

# A földi áramok kutatásának helyzete Magyarországon

Á D Á M A N T A L

*Ismeretésünk a földi áramok hazai kutatásának két területét mutatta be problematikájával és eredményeivel. A geofizika tudományára jellemzően a két terület a nagy magasságok és mélységek vizsgálatát foglalja magában ugyanannak a „szerény eszköznek”, a földi áramoknak, vagy teljesebben a földi elektromágneses térnek segítségével.*

*В работе рассматриваются две области исследования земных токов, с описанием возникающих при этом проблем и полученных результатов. Эти области, характерные для геофизической науки, охватывают большие высоты и большие глубины, которые изучаются с использованием земных токов, точнее, электромагнитного поля Земли.*

*In der Besprechung werden zwei Gebiete der einheimischen Erdstromforschung mit ihren Problematiken und Resultaten dargestellt. Es ist bezeichnend für die geophysikalische Wissenschaft, dass die zwei Gebiete die Erforschung der grossen Höhen und Tiefen gleicherweise mit Hilfe desselben „bescheidenen Werkzeuges”, nämlich des Studiums der Erdströme enthalten.*

## A földi áramokról

A „földi áramok” a Földben folyó természetes elektromos áramok, amelyeket a földmágneses tér változása indukál az altalajban. Szokásos még a latin eredetű „tellurikus” szóval is jelölni őket (földi áramok = tellurikus áramok). A két földelt elektróda között jelentkező elektromos feszültségkülönbség változó része származik a földi áramoktól. Ez az elektromos térváltozás a földmágneses tér változásához hasonlóan globális tulajdonságú, tehát a Föld jelentős részén egyformán lép fel és arányosnak vehető az elektródák távolságával. A potenciálgradiens mértékegysége:  $mV/km$ . Nagyságrendje:  $10^{-2} - 10^2 mV/km$ . A földi áramok és a földmágneses tér kapcsolatát a Maxwell-egyenletek írják le, melyeknek anyagállandói az altalaj fizikai-kémiai tulajdonságait fejezik ki. A földi áramok periódustartományára (frekvenciatartományára) az indukciótörvény értelmében elvileg megfelel a földmágneses változások igen széles spektrumának, így  $10^{-7} sec$ -tól néhány száz évig terjed. Gyakorlatilag azonban a hosszú periódusú földi-áramváltozások nagysága az észlelhetőség határa alatt van. A földi áramok periódusuk függvényében az altalaj különböző szelvényeiben folynak. Azt a mélységet, amelyben az áram intenzitása a földfelszínen mért értéknek  $1/e$ -ed részére csökken le – „ $e$ ” a természetes logaritmus alapja – az áram behatolási mélységének ( $p$ ) nevezzük. Ez a mélység a skin-effektus törvénye szerint az áramtól átfolyt szelvény fajlagos ellenállásának ( $\rho$ ) és az elektromágneses térváltozás periódusának ( $T$ ) négyzetgyökével arányos, tehát

$$p^{(km)} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{10 \rho^{(\Omega m)} T^{(sec)}}$$

Milyen információkat adnak számunkra a földi áramok, miért foglalkoznak kutatásukkal? A fent leírt alapvető tulajdonságaikból következik a válasz:

I. Minthogy a földi áramokat a földmágneses térváltozások indukálják, változásaikkal a földi áramok is tudósítanak a magas légkörben lejátszódó elektromágneses jelenségekről. Ez az információ-közlés azonban másképpen frekvenciafüggő, mint a földmágnesség és az indukciótörvény, továbbá az altalaj elektromos sajátosságai által megszabott szűrőn keresztül történik. Így a

földi áramok bizonyos elektromágneses változástípusok észlelésére egyszerűbb és kedvezőbb megfigyelési, regisztrálási eljárást kínálnak, mint a földmágneses tér. Ezek a változások elsősorban az elektromágneses „pulzciók”, amelyeknek periódus-tartománya  $T = 0,2 - 600 \text{ sec}$ .

2. A földi áramok intenzitását az indukáló téren kívül az altalaj elektromos felépítése, elsősorban a kőzetek fajlagos ellenállása és az áram behatolási mélysége határozza meg. Ez utóbbin keresztül a változás periódusa mellett ugyancsak az altalaj fajlagos elektromos ellenállása befolyásolja az áram intenzitását. Így a földfelszínen mért potenciálgradiensből következtetéseket szűrhetünk le az altalaj elektromos sajátosságaira, ebből az altalajra és annak mélységi változására. Ez a kérdéskomplexum egyrészt a nyersanyagkutató geofizikust, másrészt a Föld belső felépítésével, a benne lejátszódó fizikai-kémiai folyamatokkal, a Föld kialakulásával stb. foglalkozó szakembereket érdekli.

### *A földi áramok kutatásának rövid története*

Hol tart a földi áramok kutatása, milyen eredményeket könyvelhet el magának, elsősorban hazánkban? A mai szint rögzítéséhez lássuk először röviden a kutatás fejlődéstörténetét.

A földi áramok felfedezése a XIX. század közepén azoknak a mérnököknek nevéhez fűződik, akik a telefonhálózatok kiépítésével foglalkoztak. Mágneses viharok és sarki fény idején hosszabb telefonvonalakon többszáz voltos feszültség is fellépett (pl. 1859. augusztusában és szeptemberében) és megzavarta a telefonkapcsolatot.

Barlow angol mérnök tanulmányozta a telefonvonalakon először rendszeresen a földi áramok napi változásait 1849-ben.

Lamont 1859-ben München mellett felállította az első földiáram-obszervatóriumot. Ő volt az első, aki a földi áramoknak a földmágneses térrel való kapcsolatát is kutatni kezdte a Faraday-féle indukációs-törvény alapján. Így joggal nevezhetnénk Lamontot az 1950 körül kialakult korszerű geofizikai kutatási módszer: a magnetotellurika atyjának.

Az első Poláris Év<sup>1</sup> (1882–83-ban) expedíciói céljául tűzte ki a földi áramok megfigyelését is. „... ezen expedíciók különösen a föld két pólusa körül fekvő és lehetőleg egyenletesen elosztott állomásokon megtelepedvén, ott az 1882. évi szeptember 1-től 1883. évi szeptember 1-ig általában kozmikus észleléseket, meghatározott (termin-) napokon és órákon pedig egyidejű (korrespondáló) földmágnességi s lehetőleg fölelektromossági megfigyeléseket tegyenek.” – írja Fröhlich Izidor, a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagja „A Magyar Korona területén megfigyelt elektromos földi áramokról” című tanulmányában. Ebben számol be a hazánkban végzett első földiáram-mérésekről két egymásra közel merőleges telefonvonalon (Sopron – Kolozsvár és Krakó – Eszék). – Így a Poláris Évben már lehetőség nyílt a földi áramok regionális sajátosságainak tanulmányozására is e megfigyelőhálózat révén.

Az újabb aktív kutatási periódus 1910-ben kezdődött a spanyolországi Ebro-i obszervatórium felállításával. Nem kisebb jelentőségű a tartós földiáramregisztrálás bevezetése a washingtoni Carnegie Intézet (USA) földmágneses obszervatóriumaiban (Watheroo, Nyugat-Ausztrália, 1923; Huancayo, Peru,

<sup>1</sup> Az osztrák – magyar tengerészet tisztje, Weyprecht kezdeményezte.

1926 és Tucson, Arizona, 1939). Az itt végzett kutatások alapján szerkesztette meg Gish és Rooney a Nap-napi földiáramrendszert az egész Földre ( $18^h$  GMT-re).<sup>2</sup> Az obszervatóriumokban folyó kutatások célja elsősorban a földi áramok időbeli változásainak, periódicitásainak (pl. Nap-napi, holdnapi változás, ezek amplitudójának évszakos, napfolteciklus szerinti változása, stb.) tanulmányozása volt. Ezeket a vizsgálatokat értékesen egészítették ki a 2. Poláris Évben, 1932–33-ban, főként Alaszkában, Kanadában, Finnországban és Norvégiában végzett regisztrálások.

A Szovjetunióban ugyancsak a Föld egyik legnagyobb obszervatórium-hálózatát építették ki. Külön említésre méltóak azok a kísérletek, amelyeket a piezoelektromosság alapján a földi áramokkal a földrengések előrejelzésére vonatkozóan végeztek.

E. Leonardon 1921-ben C. Schlumberger irányításával érdekes kísérletet végzett. A rajnai törés két oldalán mérte a földi áramokat és a télerősség arányára a két pontban  $1/20$  értéket kapott. Ez a tapasztalat indította el útjára a földi áramok ipari alkalmazását a földtani nyersanyag-kutatásban. M. Schlumberger 1939-ben közölte a kb.  $20$  sec periódusú földiáram-változásokkal, az ún. pulzációkkal végzett „tellurikus kutatásainak” első eredményeit. A geofizikusok érdeklődése ezzel a tellurikus pulzációk felé fordult. M. Schlumberger és munkatársai, köztük főként a magyar származású Kunetz Géza, a „tellurikus kutatás” módszertani elveinek kidolgozása mellett, a Földön egymástól  $6000-9000$  km-re fekvő méréspontokban végzett egyidejű regisztrálásaikkal először hasonlították össze a tellurikus pulzációkat világméretben. (1946, 1952.)

A tellurikus mérési módszer gyakorlati kérdéseivel hazánkban 1952-ben kezdett el foglalkozni a soproni Geofizikai Tanszék. Ez a munka 1953-tól 1956-ig Kántás Károly irányításával részben a Nehézipari Műszaki Egyetem (Sopron) Geodéziai és Geofizikai Munkaközössége keretében folyt. A mérőműszerek és a mérési technika kialakítása után a Munkaközösség több éven keresztül vizsgálta a földi áramok alkalmazhatóságát a kőolaj-tároló földtani szerkezetek felkutatására. Az eredményes kísérletek után a módszer ipari alkalmazásával és részben továbbfejlesztésével is a M. Áll. Eötvös Loránd Geofizikai Intézet foglalkozott és foglalkozik ma is. Ebben jelentős segítséget kapott a Nehézipari Műszaki Egyetem Geofizikai Tanszékétől és az OKGT Szeizmikus Üzemétől. Az Intézet munkatársai a tellurikus módszert a mesterséges elektromos térrel végzett dipol elektromos szondázással kiegészítve létrehozták az ún. komplex geoelektromos kutatási eljárást, amellyel a nagyellenállású medencealjzat mélységváltozásait  $\pm 10-15\%$ -os relatív hibával tudják meghatározni. Így a magyar kutatók a földi áramoknak ipari geofizikai alkalmazásában világvízeszónyában is élvonalba kerültek.

Ugyanakkor a Geodéziai és Geofizikai Munkaközösségnek, illetve 1955-től egyik jogutódjának, a MTA Geofizikai Kutató Laboratóriumának kutatói érdeklődésükkel egyre inkább a földi áramok időbeli és térbeli törvényszerűségei felé fordultak. Ennek első megnyilvánulása volt az 1956 januárjában a Sopronban és Pekingben végzett egyidejű tellurikus regisztrálás.

1956-ban, az 1957–58. évi Nemzetközi Geofizikai Év előkészítéseként megkezdődött a Nagycenk melletti földi-áramobszervatórium építése, amely 1957 augusztusában regisztrálni is kezdett. A külföldi szakemberek jelentős

<sup>2</sup> Világidő (a  $0^{\circ}$ -os délkör helyi ideje)

lépésnek tekintették ezt az erősen civilizált Közép-Európában, ahol a villamos hálózatokból a talajba kerülő ún. kóboráramok miatt egyre nehezebbé válik zavartalan földi-áram-obszervatórium létesítése. Ezt a Német Geofizikai Egyesület 1958. évi lipcei közgyűlésén Fanselau professzor azzal a megállapításával jutatta kifejezésre, hogy az obszervatórium a nemzetközi megfigyelőhálózat egy lényeges hiányát küszöbölte ki. Ma az obszervatórium zavartalan-ságát 453,2 ha természetvédelmi terület biztosítja (OTT 1435/1960 sz. határozata). 1960-ban a földi áram-regisztrálást kiegészítette a földmágneses, 1961-ben pedig a légköri elektromos komponensek megfigyelése, illetve regisztrálása. A teljes elektromágneses komplexum egyidejű vizsgálatával a Maxwell-i szellem jutott kifejezésre. (Az obszervatórium évi jelentéseit a Laboratórium igazgatója, Tárcey-Hornoch Antal, akadémikus 1957-től évenként rendszeresen kiadja, Observatoriumsberichte, illetve 1967-től Geophysical Observatory Reports címen.) Ennek megfelelően a földi áramok időbeli és térbeli vizsgálata mellett egyre nagyobb kutatási teret kapott a magnetotellurika is, amely éppen a földi áramok és a földmágneses tér kapcsolatán alapszik és szolgáltat információkat a Föld elektromos felépítéséről igen nagy mélységekig.

Amikor e tanulmány címének megfelelően a földi áramok kutatásának mai szintjéről írunk, összhangban a bevezetőben is megfogalmazott célkitűzésekkel, két főbb kutatási terület eredményeiről kell említést tennünk:

1. a földi áramok (teljesebben a földi elektromágneses tér) pulzációinak vizsgálatáról,
2. a Föld elektromos felépítésével kapcsolatos tellurikus és magnetotellurikus kutatások eredményeiről.

#### *A pulzációkutatás eredményeiről*

A pulzációk a földi elektromágneses tér (így a földi áramok) eléggé szabályos szinuszoidális rezgései. Periódusuk  $0,2 - 600$  sec között van. A Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió XIII. kongresszusán 1963-ban két nagy csoportra osztották fel ezeket főbb morfológiai sajátásaik alapján:

1. Hirtelen kezdetű, gyorsan csillapodó éjszakai (helyi időben) változások. Nevük  $pi$  (pulsations irrégulières), (régebben  $pt =$  pulsations trains). Két típusuk van:  
 $pi 1 : 1 - 40$  sec periódusú változások,  
 $pi 2 : 40 - 150$  sec periódusú változások.
2. Folyamatos pulzációk (pulsations continues -  $pc$ ), amelyek helyi időben többnyire nappal jelentkeznek. Amplitudójuk lassan változik. Két alapvetően különböző csoportjuk van:  
 $pc 1 : alapperiódusuk 0,2 - 5$  sec,  
 $pc 2 - 5 : 5 - 600$  sec periódusú változások.

A rendszeres pulzációkutatással a MTA Geofizikai Kutató Laboratóriuma 1957-ben kezdett foglalkozni Nagycenk melletti obszervatóriumában. Így már egy teljes napfoltciklus földi-áram-regisztrálási anyagával rendelkezik. Ezt az értékes anyagot a Laboratórium kutatói sokrétűen tanulmányozták és vizsgálatukkal hozzájárultak a földi elektromágneses tér pulzációi keletkezési mechanizmusának és belőlük a felső légkör elektromos állapotára vonatkozóan leszfűrhető információk tisztázásához.

A pulzáció-kutatás első fázisa olyan jellegszámok kidolgozása volt, amelyekkel a különböző földfizikai paraméterek összefüggését megfelelően tanul-

mányozni lehet. Ilyen pl. a lassú regisztrátumokból a pulzációk napi átlag-amplitudója alapján meghatározott  $K_1$  jellegszám, továbbá a részletes pulzáció-elemzéshez a különböző periódusokra negyedórás időközben számított ezrelékes gyakoriság. Ismert ugyanakkor a pulzációk amplitudója, típusa stb. is. Ezeknek a jellegszámoknak az alapján olyan statisztikai vizsgálatok történtek, amelyek a pulzációk alapvető morfológiai sajátosságait kiemelték és ugyanakkor a földi elektromágneses komplexumon belül bizonyos kapcsolatokat, törvényszerűségeket is körvonalaztak, amelyek az elméleti megfontolások igazolásánál nélkülözhetetlenek. Néhány ezek közül:

A gyakorisági számokkal meghatároztuk a pulzációk periódus szerinti eloszlását. A valószínűségi papíron ábrázolt görbe két eloszlásból építhető fel. Az alapeloszlásba a *pc 2*, *pc 4* és *pc 5* típusú változások tartoznak. Ezek közül emelkedik ki a *pc 3* – típus, amely szabályos alakú pulzációkból áll és közepes periódusa *21 sec*. A két sáv határai a napfolteikus folyamán eltolódnak. A szabálytalanabb pulzációk aránya megnő a napfolt-maximumban.

A mágneses tevékenység<sup>3</sup> és a pulzációk kapcsolata változik a pulzációk periódusának függvényében. Pl. *14 sec*-nél rövidebb és *90 sec*-nél hosszabb periódusoknál a gyakoriság a tevékenység növekedésével nő.

A napfolttevékenységgel való kapcsolat vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy még az azonos mágneses tevékenységre való redukció után is a napfolt-maximum idején azoknak a periódus-sávoknak a gyakorisága nagyobb, amelyek a tevékenyebb időszakokra jellemzőek. A pulzációkban a „megnyugvás” a napfoltminimumkor a napfoltmaximumhoz képest nagyobb mérvű, mintsem erre a mágneses tevékenység alapján következtetni lehetne.

Összefüggést találtunk a magnetoszféra elektronkoncentrációjával arányos whistler-diszperzió és a pulzációk amplitudója ( $K_1$ ) között a napfoltmaximum idején, amikor a június – júliusi pulzációk amplitudója sokkal nagyobb, mint a december – januári. A napfoltszám csökkenésével a maximum egyre inkább tavaszra és őszi felé tolik el.

A nemzetközi osztályozásban már említett nappali és éjszakai pulzációk közötti átmenet kérdésével kapcsolatban megállapítottuk, hogy a két tevékenység között az esetek elég nagy részében folyamatos átmenet van. Az átmenet időpontját a mágneses tevékenység szabja meg.

Az éjszakai *pi 2* pulzációk amplitudója megnő, ha az ionoszférás  $F_2$ -réteg<sup>4</sup> elektron-koncentrációja csökken és a réteg megemelkedik. Ugyanakkor a *pi 2* pulzációk periódusa független az  $F_2$ -réteg elektronkoncentrációjától.

A nemzetközi obszervatóriumhálózat kiegészítő regisztrátumai segítségével megvizsgáltuk a pulzációk területi eloszlását a Földön. Mint a történeti részben említettük, ilyen kísérleteket már végeztek ugyan a franciák és régebben a Laboratórium kutatói is, viszonylag távoli, de nem az egész Földet átfogó ponthálózattal. Az újabb térelemzés a Földre elosztott *19* pontjával egyedülálló a maga nemében. Ennek főbb megállapításai:

A *pi* típusú pulzációk kiterjedése lényegesen nagyobb, mint a *pc* típusúaké és legalább a Föld felére tehető.

Az éjszakai oldalon jelentkező *pi*-kkel egyidejűleg megerősödik a nappali oldalon a *pc*-típusú tevékenység is.

<sup>3</sup> A három óra alatt tapasztalt maximális és minimális földmágneses tér közötti különbség alapján számítva.

<sup>4</sup> Átlagos magassága *250 km*

Az egyenlítőől kb.  $20-30^\circ$ -ra északra és délre húzódik az az öv, ahol a korreláció a többi távoli állomás regisztrátumaival lényegesen nagyobb, mint más szélességeken.

A  $\pi$  típusú változások periódusában szélességfüggés nincs.

A felsorolt vizsgálatok, amelyeket a Laboratórium kutatói a földi-áram-regisztrátumok segítségével végeztek, a pulzációk keletkezésének sok lényeges vonására mutattak rá. Az elmélet ma még nem tudja valamennyit egyértelműen megmagyarázni.

A pulzációk kialakulásában legnagyobb szerepet a Föld magnetoszférájában terjedő magnetohidrodinamikuss hullámok<sup>5</sup> játsszák. Ezek az ionoszférában, ahol a részecskék gyakorisága megnő, fokozatosan elektromágneses hullámokká alakulnak át és így jutnak a Föld felszínére is.

A Maxwell-egyenletekre két egymástól független megoldást kapunk a pulzációk periódustartományában, ha a földi mágneseret dipólusnak tételezzük fel és tengelyét a forgástengely irányába vesszük fel. Az első a poloidális típus, amely a magnetoakusztikus hullámnak felel meg és az erővonalakra merőlegesen terjed. A második a torziós, vagy toroidális típus, amelynél az erővonalak mozgása egymástól független és a zavar csak az erővonalak irányában terjedhet. A terjedés sebessége  $V_a = H/\sqrt{\pi \rho'}$ , ahol  $H$  a mágneses térerősség,  $\rho'$  pedig a részecskesűrűség. Ezekkel a hullámokkal megkíséreljük felvázolni a pulzációk keletkezését:

A  $\pi$  2 pulzációknál a Föld felé áramló napszél eredetű korpuzskuláris részecskék zavart keltenek a magnetoszférának az uszályába eső részén. Ezek a zavarok magnetohidrodinamikusan terjednek az erővonalak mentén és a sarki fény övezetébe érkeznek be. Kisebb szélességeken való megjelenésük feltehetően ionoszférikus terjedés következménye, minthogy a  $\pi$  2 pulzációk periódusa nem függ a földrajzi szélességtől.

A  $\pi$  1 rövidebb periódusú rezgések valószínűleg az ionoszféra és a hidromágneses hullámok sebességmaximuma közötti ún. „üreg” rezonancia-mechanizmusra vezethetők vissza.

A szabályos  $pc$  típusú pulzációkat az eddigi vizsgálatok szerint feltehetően a napszélbe ágyazott inhomogenitások hatására a magnetoszféra határán keletkező magnetoakusztikus hullámok hozzák létre. Ezek az erővonalakra merőlegesen a Föld felé terjednek és közben terziós magnetohidrodinamikuss hullámokká alakulnak át. Ezeknek a periódusa függ az erővonal hosszától, tehát a tapasztalatnak megfelelően ezek periódusa – legalábbis részben – szélességfüggő. Az átalakulás kb.  $30^\circ$  szélességen a legerőteljesebb, amint azt a pulzációk területi eloszlásának vizsgálatakor számított amplitúdó-korrelációk mutatják.

A  $\pi$ , továbbá a  $pc$  típusú pulzációk amplitúdó-erősödésének egyidejű jelentkezése az elsődleges zavarnak az erővonalakra merőlegesen való terjedésével magyarázható, a Földdel nagyjából koncentrikus gömbszerű felületen. Nem foglalkozhatunk valamennyi vizsgálati eredményünknek az elméleti képbe való beillesztésével, ezért befejezésül csupán a magaslégkörkutatás szemszögéből a pulzációkutatás perspektívájáról írunk még.

A pulzációkutatás egyik legszebb eredményeként összefüggést találtunk a napfoltmaximum idején a magnetoszféra elektronkoncentrációja és a pulzá-

<sup>5</sup> Magnetohidrodinamikuss hullámok, olyan hullámok, amelyek elektromosan végtelenül jólvezető közegben mágneses tér jelenlétében keletkeznek.

ciók amplitudóváltozása között. Ez a közvetlen összefüggés is bizonyítja, hogy a pulzációknak nagy jelentőségük van a magnetoszféra kutatása szempontjából. A magnetoszféra pillanatnyi helyzetéről mintegy integrált képet adnak, míg a mesterséges holdak csak egy-egy adott pont jellegzetességét rögzítik. A földi áramokkal végzett pulzációkutatás így tarthat érdeklődésre az űrkutatás vonalán is.

A pulzációkutatás fenti eredményeire a nemzetközi szakirodalom is gyakran hivatkozik.

*A Föld elektromos felépítésével kapcsolatos tellurikus és magnetotellurikus kutatásaink eredményeiről.*

A bevezetőben már megemlítettük a skin-effektust, amely a különböző periódusú áramok behatolási mélységét meghatározza. Ha nő a térváltozás periódusa, nő az indukált áramok behatolási mélysége is. Ez a törvény az alapja a széles spektrumú elektromágneses térrel végzett szondázásoknak, amelyek eredményeként a fajlagos ellenállás mélységi változását kapjuk.

A MTA Geofizikai Kutató Laboratóriuma a Magyar Medence regionális elektromos felépítésének és sajátságainak megismerése végett 1958 óta rendszeres kutatásokat végez. Ennek első fázisában módszertani vizsgálatok folytak a legkedvezőbb mérési és feldolgozási eljárások kialakítása, továbbá a mérési anyagban rejlő információ meghatározása, értelmezése céljából.

Ezek közül megemlítjük többek között a relatív tellurikus frekvenciaszondázás kidolgozását, a változások tangensén alapuló abszolút ellipsziszszámítást,

a tellurikus ellipszisrendszerek meghatározását modellszerkezetekkel, a magnetotellurikus anizotrópia elméleti és gyakorlati kérdésének vizsgálatát,

a forrástér dimenzióinak a magnetotellurikus értékekre gyakorolt befolyásának kutatását,

a magnetotellurikus adatfeldolgozási eljárások kritikai elemzését stb.

Ezeket kiegészítette az új elvű és elgondolású elektromos és mágneses műszerek szerkesztése, amelyeket a Laboratórium részben szabadalmaztatott is és az ipar ezeket a hazai szükségletek kielégítésén túl exportra gyártja. Ezek nyomában kialakult Sopronban, a Laboratórium mellett a geoelektromos műszergyártás hazai központja is.

A műszerek közül néhányat meg is nevezünk; ezek:

fotoeregisztrációs ellenállásmérő műszer középföldelésű árnyékolással;

kompenzátor a talajjellenállás számértékének közvetlen leolvasására;

stabilizált nagyérzékenyséű immerziós mágneses variométer;

a térváltozások szélső értékei közti különbségeknek abszolút értékét összegező műszer (ún. totális számláló) tellurikus és magnetotellurikus kutatásokhoz.

A regionális geoelektromos vizsgálatoknak a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió nemzetközi együttműködési formát is adott, amikor 1960. évi közgyűlésén életre hívta az „Upper Mantle Project”-nek nevezett felsőköpenykutatási<sup>6</sup> tervet. Ennek jelentőségét felismerte a Magyar Tudományos Akadémia is és kiemelt kutatási feladatai közé iktatta.

<sup>6</sup> Felsőköpenynek nevezzük a Föld azon részét, amely a Mohorovičić határfelület alatt (a Magyar Medencében 24,4–27 km között) kezdődik és mintegy 900 km körül végződik. Tektonoszférának is nevezzük.

A Magyar Medencében a regionális geoelektromos kutatások a felszínközeli horizontális elektromos inhomogenitások megismerésével kezdődtek, minthogy a felső köpenyről szerezhető információkat meghatározza a földkéreg és annak legfelső része, a medence geoelektromos jellege. Ezt az ún. országos tellurikus mérésekkel végeztük el. Eredményként megszerkesztettük a Magyar Medencéről

a) a regionális tellurikus izoarea térképet ( $T = 25$  sec-os változásokból), amelynek izoarea-értékei a nagyellenállású medencealjzat mélységével arányosak;

b) a relatív tellurikus frekvenciaszondázási görbék iránytangensét  $T = 25$  és  $100$  sec között jellemző  $t_{25-100}$ -érték térképét, amely tájékoztatást ad a medenceüledék és a medencealjzat ellenállás-arányára nézve és bizonyos kőzettani és szerkezeti változások kijelölésére is szolgál.

Ezek után a Magyar Medence felső köpenyének vizsgálatára nagymélységű magnetotellurikus kutatásokat végeztünk

a) az elektromágneses obszervatóriumokban (Baja, Nagycenk, Tihany);

b) a nemzetközi kéregkutató mélyszeizmikus vonalak mentén (III., VI. sz.);

c) sajátos területeken, amelyek kiválasztása részben a regionális tellurikus térképek alapján történt.

A nagymélységű szondázási görbéket elméleti görbékkel és grafikusán kiértékelve meghatároztuk a felső köpenybéli jólvezető réteg paramétereit és több görbénél a teljes rétegsort is. Elemeztük az egymásra merőleges szondázási görbékben kifejezésre jutó anizotrópia jellegét és lehetséges okait. Így meghatároztuk a nagymélységű magnetotellurikus szondázási görbék általános jellegzetességeit, amelyeknek alapján a Magyar Medence felső köpenyére a következő megállapításokat tehetjük:

a) A Magyar Medence harmadidőszak előtti aljzatában az elektromos anizotrópia főtengelyének iránya elsősorban  $\vec{E} - D$  ( $\vec{E} \vec{E} N y - D D K$ ) és  $K - N y$  ( $K \vec{E} K - N y D N y$ ).

Az ezt létrehozó szerkezet, pl. jólvezető kőzettel kitöltött hasadérendszer (vető-rendszer) merőleges a maximális ellenállás irányára, tehát  $K - N y$  ( $K \vec{E} K - N y D N y$ )-i irányú. A szerkezet, illetve az ezt kifejező anizotrópia nagymélységű. (Lenyúlhat a felső köpeny jólvezető rétegéig.)

b) A Magyar Medencében  $80$  km átlagmélységben jólvezető réteg van. Ez a réteg lényegesen kisebb mélységben jelentkezik itt, mint pl. a kristályos pajzsok alatt, ahol viszont a földi hőáram kisebb, mint a Magyar Medencében (Kárpát-Medencében).

A szerkezeti hatásokból származó anizotrópiával kapcsolatban megvizsgáltuk a más elektromágneses komponensekben, jellegszámokban kifejezésre jutó irányhajtsátságokat (pl. a földmágneses indukciós nyilakban, a relatív tellurikus ellipszisekben, a kristályos kőzetkibúvásokon mesterséges térrel végzett szondázások eredményeiben) és ezekben a fenti értékelésig azolásatlátjuk.

Elméleti magnetotellurikus szondázási görbék segítségével elemeztük a felsőköpenybéli jólvezető réteg mibenlétét. A nagynyomású és hőmérsékletű kőzetvizsgálatok alapján fel kell tételeznünk, hogy a Magyar Medence felső köpenyében a bázikus és ultrabázikus kőzeteken kívül a Gutenberg-féle kis sebességű csatorna mélységében szerephez jutnak az alkáli kőzetek is.

Kutatásaink eredményéről a Laboratórium mind a hazai, mind a külföldi folyóiratokban számos tanulmányban számolt be. Ezeknek felsorolása azonban túl sok teret venne igénybe.