelenlevő redukáló hatású alkotórészek miatt létrejött ún. átalakult vagy diffúz zóna (chimney effect) elektromágneses gerjeszthetőségét használják ki, vagy egyszerűen a *CH* jelenlét okozta fajlagos ellenállás növekedést jelzik.

Mindegyik eljárás empirikusnak tekinthető, elméleti szempontból vannak nem tökéletesen megmagyarázott elemeik is, de eredményességüket statisztikus adatok bizonyítják. A viszonylag legtöbb információval a lengyel *WEGA-D* kutatórendszerrel rendelkezünk, amely sokparaméteres, elektromágneses frekvenciaszondázást és telemetrikusan továbbított referencia jelre (hullámalakra) vonatkoztatott jelalak és fázisösszehasonlítást végez, forgó elektromágneses tér gerjesztéssel (elektromos és mágneses tápdipólussal). A sokparaméteres válaszinformációhalmazt számítógépes úton analizálva, ún. felismerő algoritmusokra alapozott programokkal, a vonatkozó térségre a *CH* fluidum jelenlétének valószínűségét határozzák meg. A valószínűség meghatározásához a térség körül elhelyezkedő, igazoltan *CH* produktív, ill. meddő fúrásokon végzett referencia mérés szolgál a kibernetikus rendszer „betanítására”. [55], [56], [57], [58], [59], [60], [61].

A szénhidrogénkutatásban Nyugaton a fentiekben tárgyalt „szerkezetkutató” és „közvetlen” módszereket a következő feladatokkal kapcsolatban hirdetik jelenleg ([62]):

- szeizmikus kimutatott szerkezetek rangsorolása a fúrásos kutatáshoz
- ismert *CH* mezőn újabb fúrás kitűzése
- olaj (vagy gáz) – víz határ kijelölése
- porozitás és fácies határok térképezése
- felszínközeli és mélybeli vezető rétegek elkülönítése
- esetleges direkt *CH* kimutatás
- szeizmikus néma zónák kutatása

3. Az elektromágneses mélykutatások fejlődése, alkalmazásuk módszertani elvei és újabb eredményeik a hazai szénhidrogénkutatásban

A geoelektromos módszerek fejlesztésében külföldön elért eredmények felhasználására való törekvés mellett, a geoelektromos kutatás fejlődésének irányára a hazai szénhidrogénkutatásban döntően azok a feltételek hatottak, amelyeket a 70-es évek kezdetén a kőolajipari szeizmikus kutatások volumenének gyors növekedése, hatékonyságuk fokozódása és a digitális jelelvezetési és számítógépes adatfeldolgozási technika előretörése hozott létre.

Bár az ország jelentős részén egyáltalán nem voltak még geoelektromos mérések, magából a szeizmikus és geoelektromos tevékenység arányaiból, felszereltségéből és technológiai színvonaluk eltéréséből következett az, hogy a szeizmikus mérések tervezéséhez általában nem biztosíthattuk előzetesen a geoelektromos adatokat. Ugyanakkor az értelmezésben való felhasználásukat is esetlegessé tették ugyanezek a körülmények, amelyeket a geoelektromos mérési adatok kézi feldolgozásának kis hatékonysága tovább nehezített.

A $TE + DE$ módszerek többéves alkalmazása során fokozatosan felismertük azokat a negatív tényezőket, amelyek – figyelembe véve a bonyolult vagy a geoelektromos módszerek szempontjából sokszor nem kedvező felépítettségű geológiai modelleket is – a perspektívákat kedvezőtlenül befolyásolták.

Ezek lényegét a következőkben lehetett megfogalmazni:

1. A fotoregisztráció elavultsága és kis dinamikája, szűk frekvenciaátvittele miatt a TE mérések kívánt szelektivitása nem volt biztosítható; a TE anomáliák geofizikai-földtani azonosítása és értelmezése csak széles frekvenciatartományban végzett magnetotellurikus szondázásokkal kiegészítve oldható meg egyértelműen.
2. A mély medencék kutatásában a DE mélyszondázás lehetőségei korlátozottak, geofizikai felbontóképessége nem megfelelő, ugyanakkor a ráfordítások fajlagos mutatói sem kedvezőek. Az egyenáramú módszer elve – a tápdipol és mérődipol fokozatos távolságnövelésével történő lehatolási mélységnövelés – sokszor 20–30 km-es szondázási dipolsugarakat követelt, ami a távolsággal romló jel/zaj viszonyból eredő bizonytalanságot, növekvő költségeket, egy-egy ponton több napig tartó mérést jelentett. Emellett a hazai medenceszerkezetek esetén, a 20–30 km dipoltávolságú mérés rendszerint több tektonikai elem torzító hatásának van kitéve. Ez a vertikális rétegződésből és a horizontális változásokból eredő összetett hatások miatt az értelmezésben is bizonytalanságokra vezetett.
3. A fotoregisztrációs magnetotellurikus mérések szűk átviteli frekvenciatartománya miatt, a szondázási görbéknek az üledékes rétegsorról informáló $T < 5s$ szakaszát nem lehetett meghatározni, emiatt ezek a mérések általában nem tették lehetővé a harmadidőszakú üledékes összetétel vastagságának, illetve a geoelektromos mérések számára rendszerint nagyellenállású vezérszintet képező harmadidőszakú medencealjzat települési mélységének közvetlen meghatározását. Csupán a vezetőképesség (S) meghatározására adtak korlátozott lehetőséget. Maga a fotoregisztráció az adatfeldolgozás elavult színvonalát is konzerválta. [63], [64], [65]

A felsorolt problémák ellenére metodikai és interpretációs úton igyekeztünk a módszerek lehetőségeit minél teljesebben kihasználni, de a 70-es évek kezdetétől fő célkitűzésünk a geoelektromos méréseink korszerűsítése lett. [66].

A VI. ötéves terv (1971–75) kezdetén a korszerűbb geoelektromos mérésekhez a hazai ipar nem tudott megfelelő eszközöket biztosítani. Így a fejlődést néhány évig az útkeresés, és az ideiglenes technikai megoldások, a mérés és az interpretáció színvonala és műszaki feltételei közötti változó egyensúly jellemezte. Ennek ellenére ebben az időszakban történtek az első olyan geoelektromos kísérleteink, amelyek bizonyították, hogy célra orientált metodikával (pl. mélyfúrásban és a környező térségben a felszínen végzett mérésekkel) a geoelektromos módszerek jól felhasználhatók a szénhidrogénkutatás egyedi, speciális feladatainak megoldásaira is, mint pl. ismert *CH* telep lehatárolása, gázteleppel kapcsolatos fajlagos ellenállás anomália kimutatása. [67], [68], [69], [70], [71].

Ugyanígy megindult – a fotoregisztrátumok félautomatikus *A/D* konverziójának bevezetésével – a geoelektromos adatfeldolgozásban a számítástechnika alkalmazása is. Ezek a feltételek azonban inkább csak módszertani vizsgálatokra, a feldolgozási programfejlesztés megalapozását célzó kísérleti munkákra adtak lehetőséget. Komolyabb eredmények előfeltétele a terepi digitális jelrögzítés bevezetése volt. [72], [73]

A IV. ötéves tervre a szénhidrogénkutatás érdekeinek megfelelő célkitűzések a következők voltak:

- a mélykutatásra való profilváltás és e feladat érdekében az erőforrások koncentrációja
- a mélykutatásban eredményesen alkalmazható elektromágneses módszerek bevezetése, a hatékony és termelékeny terepi metodika kialakítása
- a korszerűbb jelrögzítési technika bevezetése és a mérési adatok számítógépes feldolgozásának megvalósítása, elsősorban az *MT* módszernél
- a kiértékelés és értelmezés megfelelő módszereinek adaptációja és továbbfejlesztése.

E célkitűzések megvalósításához a Geofizikai Kutató Vállalat nem rendelkezett elegendő belső fejlesztő apparátussal. Így természetes volt az a törekvésünk, hogy – összhangban a tudománypolitikai irányelvekkel – a hazai egyetemek geofizikai tanszékein és az MTA-ban dolgozó kutatókat vonjunk be a fejlesztőmunkába. Másrészt a hazai műszergyártás hiánya és az import eszközök beszerzésével kapcsolatos nehézségek szükségessé tették egyes eszközök vállalati fejlesztőmunkával történő létrehozását. A digitális jelrögzítés és a mágnesszalagon tárolt adatok számítógépes feldolgozása kezdeti feladataihoz az *ELGI* fejlesztő és műszerépítő tevékenysége adott segítséget és megoldást, de más ipari kutatóintézmények (*HIKI*, *ÖGIL*) közreműködése is szükségessé vált.

A fejlődés részben vállalati beruházások, részben az *OKGT* által rendszeresen biztosított, műszaki fejlesztési célú költségek felhasználásával valósult meg. A kivitelezésben döntő szerepe volt a geoelektromos kutatásban dolgozó vállalati szakembereinek is.

A célkitűzésekből a mélykutatásra való átállás már a IV. ötéves tervben megtörtént, a további kutatásokra perspektivikusnak tartott *MT* és *FRSZ* módszerek kiválasztásával együtt. A profil kialakítása a korszerű technikai színvonal megvalósítása, fokozatosan, az V. ötéves terv folyamán valósult meg. A terepi metodika és az interpretáció fejlesztése – az időközben szerzett kutatási tapasztalatok felhasználásával – jelenleg is tart és a hatékonyság fejlesztésének ez a jövőben is fontos eleme lesz.

Az 1. táblázat néhány számadattal jellemzi a mélykutatásra való profilváltás ütemét 1971–75 között. A 2. táblázat 1976–80 között, az V. ötéves tervben bekövetkezett fejlődésre ad jellemző mutatókat.

1. táblázat

A Geofizikai Kutató Vállalat terepi geoelektromos mérési kapacitásának átállítása a mélykutatási feladatokra

	1971	1972	1973	1974	1975
A sekélykutatásra fordított geoelektromos mérőkapacitás %-okban	65	38	22	0	0
A mélykutatásra fordított geoelektromos mérőkapacitás %-okban	35	62	78	100	100

2. táblázat

Az elektromágneses mérések és a korszerű jelrögzítési technika térhódítása a GKV geoelektromos méréseinél, az V. ötéves tervben

	1976	1977	1978	1979	1980
A mélykutatásban alkalmazott mérési módszerek	TE DMT FRSZE (A)	TE DMT FRSZE FRSZEM (A)	TE MTDR FRSZE (A)	TE MTDR FRSZEM	— MTDR FRSZEM
A digitális mágneses jelrögzítésű felvételek %-os aránya az összes terepi felvételekhez viszonyítva	3	5	7	58	100
Az elektromágneses mérések részaránya a geoelektromos tevékenységben (MT + FRSZ EM) . .	4	21	10	64	100

A 2. táblázatban használt rövidítések értelme:

- TE — tellurikus mérés T-14. típusú geofizikai fotoregisztrálással (T = 10–50 s).
- DMT — magnetotellurikus mérés, digitális jelrögzítéssel, fixpontos számbázisú, M-32. típusú számítógép kompatibilis SDT-252 ELGI típusú 16 sávú mágneses jelrögzítővel ($f = 0,015-16$ Hz).
- MTDR — magnetotellurikus mérés, digitális jelrögzítéssel, lebegő pontos számbázisú, GEOTRONICS MTDR-2 típusú számítógép-vezérelt mérőberendezéssel, 9 sávú PERTEC mágnesszalag jelrögzítővel ($f = 0,003-25$ Hz).
- FRSZE(A) — frekvenciaszondázás E_x térösszetevő mérésével, GKV-ben készült erősítőberendezéssel, RFT-TSS 101. típusú analóg, direktíró jelrögzítővel ($f = DC-32$ Hz).
- FRSZEM(A) — elektromágneses frekvenciaszondázás E_x, E_y, H_x, H_y, H_z térösszetevők mérésével, DEF-1. típusú (ELGI) erősítőberendezéssel, MTA 8LS-1. típusú UV regisztrálóval ($f = DC-20$ Hz).
- FRSZEM — Elektromágneses frekvenciaszondázás E_x, E_y, H_x, H_y, H_z térösszetevők mérésével, DMAT-091. típusú (ELGI) digitális, mágnesszalagos (9 sávú) jelrögzítővel ($f = DC-20$ Hz).

A korszerű elektromágneses módszerek már 1973/74-ben megjelentek a Geofizikai Kutató Vállalat terepi geoelektromos mérései között. A frekvenciaszondázások módszerét, földelt tápdipóllal gerjesztett elektromágneses tér E_x elektromos térszűrőjének mérésével 1973 júniusában alkalmaztuk először, a vállalatnál létrehozott mérőberendezésekkel és eszközökkel. A mérőberendezés ismertetésére az 1975. évi szentendrei 20. Geofizikai Szimpóziumon került sor [74].

A módszert 1974-től a Vatta-Maklár-i árok térségének kutatásánál kezdtük el rutinszerűen alkalmazni és a térség felméréseivel párhuzamosan történt az *FRSZ* módszer metodikájának és interpretációs színvonalának fejlesztése.

Az *FRSZ* módszer mérési gyakorlatára és interpretációs metodikájára vonatkozó publikációk általában a módszer közel homogén települési viszonyok közötti alkalmazására vonatkoznak. Ezért már a módszer bevezetésével egyidőben különös figyelmet fordítottunk az inhomogén aljzatszerkezetű geológiai modellek, a töréses, árkos, sasbércecs tektonikai viszonyok esetében használható mérési és interpretációs metodika kikísérletezésére. Ezzel párhuzamosan vizsgáltuk a módszer alkalmazhatóságát és metodikai variánsait az üledékes rétegsor szerkezeti és litológiai arculatának kutatásában, különös tekintettel annak potenciális szénhidrogénkutatási lehetőségeire is. [75], [76], [77], [78], [79], [80], [81].

Az *FRSZ* módszer fejlesztése ugyanakkor nem válhatott teljesen függetlenné az *MT* módszer fejlődésétől sem, mivel a cél olyan kutatási rendszer kialakítása volt a geoelektromos tevékenységen belül, amelyben az *FRSZ* és *MT* módszerek előnyös sajátosságai egymást kiegészíthetik, vagy a konkrét feladatoktól függően önállóan is alkalmazhatók.

A célkitűzés mind a mérőberendezések és a mérési metodika, mind az adatfeldolgozás és az értelmezés magasabb színvonalra emelését kívánta meg. Ezek megvalósítását a szakterülethez kapcsolódó társintézményeknek a fejlesztőmunkába történő bekapcsolása biztosította, amit a Geofizikai Kutató Vállalat az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézetével, az ELTE és NME Geofizikai Tanszékeivel, valamint az ELGI-vel kötött kutatási szerződésekkel valósított meg.

Az MTA GGKI a korszerű számítógépes *MT* adatfeldolgozási algoritmus kialakítását és az *FRSZ EM* méréseknél a mágneses térszűrők mérésére használt indukciós szondákat biztosította kezdetben. Újabban az *FRSZ EM* módszer jövőbeni továbbfejlesztéséhez és az inhomogén modellek (2D és 3D) esetére vonatkozó értelmezési-módszertani kutatáshoz, az együttműködés megújult formáját jelenti a GKV – MTA GGKI és ELGI által Sopronban létrehozott elektromágneses modell laboratórium. (EML) [82], [83].

A frekvenciaszondázásoknak a GKV-ben kialakított mérési és interpretációs metodikája szempontjából nélkülözhetetlen segítséget jelentettek az ELTE Geofizikai Tanszékén dr. Salát Péter által kifejlesztett algoritmussal és programokkal végzett elméleti görbeszámítások. Az *MT* kiértékelés fejlesztésében ugyanígy elért eredmények alapján az *MT* mérési adatok inverz interpretációs algoritmusának alkalmazásával szerzett kezdeti tapasztalataink azt mutatják, hogy az eljárás egy egzakt és igen gazdaságos interaktív eszközt jelenthet a jövőben az 1D modellel leírható esetek értelmezéséhez. [84], [85], [86], [87], [88], [89], [90].

Az NME Geofizikai Tanszékén a GKV megbízásából végzett kutató-fejlesztő munka eredményei 1964-től szinte folyamatosan segítik a GKV geoelektromos tevékenységének fejlesztését. Ez a sokrétű munka kiterjedt az *MT* mérés metodikai és interpretációs kérdéseire ugyanúgy, mint az *FRSZ* mélykutatás

bevezetését megelőző kisbehatólású frekvenciaszondázások mérőeszközeinek kialakítására, kísérleteire és az *MT* tér inhomogén modellek esetére alkalmazható számítási eljárásainak hazai megalapozására. Ezen a kutatási területen, dr. Takács Ernő által az utóbbi években elért eredmények alapvető fontosságúak a *CH* kutatásban alkalmazott magnetotellurikus méréseink szempontjából. A reális geológiai modelleket megközelítő geoelektromos szelvényekre használható numerikus modellszámítási eljárást sikerült megvalósítani, amellyel kapott első eredmények és a mérési tapasztalatok összhangban vannak. [91], [92], [93], [94], [95], [96], [97], [98], [99], [100].

A hazai, első digitális, mágneses jelrögzítésű magnetotellurikus méréseket a Geofizikai Kutató Vállalat 1973/74-ben a MÁELGI közreműködésével valósította meg, a Dráva medence kutatási területen. Az *M-32* számítócentrumra orientált kompatibilitású, kezdeti *DMT* mérőberendezést az V. ötéves terv végére az *MTDR-2* típ. számítógépvezérelt terepi mérőrendszer váltotta fel, amelynek adatfeldolgozása ma a *GKV TIOPS* számítócentrumban történik. A feldolgozás a vállalat geoelektromos szakemberei által korábban az *MTA CDC* számítócentrumában kifejlesztett algoritmuson alapul, amelyet a *GKV* szeizmikus programfejlesztő szakemberei adaptáltak a *TIOPS* centrumra 1978/79-ben. [101], [102], [103], [104].

1979-ben az *FRSZ* módszernél addig alkalmazott analóg jelrögzítési technikát felváltotta a *MÁELGI*-ben kifejlesztett ötcsatornás *DEF-I* típ. műszer használatával a digitális jelrögzítés, amely egyben az öt, mérhető *EM* térosszevő együttes mérésének bevezetésével egy további fejlődési periódust nyit meg az *FRSZ EM* módszer területén. Ennek eredményei a VI. ötéves tervben jelentkeznek. Ez a több paraméteres elektromágneses kutatás átvezethet a direkt *CH* kutatás területére is, ennek azonban további eszközfeltételei is vannak, mind a térgerjesztés, mind a térérzékelés frekvenciális kiterjesztése, ill. a fázismérések megvalósításában.

Az áttekintett geofizikai fejlődéssel párhuzamosan a geoelektromos kutatások gazdasági hatékonysága is jelentősen fejlődött.

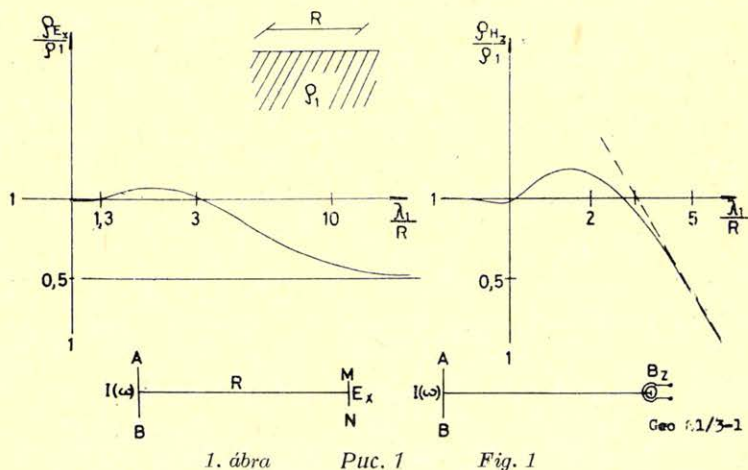
Az V. ötéves terv folyamán az *MT* és *FRSZ* módszerek alkalmazása évente összesen 15 csoportónap volumenben, csökkenő élő munkaráfördítással, öt év alatt 60%-os termelékenység növekedéssel történt. Ez lehetővé tette egyrészt azt, hogy az elavult, fotoregisztrációs *TE* méréseket 1979-ben beszüntessük, és helyettük a korszerű, széles frekvenciatartományban végzett magnetotellurikus területi kutatást alkalmazzuk, szabályos hálózatos állomáspon-telepítéssel. Másrészt, a frekvenciaszondázásokkal folyamatos szelvények mérésére nyílt lehetőség, ami a geofizikai információtartalom jelentős növekedése eredményeként, mind a medencealjzat-szerkezetek kutatásában, mind az aljzatra települt üledéksor kutatásában előrelépést eredményezett.

Az V. ötéves terv végére, az *EM* módszerek terepi metodikájának megfelelő kialakításával és a számítógépes interpretáció területén elért eredmények alkalmazásba vételével, a geoelektromos mérések a korábbinál részletesebb, vertikális és horizontális irányban megnövekedett felbontóképességű adatokat biztosítanak. A módszerek az aljzat települési mélységváltozásai mellett törések, diszkontinuitások felismeréséhez, a rétegsor térbeli dőlés és csapásviszonyainak megismeréséhez adnak információkat. Mélyfúrású geofizikai szelvények adataiból kiinduló számítógépes modellezés eredményeire támaszkodva, kedvező esetben, az *EM* mérések litofacies változások kimutatását, esetleg *CH* telepek lehatárolását is segíthetik.

A dolgozat befejező részeként az *FRSZ* és *MT* módszerek alkalmazásának példáit és újabb eredményeit kívánom bemutatni olyan, eddig nem publikált módszertani és interpretációs elvek bemutatásával együtt, amelyekkel elsősorban a hazai geofizikusok nagyobb része számára valószínűleg kevésbé ismert, frekvenciaszondázási módszer jobb megismerését szeretném elősegíteni.

4. A frekvenciaszondázások jellemző módszertani alapfogalmai és alkalmazásuk néhány példája

Az *FRSZ* módszer terepi mérési elrendezése lényegében azonos a *DE* szondázással, azonban a földelt egyenáramú *AB* tápdipol változó ω körfrekvenciájú, harmonikus dipol helyettesíti. Az ezzel létrehozott elektromágneses hullámok térösszetevőit egy *R* távolságban levő, az *AB*-val párhuzamos irányú mérődipol (*MN*), ill. indukciós tekercsek segítségével mérjük, az 1. ábrán látható vázlatos elrendezésnek megfelelően A mért (ΔU_{MN}) feszültségamplitúdó, ill. az indukciós tekercssel leggyakrabban mért vertikális mágneses térösszetevő (B_z) különböző frekvenciákhoz tartozó értékeiből meghatározott — a geoelektromos méréseknel szokásos — látszólagos fajlagos ellenállások $(\rho\omega)$ adják a *frekvenciaszondázási görbét*.



1. ábra

Puc. 1

Fig. 1

A harmonikus dipol terének karakterisztikus tulajdonságai legegyszerűbben a ρ_1 fajlagos ellenállású, homogén féltér felszínére kiszámított frekvenciaszondázási görbén vizsgálhatók meg. [15.] [50.].

Az 1. ábrán ρ_{E_x}/ρ_1 jelenti az *EM* hullám horizontális elektromos térösszetevőjéből, ρ_{H_z}/ρ_1 pedig a vertikális mágneses térösszetevőből kapott normált szondázási görbét.

A görbék magasfrekvenciás intervallumát a magnetotellurikus síkhullámú tér törvényszerűségei jellemzik, vagyis a látszólagos fajlagos ellenállás a közeg valódi fajlagos ellenállásával arányos.

A síkhullámú tartomány kiterjedése:

$$\frac{\lambda_1}{R} < \begin{cases} 1,3 & \text{az } E_x \text{ összetevő esetén} \\ 1,0 & \text{a } B_z \text{ összetevő esetén} \end{cases} \quad (1)$$

A λ_1 hullámhosszúság az ismert kifejezéssel:

$$\lambda_1 [\text{m}] = \sqrt{10^7 \varrho_1 T}, \quad (2)$$

ahol T [s] a periódusidő és ϱ_1 [ohmm].

A síkhullámú tartományt itt úgy definiáltuk, hogy abban a frekvencia-szondázás mért ϱ_ω látszólagos fajlagos ellenállása megegyezik a magnetotellurikus síkhullám ϱ_T látszólagos fajlagos ellenállás adatával és nem függ a λ_1/R értéktől.

A síkhullámú tartományon kívül a ϱ_ω érték λ_1/R függvényévé válik, ami az 1. ábrán jól látható. Ha a frekvencia a zérushoz tart, a mért ϱ_ω érték analóg az egyenáramú szondázásnak az ugyanazon R távolságra vonatkozó ϱ_{DE} értékével, azonban a ϱ_ω érték definiálására levezetett összefüggésből következik, [15.] [86.] hogy:

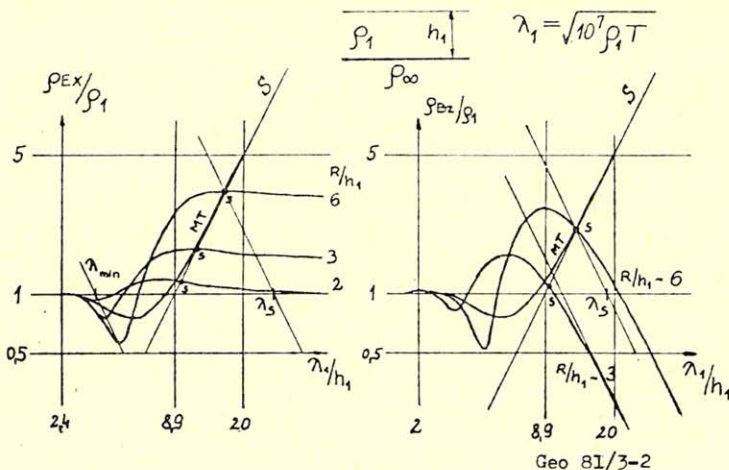
$$\lim_{\omega \rightarrow 0} \varrho_\omega = \frac{1}{2} \varrho_{DE}. \quad (3)$$

A vertikális mágneses összetevőből kapott ellenállás a periódusidő növelésével a zérushoz tart, ami a csökkenő indukciós hatás következménye.

Ezek a jellemző tulajdonságok a rétegzett féltér esetében is megfigyelhetők.

A 2. ábrán a szigetelő aljzatra települő, egységnyi vastag és egységnyi fajlagos ellenállású rétegből álló kétréteges modell elméleti görbéit látjuk a geoelektrikában szokásos normált paraméterekkel, log-log rendszerben ábrázolva, változó R/h_1 paraméterekre, ahol h_1 a vezető réteg vastagsága. Összehasonlításként a kétréteges MT szondázási görbe is ábrázolva van. Az ábrán S jelzéssel feltüntetettük az $FRSZ$ görbék és az MT görbe metszéspontjait, amelyek kitüntetett pontoknak tekinthetők.

Ezen pontokból a növekvő hullámhosszúság irányában folytatódó görbeszakaszokat már csak az aljzatra települő, vezető összlet eredő hosszanti vezetőképesége (S) befolyásolja, függetlenül a rétegek számától és fajlagos ellenállásuk változásának menetétől, (S tartomány).



A vezetőképesség ismert definíciója szerint:

$$S [\text{ohm}^{-1}] = \sum_1^{n-1} \frac{h_i [\text{m}]}{\varrho_i [\text{ohm m}]}, \quad (4)$$

ahol ϱ_i , a h_i vastagságú réteg fajlagos ellenállása

A 2. ábrából látható, hogy a síkhullámú tartományt itt a $\lambda_1/h_1 < 2,4$ közelítés adja meg. Az S tartomány és a síkhullámú tartomány között a görbék menete jellemző minimumot mutat. Vizsgálataink, amelyeket különböző R/h_1 paraméter értékek mellett végeztünk, arra a következtetésre vezettek, hogy a $3,5 \leq R/h_1 \leq 10$ paraméter tartományban néhány %-os pontossággal felírható a görbék minimumpontjaira:

$$\frac{\lambda_1 \text{ min}}{h_1} \cdot \sqrt{\frac{\varrho_{\omega \text{ min}}}{\varrho_1}} = \text{const} \quad (5)$$

amelyből egyszerű átalakítással következik, hogy:

$$\sqrt{T_{\text{min}} \cdot \varrho_{\omega \text{ min}}} = c \cdot h_1; \quad (5a)$$

a $\sqrt{T \cdot \varrho}$ kifejezést, mint ún. „effektív hullámhosszúságot” definiálva, felírható:

$$\frac{\lambda_{\text{eff min}}}{h_1} = c \quad (6)$$

ahol a kétréteges görbékre, a fentebb definiált R/h_1 paramétertartományban, $C \approx 1,07 \times 10^{-3}$.

Többréteges esetben ez az összefüggés a rétegsort helyettesítő, $\varrho_1 = \varrho_l$ és $h_1 = H$ paraméterű, kétréteges modell szondázási görbéjére érvényes.

Ugyanúgy felírható a kétréteges modellgörbék alapján az „S” pontok $\varrho_{\omega s}$ értékeire, hogy:

$$\frac{\varrho_{\omega s}}{\varrho_1} = m \frac{R}{h_1}, \quad (7)$$

ahol $m = 0,5445$

amely a szigetelő aljzatú, n rétegű, horizontális rétegzettségű modellre is kiterjeszhető mint:

$$\frac{\varrho_{\omega s}}{\varrho_l} = m \frac{R}{H}, \quad (8)$$

ha fennáll az $R/H > 3,5$ feltétel, és ϱ_l – a rétegsor átlagos fajlagos ellenállása. H – az aljzat települési mélysége.

A ϱ_l érték ismert definíciója szerint:

$$\varrho_l = \frac{H}{S} = \frac{\sum_1^{n-1} h_i}{\sum_1^{n-1} \frac{h_i}{\varrho_i}} \quad (9)$$

ami a (8) összefüggéssel együtt lehetőséget ad a vezetőképesség meghatározására az S pont felhasználásával:

$$S = \frac{R}{m \cdot \rho_{\omega s}} \quad (10)$$

Az S pont meghatározására, mivel annak ismeretében lehet csak a (10) formulát alkalmazni, a kétréteges MT görbe aszimptótája ad lehetőséget, ismerve, hogy annak bármely összetartozó ρ és \sqrt{T} értékpárjából felírható a vezetőképesség [16]:

$$S = \sqrt{\frac{T}{\rho}} \cdot 356 \quad (11)$$

Alkalmazva ezt, az S pont $\rho_{\omega s}$ és $\sqrt{T_s}$ értékpárjára, a következő képlethez jutunk a (10) és (11) alapján:

$$\sqrt{T_s \cdot \rho_{\omega s}} = \frac{m}{356} \cdot R \quad (12)$$

ahol, az (5.) formulánál bevezetett $\lambda_{\text{eff}} = \sqrt{T/\rho}$ paraméter felhasználásával, az S pontra (12)-ből felírható:

$$\lambda_{\text{eff } s} = 1,53 \cdot 10^{-3} R \quad (13)$$

A (13) formula a szondázási görbék szokásos koordinátarendszerében egy -2 meredekségű egyenest ábrázol, amely azon pontok mértani helye, melyekhez konstans hullámhosszúság rendelhető. A $\lambda_{\text{eff } s}$ számszerű értékét a $\rho_{\omega} = 1$ abszcissza tengelyen a \sqrt{T} egységeiben felmérve, az így kapott pontból húzott $\lambda = \text{const.}$ vonal kimetszi a szondázási görbén az S pontot.

Az S pont definiálása több előnnyel jár:

- nem szükséges elméleti görbét alkalmazni az S érték meghatározásához;
- nem szükséges kimérni a görbét addig a vízszintes aszimptótáig, amelynek a ρ_{ω_0} ellenállásértékéből, mint egyenáramú értékéből, a (3) formulát felhasználva a vezetőképességet meghatározhatjuk az S pont ismerete nélkül, amint a 3. ábrán látható:

$$S = \frac{R}{2\rho_{\omega_0}} \quad (14)$$

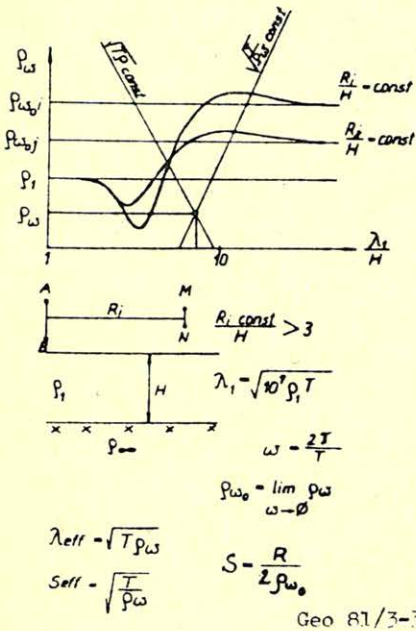
- az S pont lehetőséget ad a terepi méréshez szükséges maximális periódusidő egzakt megtervezésére, az adó-vevő távolság (R) és a várható maximális vezetőképesség függvényében. A (8) és (12) összefüggésekből kifejezhető az S ponthoz tartozó periódusidő:

$$T_s [s] = 4,3 \cdot 10^{-6} S [\text{ohm}^{-1}] \cdot R [m] \quad (15)$$

A 4. ábrán bemutatott nomogram a (15) képlet alapján különböző adó-vevő távolságokra megadja T_s értékét. Ennek jelentőségét a következő példán becsülhetjük meg:

A Vatta-Maklári árok térségére jellemző $S \sim 500 \text{ mho}$ és $R \sim 12 - 15 \text{ km}$ paraméterekhez a $T_s \approx 25 - 30 \text{ s}$. A teljes frekvenciasorozat (32 Hz-től 30 s-ig) regisztrálása, – csak a tiszta regisztrálásra fordított időt véve alapul – kb. 1,5 óra (minden felvétel u. i. legalább 30 oszcillációt tartalmaz a kedvező jel/zaj viszony biztosítása végett). Ha a görbét az ρ_{ω_0} aszimptótáig kimérnénk, a tiszta regisztrációs idő kb. 4 órára növekedne meg.

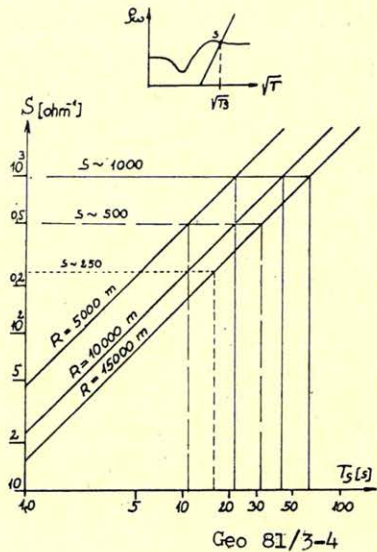
Ezzel eljutottunk a frekvenciaszondázások hatékonyságát érintő kérdésekig. Ha az egyenáramú mélyszondázás módszeréhez viszonyítunk, úgy az előbbi példában még a 4 órás regisztrációs idő is jelentősen rövidebb az $R = 15 \text{ km}$ dipolsugarú egyenáramú szondázás elvégzéséhez szükséges kb. 2 teljes munkanapnál. Természetesen a frekvenciaszondázások időráfordítása nemcsak a regisztrálásból adódik, azonban a viszonylag hosszú előkészítést igénylő tápvonal telepítést, az ún. „legyező rendszerű” szelvénymérési metodika bevezetése kompenzálta.



3. ábra

Puc. 3

Fig. 3



4. ábra

Puc. 4

Fig. 4

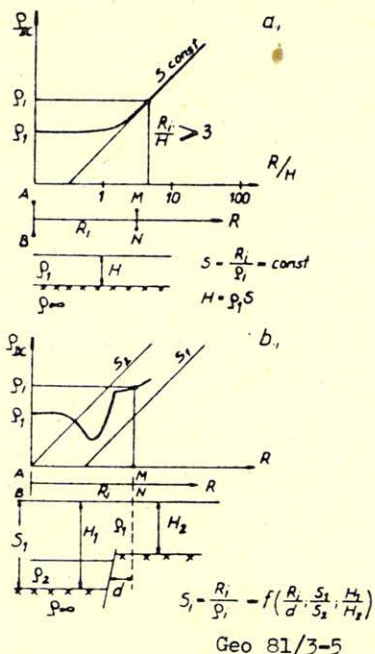
Ennél lényegesebb azonban a geofizikai értelemben vett hatékonyságnövekedés, amely a frekvenciaszondázásokkal elérhető felbontóképesség javulás következménye.

Az 5.a ábra felidéri azt az ismert tényt, hogy egy idealizált, homogén modell esetén a vezetőképesség (S) egyértelműen meghatározható az egyenáramú mélyszondázási görbe valamely $R_i/H > 3$ dipoltávolságnál mért pontjából. A számított mélység vonatkoztatásának helye a horizontális település miatt nem kérdéses. Az $R/H \leq 1$ görbeszakasz megadja a mélységszámításhoz szükséges ρ_1 fajlagos ellenállást, a mélység $H = \rho_1 S$.

Az 5.b ábra szerinti inhomogén szerkezetnél azonban a mért adatok vonatkoztatásának és értelmének megadása problematikus. A kiemelt és lezökkenő oldalakon az átlagos fajlagos ellenállás eltér, erre viszont az ábra szerint elhelyezkedő szondázás nem ad biztos információt. A dipolsugár növelésével való mélybehatólás – ami az egyenáramú módszer jellemzője – nem teszi lehetővé a lokális ellenállásváltozások nyomonkövetését, ami a leképezéshez szükséges lenne.

Az inhomogén esetre S_1 és S_2 értékét csak bizonyos, kedvező esetben lehet meghatározni, mivel a vető hatása miatt torzult szondázási görbe menete több,

ismeretlen paramétertől válik függővé. Magának a törésnek a helye is bizonytalan maradhat, főleg olyan esetben, amikor összetett szerkezetek hatásai szuperponálódnak.



5. ábra Puc. 5 Fig. 5

Az egyenáramú szondázások vizsgálatára, vállalatunknál a 70-es évek elején megvalósított, kádmódel mérés tisztázta, hogy a törési helyek lokalizálására és a földtani szerkezetnek megfelelő vezetőképesség adatok pontosabb meghatározására, kedvezőbbek a szerkezeti csapásiránnyal párhuzamos dipólsugarú szondázások. [105.] Azonban a fajlagos ellenállás lokális változásainak nyomonkövetése egyenáramú dipol szondázásokkal változatlanul problematikus, a módszer sajátosságai miatt.

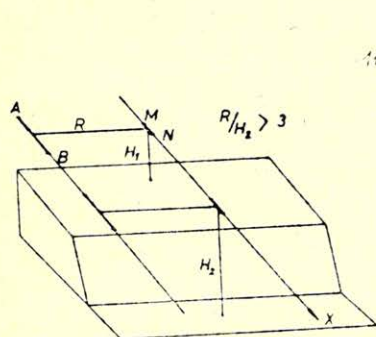
Ezt a fix dipólsugárral végzett frekvenciaszondázás teszi lehetővé, ahol az EM tér behatolását a frekvencia változtatásával szabályozzuk, a táp és a mérő-dipolok a mérés folyamán helyben maradnak.

A frekvenciaszondázások kedvezően rövid mérési ideje következtében megnőtt termelékenység megnyitotta azt a lehetőséget, hogy az elvégezhető szondázások számának növekedésével a mérési állomáspontok sűrűsödjenek, és gyakorlatilag folyamatos szelvénymenti mérés történjék. Ez a lokális ellenállásváltozások kimutatását, a felbontóképesség növekedését biztosította, elsősorban azzal, hogy a medencealjzat mélységmeghatározásához egy $FRSZ$ görbe mind az S , mind a ρ_1 értékéről informálni tud.

A lokális ellenállásadatok, illetve azok változásainak kislépésközű mérésekkel történő folyamatos nyomonkövetése, önmagukban is geofizikai információt hordoznak, amely az üledékes rétegsor kutatásban használható fel.

Az $FRSZ$ terepi metodika kialakításánál kezdettől fogva célunk volt ennek a lehetőségnek kihasználása. Ugyanakkor viszont számolni kell olyan hatások

fellépésével is, amelyek a négyelektródás dipol rendszerrel (A, B, M, N) mért ρ_w látszólagos fajlagos ellenállást mind a magas, mind az alacsony frekvenciák tartományában torzíthatják, a mérési környezetben levő szerkezeti inhomogenitások „oldal”-hatásként is. Ezek felismerését, hatásuk tisztázását és kiküszöbölésüket, vagy az eredmények emiatt való súlyozását a szelvényméréseknél szintén biztosítani kell.

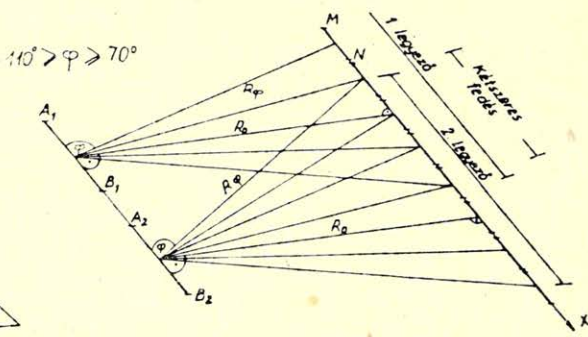


Geo 81/3-6

6. ábra

Puc. 6

Fig. 6



Geo 81/3-7

7. ábra

Puc. 7

Fig. 7

Az *FRSZ* módszer bevezetését követően, a Vatta-Maklári árok térségében 1974–75-ben végzett méréseink célja egy hatékony mérési metodika kialakítása volt, amely a fenti szempontok figyelembevételét biztosítja. A módszer alkalmazásáról viszonylag kevés külföldi tapasztalat állt rendelkezésre, különösen a kutatási területhez hasonló, bonyolult tektonikai viszonyoknak megfelelő területeiről. A módszertan kialakításához Kuznyecov néhány, a szakirodalomban publikált modellkísérletének eredményét vettük alapul. [52], [53], [54].

Ugyanakkor megfogalmazódott az igény hasonló modellkísérletezés hazai szükségességére is. A GKV kezdeményezésére, az V. ötéves terv folyamán, az MTA GGKI és ELGI együttműködésével sikerült a hazai modellvizsgálatok lehetőségét is megteremteni. Ennek a további fejlődés szempontjából van elsősorban jelentősége, a kezdeti metodika kialakításához még nem tudott segítséget nyújtani [83].

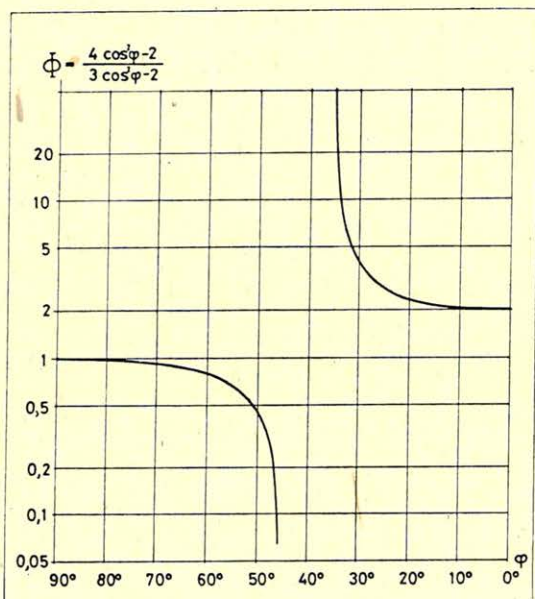
Az 1974–75-ben kialakított *FRSZ* mérési metodika, amelyet „fedő legyező rendszerű *FRSZ* szelvénymérés” elnevezés alatt tárgyalunk, a 6., 7. és 8. ábra alapján a következőképpen foglalható össze:

I. A mérési szelvény telepítése a 6. ábra szerint a szerkezet csapásirányára merőlegesen történik. A mérési vonalon az MN mérődipol hosszával azonos lépésközzel (200–500 m, az üledékvastagságtól függően) történnek a szondázások.

Az adóberendezés AB tápdipólusa a mérési vonallal párhuzamos vonalon mozog. Az R dipolsugár hossza a várható maximális kutatási mélységnek (aljaztmélység) – ami a 6. ábrán H_2 -nek felel meg – minimálisan háromszorosa, de kisebb mint tízszerese. Az R/H optimális arányának kiválasztásától egyrészt a jel/zaj viszony (R növelésével romlik a jel/zaj viszony a csökkenő mért térerősség miatt), másrészt a felbontóképesség és az ekvivalencia alakulása függ. Ez utóbbi-

akra a rétegsor vertikális irányú fajlagos ellenálláslaszásának típusa is befolyással van.

2. A mérés gazdaságosságának és termelékenységének fokozása és a „geológiai zajok” (az üledék és főleg az aljzat inhomogenitásaiból eredő oldalhatások jelentkezése) csökkentése céljából egy-egy mérési vonalszakaszt fix helyzetű AB tápdipólról mérünk be. Az egy adóállásról bemérhető vonalszakaszt a tápdipól középpontjából a vonalszakasz végpontjaihoz húzott sugarak közötti „látószöggel” lehet definiálni, ezzel egyértelmű a tápdipól, ill. a szélső sugarak közti φ szög definiálása, amint a 7. ábrán is látható. Ezt a vonalszakaszt *legyezőnek* nevezzük. A folyamatos szelvénymérés a „fedő legyezőkkel” biztosítható a 7. ábra szerint. A fedő mérések azonos állomáspontjain az eredmények általában ismétlődnek. Nagy eltérés vagy ellentmondó eredmények esetén további fedés (esetleg a mérési vonalra merőleges tükrözéssel elhelyezett AB tápdipóllal) lehet szükséges az egyértelmű interpretációhoz.



Geo 81/3-8

8. ábra

Рис. 8

Fig. 8

3. A legyezőn belül az *FRSZ* görbék síkhullámú tartománya általában nem függ a φ szögtől és dőlésmenti vonalakon, magnetotellurikus analógiát véve alapul, a H polarizációs esetnek felel meg. Ez nyilvánvaló az adó és mérődipolok szerkezetéhez viszonyított helyzetéből is. Nem dőlés irányú vonalon végzett mérésnél – amint erre a 20. ábra is példaként szolgál – fellépnek az E polarizációs esetnek megfelelő torzulások, ami a kiértékelés eredményeit torzítja.

A görbék egyenáramú (S tartománybeli) aszimptotikus szakasza (3. ábra: ρ_{ω_0}) a φ szögtől függően eltolódik. Az egyenáramú dipol szondázási görbék ismert transzformációs képleteiből kiindulva meghatározható a $\varphi = 90^\circ$ (ekvatoriális elrendezés) esetére vonatkozó értékhez viszonyított torzulás, a következő formulával:

$$\Phi = \frac{\varrho_{\omega_0}(\varphi)}{\varrho_{\omega_0}(90^\circ)} = \frac{4 \cos^2 \varphi - 2}{3 \cos^2 \varphi - 2}. \quad (16)$$

A $\Phi(\varphi)$ függvényt a 8. ábra mutatja. Látható, hogy a tápdipol középpontjából a mérővonalra bocsátott merőlegestől mért $\pm 10^\circ$ -os legyező nyílásszög esetén a ϱ_{ω_0} torzulása elhanyagolható; $\pm 20^\circ$ -nál nagyobb nyílású legyező alkalmazása nem célszerű, ugyanis az inhomogenitások esetén a torzulások jelentősen megnövekedhetnek. [106], [107], [108].

4. A szondázási görbék kiértékelése a nagyellenállású aljzat mélységének meghatározására és ehhez az üledékes rétegsor átlagos fajlagos ellenállásának meghatározására irányul, kvantitatív értelemben. Kvalitatív értelemben emellett az üledékes összlet lokális ellenállásviszonyait leképező szelvények szerkesztése a cél, amelyek a rétegsor geológiai modelljének megismeréséhez szolgáltatnak részletesebb információkat.

A kvantitatív kiértékelésnek több változatát találjuk az irodalomban, azonban ezek az *FRSZ* görbékre az inverz interpretációs feladatot csak bizonyos korlátozások mellett tudják megoldani.

Alapvető fontosságúnak a magunk részéről a rétegsor átlagos fajlagos ellenállásának (ϱ_l) meghatározását tartjuk, mivel ez determinálja az aljzat mélysége meghatározásánál az elérhető pontosságot.

Az ELTE által különböző típusú és rétegszámú modellekre kiszámított elméleti görbéken megvizsgáltuk a ϱ_l meghatározás célszerű útját, és a kapott értékek megbízhatóságának ellenőrizhetőségét.

Megállapítottuk, hogy az *FRSZ* görbék síkhullámú szakaszán az *MT* görbék interpretációs elveivel végzett kiértékelés úgy terjeszthető ki a teljes *FRSZ* görbére ($R/H \geq 3,5$ feltétel mellett), hogy az n réteges modell *FRSZ* görbáját, az $(n-1)$ réteges modellre számított síkhullámú ϱ_T görbe és az $(n-1)$ réteg átlagellenállásából és vastagságából, ill. a nagyellenállású aljzataból (ϱ_n) alkotott két-réteges modell *FRSZ* görbéje szuperpozíciójaként fogjuk fel:

$$\frac{\varrho\left(\frac{\lambda_1}{h_1}\right)_{\omega, n}}{\varrho_l} \cong \frac{\varrho\left(\frac{\lambda_1}{h_1}\right)_{T, n-1}}{\varrho_l} \cdot \frac{\varrho\left(\frac{\lambda_1}{H}\right)_{\omega, 2}}{\varrho_l}, \quad (17)$$

ahol a (17) formula szimbólumainak jelentése a következő:

$$\frac{\varrho\left(\frac{\lambda_1}{h_1}\right)_{\omega, n}}{\varrho_l}$$

– az n rétegű, horizontálisan homogén modell elméleti *FRSZ* görbéje, szokásosan az 1. réteg fajlagos ellenállásával normálva, λ_1/h_1 változó függvényében;

$$\frac{\varrho\left(\frac{\lambda_1}{h_1}\right)_{T, n-1}}{\varrho_l}$$

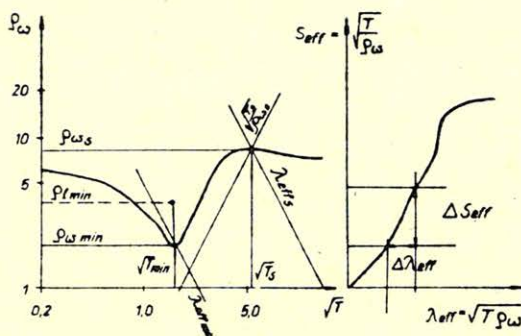
– az aljzaton fedő $(n-1)$ rétegű összletre számított síkhullámú elméleti görbe, az $(n-1)$ réteget végtelen vastagnak feltételezve, az előzővel azonos normált változók függvényében;

$$\frac{\varrho \left(\frac{\lambda_1}{H} \right)_{\omega, 2}}{\varrho_1}$$

– annak a kétréteges modellnek elméleti görbéje, amelyre $\varrho_1 = \varrho_1$, és ϱ_1 az aljzatot fedő $(n-1)$ sz. réteg átlagos fajlagos ellenállása, ill. $h_1 = H$ a fedő rétegsor összvastagsága.

Ezen az elven bevezethető az *FRSZ* görbék minimumpontjához rendelhető $\varrho_{1 \min}$ átlagérték, amely a 9. ábrán látható jelölésekkel és az (5)–(13) képletekkel a következő összefüggésben van ($\varphi = 90^\circ$ -nál):

$$\varrho_{1 \min} = \frac{\lambda_{\text{eff min}} \cdot \varrho_{\omega s}}{R} \cdot 1,716 \cdot 10^3.$$



9. ábra

Puc. 9

Fig. 9

Geo 81/3-9

Kétréteges esetben $\varrho_{1 \min} \approx \varrho_1$; a többréteges esetek pedig $\varrho_{1 \min}$ segítségével olyan háromréteges esetre vezethetők vissza, ahol az aljzat a 3. réteg; a $\bar{\varrho}_1$ és \bar{h}_1 az 1, 2, ... $(n-2)$ rétegeket helyettesítő réteg vastagságát és ellenállását jelenti. Ebben az esetben a szondázási görbe $\lg \sqrt{T}$, $\lg \varrho_T$ koordinátarendszerében a helyettesítő réteg adatainak megfelelő $\bar{\varrho}_1$ és $\frac{\lambda_1}{h_1} = \delta$ koordinátájú ponthoz illesztett

kétréteges *MT* görbeseregéből, a $\varrho_{1 \min}$ ponton átmenő görbe μ paramétere használható fel a ϱ_1 átlagellenállás meghatározására.

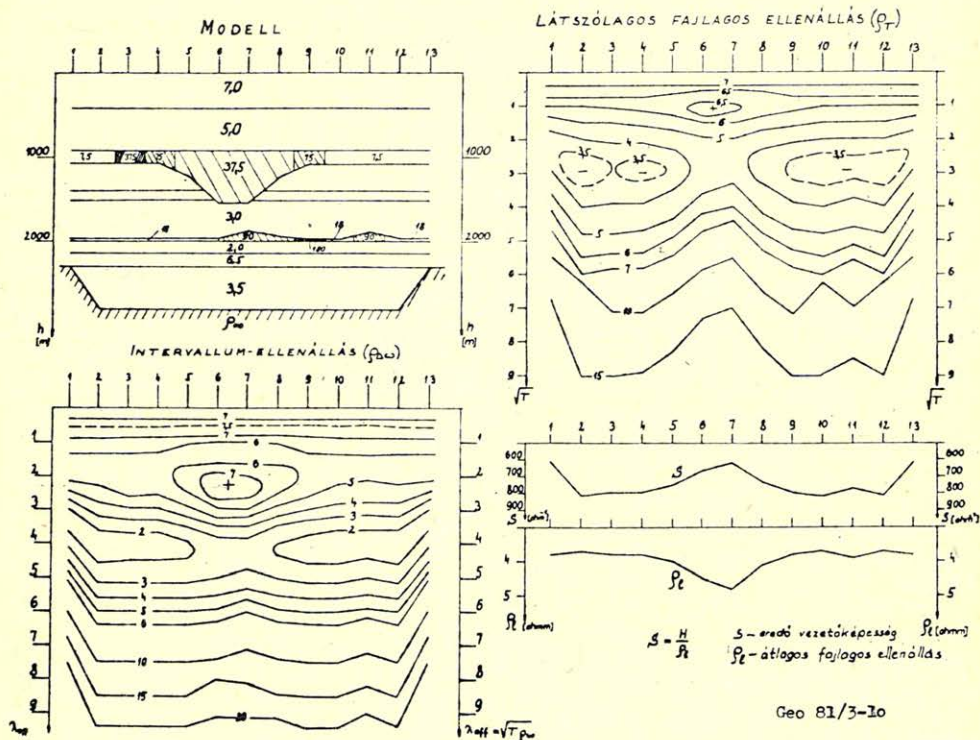
5. A rétegsor ellenállásviszonyainak jellemzésére *Matvejev* 1974-ben megjelent munkájában javasolt ún. „intervallum-ellenállás szelvényeket” alkalmazunk. [46].

A 9. ábrán látható az *FRSZ* szondázási görbéből transzformált „effektív vezetőképesség függvény”, amelynek egy $\Delta \lambda_{\text{eff}}$ intervallumhoz tartozó ΔS_{eff} vezetőképességváltozásából számítható ún. intervallum-ellenállás:

$$\varrho_{\Delta \omega} = \frac{\Delta \lambda_{\text{eff}}}{\Delta S_{\text{eff}}},$$

az említett munka szerint jobban jellemzi a rétegsor valós ellenálláseloszlását, mint a geoelektrikában szokásos látszólagos fajlagos ellenállásszelvények.

Ennek bemutatására olyan hipotetikus szelvényt látunk a 10. ábrán, amely 13 különböző vertikális fajlagos ellenálláseloszlásra kiszámított síkhullámú görbéből szerkesztett látszólagos ρ_T értékeket hasonlítja össze a $\rho_{\Delta\omega}$ intervallumellenállás adatokkal. Az intervallumellenállás szelvény lesimítottabb módon, szerkezethűbb ábrázolásmódot biztosít. Itt elhanyagoltuk a laterális változások hatását (nem kétdimenziós volt a számítás!).



10. ábra

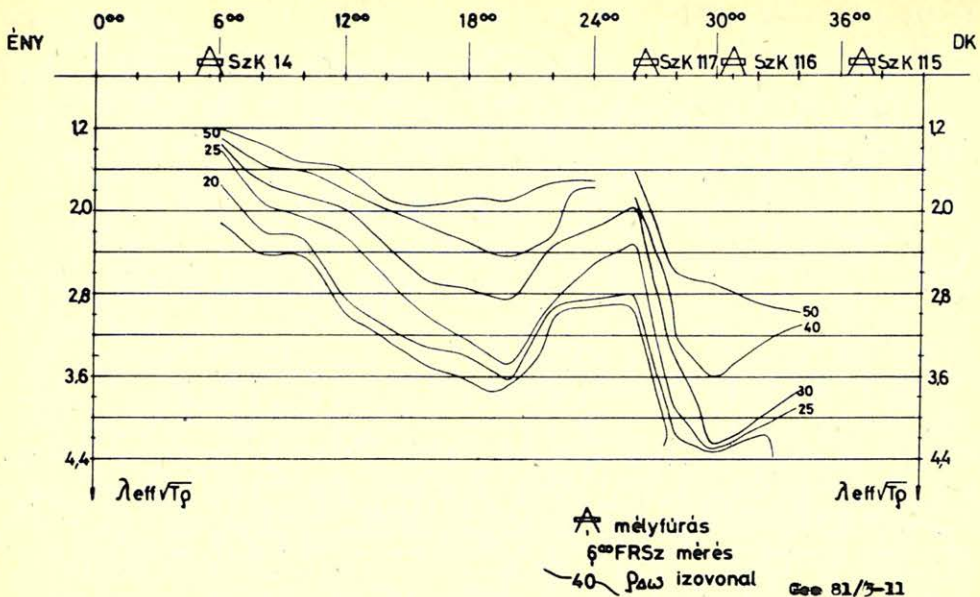
Рис. 10

Fig. 10

A cél csupán a két eljárás összehasonlítása volt. A dolgozat terjedelme nem engedi meg az intervallum-ellenállás szelvény sajátosságainak részletezését. Inhomogén modellviszonyok között az intervallum-ellenállás érték a H polarizációtól eltérő irányok esetén jelentősen torzulhat, ugyanakkor felhívhatja a figyelmet az inhomogén hatók jelenlétére. A gyakorlatban ilyen esetekben, mind a $\rho_{\omega}(\sqrt{T})$, mind a $\rho_{\Delta\omega}(\lambda_{\text{eff}})$ szelvények együttes használata célszerű.

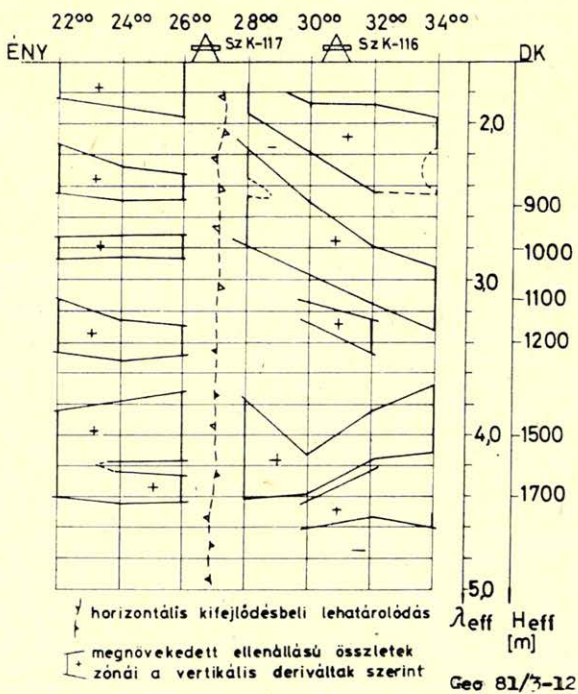
A $\rho_{\Delta\omega}$ szelvények az eddigi tapasztalataink szerint az üledékes rétegsor kutatásában számos új információt adtak. A legfigyelemreméltóbb információként az „ellenállás-diszkontinuitások” kimutatását említjük fel.

Már az *FRSZ* módszer kezdeti alkalmazásakor Szank térségében egy, az üledéksor felső szintjeibe átfertődött gáztelep szelvénymenti lehatárolását sikerült az *FRSZ* méréssel, a 11. ábrán látható intervallum ellenállás szelvényen kimutatott diszkontinuitással meghatározni. A 115. és 116. sz. fúrásokban kb. 1200 m mélységben meglévő gáztartalmú rétegek folytonosságát a 28⁰⁰ szelvénykarónál kimutatott diszkontinuitás (valószínűleg vető) megszakítja.

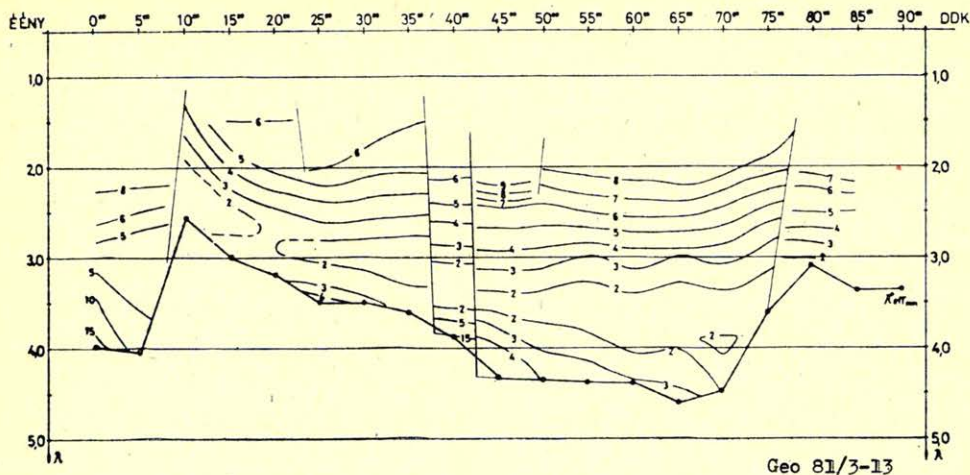


11. ábra Puc. 11 Fig. 11

SzKFE - 1



12. ábra Puc. 12 Fig. 12



13. ábra Puc. 13 Fig. 13

A 12. ábrán bemutatott ún. derivált szelvény [46] részletesebb képet ad a kérdéses mélység intervallumban követett megnövekedett, ill. lecsökkent ellenállású zónák folytonosságának megszakadásáról. A kutatás után mélyült 117. sz. fúrás igazolta a mérési adatokat. [77]

Az FRSZ módszer jelenlegi mérési és interpretációs metodikájával elért eredményeket a következő ábrákon összegezhetjük: a 13. és 14. ábra a Vatta-Maklári árok csapására merőleges (H polarizált) szelvényt mutat be. A 13. ábrán látható intervallum ellenállás szelvényen több határozott diszkontinuitás jelentkezett, amelyek a 14. ábra mélység-szelvénye szerint az aljzat töréseihez kapcsolódnak. Az intervallum ellenállás szelvényt alul lehatároló $\lambda_{\text{eff min}}^*$ vonal az a $\rho_{l \text{ min}}$ értékhez rendelhető effektív hullámhossz, ameddig az intervallum ellenállás-számítás képlete tapasztalataink szerint az üledéksor ellenállását jellemző adatokat ad. A $\lambda_{\text{eff min}}^*$ hullámvonal az aljzat lefutását és tektonikai elemeit jelzi, de non-lineáris léptékben, így csak kvalitatív jellegű.

Az aljzat mélységviszonyait külön szelvényen lehet valósághűen megszerkeszteni. Mindkét szelvény feltünteti a mérés fedő-legyezőrendszerét is.

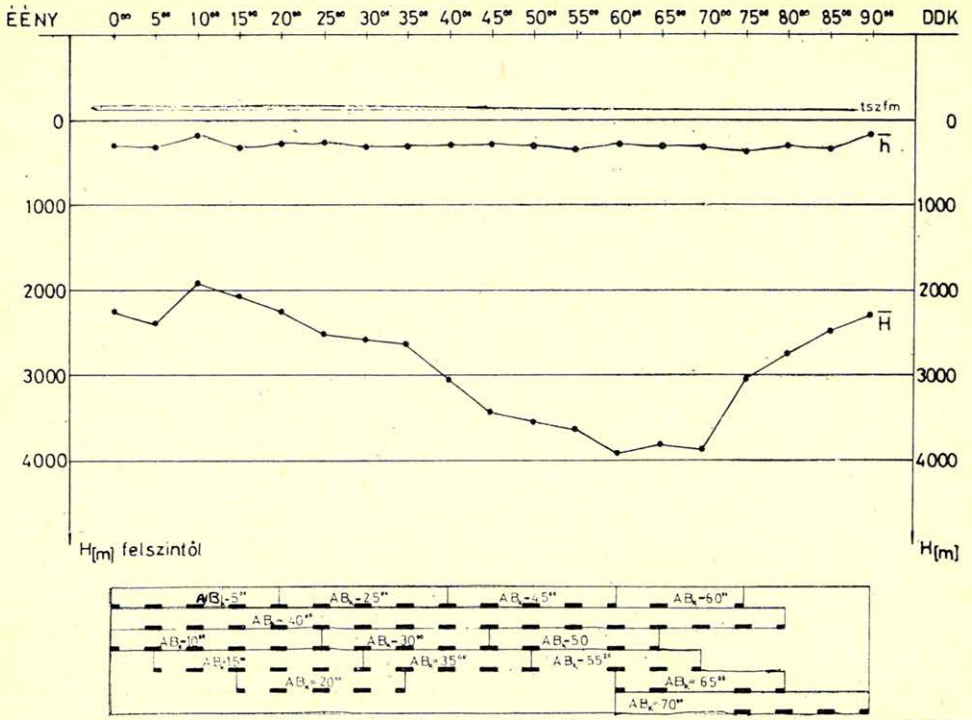
Jelen esetben 4–5-szörös fedésű, kísérleti szelvényt látunk.

A 15. és 16. ábra ugyanezen területről egy közös szelvényt mutat be, a Verp-1 mf.-nál, szeizmikus mérés és frekvenciaszondázás alapján. A frekvenciaszondázással kimutatott diszkontinuitás (a 15. ábrán A-val jelölve) a szeizmikus időszelvényen is egyértelműen azonosítható (16. ábra).

Feltételezzük, hogy ezek a diszkontinuitások elsősorban töréseket jelentenek, de elképzelhetők olyan ellenállás-változások is, amelyek a litofacies változásaihoz kapcsolhatók. [81]

E témakör vizsgálatához a mélyfúrású geofizika ellenállás-szelvényeiből számítható kumulatív vezetőképesség és harántellenállás diagramokat rendszerezítettünk, mint a földtani rétegsor adekvát geoelektromos jellemzőjét. A függvények gyakorlati számítási módszerét a GKV megbízásából az OGIL dolgozta ki. [109]. A függvények lényegében a vertikális vezetőképesség-mélység modellt

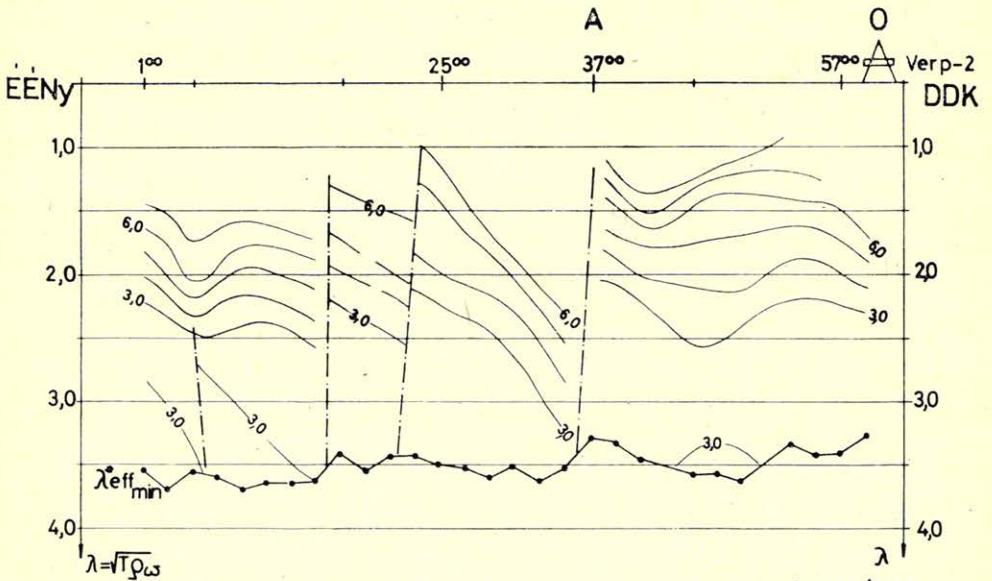
MeFE-1/A (5-7,74) mélyszelvénye



14. ábra Puc. 14 Fig. 14

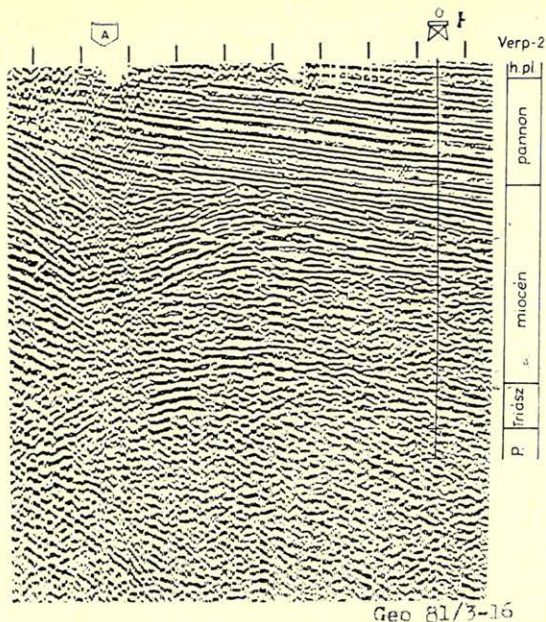
Geo 81/3-14

MeFE - 10/A



15. ábra Puc. 15 Fig. 15

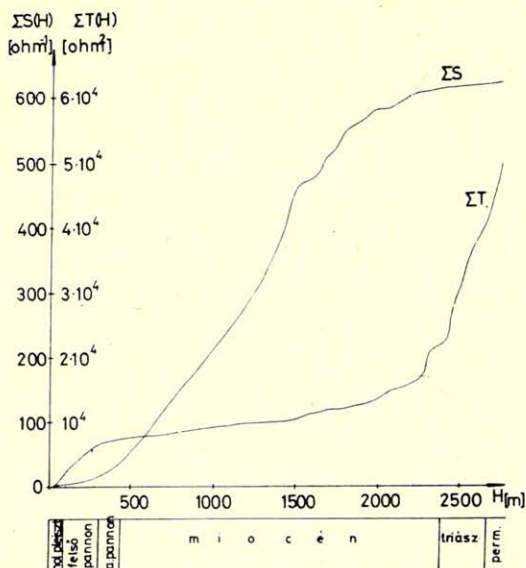
Geo 81/3-15



16. ábra Puc. 16 Fig. 16

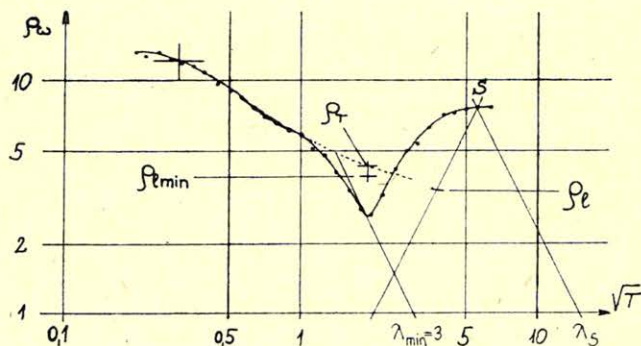
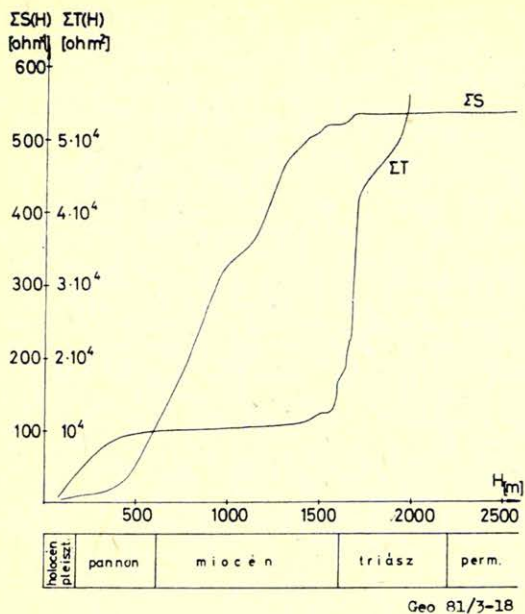
$S(z)$ írják le, a függvény egyenes szakaszai egy-egy konstans fajlagos ellenállású zónát, vagy réteget jelentenek.

A 17. és 18. ábrán is látható, amint azt más területek hasonló diagramjainak elemzése is bizonyította, hogy a rétegsorban vannak olyan mélységintervallu-



17. ábra Puc. 17 Fig. 17

Geo 81/3-17

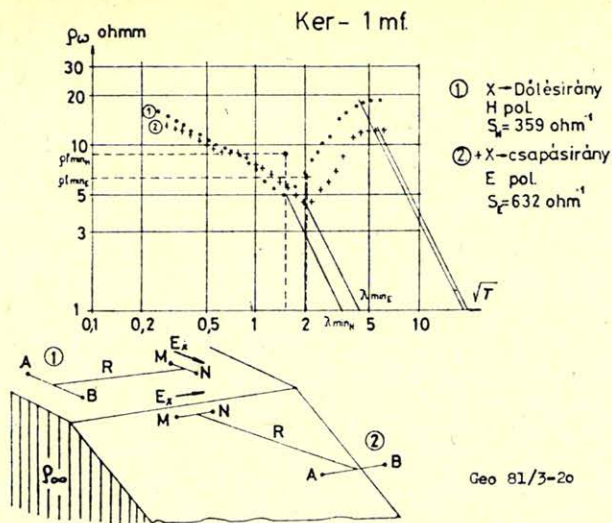


mok, ahol az $S(z)$ függvény folytonos görbületet jelez, vagyis nem beszélhetünk konstans fajlagos ellenállású rétegről.

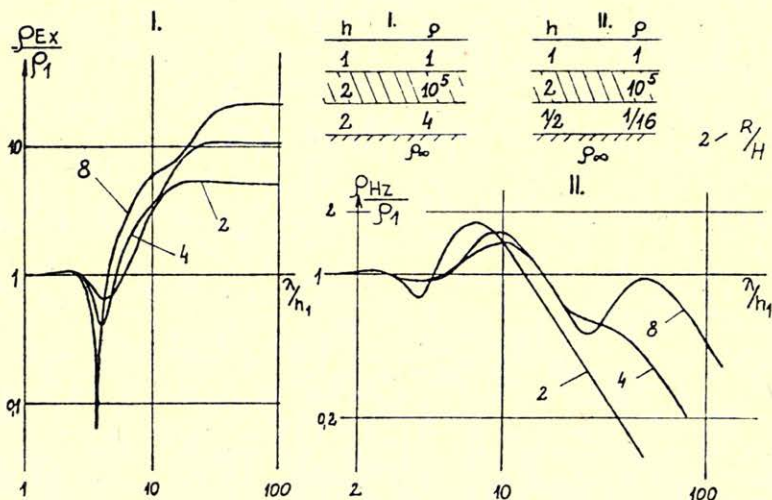
Ilyen esetben igazoltnak látjuk azt az elképzelést, amely szerint inkább az ellenállás-formációk, a jellemző ellenállású zónák szelvénymenti nyomkövetését tartjuk fontosabbnak, nem pedig azt, hogy minden állomáspontra a mért görbére valamely rétegzett modell-interpretációt erőltessünk rá. A kumulatív diagramok, mélyfúrásba kötött $FRSZ$ vonalakra, lehetővé teszik a ρ_T és $\rho_{\Delta\omega}$ szelvények anomáliáinak, jelenségeinek azonosítását és értelmezését.

A medencealjzatot ért mélyfúrásokon végzett $FRSZ$ mérések tapasztalatai igen fontosak a kialakult metodikától várható eredmények ellenőrzésére. [81]

A 19. ábrán a Verpelét – 1 mf. $FRSZ E_x$ görbét látjuk. A fúrás 2380 m-ben ért aljzatot. A mért görbe kiértékelése 2450 – 2500 m közötti mélységet adott, ami 3 – 5%-os pontatlanságot jelent. A görbéből meghatározott vezetőképesség 720 mho, kb. 15%-kal nagyobb a kumulatív diagramtól meghatározható kb.



20. ábra
 Puc. 20
 Fig. 20
 Geo 81/3-20



21. ábra
 Puc. 21
 Fig. 21
 Geo 81/3-21

630 mho értéknél. Az eltérésnél figyelembe kell venni azt, hogy a mérést valószínűleg E polarizációs hatás is befolyásolta. Ennek tapasztalati ellenőrzésére a Ker-1 mf-on végeztünk kísérletet.

A 20. ábra mutatja a Ker-1 mf-on dőlés és csapásirányú tájolással mért FRSZ görbék eltérését. A dőlésirányú görbe (I.) jól visszaadja a fúrási adatokat. A fúrás 2227 m-ben érte el a triász aljzatot, a kumulatív S diagram szerint a vezetőképesség 390 mho. A dőlésirányú mérésből $H = 2323 \text{ m}$ (4,3%) $S = 360 \text{ ohm}^{-1}$ (-7,6%). A csapásirányú mérést a környezet (Vatta-Maklári-árok) megnövekedett vezetőképessége jelentősen torzítja. [78].

$$S_{\text{csapir}} = 632 \text{ mho}; \quad H = 2863 \text{ m} \quad (28\%!)$$

Mindezek alapján az *FRSZ* módszert a nagyellenállású aljzatra települt mendencék kutatásában hatékony eszköznek tartjuk, a jelenlegi technikai színvonal kb. 4000–4500 m mélység kutatására rutinszerűen megoldott.

Olyan esetekben, amikor az üledéksorban a mélyebb szintek vezetőképes rétegeit nagyellenállású árnyékoló kőzettömegek takarják, az *FRSZ* módszer csak a mágneses térösszetevők mérésével kiegészítve lehet hatékony, vagy a magnetotellurikus módszer nyújthat megoldást.

Ez a problémakör a VI. ötéves terv feladatait érinti, ahol a kisalföldi kutatásoknál – az eddigi ismeretek szerint – az említett modellel számolnunk kell.

A 21. ábra csupán a probléma illusztrálásának céljából mutat be ilyen példát a szovjet irodalomból. [49]

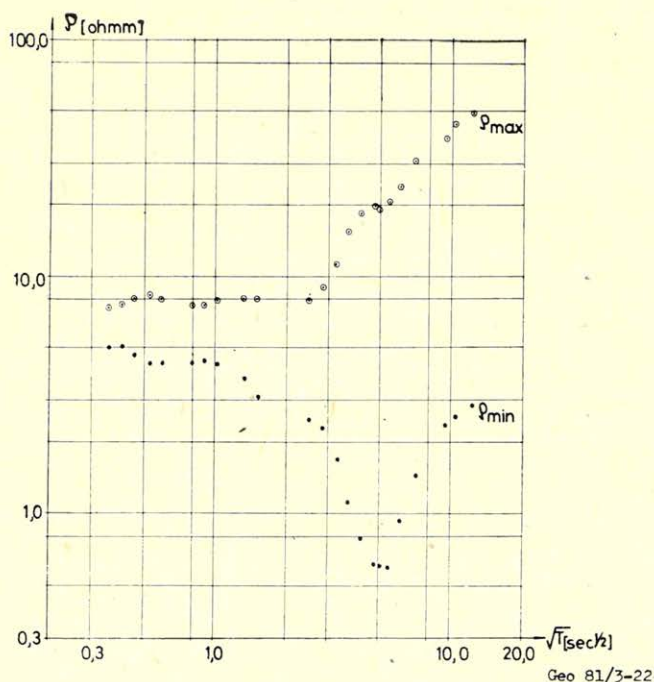
A ϱ_{Ex} görbéken az I. modell elfedett vezető rétege alig okoz hatást, az egyenáramú szakaszból csak az 1. réteg vezetőképesége határozható meg.

A II. modellnél a ϱ_{Bz} görbéken a mélyebben fekvő, jól vezető réteg egyértelműen felismerhető, ha $R/H \geq 4$.

5. A magnetotellurikus módszerrel elért újabb eredmények

A dolgozatban – módszertani részleteket mellőzve – a magnetotellurikus módszer újabb eredményeire is szeretnék példákat bemutatni a GKV 1979–80. évi kutatásaiból. [110], [111]

A magnetotellurikus módszer két fontos ismérve az *FRSZ* módszerrel való összehasonlításban, az információk térbelisége és a nagy kutatási mélység. (10–15 km.)



22. ábra

Рис. 22

Fig. 22

A magnetotellurikus mérés a módszer természetéből eredően, minden ponton megadja a hullámhosszúság (a behatolási mélység) függvényében a látszólagos fajlagos ellenállás változását az azimutális irányok szerint is $\rho_T(\alpha)$. Ebből meghatározhatók a térbeli csapás és dőlésviszonyokat jellemző hullámpolarizációs (E és H polarizáció) irányok, amelyek, tapasztalat szerint a mélység függvényei lehetnek. A vertikális mágneses összetevő (H_z) mérésével lehetőség van az E és H polarizált adatok szelektálására, valamint olyan ún. *dőléselem szelvények* szerkesztésére, amelyek az egyes mérési pontokra a behatolás függvényében, a rétegdőléssel összefüggésben változó méretű, *dőléselemeket* ábrázolnak a dőlés síkjának megfelelő azimutális irányban. [112]

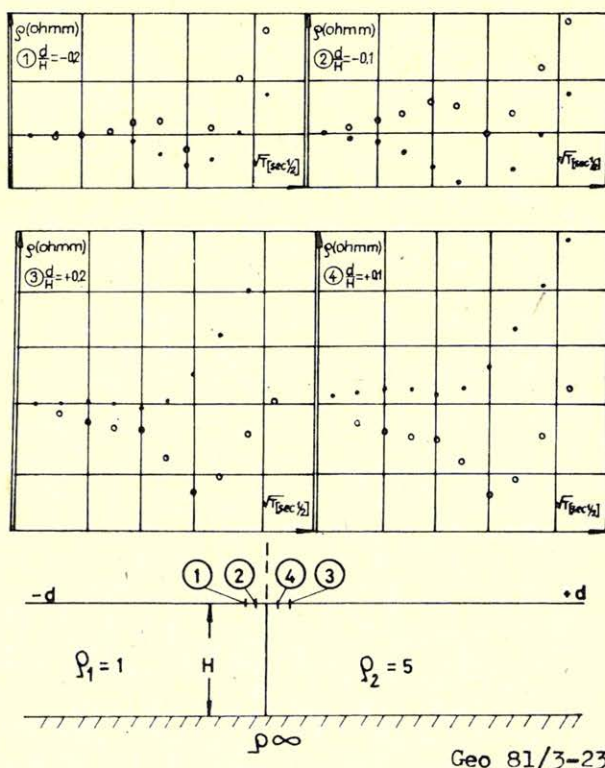
A dőlésirányú ellenállásadatokból (H polarizáció) szerkesztett ellenállás-szelvény (ρ_T és ρ_{10}) a szerkezeti képet az *FRSZ* módszernél tárgyaltakhoz hasonlóan jellemzi. Az E polarizációs görbe (csapásirányú áramfolyás) torzulásai a diszkontinuitások, törések felismeréséhez és azonosításához adnak lehetőséget, a kétdimenziós, inhomogén modellekre végzett modellszámítások alapján.

Ezek a lehetőségek, az eddigi tapasztalatok szerint, elsősorban a szabályos hálózatban telepített *MT* állomáspontokkal használhatók ki. [113]

A *GKV* járszági kutatásai azt bizonyították, hogy bonyolult felépítésű területek kutatásánál a 2×2 km oldalhosszúságú *MT* ponthálózat sűrűség szükséges.

A 22–27. ábrákon a fentiekre kívánok gyakorlati példát bemutatni.

A 22. ábra járszági példát mutat be egy diszkontinuitás közvetlen környezetében mért *MT* szondázási görbére.

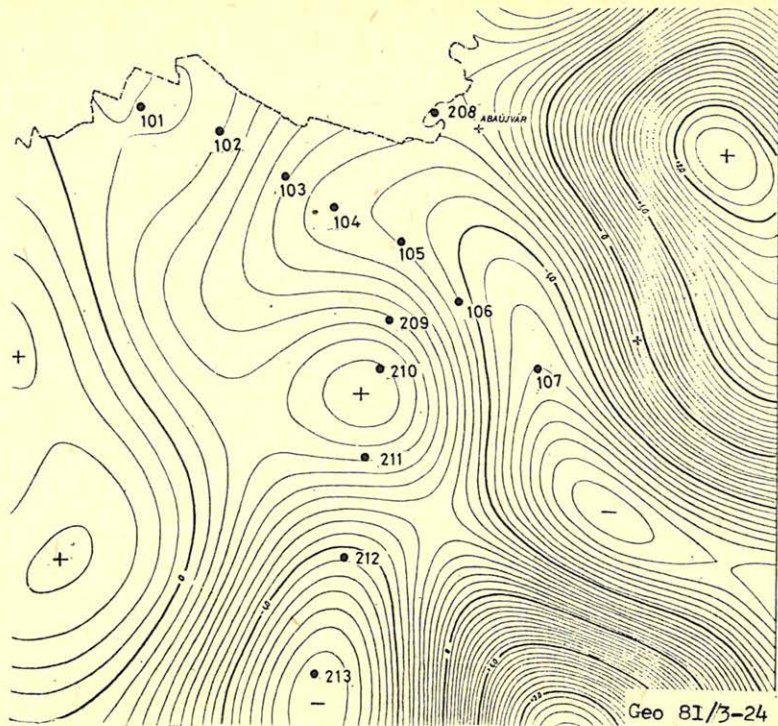


23. ábra

Рис. 23

Fig. 23

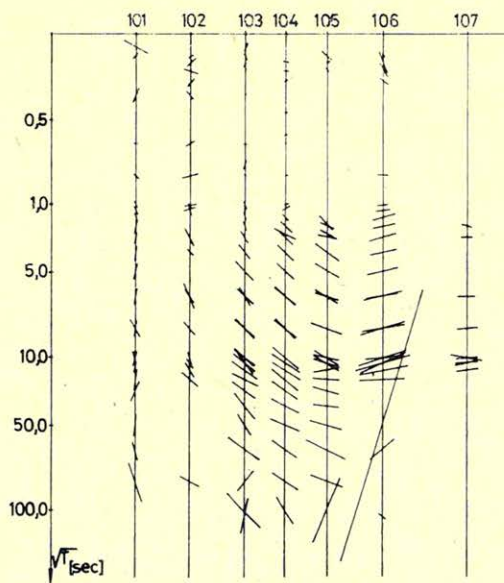
Geo 81/3-23



24. ábra

Рис. 24

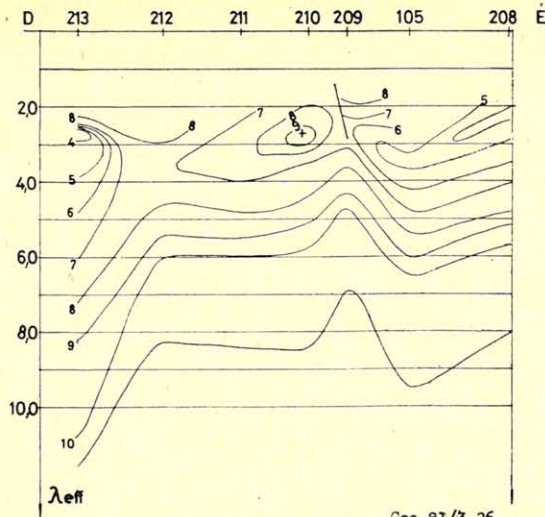
Fig. 24



25. ábra

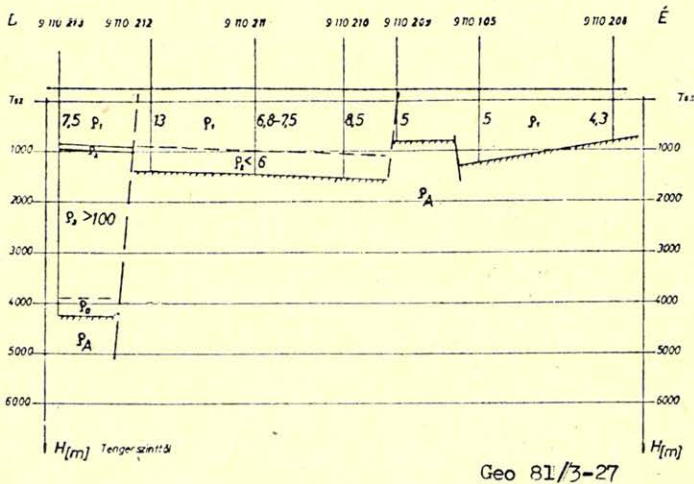
Рис. 25

Fig. 25



26. ábra Puc. 26 Fig. 26

Geo 81/3-26



27. ábra Puc. 27 Fig. 27

Geo 81/3-27

A 23. ábrán kétdimenziós modellszámítás eredményeként kapott E és H polarizáció MT görbéket látunk az üledékben levő ellenállás-diszkontinuitás esetére. A mért és a modellszámításból kapott görbék összehasonlítása azt mutatta, hogy a diszkontinuitás helye meghatározható, ha az MT mérés hálózatos pont telepítésű.

A 24. ábra a Hernád-völgy térségéből mutat be kutatási példát. Az MT állomáspontok két szelvény mentén helyezkednek el, összehasonlító adatként a gravitációs szűrt anomáliatérkép szerepel.

A 25. ábrán bemutatott dőléselem szelvényen jól felismerhetők a gravitációs térkép alapján várt szerkezeti irányok. A dőléselemek átfordulása K-ÉK irányba, a nagyllenállású vulkáni kőzetek hatására alakult ki.

A 26. ábrán látható fajlagos ellenállásszelvény kvalitatív szerkezeti képe is törések jelenlétére utal.

A 27. ábrán ennek lehetséges rétegzett modellje látható. Mivel a területen fúrási adat még nincs, az ellenállásértékek újabb földtani-fúrási adat alapján megváltozhatnak, ami a mélységadatokat is módosíthatja. Ugyanakkor a szelvényen feltüntetett vetők jelenlétét és helyét – a kétdimenziós modellek elemzése alapján – az *MT* görbék torzulásaiból egyértelműen azonosítani lehetett.

Összefoglalás

Az elektromágneses módszerek bevezetése a geoelektromos mérések színvonalát a szénhidrogénkutatásban, a korábbi *TE + DE* módszerhez viszonyítva mind a geofizikai, mind a gazdasági hatékonyság tekintetében magasabb szintre emelte. Sikerült teljesíteni azokat a célkitűzéseket, amelyeket az V. ötéves terv végéig szeretnünk volna elérni, a bemutatott módszertani fejlődés nem kis részben belső tartalékok feltárásával jött létre.

A további fejlődéshez az út elsősorban az eddigi mérési frekvenciatartomány kiterjesztésével a magas frekvenciák felé, a fázismérések és az impedanciamérések megvalósítása, valamint a hatékony számítógépes algoritmusok továbbfejlesztése tárgykörén át vezet.

Végezetül köszönet illeti mindazokat, akik eddigi eredményeinkhez segítséget adtak: kutatásunk irányítóit, hogy a mérések iránti igényükkel a fejlődés elindítói voltak, vállalatunk vezetőségét a munkához adott támogatásért és biztatásáért, kooperáló partnereinket és nem utolsósorban a geoelektromos osztály munkatársait áldozatos és kitartó munkájukért.

IRODALOM

- [1] A felszíni geofizikai kutatás 20 éve a kőolajiparban. OKGT Geofizikai Kutatási Üzem 1972. Szerk.: *Molnár Károly*.
- [2] *Nagy Zoltán* (1967): *S(H)* függvények alkalmazása a geoelektromos és szeizmikus mérések eredményeinek komplex értelmezésében. Magyar Geofizika VIII. évf. 5–6.
- [3] *Nagy Zoltán* – 1969: A geoelektromos és szeizmikus mérési adatok együttes elemzésének lehetőségei az észak-alföldi medence területén. Geofizikai közlemények XVIII. évf. 4.
- [4] *Nagy Zoltán* – 1972. A geoelektromos módszerek szerepe és eredményei a hazai szénhidrogénkutatásban. Spec. koll. ea. NME geofizikusról hallgatóknak. Kézirat.
- [5] *Kovács Ferenc* – *Nagy Zoltán* – *Szanyi Béla* – *Vándor Béla* – 1973: Geofizikai adatok integrált értelmezése. Magyar Geofizika XIV. évf. 5–6.
- [6] OKGT GKŰ – 1965: E–1 sz. jelentés a Nagykáta – Albertirsa kutatási területen az 1963–64. évben végzett geoelektromos mérésekről. GKV adattár.
- [7] OKGT GKŰ – 1967: E–10 sz. jelentés az 1965–66–67. években Jászberény – Heves – Tiszabura kutatási területen végzett geoelektromos mérésekről. GKV adattár.
- [8] OKGT GKŰ – 1968: E–14 sz. jelentés az 1967–68. években Szeged – Hódmezővásárhely – Makó kutatási területen végzett geoelektromos mérésekről. GKV adattár.
- [9] *Hobot J.* – *Nemesi L.* – *Verő L.*: Tiszavidék és a Tiszántúl mélyszerkezetének geoelektromos kutatása. MGE Pályázat.
- [10] *Molnár K.* – *Nagy Z.* – *Tóth J.* – 1970: Elektromos sekélyszondázások adatainak felhasználása szeizmikus robbantási mélységek meghatározására. Földtani Kutatás XIII. évf. 1.
- [11] *Keller G. V.* – 1968: Electromagnetic methods may be the key of direct oil finding. World Oil 1968. dec. 1.
- [12] *Tyihonov* – 1946: Osztanovlenyii elektricseszko toka v odnordnom, provodjaszem poluprozrazstvte. Izv. A. N. SZ. SZ. SZ. R. szer. geogr. i geofiz. N° 3.
- [13] *Cagniard L.* – 1953: Basic Theory of magnetotelluric Method of Geophysical Prospecting. Geophysics Vol. XVIII. N. 3.
- [14] *Tarhov* – 1963: Szpravocsnyik geofizika III. Elektrorazvedka. Gosztoptehizdat Moszkva.

- [15] *Vanyan L. L.* — 1965: Osznovi elektromagnytinuh zongyirovanyij. Nyedra. Moszkva.
- [16] *Bergyicsveszkij M. N.* — 1968: Elektricseskaja razvedka metodom magnytotelluricseszko profilirovanyija. Izd. Nyedra. Moszkva.
- [17] *Vozoff K., Ellis R. M. and Burke M. D.* — 1964: Telluric Currents and Their Use in Petroleum Exploration. Bulletin of the American Assoc. of Petroleum Geologists Vol. 48. No. 12. pp. 1890 — 1901.
- [18] Geoscience Incorporated — 1968: Magnetotellurics in Petroleum Exploration Massachusetts Cambridge USA.
- [19] *Hopkins G. H. Jr.* — 1965: Instrumentation for Geofield Measurements Electrical Engineering Research Laboratory The University of Texas Nonr. Rep. N° 138. 1965 dec.
- [20] *Bostick, F. X. Jr.* — 1968: „Magnetotelluric and telluric Instrumentation” Symposium on Application of Natural EM Fields in Petroleum and Mining Exploration, College of Engineering, University of California, Berkeley.
- [21] *Keller G. V.* — 1968: Electrical prospecting for Oil. Quarterly of Colorado School of Mines. Vol. 63. No. 2.
- [22] *Orange, A. S. and Bostick, F. X. Jr.* — 1965: Magnetotelluric Micropulsations at Widely Separated Stations. Journal of Geophysical Research Vol. 70. No. 6.
- [23] *Morrison, H. F. Wambwell, E. and Ward S. H.* — 1968: An Analysis of Earth Impedance Using Magnetotelluric Fields. Journal of Geophysical Research Vol. 73. No. 8.
- [24] *Word D. R.* — 1970: An investigation of the magnetotelluric tensor impedance method. Ph. D. Dissertation. The University of Texas at Austin. USA.
- [25] *Smith, H. W.* — 1968: „Data Processing for Magnetotellurics” paper presented at the Symposium on Application of Nat. EM. Fields in Petrol and Mining Explor. College of Engr. Univ. of Calif. Berkeley. 19 — 23 March 1968.
- [26] *Sims, W. E. Bostick, F. X. Jr. and Smith, H. W.* — 1971: The investigation of magnetotelluric impedance tensor elements from measured data. Geophysics V. 36. p. 938 — 942.
- [27] *Reddy, I. K. Rankin, D.* — 1974: Coherence functions for magnetotelluric analysis. Geophysics. V. 39. p. 312 — 320.
- [28] *Vozoff K.* — 1972: The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basin. Geophysics V. 37. p. 89 — 141.
- [29] *d’Erceville, I. and Kunetz, G.* — 1962: The Effect of a Fault on the Earth’s Natural Electromagnetic Field. Geophysics Vol. XXVII. No. 5. Oct. 1962.
- [30] *Rankin, D.* — 1962: The Magnetotelluric Effect on a Dike. Geophysics Vol. XXVII. No. 5. Oct. 1962.
- [31] *Dmitriev I. — Kokotuskin G. A.* — 1971: Albom paletok dlja magnyito-telluricseszko zongyirovanyija v nyeodnorodnih szredah I. Izd. M. G. U. Vücsiszlityelnüj centr.
- [32] *Dmitriev V. I. — Zaharov E. V. — Kokotuskin G. A.* — 1973: Albom paletok dlja magnyito-telluricseszko zongyirovanyija v nyeodnorodnih szredah II. Izd. M. G. U. Naucsno-isszedovatyelszkij. Vücsiszlityelnüj centr.
- [33] *Dmitriev V. I. — Kokotuskin G. A.* — 1975: Albom paletok dlja magnyito-telluricseszko zongyirovanyija v nyeodnorodnih szredah III. Izd. M. G. U. Naucsno-isszedovatyelszkij. Vücsiszlityelnüj.
- [34] *Coggon I. H.* — 1971: Electromagnetic and electrical modelling by the finite-element method. Geophysics V. 36. p. 132 — 155.
- [35] *Kisak E., Silvester P., Telford W. M.* — 1977: A recursive method in the E polarization of magnetotelluric modelling by hygh- order finite elements 1976. Acta Geodaet, Geophys et Mont. Acad. Sci Hung. Tomus 12 (1 — 3) pp. 255 — 266. 1977.
- [36] *Dey A. and Morrison H. F.* — 1979: Resistivity modelling for arbitrarily shaped three-dimensional structures. Geophysics V. 44. p. 753 — 780.
- [37] *Jones F. W., Pascoe L. J.* — 1971: A general computer program to determine the perturbation conductivity With an embedded inhomogeneity. Geophys. Jr. Astr. Soc. 24. 1971.
- [38] *Reddy I. K. — Rankin D.*: Magnetotelluric response of a two-dimensional sloping contact by the finite element method. Pure and Applied Geophysics 105. 847 — 857.
- [39] *Kisak E. — Silvester P.*: A Finite Element Program Package for Magnetotelluric Modelling Computer Physics Communication. North-Holland Publishing Company 10. 1975. 421 — 433.
- [40] *Hohmann G. W.* — 1975: Three-dimensional induced polarization and electromagnetic modeling. Geophysics V. 40. p. 309. 324.
- [41] *Pridmore D. F.* — 1978: Three dimensional modelling of electric and electromagnetic data using the finite-element method. Ph. D. thesis. University of Utah.
- [42] *Berdicheskij M. N. — Dmitriev V. I.*: Basic principles of interpretation of magnetotelluric sounding curves. KAPG. monográfia: „Goelectric and Geothermal Studies” Akadémiai Kiadó Budapest 1976.

- [43] *Berdichevskiy M. N. — Dmitriev V. — 1976: Distortion of magnetic and electrical fields by near-surface lateral inhomogeneities. Acta Geodet, Geophys at Montainst. Acad-Sci. Hung. Tomus 11 (3–4) pp. 447–483.*
- [44] *Isaev G. A. — Kaufman A. A. — Rabinovich B. J. — Satohin V. N. — 1970: Theory of the EM Fields as Applied in Geophysical Prospecting (in Russian). Nauka 1970 Novosibirsk.*
- [45] *Salát P. — Drahos D. — 1975: A felszíni és karotázis elektromágneses szondázások interpretációjának az információelméleten és a lineáris rendszerek elméletén alapuló stratégiája. Magyar Geofizika XVI. évf. 1. sz.*
- [46] *Matvejev B. K. — 1974: Interpretacija elektromagnitnüh zondirovanij Izd. „Nyedra” Moszkva.*
- [47] *Ward S. H. — 1980: Electrical, electromagnetic and magnetotelluric methods. Geophysics Vol. 45. No. 11.*
- [48] *Tyihonov A. N. — Dimítriev V. I. — Szkugarevszkaja O. A. — Sahszuvarov D. N. — 1967: Táblícü amplitud i faz elektromagnitnovo polja v szloisztom prosztransztve. M. G. U. Vücsiszlityelnüj centr. — AN SZSZSZR Geoliceseszkij Insztitut Moszkva.*
- [49] *Tyihonov A. N. — Dimítriev V. I. — Szkugarevszkaja O. A. — 1968: Tablicü amplitud i faz elektromagnitnovo polja v szloisztom prosztransztve. Csetüre szlojnoy pazrez sz vüszokomnüm szlojem. M. G. U. Vücsiszlityelnüj centr. — AN SZSZSZR Geoliceseszkij Insztitut Moszkva.*
- [50] *Tyihonov et al. 1973: Teoreticeseszkie krivüe csasztotnüh elektromagnitnüh zongyirovanij geoliceseszkih szstruktur. Dvuhszlojnaja szstruktura. Izd. Nauka Moszkva.*
- [51] *H. W. Dosso — 1965: A plane wave analogue model for studying electromagnetic variations.*
- [52] *Fomina — Kuznyecov — Kocsawjanc — 1972: Frekvenciaszondázás az elektromos vezérszint lépcső-modellje felett. (oroszul) Prikladnaja Geofizika 67. Moszkva.*
- [53] *Bergyicseszkij et. al. — 1972: Horizontálisan inhomogén közeg elektromágneses szondázása dipól elrendezéssel. (oroszul) Prikladnaja Geofizika 68. Moszkva.*
- [54] *A. Kuznyecov — Zaradszkaja — 1974: Szigetelő-árnyékoló réteget tartalmazó horizontálisan inhomogén közeg elektromágneses szondázása dipól elrendezéssel. Prikladnaja Geofizika 73.*
- [55] *Azad J. — 1977: Direct oil prospecting uses electrical transient reflections. The Oil and Gas Journal 1977. Sept. 12.*
- [56] *Azad J. — 1979: Electrical transients I. Mapping acumulativus of oil and gas. The Oil and Gas Journal 1979. jan. 15.*
- [57] *Azad J. — 1979: Electrical transients II. (conclusion). Mapping accumulations of oil and gas. The Oil and Gas Journal 1979. jan. 22.*
- [58] *Azad J. — 1980: Electrical transients I. Seismic, electrical transients combine to discorve oil and gas fields. The Oil and Gas Journal 1980. jun. 2.*
- [59] *Azad J. — 1980: Electrical transients II. Seismic and electrical transients combine to find oil. The Oil and Gas Journal 1980. jun. 9.*
- [60] *Dr. J. Dzwínel — 1978: An electromagnetic hypothesis of hydrocarbon migration and concentration as significant supplementary element of the up to date theories of these processes. 23 th. Geophysical Symposium Varna 1978. Proceeding.*
- [61] *Dr. J. Dzwínel — 1979: Direct exploration for hydrocarbon by the WEGA-D System. 24 th. Geophysical Symposium Cracow. Poland Proceedings II.*
- [62] *CGG — 1980: A new generation of electromagnetic methods. Geophysical Prospecting Vol. 28. No. 5*
- [63] *Nagy Z. — 1972: A Kisalföldön végzett geoelektromos mérések helyzete, eredményei és problémái. Magyar Geofizika XIII. évf. 6.*
- [64] *OKGT GKÜ — 1971: E–16. sz. jelentés az 1967–71. években a zalai medence területén végzett geoelektromos mérésekről. GKV adattár.*
- [65] *OKGT GKÜ — 1971: E–16/A sz. kiegészítés az 1967–71. években a zalai medence területén végzett geoelektromos mérésekről szóló E–16. sz. jelentéshez. GKV adattár.*
- [66] *Landy Kornélné — Lantos M. — 1976: Szerkezeti egységek lehatárolása tellurikával. Magyar Geofizika XVII. évf. 4.*
- [67] *Karas Gyuláné — Lantos M. — Nagy Z. — Péterfai B. — Vida Zs. — Zimányi I. — 1974: Első hazai kísérletek CH telepek és környezetük vizsgálatára elektromos mérésekkel. Magyar Geofizika XVI. évf. 4. (1975)*
- [68] *OKGT GKÜ — 1973: EI/4. sz. információs jelentés az 1972. évben a fedésmézi gázmezőn végzett geoelektromos mérésekről. GKV adattár.*
- [69] *OKGT GKÜ — 1974: E–1/7. sz. információs jelentés a Pusztapaáti–I mélyfúrás környezetében 1973-ban végzett geoelektromos mérésekről. GKV adattár.*
- [70] *OKGT GKÜ — 1975: E–M/2. sz. módszertani jelentés az árnyékoló elektródás módszerrel 1974-ben végzett terepi és kádmodell mérések eredményeiről. GKV adattár.*

- [71] *Landy Kné-Lantos M.* – 1977: Application of computer modelling for the delineation of drilled high-resistivity deposits. Proceedings I. 22th. International Geophysical Symposium 1977. 13 – 16. sept. in Prague Geofyzika n. p. Brno 1978.
- [72] *Ádám A. – Nagy Z. – Salát P. – Verő J.* – 1968: Geoelektromos munkálatok automatizálása. Magyar Geofizika IX. évf. 4 – 5.
- [73] *Verő J.* – 1975: Az analóg-digitális átalakítás hibáinak hatása a magnetotellurikus idősorokra. Magyar Geofizika XIII. évf. 3.
- [74] *Nagy Z. – Vida Zs. – Zimányi I.* – 1975: Az OKGT GKŰ nagyteljesítményű, frekvenciaszelektív elektromágneses mérőrendszere és alkalmazási területei a CH kutatásban. Proceedings 20 th. Geophysical Symposium Bp. 1975.
- [75] *Ivanov A. P.* – 1975: Continuous Electromagnetic frequency sounding of geological structures. Izd. Nauka Moszkva.
- [76] *Ivanov A. D., Szkugarevszkaja O. A.* – 1978: Metodika csaszotnüh elektromagnytüh zondirovanij. Izd. Nauka Moszkva.
- [77] OKGT GKŰ – 1976: E – I/12. sz. információs jelentés a Szanki- kutatási területen végzett geoelektromos mérésekről. GKV adattár.
- [78] OKGT GKŰ – 1976: E – I/13. sz. információs jelentés Eger kutatási területen végzett frekvenciaszondázásokról. GKV adattár.
- [79] OKGT GKŰ – 1978: E – I/13A sz. információs jelentés Demjén, Demjén – Pünkösdhegy és környéke térségében végzett frekvenciaszondázásokról. GKV adattár.
- [80] OKGT GKŰ – 1978: E – I/14. sz. információs jelentés Jászkisér – Kömlő kutatási területen végzett geoelektromos mérésekről.
- [81] Geofizikai Kutató Vállalat (GKV) – 1979: E – I/16. sz. információs jelentés Verpelét térségében 1978-ban végzett frekvenciaszondázásokról. GKV adattár.
- [82] *Ádám A. – Verő J.* – 1971: Magnetotellurikus szondázások adatfeldolgozása és kiértékelése. (Módszerfejlesztés) MTA GGKI jelentése kutatási-fejlesztési munkáról. GKV adattár.
- [83] *Ádám A. – Kardeván P. – Kormos I. – Nagy Z. – Pongrácz J. – Régeni P. – Szabadváry L. – Szarka L. – Zimányi I.* – 1980: Analóg modell a geoelektromos módszerek tanulmányozására az MTA GGKI-ben. Magyar Geofizika (1981 megjelenés alatt).
- [84] *Salát P. – Drahos D. – Torkos P.* – 1973: Jelentés a vertikális elektromos szondázási görbék, valamint elektromágneses frekvenciaszondázási görbék számítási módszereinek kidolgozásáról, horizontálisan rétegzett modellekre. ELTE Geofizikai Tanszék jelentése kutatási témáról. GKV adattár.
- [85] *Salát P. – Drahos D. – Torkos P.* – 1974: Jelentés a geoelektromos szondázások szűrőelméleten alapuló interpretációja horizontálisan rétegzett rétegsor felett c. kutatási témáról. ELTE Geofizikai Tanszék jelentése. GKV adattár.
- [86] *Salát P. – Drahos D. – Torkos P.* – 1975: A geoelektromos szondázások szűrőelméleten alapuló interpretációjának lehetőségei, közel horizontálisan rétegzett rétegsor felett, elektromos dipol gerjesztéssel és elektromos dipol észleléssel végzett frekvenciaszondázások esetén. ELTE Geofizikai Tanszék jelentése. GKV adattár.
- [87] *Salát P. et. al.* – 1977: Információelméleti és szűrőelméleti értelmezési módszerek kifejlesztése és alkalmazása DES és MTS geoelektromos szondázások egydimenziós modellekkel való interpretálására. ELTE Geofizikai Tanszék: A geotermikus rezervoárok kutatása a Pannon medencében c. KFH kutatási téma részjelentése.
- [88] *Salát P. – Drahos D. – Torkos P.* – 1977: A véges hosszúságú elektromos tápdipollal végzett frekvenciaszondázások direkt feladatmegoldása horizontálisan rétegzett modellekre E_x és B_z komponensekre. ELTE Geofizikai Tanszék jelentése. GKV adattár.
- [89] *Salát P. – Cserepes L. – Drahos D. – Torkos P.* – 1979: A magnetotellurikus szondázási eredmények információs-statisztikus interpretációja és elektromos tápdipolú FRSZ elméleti görbék pontosabb közelítése. ELTE Geofizikai Tanszék jelentés. GKV adattár.
- [90] *Salát P. – Cserepes L. – Drahos D. – Torkos P.* – 1980: Az elektromágneses szondázások értelmezési módszerének fejlesztése. ELTE Geofizikai Tanszék jelentése. GKV adattár.
- [91] *Takács E.* – 1964: Magnetotellurikus műszer és módszerfejlesztési vizsgálatok és alkalmazásuk a geofizikai kutatásban. Kandidátusi értekezés.
- [92] NME Geofizikai Tanszék – 1967: Jelentés a mágneses mikrovariációk vertikális összetevőjének és a „forráskutatás” szerepének vizsgálatáról a magnetotellurikus kutatásban. GKV adattár.
- [93] NME Geofizikai Tanszék – 1968: Jelentés a magnetotellurikus módszer fejlesztését célzó vizsgálatokról. GKV adattár.
- [94] NME Geofizikai Tanszék – 1969: Jelentés a magnetotellurikus és mesterséges elektromos térrel végzett frekvenciaszondázási kísérleti mérésekről. GKV adattár.

- [95] NME Geofizikai Tanszék – 1971–72: Jelentés a szénhidrogén-kutatásban alkalmazható elektromágneses geofizikai mérések módszertani és elméleti problémáinak vizsgálatáról I., II. GKV adattár.
- [96] NME Geofizikai Tanszék – 1972–73: A magnetotellurikus tér alkalmazásának törvényszerűségei néhány kétréteges kétdimenziós monoklinális, antiklinális és szinklinális jellegű szerkezetek fölött. (Részletjelentés I., II.) GKV adattár.
- [97] NME Geofizikai Tanszék – 1973: A magnetotellurikus tér többréteges, kétdimenziós, inhomogén szerkezet felett. Jelentés. GKV adattár.
- [98] NME Geofizikai Tanszék – 1976: Kétdimenziós, inhomogén magnetotellurikus tér vizsgálata. Jelentés. GKV adattár.
- [99] NME Geofizikai Tanszék – 1977: Az elektromágneses frekvenciaszondázás néhány alapkérdésének vizsgálata. Jelentés. GKV adattár.
- [100] NME Geofizikai Tanszék – 1979–80: Az elektromágneses szondázások értelmezési módszereinek fejlesztése I., II. Jelentés. GKV adattár.
- [101] MÁELGI – 1975: Jelentés a digitális jelrögzítésű magnetotellurikus adatok számítógépes feldolgozásáról. GKV adattár.
- [102] Geofizikai Kutató Vállalat – 1975: E–I/11. sz. információs jelentés a Kálmánca – Háromfa – Darány kutatási területen 1974–75-ben végzett digitális jelrögzítésű magnetotellurikus mérésekről. GKV adattár.
- [103] Karas Zs. – Nagy Z. – Pázsit M. – 1976: New Perspective of the Magnetotelluric Method Using Digital Techniques. 21. th. Geophysical Symposium Leipzig 1976. Proceedings II. OMDK – Technoinform, Budapest 1977.
- [104] Landy I. – Lantos M. – Nagy Z. – 1979: Data processing for a computerized magnetotelluric field system. 24. th. Geophysical Symposium, Cracow, Poland 1979 Proceedings II.
- [105] OGKT GKÜ – 1972–73: DE modellmérések eredményei a medencealjzat többlepcsős szerkezete felett. GKV Geoelektromos osztály adattár.
- [106] Frölich R. K. – 1968: The influence of lateral inhomogenities on the dipole methods. Geophysical prospecting Vol. XVI. No. 3.
- [107] Patella D. – 1974: On the transformation of dipole to Schlumberger sounding curves. Geophysical Prospecting V. 22. (315–329).
- [108] Patella D. – 1980: The Quantitative interpretation of dipole soundings by means of the resistivity transform function. Geophysical Prospecting Vol. 28. (956–960).
- [109] Markó L. – Réz F. – 1974–77: Kumulatív ellenállás, ill. vezetőképesség szelvények előállítása karotázs szelvények alapján. I., II., III., IV. OGIL Kútegeofizikai Elméleti Osztály jelentései. GKV adattár.
- [110] Geofizikai Kutató Vállalat – 1980: E–I/17. sz. információs jelentés az 1979. évben Telkibánya – Hidasnémeti kutatási területen végzett magnetotellurikus mérésekről. GKV adattár.
- [111] Geofizikai Kutató Vállalat – 1980: E–18. sz. jelentés a Jászladány – Jászkisér – Kömlő kutatási területen 1978–79–80. években végzett geoelektromos mérésekről. GKV adattár.
- [112] Takács E. – 1976: The role of the vertical pulsations of the magnetic field in magnetotelluric measurements. KAPG Geophysical monograph (Editor: A. Ádám) Akadémiai kiadó, Budapest.
- [113] Landy I. – Nagy Z. – 1980: The origin of extra high apparent resistivity magnetotelluric horizons in young sediments. 25 th. Geophysical Symposium 1980. Székesfehérvár. Proceedings.