

КИРАЙ ЭРНЁ – САБАДВАРИ ЛАСЛО:

О ПРИМЕНЕНИИ ГЛУБИННОГО ВЭЗ НА ТЕРРИТОРИИ МОЛОДЫХ ТРЕТИЧНЫХ
БАССЕЙНОВ

Резюме

В Венгрии уже несколько лет проводятся опытные работы по производственному применению метода ВЭЗ для исследования больших глубин. В данной части настоящей работы изложены основные вопросы, возникшие при создании венгерской аппаратуры метода ВЭЗ; подробно описаны способы выполнения необычно строгих требований в отношении изоляции при применении данного метода для больших глубин. Наконец рассматривается конструкция аппаратуры типа GE-30.

GEOELECTRIC VERTICAL DEEP-SOUNDING IN YOUNG TERTIARY
BASINS

E. KIRÁLY – L. SZABADVÁRY

Experiments for routine application of deep sounding started in Hungary some years back. This presented paper – as an opening member of a series of the same topic – deals with instrumental questions. The problems arisen in the construction-work are given in details, with a special regard to the unusual high requirement for suitable insulation. The design of the GE-30 equipment is discussed.

**NAGYMÉLYSÉGŰ GEOELEKTROMOS SZONDÁZÁSOK ALKALMAZÁSA
FIATAL HARMADKORI MEDENCÉKBEN. I. RÉSZ. MŰSZERTECHNIKAI
KÉRDÉSEK**

(GE-30 típusú mérőberendezés)

KIRÁLY ERNŐ – SZABADVÁRY LÁSZLÓ

Felszíni geoelektromos ellenállásmérést és a vertikális szondázást Magyarországon 1951-ben kezdték alkalmazni. Kezdetben egészen kis (maximum 50 m) mélységű méréseket végeztek elektronikus műszerek segítségével. Egyszerűbb kezelésük, nagyobb pontosságuk miatt később a kompenzációs rendszerű műszerek terjedtek el; ezek fokozatos fejlődésével együtt növekedett a módszer jelentősége is. Érdekes, hogy a viszonylagosan gyors technikai fejlődés a kutatási mélységet tovább nem növelte. Körülbelül 400 m mélységben adható meg a módszer gyakorlati alkalmazásának határa. Ennél nagyobb mélységig is végeztek vertikális szondázásokat, ezek azonban nem jártak kellő eredménnyel.

Érdemes kissé részletesebben foglalkozni ezzel a kérdéssel és megvizsgálni, miért nem tudott a rutinjellegű geoelektromos ellenállásmérés az említettnél eredményesen mélyebbre hatolni, mi volt az oka, hogy az 1957-ben kezdődő nagyobb mélységű kutatás éveken át kísérleti jellegű maradt.

I. A NAGYMÉLYSÉGŰ SZONDÁZÁS MŰSZERTECHNIKAI KÉRDÉSEI

1. A kompenzációs mérési eljárás

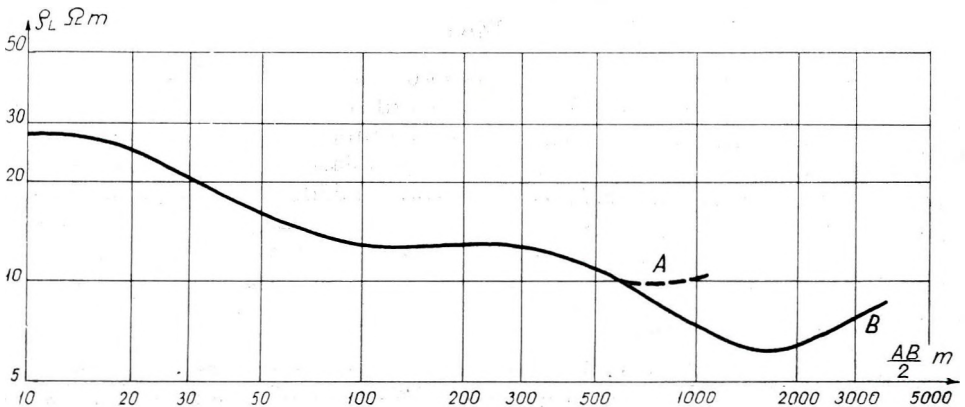
A nagyobb mélységű szondázásnál első gátló tényező az, hogy a kompenzációs mérési eljárás alkalmatlan, ha a vertikális szondázást bizonyos AB tápelektroda távolságon túl kell elvégezni. Pl. $AB = 3000$ m-nél (hatómélység kb. 750 m) az MN mérőelektrodapár távolsága 200–500 m. A tellurikus áramok zavaró hatása ebben az esetben már intenzíven jelentkezik, s emiatt a talajban mesterségesen létrehozott ΔV potenciálkülönbség csak korlátozott pontossággal határozható meg. A ΔV hibája lineárisan vivődik át a látszólagos fajlagos ellenállás (ρ_L) értékére. Régebben – nem csak itthon, hanem külföldön is – az a felfogás terjedt el, hogy már a szondázási görbe zavartságából következtetni lehet ρ_L meghatározásának pontosságára, a szondázás tehát mindaddig végezhető, amíg a görbe zavartsága nem jelzi a mérések megbízhatatlanságát. Ilyen meggondolások alapján kompenzációs eljárással 10 000 m AB távolságú szondázásokat is végeztek.

A magyarországi vizsgálatok ezt a felfogást nem igazolták. Kísérleti mérések arra utalnak, hogy a kompenzációs eljárás hibái sok esetben nem szabálytalanok, sőt a mérés észleléstechnikai sajátosságai éppen a szabályos jellegű hibák fellépésének kedveznek, vagyis AB távolság növelésével fokozatosan (+) vagy (–) hibák keletkeznek. Az ilyen hibával terhelt görbék szabályos lefutásúak, látszólag hibamentesek.

Szemléltető példa erre a mellékelt görbe (1. ábra), amelyet kompenzációs – és többszörösen ellenőrzött fotoregisztrációs – eljárással Hajdúszoboszlón mértünk az 1961. évben. Mint látják, $\frac{AB}{2} = 10$ m-től $\frac{AB}{2} = 500$ m

elektródatávolságig a két görbe megegyezik. $\frac{AB}{2} = 600$ m és $\frac{AB}{2} = 1000$ m

elektródatávolságig a két görbe megegyezik. $\frac{AB}{2} = 600$ m és $\frac{AB}{2} = 1000$ m



1. ábra

között a kompenzációs eljárással mért görbe (A) torzul, lényegesen eltér az $\frac{AB}{2} = 4000$ m-ig mért fotoregisztrációs görbétől (B). A torzult görbéből a

valóságban nem létező „fantom szint” határozható meg. Más területen végzett hasonló eredményű vizsgálatok megerősítik a hajdúszoboszlói tapasztalatot, azzal az eltéréssel, hogy a torzulás nem mindig ilyen nagymértékű és szabályos jellegű. A vizsgálatok végeredményben azzal zárultak, hogy a kompenzációs eljárással végzett szondázás *minden esetben megbízható eredményt* ad, ha a tápelektrodák maximális távolsága nem haladja meg az 1000 m-t. Az eljárás bizonyos esetekben ezen túl is alkalmazható (AB max. = 1600–3000 m elektródátávolságig), ha a talaj szerkezeti és ellenállási viszonyai kedvezőek, valamint ha megfelelő technikai megoldásokkal csökkentjük a szabályos hibák lehetőségét. 3000 m-en túl a kompenzációs eljárás minden esetben nagymérvű hibaforrást jelent.

2. Az időtényező

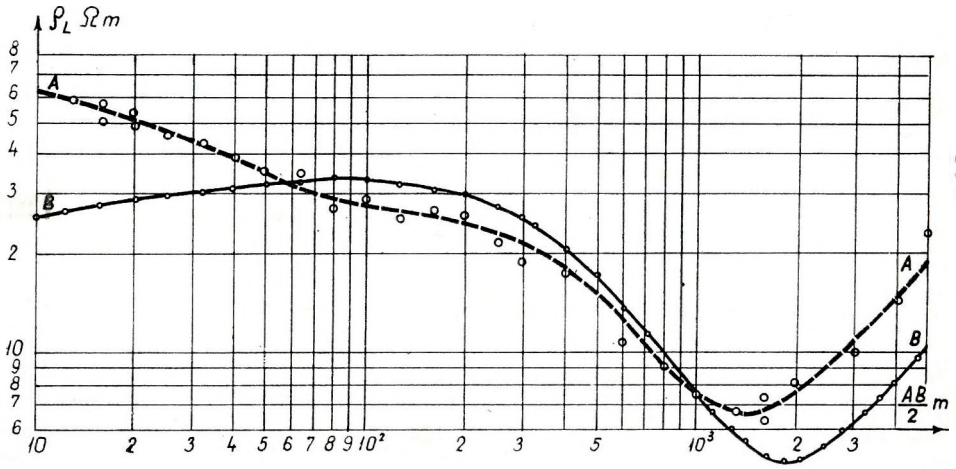
Nagymélységű szondázásnál nem hanyagolható el az időtényező, vagyis az az időtartam, amely az áramnak a tápelektrodákra kapcsolása és a talajban létrejövő áramtér végleges kialakulása között eltelik. Jellemzőit először Franciaországban vizsgálták meg, jelenleg a Szovjetunióban foglalkoznak a kérdéssel. Az időtényező megakadályozza, hogy az MN elektródapáron fellépő ΔV potenciálkülönbséget az áram bekapcsolásának pillanatában határozzuk meg. Kompenzációs eljárásnál viszont éppen így észlelnek. Ez eleve kérdésessé teszi az alkalmazhatóságot minden olyan területen, ahol az időtényezővel számolni kell.

3. A mérőberendezés szigetelése

Nagymélységű szondázásnál a különféle áramkörök szigetelése jelenti a legnagyobb problémát. A terepi műszerek szigetelése általában 100 $M\Omega$, és kedvező esetben sem nagyobb 1000 $M\Omega$ -nál. Régebben ezt kielégítőnek találták. Csak az újabb vizsgálatok mutattak rá, hogy nagymélységű szondázásnál lényegesen nagyobb szigetelésre van szükség. Ha az alkalmazott tápfeszültség 500–1000 V és a ΔV potenciálkülönbséget mérő galvanométer érzékenysége 10^{-9} A/mm, akkor hibamentes mérés 125 000 $M\Omega$ szigetelést követel meg. Ezt terepi körülmények között a szokásos szigetelőanyagokkal nehéz biztosítani, s emiatt ρ_L meghatározásánál 100%-ot meghaladó hiba is felléphet. 100%-os hibalehetőség bármilyen mérést illuzórikussá tesz. Ezért ezzel a kérdéssel – mint a kutatás egyik fontos alapfeltételével – részletesebben kell foglalkoznunk.

Annak szemléltetésére, hogy geoelektromos ellenállásmérésnél milyen következménye lehet a rossz szigetelésnek, példaképpen a 2. ábra két szondá-

zási görbét mutatjuk be. Mindkét görbét azonos helyen, azonos irányban mérték $AMNB$ elektróda elrendezéssel. Az „A” jelű görbét $100 M\Omega$ szigetelésű, a „B” jelűt pedig $1000000 M\Omega$ szigetelésű berendezéssel mérték. Az „A” görbe szerint a közel végtelen ellenállású aljzat mélysége $1302 m \pm 25\%$, „B” görbe szerint pedig $1904 m \pm 14\%$. (Mindkét görbénél elméleti mélységet adtunk meg, a közbenső réteg ellenállása $\rho_4 = 3.5$ ohmm, ill. 3.0 ohmm.)



2. ábra

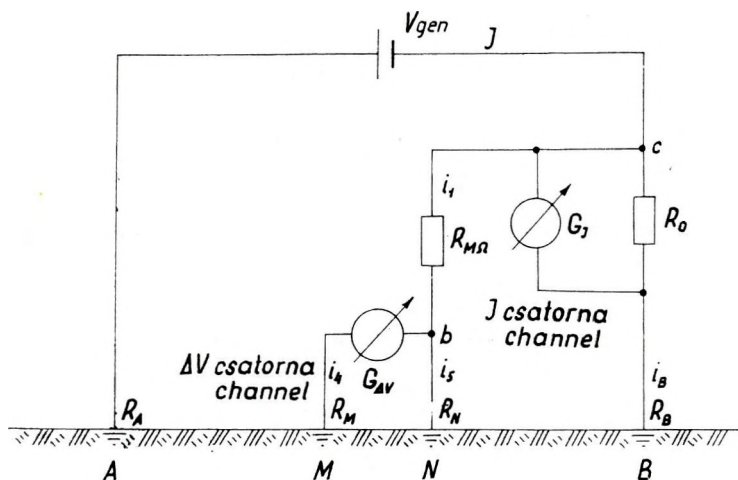
Nagymélységű szondázásnál általában kettős szigetelési problémát kell megoldanunk:

a) A G_{AV} galvanométert és a hozzátartozó gyengeáramú kört („ ΔV csatorna”) el kell szigetelnünk a nagyfeszültségű tápáramkörtől;

b) minthogy az I tápáram regisztrálását az $R_0 I$ potenciálkülönbség regisztrálására vezetjük vissza, az $R_0 I$ gyengeáramú kört és a G_I galvanométert is („ I csatorna”) megfelelően szigetelnünk kell.

ΔV csatorna szigetelése különösen $AMNB$ szondázásnál okoz nehézséget. Ilyenkor a ΔV -t és az I -t közös fotoregisztrálóban, két szomszédos csatornán mérjük. A mérés alatt az I csatorna közvetlenül a nagyfeszültségű tápáramforrás egyik pólusára kapcsolódik. Nem megfelelő szigetelésnél a nagyfeszültségű áram egy része az I csatorna szigetelésén keresztül eljut ΔV csatornára, áthalad a G_{AV} galvanométeren és meghamisítja a mérés eredményét.

3. ábránk a fotoregisztráló elvi kapcsolását ábrázolja. A két csatorna közötti szigetelésen a G_{AV} galvanométer „b” pontja és R_0 ellenállás „c” pontja között van átvezetés. Az áramforrás nagyfeszültsége a „c” ponton az $R_{M\Omega}$ szigetelésen és a „b” ponton keresztül közvetlenül a G_{AV} galvanométerre jut. Legyen az áramforrásból kilépő áram I , a B elektródán áthaladó áram i_B . A $R_{M\Omega}$ szigetelésen átvezetett áramot jelöljük i_1 -el. Ennek egyik része (i_4) a



3. ábra

„b” ponton, a galvanométeren és az M elektródán, másik része (i_5) pedig a „b” ponton és az N elektródán halad át. Legyen R_M, R_N, R_B az elektródák átmeneti ellenállása, $R_{\Delta V}$ és R_I a galvanométer belső ellenállása. $R_0 = 0,01\Omega$, $R_{\Delta V}, R_I$ és R_0 értéke a többi ellenálláshoz viszonyítva kicsiny, ezért az összefüggések egyszerűsítése érdekében elhanyagolhatjuk őket.

Méréseink gyakorlatilag akkor lesznek hibamentesek, ha a $G_{\Delta V}$ galvanométeren áthaladó áram (i_4) a galvanométer 1 mm-es kitérésének megfelelő áramot nem haladja meg. A magyar T-14/A típusú regisztrálónál mindkét csatorna galvanométerének érzékenysége:

$$\varepsilon = 2 \cdot 10^{-9} \text{ A/mm/m} \tag{1}$$

Az említett elhanyagolásokkal

$$i_1 = i_5; i_1 = 2i_4 \tag{2}$$

Kirchhoff törvénye szerint

$$\frac{i_B}{i_1} = \frac{R_{M\Omega} + R}{R_B} \tag{3}$$

ahol R az R_M, R_N és $R_{\Delta V}$ ellenállások eredője.

A továbbiakban számoljunk olyan adatokkal, amelyek a gyakorlatban előforduló legnagyobb szigetelést kívánják meg:

$$R_M = R_N = 500\Omega$$

$$R_A = R_B = 50\Omega$$

$$V_{gen} = 1000V$$

$$I = 10A$$

$$R_{M\Omega} = 100M\Omega$$

Ha figyelembe vesszük az $R_{M\Omega}$, ill. az R_M és R_N közötti több nagyságrendes különbséget, felírható, hogy

$$\frac{i_B}{i_1} = \frac{R_{M\Omega}}{R_B} \quad (4)$$

és
$$i_B = I \quad (4/a)$$

A (2) és (4) alapján

$$R_{M\Omega} = \frac{I}{2i_1} R_B \quad (5)$$

$$\text{Ha } i_1 = \varepsilon$$

$$R_{M\Omega} = \frac{I}{2\varepsilon} R_B$$

Behelyettesítve az adatokat,

$$R_{M\Omega} = 125000 M\Omega.$$

A gyakorlatban ilyen nagyságú szigetelés – szarítóberendezés alkalmazása nélkül – nem érhető el; terepi körülmények között 100 $M\Omega$ -nál nagyobb állandó szigetelés nem biztosítható.

Vizsgáljuk meg, hogy 100 $M\Omega$ -os szigetelésnél milyen hiba léphet fel méréseinknél. Az „átvezetés” árama – amely a ki nem elégitő szigetelés következtében halad át a G_{AV} galvanométeren – az (5) szerint számítható:

$$i_4 = \frac{I}{2} \cdot \frac{R_B}{R_{M\Omega}} = 2,5 \cdot 10^{-6} A$$

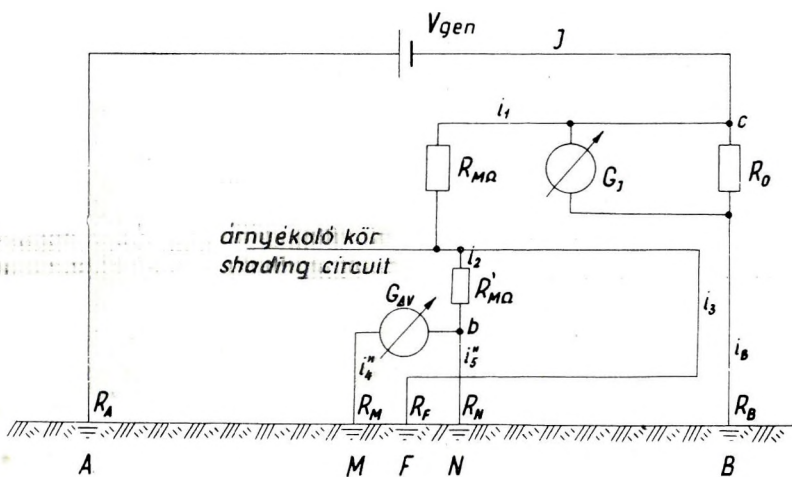
Az (1) felhasználásával

$$\frac{i_4}{\varepsilon} = \frac{2,5 \cdot 10^{-6} A}{2 \cdot 10^{-9} A} = 1250,$$

vagyis a G_{AV} galvanométeren áthaladó, átvezetésből adódó áram több mint ezerszer nagyobb a megengedettnél. Ha pl. az M , N elektródán jelentkező $1V$ potenciálkülönbség G_{AV} galvanométeren az érzékenység ötvenszeresének megfelelő kitérést okoz, akkor a mérést 2500%-os hiba terheli. A közölt számítás is bizonyítja, hogy nagymélységű szondázásnál alapvető követelmény a megfelelő szigetelés biztosítása. A T-14/A regisztrálónál ez az alábbi elv alapján történik.

Az I és a ΔV csatorna áramköre között egy árnyékoló kört helyezünk el (4. ábra). Az I csatorna szigetelő burkolata nincs közvetlen kapcsolatban a ΔV csatorna szigetelő anyagával. Közöttük húzódik az úgynevezett „közép-árnyékoló kör” olyképpen, hogy az I csatorna bármely szigetelő anyagán átvezetett áram előbb érintse az árnyékolókört és csak azután juthasson a ΔV csatorna szigetelésére (ilyen „átvezetési áram” halad pl. a legjobb szigetelő anyagok felületén is, ha erre pára, por, piszok rakódik). Feltétel, hogy az árnyékoló kör szigetelése mind a ΔV , mind pedig az I csatornához viszonyítva $100\text{ M}\Omega$ legyen. Ha az árnyékoló kört 4. ábrának megfelelően az F elektródához kapcsoljuk, akkor ezzel ugyanazt érjük el, mintha a regisztráló ΔV és I csatornája között az eredetileg $100\text{ M}\Omega$ -os szigetelést százezerszeresen megnöveltük volna; vagyis középárnyékolás alkalmazásával a ΔV csatorna *névteljes szigetelése*

$$R_{\text{szig}} = 1\,000\,000\text{ M}\Omega$$



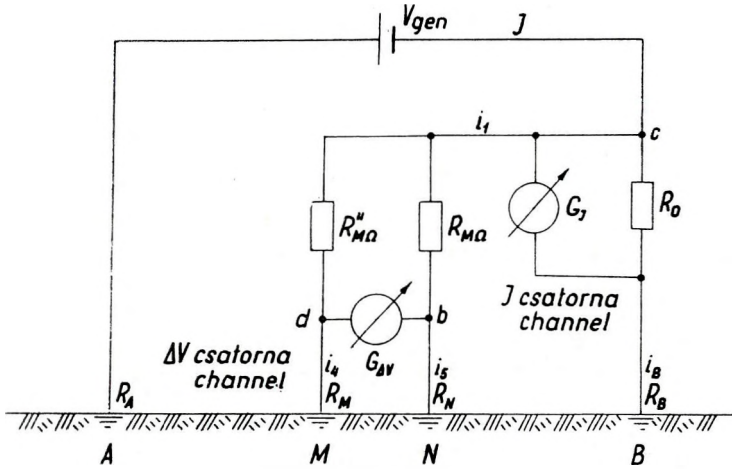
4. ábra

A fenti megállapítás matematikai összefüggéseivel részletesebben nem foglalkozunk, mivel azok az irodalomból már ismeretesek. (Ádám-Erkel. 1962. Geofisica pura e applicata. Bd. 52.)

Az ismertetett példában a ΔV és az I csatorna között az átvezetés a legnagyobb hibát okozó helyen – „c” és „b” pont között – van. Feltételeztük, hogy máshol átvezetés nincsen és ebben az esetben a szigetelés ki nem elégítő volta miatt a galvanométeren a legnagyobb „átvezetési áram” halad keresztül, tehát méréseinknél is a legnagyobb hiba jelentkezik. Mint a (6) mutatja, ilyen esetben 2500%-os hiba is előfordul. A gyakorlatban ilyen eset ritkán adódik, mert a ΔV és az I csatorna között az átvezetés rendszerint nem két pont között jön létre, hanem a szigetelő anyagok teljes felületén. Így a generátor pozitív pólusáról nemcsak a galvanométer „b”-vel, hanem a „d”-vel jelzett pólusára is juthat el a szigetelő anyagokon keresztül „átvezetési áram”. Az ide érkező áram az előbbihez teljesen hasonló hatást fejt ki, tehát a „b” és a „d” ponthoz

érkező „átvezetési áramok” eredője a galvanométeren kisebb kitérést okoz mint bármelyikük külön-külön.

Ha ezt a két irányú hatást számszerűleg akarjuk vizsgálni, akkor ismét az előbbi eljárást kell alkalmaznunk, a szigetelés megfelelő szakaszait ekvivalens szigetelési ellenállásokkal helyettesítve. 5. ábránk mutat be ilyen valóságot jól megközelítő megoldást. Az „átvezetési áram” egyik része „c” pontból $R_{M\Omega}$ ellenálláson keresztül „b” pontra jut, másik része pedig „d” pontra. A „d” és a „b” pont közé kapcsolódik a galvanométer, amelyen áram csak akkor halad át, ha a „d” és „b” pont között potenciálkülönbség van.



5. ábra

Ha

$$\frac{R'_{M\Omega}}{R_{M\Omega}} = \frac{R_M}{R_N} \quad (7)$$

akkor az említett két pont között nincs potenciálkülönbség, méréseink tehát hibamentesek. Az átvezetésből adódó hibalehetőségek tehát végeredményben az (7) arányosság biztosításával is kiküszöbölhetők lennének. A gyakorlatban azonban ez az út járhatatlan. Terepen dolgozó berendezésnél $R_{M\Omega}$ és $R'_{M\Omega}$ szigetelés számszerű értéke csak körülményesen határozható meg, és ha sikerült is egy adott időpontban a két értéket megmérni, ez rövid időn belül megváltozhat. Pl. elegendő a regisztráló műszerfalának kinyitása, vagy az érzéző hozzáérjen valamelyik szigetelő anyaghoz és máris lényeges változással kell számolnunk. A (7) csak azért használható, mert rámutat azoknak a hibalehetőségeknek a törvényszerűségére, amelyek geoelektromos ellenállásmérésnél a szigetelés ki nem elégtő volta miatt fellépnek. Tételelesen:

a) a (6) összefüggésben ismertetett, elméletileg maximálisnak nevezhető 2500%-os hiba helyett a „kétirányú” áramátvezetés miatt lényegesen kisebb hibák jelentkeznek: Hajdúszoboszlón 1961-ben és 1962-ben végzett kísérleteink szerint párás időben a hiba 50–1000%, száraz időben 10–30%;

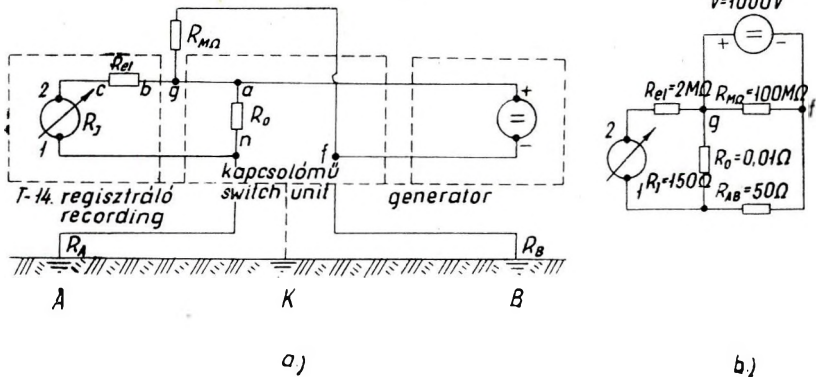
b) „középarnyékolókör” alkalmazásával a „kétirányú” áramátvezetés is teljes mértékben kiküszöbölhető, ha az árnyékolást a megfelelő vezetékcsakaszokra kiterjesztjük.

c) az I (vagy a ΔV) csatorna egyes szigetelő elemei tisztításának nincs értelme, ha ezt nem végezzük el a csatorna összes szigetelő anyagain; a (7) arányosság ugyanis $R_{M\Omega}$ vagy $R_{M\Omega}$ értékének növelése – az arány megbontása – miatt az „átvezetési áram”, s így a mérési hiba növekedését is okozhatja.

Az I csatorna szigetelése. Dipol szondázásnál csökkennek a ΔV csatorna szigetelésével szemben támasztott követelmények. Ennél az elektróda elrendezésnél I tápáramot és ΔV potenciálkülönbséget egymástól távol levő két műszerkocsiban mérnek, így nincs meg a közvetlen átvezetés lehetősége a nagyfeszültségű tápáramkör és a ΔV mérőkör között. Lehetséges azonban itt (és természetesen az $AMNB$ elrendezésnél is) egy másik átvezetés, aminek következtében a bázis műszerkocsiban elhelyezkedő regisztráló nem az I tápárammal lineárisan arányos $R_0 I$ potenciálkülönbséget, hanem az ennél esetenként többszörösen nagyobb „átvezetési áramot” regisztrálja.

Nagymélységű szondázásnál az I regisztráló, a kapcsolómű, a generátor és az A, B elektróda-rendszer egymással közvetlen fémes kapcsolatban van. Nem megfelelő szigetelésnél több lehetőség is van, hogy a tápáram átvezetődjék a regisztráló I csatornájára. Ezek közül három variációval érdemes részletesebben foglalkozni.

A 6a ábra a regisztráló G_1 galvanométere, valamint a szigetelés szempontjából jelentős nagyfeszültségű tápáramkör elvi kapcsolását ábrázolja.



6. ábra

Az ábra külön feltünteti a regisztráló, a kapcsolómű és a generátor fémtestet mint külső árnyékoló kört. Nagymélységű szondázásnál ugyanis a balesetvédelmi előírások megkövetelik a fémtestek rövidre zárását, valamint ezek földelését a K elektródánál. Ez azt jelenti, hogy 1000 V generátorfeszültség használata mellett, homogén talajt és $R_A = R_B$ egyenlőséget feltételezve, a külső árnyékoló körben 500 V feszültség jelentkezik. Mivel a generátor pozitív sarka közvetlen kapcsolatban van a galvanométer „2” jelzésű pólusával, a

regisztráló fémteste pedig a külső árnyékoló körbe kapcsolt, az 500 V feszültségkülönbség a galvanométerek és a fémtest között jelentkezik.

Számoljunk most is olyan adatokkal, amelyek a későbbiek során maximális szigetelést követelnek meg.

Legyen a generátor feszültsége = 1000 V

a galvanométer előtétellenállása $R_{el} = 2,5 \text{ M}\Omega$.

További adatok:

a galvanométer belső ellenállása $R_I = 150\Omega$

a galvanométer érzékenysége $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-9} \text{ A/mm/m}$

az I csatorna feszültségejtő ellenállása $R_0 = 0,01\Omega$

$$\text{a tápáramerősség } I = \frac{V}{R_{AB} + R_0} = 20 \text{ A,}$$

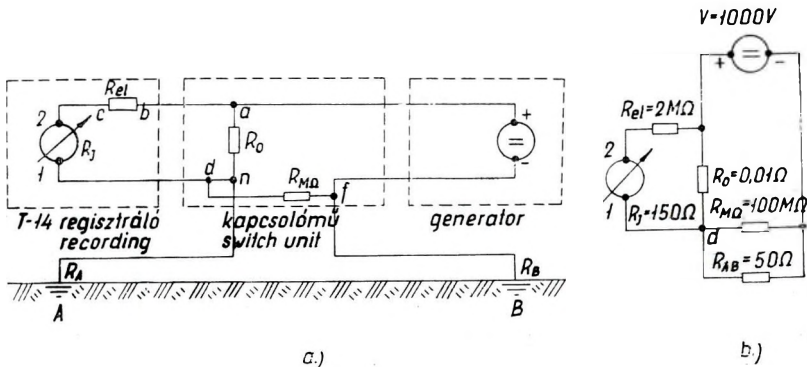
ahol R_{AB} az A és B elektróda átmeneti ellenállásának és a talaj ellenállásának összege ($R_{AB} = 50\Omega$). A galvanométeren áthaladó áramerősség

$$i = \frac{R_0 I}{R_{el} + R_I} \approx \frac{R_0 I}{R_{el}} = 10^{-7} \text{ A.}$$

Figyelembe véve az érzékenységet, I a galvanométeren 50 mm kitérést okoz.

a) Első variációként tételezzünk fel átvezetést a tápáramkör „f” pontja, valamint a galvanométer-kör „g” pontja között. Az „f” pont a generátor negatív sarka és a B elektróda között bárhol lehet. Hasonló a helyzet a „g” ponttal, amely a „b” és az „a” pont közti szakaszon van. A 6a ábra elvi kapcsolását ekvivalens ellenálláshálózattal helyettesítve (6b) kitűnik, hogy a szigetelési ellenállás ($R_{M\Omega}$) párhuzamosan van kapcsolva a „g” és az „f” ponthoz csatlakozó R_{el} , R_I , R_0 , R_{AB} , ellenálláshálózattal. Ennek következtében $R_{M\Omega}$ jelentéktelen mértékben megterheli a generátort, de hatására a galvanométerre „átvezetési áram” nem jut.

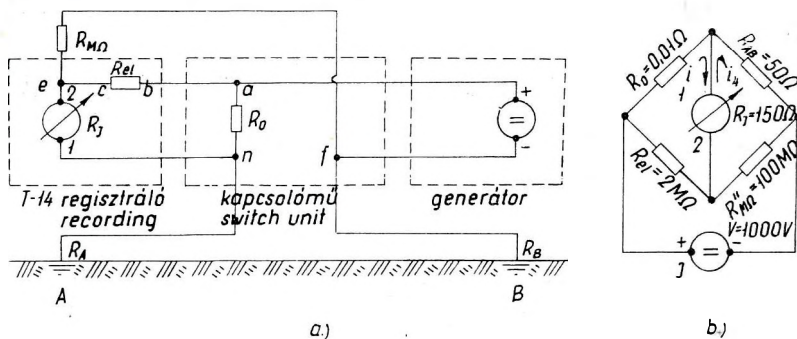
b) Hasonlóképpen kedvező eredményre jutunk, ha a nem végtelen szigetelésből adódó átvezetést vizsgáljuk az „f” pont és a galvanométer-kör „d” pontja között; ekkor „d” a galvanométer „I” jelzésű pólusa és az „n” pont



7. ábra

között bárhol elhelyezkedhetik (7a ábra). $R_{M\Omega}$ értéke kimutatható mértékben nem befolyásolja a galvanométeren áthaladó i áramerősséget.

c) Nem jutunk ilyen kedvező eredményre, ha a meg nem felelő szigetelés hatását vizsgáljuk az „f” pont és az „e” pont között, amikor „e” pont a galvanométer „2” jelzésű pólusa az R_{el} „c” pontja között bárhol elhelyezkedhetik (8a ábra). Ebben az esetben az előbbieknél bonyolultabb a kapcsolás. Az ekvivalens ellenálláshálózat egy aszimmetrikus ágú Wheatstone hídnak felel meg (az egyes ágakba kapcsolt ellenállások között soknagyságrendes különbség van; lásd 8b. ábrát). A galvanométeren áthaladó áramerősség egyszerűen kiszámítható, ha figyelembe vesszük a két ág ($R_{el} = 2M\Omega$ és $R_{M\Omega} = 100M\Omega$, ill. $R_0 = 0,01\Omega$ és $R_{AB} = 50R$) között levő ellenálláskülönbséget.



8. ábra

Az előbbi adatokkal számolva, a megengedhető elhanyagolások után a tápáramerősség:

$$I \approx \frac{V}{R_{AB}} = 20 \text{ A,}$$

a galvanométeren mérendő áram:

$$i \approx \frac{R_0 I}{R_{el}} = 10^{-7} \text{ A,}$$

az „átvezetési áram”

$$i_1 \approx \frac{R_{AB} I}{R_{M\Omega}} = 10^{-5} \text{ A,}$$

vagyis az „átvezetési áram” 100-szor nagyobb lehet a mérendő áramnál.

A mérési hiba elkerülésére két lehetőség kínálkozik, mégpedig a galvanométer érzékenységének csökkentése, vagy árnyékoló kör alkalmazása. Előbbi esetben csökkenthető R_{el} értéke is, ami a galvanométeren áthaladó „átvezetési áram” viszonylagos csökkenésével jár.

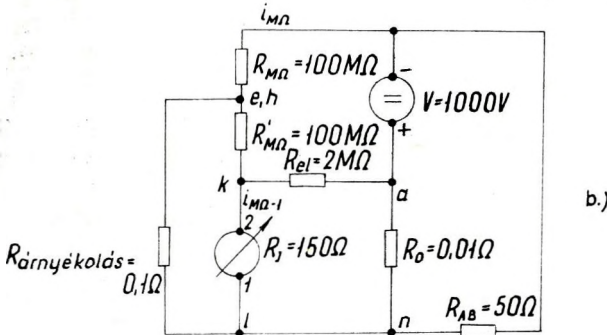
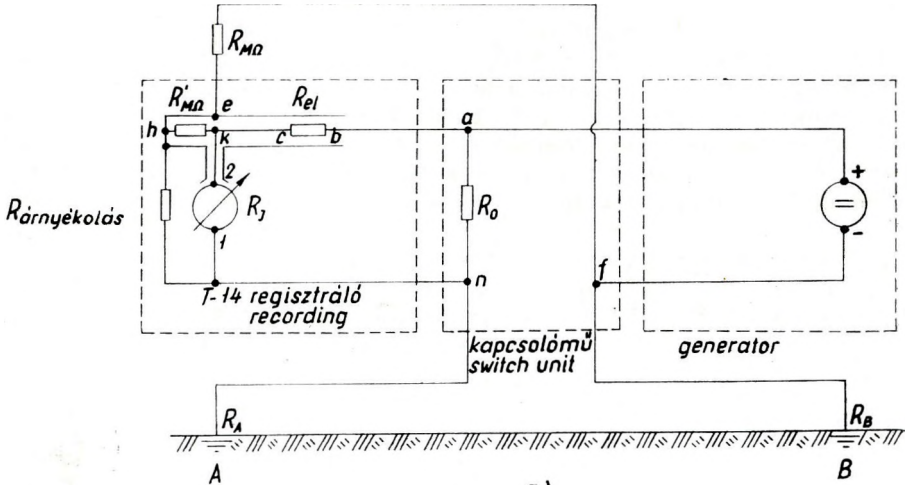
Csökkentsük a galvanométer érzékenységét úgy, hogy az „átvezetési áram” ne legyen nagyobb, mint a mérendő áram 1%-a. Ezt csak úgy érhetjük el, ha i értékét növeljük, mégpedig

$$i = 100i_1 = 10^{-3} \text{ A.}$$

Ha a galvanométeren 50 mm-es kitérést akarunk elérni, akkor $2 \cdot 10^{-5}$ érzékenységi galvanométert kell alkalmazni. A kérdés tehát így is megoldható. A gyakorlatban azonban ez az út nehézkes. Pl. nagymélységű szondázásnál nemcsak 20 A, hanem 0,1 A áramerősséggel is dolgoznak. Ez pedig eleve érzékenyebb galvanométert igényel. Emellett mélyszondázó berendezésnél kedvező, ha a használt regisztrálók tellurikus mérésekre is alkalmasak, tehát a mozgó- és bázis műszerkocsiba épített egy-egy regisztráló mindegyik csatornája egységesen a szabványos $2 \cdot 10^{-9}$ érzékenységi galvanométerrel dolgozik.

Ezért célszerűbb a mérési hiba kiküszöbölésére árnyékoló körök alkalmazása. Ezek a ΔV csatornánál ismertetett módon árnyékolják a galvanométer „2” jelzésű pontja és a „b” pont között levő vezetőszakaszt, valamint az R_{el} ellenállást. Az árnyékoló kört a generátor pozitív sarkára kapcsoljuk (9. ábra).

Az „átvezetési áram” ebben az esetben is 10^{-5} A. Mivel az „e” pont és a generátor pozitív pólusa között levő ponton keresztül az árnyékolás rövid-



9. ábra

zárt létesít ($R_{\text{árny}} = 0,1\Omega$), az egész átvezetési áram ezen az úton halad, $R'_{M\Omega}$ ellenálláson és R_I -n ill. R_{el} -n keresztül gyakorlatilag nem halad áram ($R'_{M\Omega}$ itt szigetelési ellenállás, amely az árnyékoló kör és a „2” – „b” pont közti vezetőszakasz egymástól való szigetelését jelképezi). Az ekvivalens ellenálláshálózatból (9b) számszerűleg is meghatározható az árnyékolás „névleges szigetelése”. $R_{M\Omega}$ szigetelésen áthaladó áram

$$i_{M\Omega} \approx \frac{V_{gen}}{R_{M\Omega}} = 10^{-5} \text{ A.}$$

Mivel R_{el} négy nagyságrenddel nagyobb R_I -nél és $R'_{M\Omega}$ -hoz viszonyítva R_I elhanyagolható,

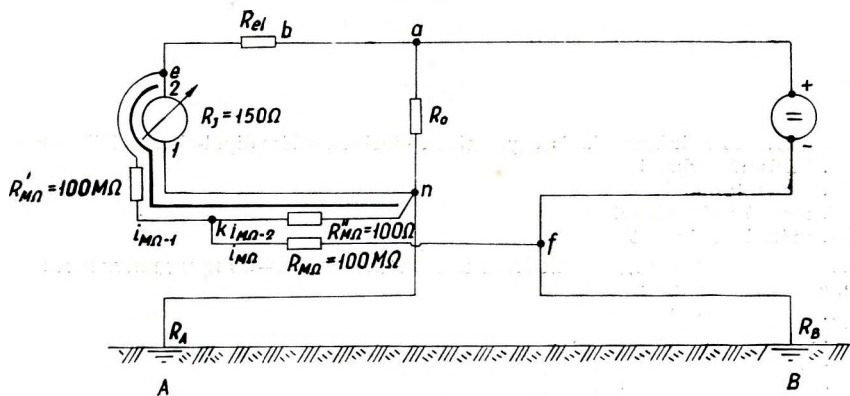
$$i_{M\Omega-1} \approx \kappa i_{M\Omega} \cdot \frac{R_{\text{árny}}}{R'_{M\Omega}} = 10^{-14} \text{ A.}$$

A névleges szigetelés

$$R_{sig} \approx \frac{i_{M\Omega}}{i_{M\Omega-1}} \cdot R_{M\Omega} = 10^{11} \text{ M}\Omega$$

vagyis a mérések szempontjából teljesen megfelelő a szigetelés. Az előbbieket szerint árnyékolásra csak a galvanométer „2” jelzésű pontja és a „b” pont között van szükség. A valóságban azonban ez még nem elegendő. Figyelembe kell vennünk itt azt, hogy ilyen nagy szigetelésű követelményeknél minden szigetelt vezeték kettős vezetőnek kell feltételeznünk, pl. egy egyszerű PVC kábelen nem csak a vezető szálon halad áram, hanem a PVC anyag külső részét is vezetőnek kell tekintenünk, ha azon a lerakódó pára, por stb. hatására vezető réteg alakul ki.

A vezető réteg hatását a 10. ábra szemlélteti. Az „átvezetési áram” a „k” ponton keresztül jut a vezető rétegre, amelynek ellenállása a „k” és az „n” pont között $R''_{M\Omega}$, a „k” és az „e” pont között pedig $R'_{M\Omega}$. A „k” pontról átvezetés jelentkezik (pl. a T-14/A típusú regisztrálónál) akkor, ha a



10. ábra

galvanométer „1” pólusához csatlakozó vezeték szigetelése a „2” pólus közelében érintkezik a galvanométer szigetelésével.

Ha $R'_{M\Omega} = R''_{M\Omega} = 100 \text{ M}\Omega$, és figyelembe vesszük a megengedhető elhanyagolásokat

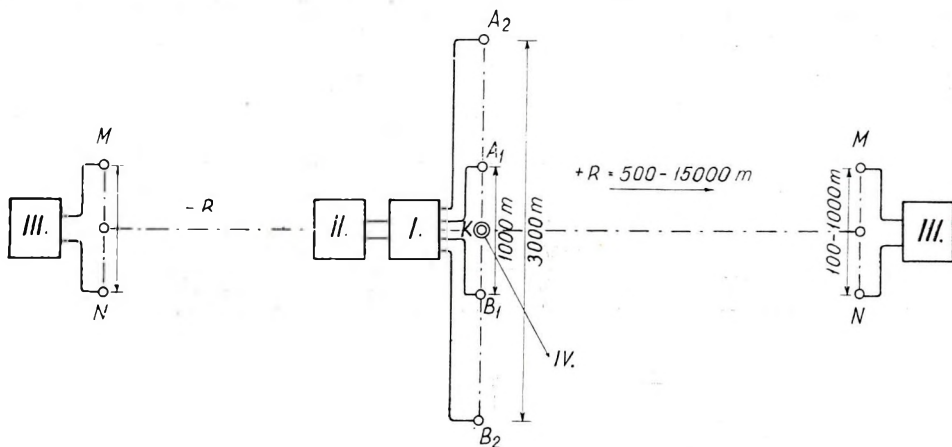
$$i_{M\Omega} \approx \frac{V_{gen}}{R_{M\Omega} + \frac{1}{4}(R'_{M\Omega} + R''_{M\Omega})} = 6,66 \cdot 10^{-6} \text{ A}$$

$$i_{M\Omega-1} \approx \frac{i_{M\Omega}}{2} = 3,33 \cdot 10^{-6} \text{ A}$$

Legyen mérendő áramunk (i) a (8) összefüggésnek megfelelően 10^{-7} A . A mérés százalékos hibája

$$\frac{i_{M\Omega-1}}{i} \cdot 100 \approx 3300 \%$$

Végeredményben tehát hiába árnyékoljuk a „2” pont és a „b” pont közti vezető szakaszt a 9. ábrán ismertetett módon, ha a gyengeáramú kör más részéről a szigetelésen keresztül olyan átvezetés jut a galvanométerre, ami a mérések eredményét meghamisítja. Éppen ezért szükséges a gyengeáramú kör teljes árnyékolása.



11. ábra. A GE-30 mérőberendezés egységeinek elhelyezkedése dipol-ekvatoriális szondázásnál

- I. bázisműszerkocsi
- II. generátorkocsi
- III. mozgó műszerkocsi
- IV. mérési középpont

Fig. 11. Расположение отдельных блоков аппаратуры GE-30 при дипольном экваториальном зондировании

- I. Базисная станция
- II. генераторная станция.
- III. полевые станции
- IV. центр измерения.

11. The field arrangement of the units of the GE-30 in dipole-equatorial sounding

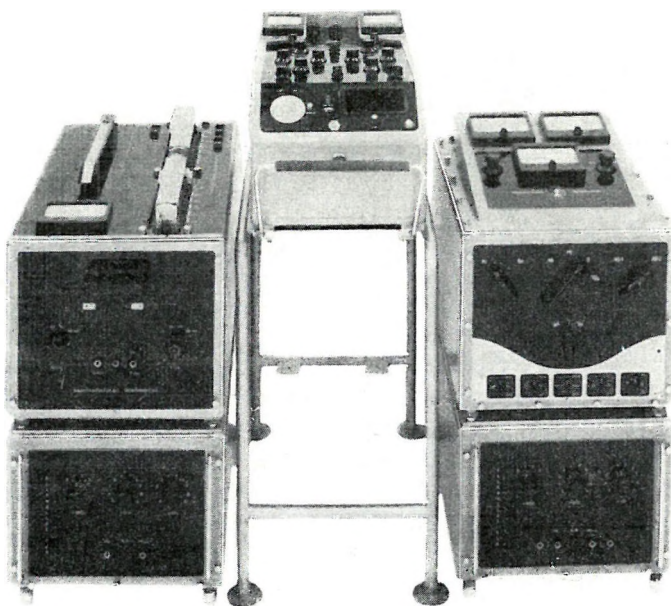
- I. base station
- II. generator
- III. moving stations
- IV. centre of field arrangement

II. A GE – 30 TÍPUSÚ MÉRŐBERENDEZÉS

A berendezés kísérleti példánya a Geofizikai Intézetben 1962-évből készült el, 1500–3000 m mélységű kutatás céljaira. Ez a magyarországi viszonyokat figyelembe véve $AB_{max} = 30000$ m elektródátávolságnak felel meg $AMNB$ szondázásnál és $R_{max} = 15000$ m dipol távolságnak dipol-ekvatoriális szondázásnál. A berendezés technikai kivitelezése elsősorban a dipol szondázás követelményeit veszi figyelembe, de rutinszerűen használható $AMNB$ és más elektróda elrendezésnél is.

A 11. ábra a berendezés egységeinek elhelyezkedését szemlélteti dipol szondázásnál. A generátorkocsi és a bázis (I) műszerkocsi a mérési középpont közelében helyezkedik el. A tápáramot az A és B elektródarendszerekhez, valamint a külső árnyékoló kör áramát a K elektródához a báziskocsiból vezetik. Az M és N elektródapáron jelentkező potenciálkülönbséget a bázistól függetlenül a mozgó ($+ \Delta V$ és $- \Delta V$) műszerkocsival mérik.

1. A generátorkocsin két, egyenként 400 V feszültségű, 5 KW teljesítményű motorhajtású generátor biztosítja a tápáramot. A motorokon automatikus gázszabályozó van, amely biztosítja a motor megfelelő fordulatszámát, abban az esetben is, ha a generátorról levett teljesítmény változik.



12. ábra. Báziskocsi műszerfala előnézetben

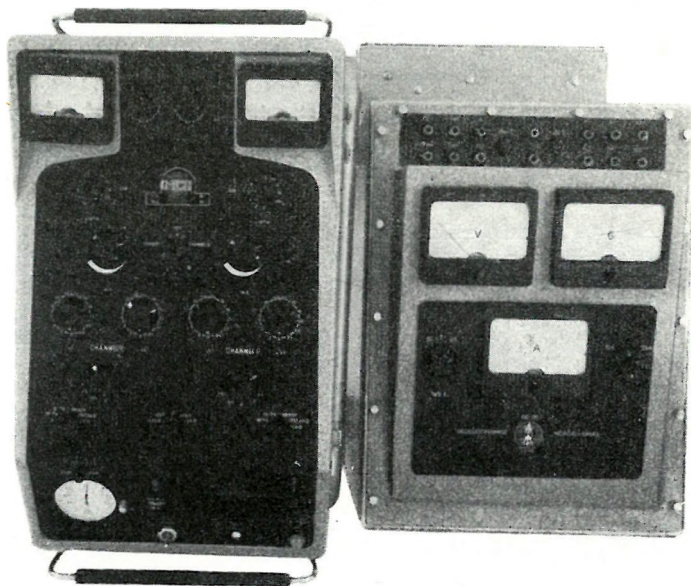
Fig. 12. Панель базисной станции спереди

12. The instrument-panel of the base-station (front view)

2. A bázis és közvetve az egész mérőállomás munkáját a *bázisműszerkocsiból* vezérlik. Ide csatlakozik a tápáram a generátorkocsiból és innen kapcsolják az áramot a megfelelő elektróda rendszerre (A_1 , B_1 vagy A_2 , B_2). Itt állítják be a tápáramerősséget, ami vagy a generátor feszültségének szabályozásával, vagy pedig az A , B földelések átmeneti ellenállásának változtatásával történik. A generátor gerjesztő ellenállása a bázis műszerkocsiban van elhelyezve. A feszültség szabályozást ennek segítségével az észlelő, az elektródák ki- és bekapcsolását a földeléseknél levő munkás végzi telefonutasításra. A bázis műszerkocsiban négy mérőegység, valamint egy további egységbe építve több segédberendezés helyezkedik el (a műszerfal fényképét lásd a 12. és 13. ábrán):

- a) kapcsoló mű.
- b) „műföld” ellenállások,
- c) T-14/A típusú automatikus fotoregisztráló,
- d) segédberendezések (generátor gerjesztő körének ellenállása, nagyfeszültségű $M\Omega$ mérő, léghűtő berendezés).

A kapcsolómű elvi működését a 14. ábra szemlélteti. A generátor árama H_1-H_2 kapcsolón keresztül jut a J_1-J_2 váltókapcsolóra és ennek „ AB ”



13. ábra. Bázis műszerfal fotoregisztrálója és kapcsolóműve (felülnézet)

Fig. 13. Панель базисной станции с фоторегистрирующим и управляющим устройствами (сверху)

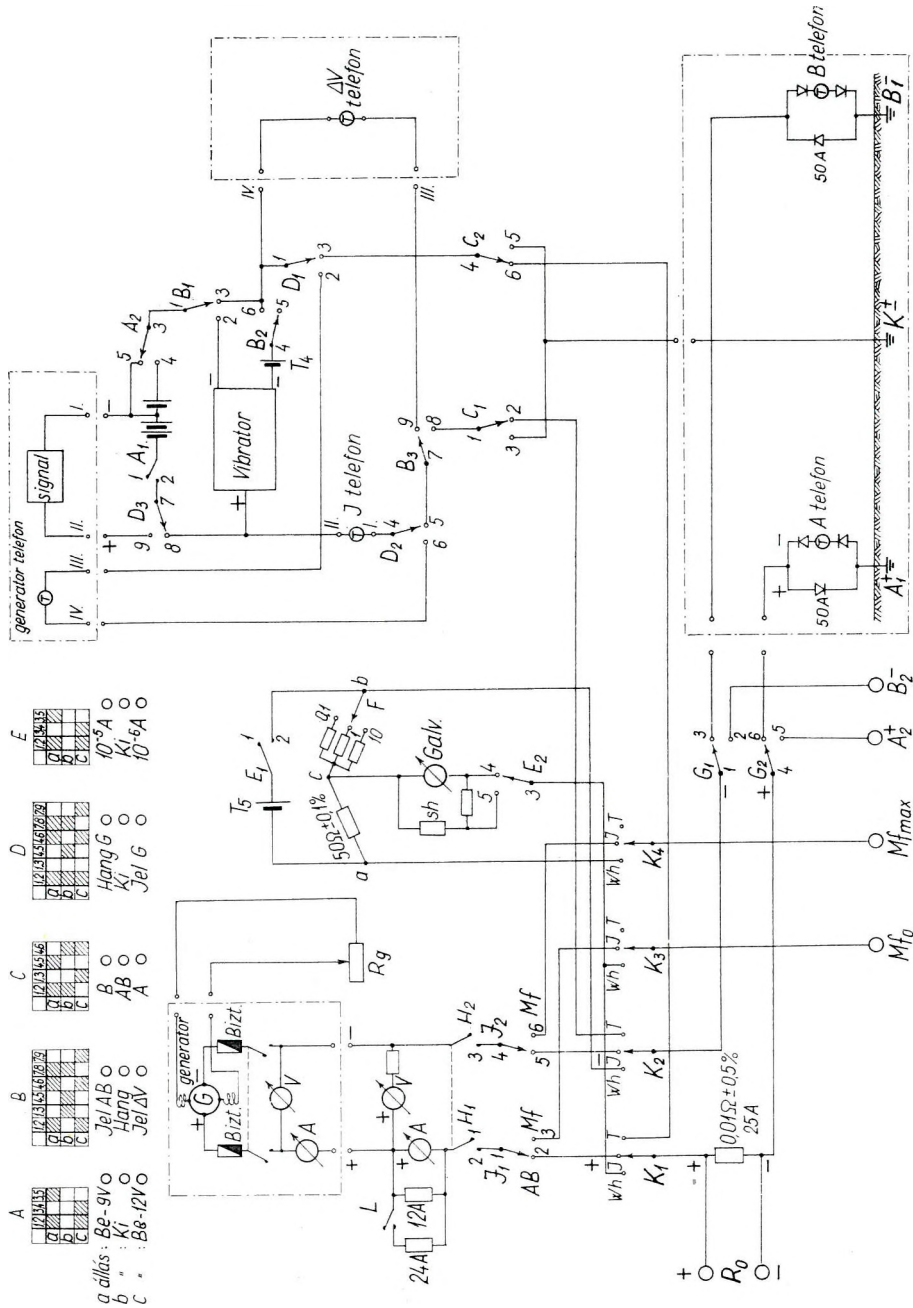
13. The photo-recorder and switch-unit of the base-station instrument-panel (top view)

állításában a $K_1 - K_4$ négyáramkörös műveletkapcsolóra. Ez utóbbival szabályozható az egész berendezés működése. „I” állásban a tápáram a $G_1 - G_2$ kapcsolón és a földelések elé kapcsolt elektróda telefon 50 A-es egyenirányítóján keresztül az A és B földelésre jut. K_1 és G_2 között helyezkedik el az R_0 nagyteljesítményű precíziós ellenállás (értéke $0,01 \pm 0,5\%$, terhelhetősége 25 A); az itt levő két csatlakozón keresztül jut a tápárammal arányos $R_0 I$ feszültségkülönbség a fotoregisztrálóba. $K_1 - K_4$ kapcsoló „Wh” állásban megmérhetjük a generátor sarkaira kerülő összellenállást, amely a kábelek ellenállásából, az AB földelések átmeneti ellenállásából és a két tápelektroda között levő köztetőmeg ellenállásból tevődik össze. A mérést Mf_0 és Mf_{max} közvetítéshez csatlakozó ellenállássor segítségével végezzük el, ilyenkor ez a Wheatstone-híd ismert ellenállásának szerepét tölti be. A híd többi ága $K_1 - K_4$ kapcsoló megfelelő pontjaihoz kapcsolódik, azzal a feltétellel, hogy a híd telepének árama a generátorral megegyező polaritással – az 50 A-es egyenirányítón keresztül – jusson a földelésekre. A híd három érzékenységgállással (10; 1; 0,1) dolgozik 10 – 4000 Ω , 1 – 400 Ω és 0,1 – 40 Ω értékhatárok között.

A berendezés távközlési egysége a műveletkapcsoló „T” állásban működik. Elvi felépítése a következő: Ha az A és B földeléseknél levő elektródateletonon a telefon árama a generátorral ellentétes polaritással halad át, akkor ezt az 50 A-es egyenirányító kizárja. A T -vel jelzett telefonhallgatón és a mikrofonon keresztül viszont áthaladhat, mivel az itt elhelyezkedő 0,5 A-es egyenirányítók átengedik. Ez utóbbiak ugyanekkor a nagyfeszültségű tápáramot kizárják. Ezzel a megoldással elérhető, hogy a bázisműszerkocsitól a tőle 1 – 15 km távolságban levő A illetve B földeléshez a tápáramot, a Wheatstone-híd áramát és a telefonáramot ugyanazon a kábelben vezessük. A távközlési egység működését A, B, C, D , háromállású több áramkörös telefonkapcsolók szabályozzák.

A „műföld” ellenállássor nagyteljesítményű ellenállásokból áll. Két, egymással teljesen azonos felépítésű egysége egyenként 12,5 A-rel, párhuzamosan kapcsolva 25 A-rel terhelhető. Sorozatkapcsolójával $3 \times 100 \Omega$, $9 \times 10 \Omega$, $9 \times 1 \Omega$ kapcsolható. Az ellenállássor a generátor terhelésének úgynevezett „műföld eljárással” való stabilizálására szolgál. Az I regisztráció időszakát kivéve, a generátort az $J_1 - J_2$ váltókapcsolón keresztül az ellenállássor terheli. Előzőleg Wheatstone-híd méréssel az ellenállássort olyan értékre állítjuk be, amely a generátort $\pm 1 - 3\%$ pontossággal az AB földelésnek megfelelően terheli.

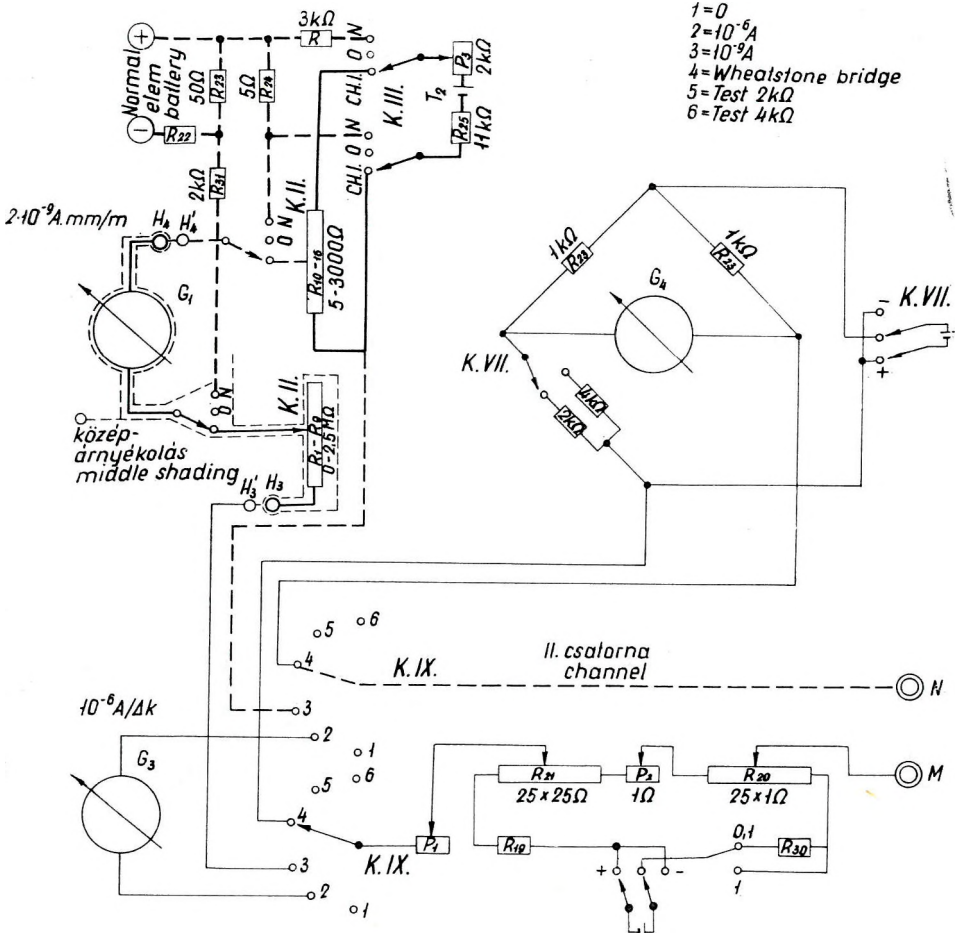
Az R_0 ellenálláson jelentkező feszültségkülönbséget a $T - 14/A$ típusú berendezéssel regisztráljuk. A bázis műszerkocsiban erre a célra a regisztráló belső középárményékolással ellátott II. számú csatornáját használjuk. A berendezés a tulajdonképpeni I regisztráció idején a 15. ábrának megfelelő kapcsolásban dolgozik. Ebben az esetben az R_0 ellenállás a H_3 és H_4 csatlakozón, valamint az $R_1 - R_9$ ellenálláson keresztül kapcsolódik a G_1 galvanométerre. Utóbbi érzékenysége $2 \cdot 10^{-9}$ A/mm/m. A megfelelő előtétellenállás a $K.II$. érzékenyséskapcsolóval állítható be. Értéke olyan, hogy az I regisztráció $I = 0,03$ A-tól $I = 30$ A-ig bármilyen tápáramerősségnél elvégezhető legyen. A szomszédos érzékenységfokokozatok aránya 1 : 3.



14. ábr. A kapcsolómű elvi felépítése **Фиг. 14.** Принципиальная схема управляющего устройства
 14. The scheme of the switch-unit

K. IX.

- 1=0
- 2= 10^{-6} A
- 3= 10^{-9} A
- 4=Wheatstone bridge
- 5=Test $2k\Omega$
- 6=Test $4k\Omega$



15. ábra. T-14/A regisztráló elvi kapcsolása I regisztrációnál

1. I regisztráció: R_0 gyengeáramú kör
2. A gyengeáramú kör kapcsolása belső hitelesítéskor
3. Belső középarnyékolás
4. Belső hitelesítő kör
5. Külső hitelesítés normálemellel

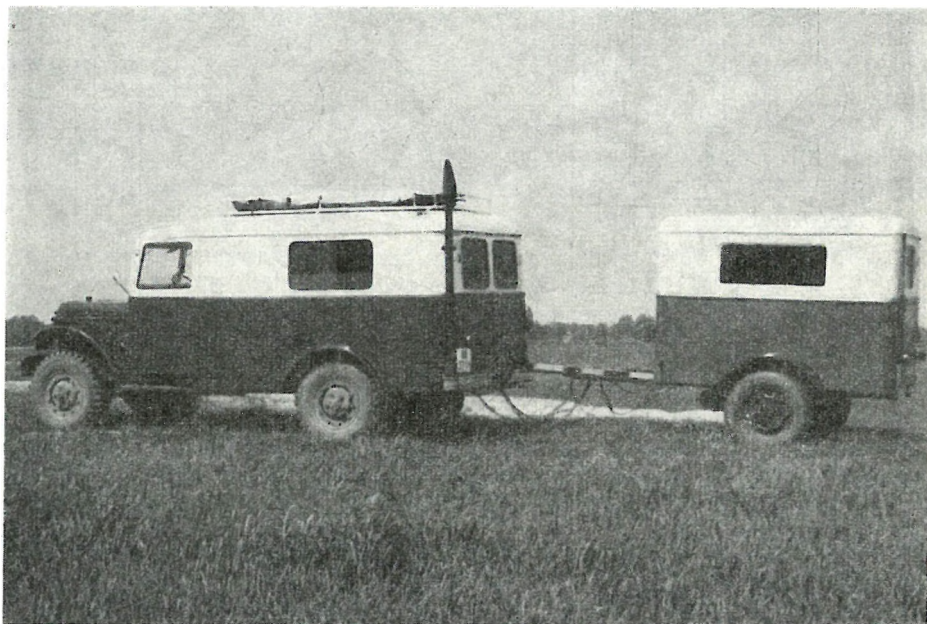
Fig. 15. Принципиальная схема регистрирующего устройства Т/14/А при регистрации I. Регистрация I, цепь R_0 слабого тока. Схема включения цепи слабого тока при внутренней градуировке. Внутреннее среднее экранирование. Внутренняя градуировочная цепь. Внешняя градуировочная цепь с нормальным элементом.

15. Generalized circuit-diagram of the T-14-A recorder in the position I

- I recording: R_0 weak-current circuit
- Weak-current circuit at inner test
- Inner middle shading
- Inner test
- External test with normal-battery

Mind a kapcsolóműben levő R_0 ellenállás, mind pedig a regisztráló galvanométere és a megfelelő vezetékek árnyékoltak. Az egyes árnyékoló egységek a belső középarnyékoló körlöz csatlakoznak $K_{\text{árny}}$ kivezetésen keresztül. Figyelembe véve a korábban leírtakat, a csatorna szigetelése legalább $1\,000\,000\,M\Omega$.

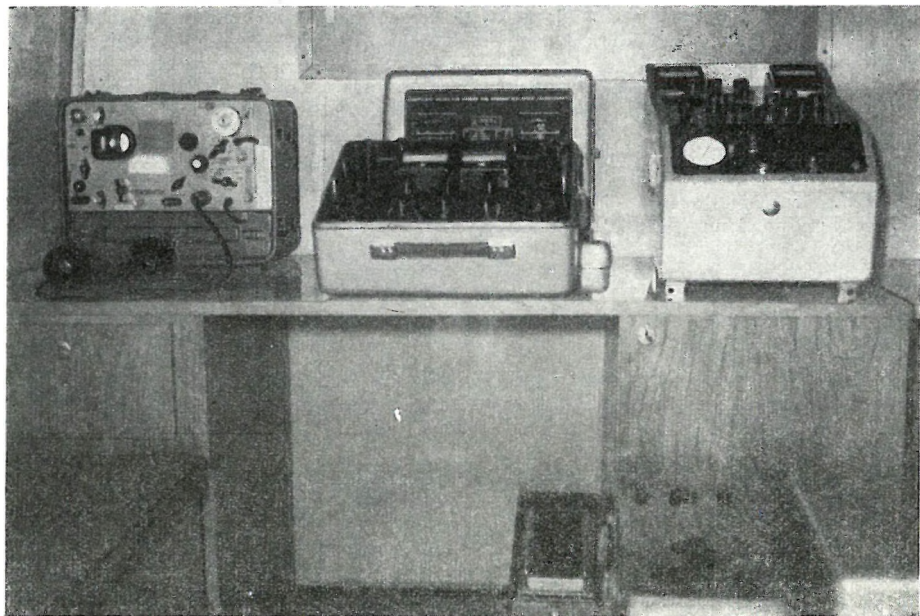
A generátor gerjesztő körének ellenállása (mindkét generátoré külön-külön) a bázis műszerfal „segédberendezések” egységében helyezkedik el. Ugyanabban az egységben található a léghűtő berendezés, amely a két műföld ellenálláson hideg levegőt áramoltat keresztül.



16. ábra. Mozgó (ΔV) műszerkocsi a báziskocsival (utánfutó)
 Фиг. 16. Полевая станция (ΔV) с базисной станцией (прицеп).
 16. Moving (ΔV) station with the base-station (trailer)

3. A mozgó műszerkocsiban az M , N elektródapáron jelentkező ΔV potenciálkülönbséget regisztráljuk. A regisztrációt – a tellurikus mérésekhez hasonló módon – $T-14/\Delta$ típusú berendezéssel végezzük (a műszerkocsi belső kiképzését a 17. ábra mutatja be). A kocsi alkalmas ΔV és tellurikus regisztrálásra, valamint sekélyszondázásokra ($GE-20$ típusú automatikusan számoló kompenzátorral). Az összeköttetést az MN elektródákkal tranzisztoros hangosbeszélő biztosítja, amely az elektróda kábellel működik. A mozgó műszerkocsi és a bázis között rádióösszeköttetés van.

A GE-30 mérőberendezés tervezésének előtanulmányainál alapvető munkásságot fejtett ki Dr. Ádám Antal tud. oszt. vez. és Erkel András tud. oszt. vez. A mérőberendezés építésénél közreműködött Hoffer Egon, Nyitrai Tibor, Szabó Margit és Salamon Judit tudományos munkatárs, valamint Bíró Zoltán és Varga József észlelő. Értékes munkájukért köszönet illeti őket.



17. ábra. Mozgó műszerkocsi belső térképezése

Фиг. 17. Исполнение внутреннего пространства полевой станции.

17. Interior of the moving station

IRODALOM

1. *Ádám A. – Szabadváry L.*: 1961. Tanulmány a magyar „geoelektromos tereplaboratórium” kialakításáról. MTA Geofizikai Kutatólaboratórium kézírata.
2. *Ádám A. – Erkel A. – Szabadváry L.*: 1962. Neue ungarische geoelektrische Instrumente. Geofizica pura e applicata – Milano. Bd. 52.
3. *Alekszejev S. M. – Berdicsevszkij M. N. – Zagarmisztr A. M.*: 1958. Primenyenyije novih metodov elektrorazvedki v Szibiri. Prikladnaja Geofizika, vip. 18.
4. *Bogdanova O. I. – Sabonov B. A.*: 1961. O vozmozsnosztjyah metoda sztanovlenijija pri izucsenyii reljefa krisztallicseszkovo fundamenta. Razvedocsnaja i promiszlovaja geofizika, vtiip. 41.
5. *L. Miagaux – I. L. Astier – P. H. Revol*: 1960. Un essai de détermination expérimentale de la résistance électrique des couches profondes de lécorce terrestre. Annales de géophysique, N^o. 4.
6. *Szabadváry L.*: 1963. A nagymélységű geoelektromos kutatás fejlődése Magyarországon. Magyar Geofizika. IV. évf. 1–2.
7. *Veber V. T.*: 1957. Rezuljtati iszledovanyija efekta sztanovlenijija elektr. polja na territorii mezsdurecsja Amur Zeja. Razvedocsnaja i promiszlovaja geofizika, vtiip. 19.