

Ekvivalens műföldhálózatok elmélete és alkalmazása az elektromos karottázs műszerkutatásban; az ekvivalencia-mátrix jelentősége

B A R L A I Z O L T Á N

Az elektrokarottázs mérőberendezések mérési pontosságának ellenőrzésére jelenleg nem állnak rendelkezésre etalon mérési terek és a gyakorlatban végzett ellenőrzések nélkülözik az etalonvizsgálatok kellékeit. Ennélfogva gyakorlati jelentőséggel bír megfelelő etalonvizsgáló eszközök előállítása. Etalonmérési közegként egyenértékű műföldhálózatokat lehet készíteni. Az egyenértékűség kritériuma az, hogy a mérőrendszer a szokásos mérőáramok betáplálásával ugyanakkora potenciálokat keltsen az etalonnálzat csatlakozási pontjain, mint a karottázs mérőszonda a hálózattal modellezett háromdimenziós földi rétegekben.

Для проверки измерительной точности электрокаротажной аппаратуры до настоящего времени не имеются эталонные измерительные поля и осуществляемые на практике испытания нуждаются в средствах эталонирования. В связи с этим создание соответствующих устройств для эталонирования представляет практический интерес. В качестве эталонной измерительной среды можно создать эквивалентную сеть искусственной земли. Критерием эквивалентности служит условие, что в контактирующих пунктах эталонной сети, при включении обыкновенных цепей, измерительной системой должны быть созданы потенциалы, аналогичные потенциалам, возбуждаемым измерительным каротажным зондом в трехмерных земных слоях, моделируемых этой сетью.

Zur Prüfung der Messgenauigkeit von elektrischen Kernungs-Einrichtungen stehen uns keine Etalon-Felder zur Verfügung und die in der Praxis ausgeführten Kontrollmessungen können den Anforderungen einer wirklichen Etalonuntersuchung nicht genüge leisten. Es ist daher die Konstruktion entsprechender Etalon-Einrichtungen von praktischer Bedeutung. Als solche können äquivalente Kunsterdenetze dienen, wobei als Kriterium für die Äquivalenz gilt, dass in der Messeinrichtung durch die Zuführung der üblichen Mess-Ströme an den Anschlusspunkten des Etalonnetzes dieselbe Potentiale erregt werden sollen, wie dies bei der Anwendung der Bohrlochmess-sonde in den dreidimensionalen Erdschichten geschieht, welche durch das Netz modelliert werden sollen.

Az elektrokarottázs mérőberendezések ellenőrzésére általánosan elterjedt szokás az, hogy a berendezéssel – azonos körülmények között – ismételt kútméréseket végeznek és összehasonlítják a szelvényeket; néha két berendezéssel mérnek – ugyanazt a szondát használva – és az így nyert szelvények összehasonlítása útján következtetnek a mérőberendezés mérési pontosságára.

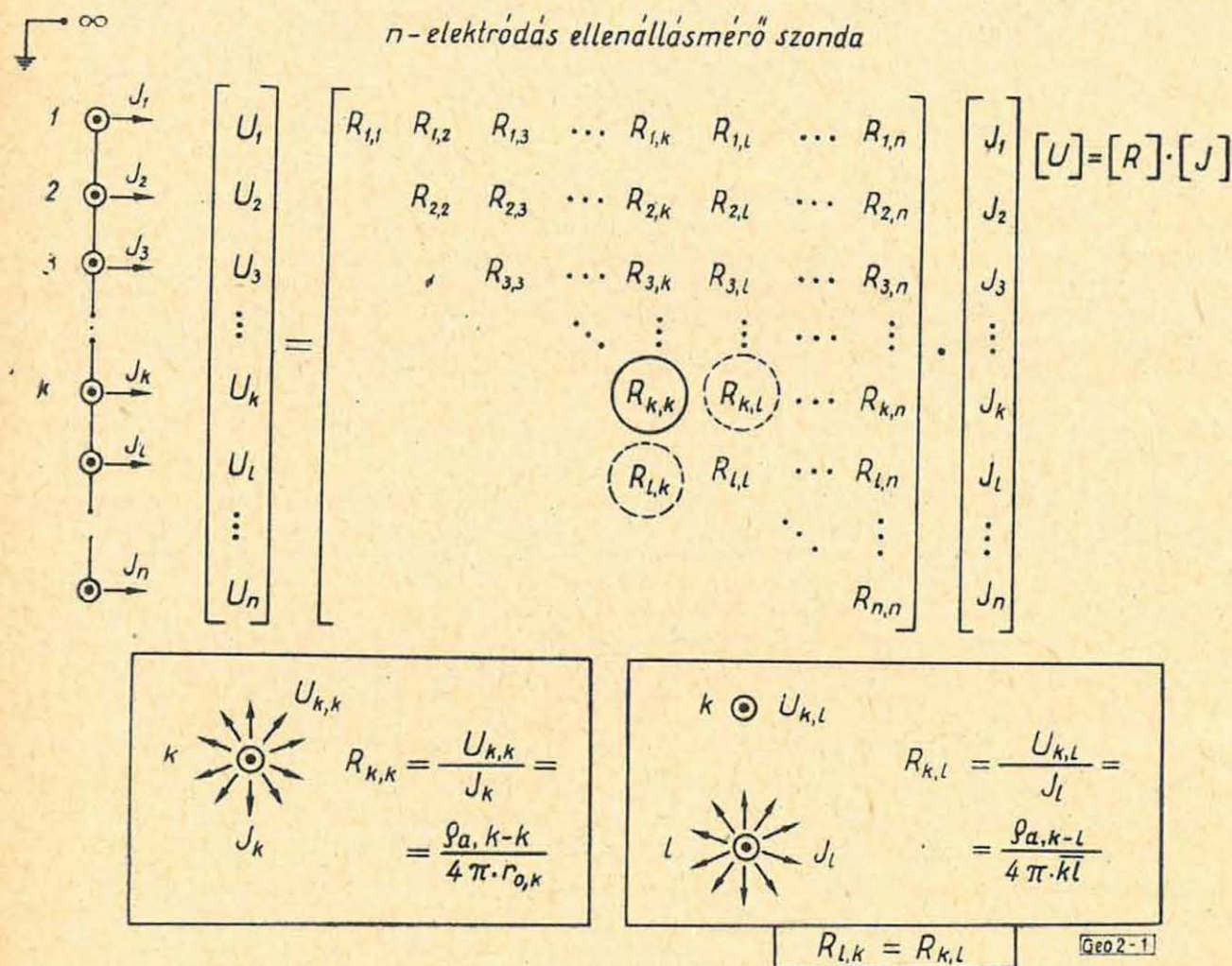
A mérőrendszerek ilyen összehasonlító ellenőrzése nélkülözi az etalonmérések kellékeit, mivel egyrészt nem létezik etalon mérőberendezés, másrészt a fúróllyukkal harántolt rétegsor sem ismeretes olymértékben, hogy etalon mérési teret nyújthatna.

Ennélfogva nagy jelentőségre tart számot az elektrokarottázs műszerkutató munkában etalon közegek előállítása, hogy a különféle mérőberendezések mérési pontosságát hitelesen ellenőrizhessük és reprodukálható vizsgálatokat végezhessünk a mérőberendezések működését befolyásoló különféle zavaró tényezők hatásával kapcsolatban.

Az elektrokarottázs mérőrendszerek, illetve azok szondái számára etalon mérési közegként olyan egyenértékű műföldhálózatok szolgálhatnak, amelyekben a mérőrendszer – a szokásos mérőáramok betáplálásával – ugyanakkora

potenciálokat kelt a hálózat csatlakozási pontjain, mint a karottázs mérőszonda a műföldhálózattal modellezett, definiált földi rétegekben.

A magyarországi elektrokarottázs műszerkutatás jelenlegi szakaszában az ekvivalens műföldhálózatok alkalmazása vezetési áramokat hasznosító ellenállásmérő-rendszerek tekintetében bír jelentőséggel. E mérőrendszerek fémlektrodokon keresztül kapcsolódnak a mérési térrel; mivel a mérőáramok frekvenciája 100 Hz-nél kisebb, sem számottevő örvényáramok, sem dielektromos eltolási áramok nem lépnek fel. Az ilyen mérőrendszerekben a betáplált mérőáramok által az egyes lektrodokon keltett potenciálokat a mérési tér $[R]$ ellenállás-mátrixának a felhasználásával lehet leírni. Üledékes kőolaj- és gáztároló rétegek esetében az ellenállás-mátrix lineáris természetű.



1. ábra

Az 1. ábrán bemutatjuk egy n -számú lektrodából felépített ellenállás-szelvényező szonda ellenállás-mátrixát, továbbá a szonda jellemző mátrix-egyenletét, amely az lektrodokon megjelenő mérési potenciálok, a betáplált mérőáramok és az ellenállás-mátrix közötti összefüggést írja le.

A szóban forgó függvénykapcsolatot – valamennyi lektrodra – az Ohm-törvény mátrix-egyenlet formájában felírt alakja képezi, amelyben az $[U]$ feszültség-mátrix és az $[I]$ áram-mátrix n -elemből felépített, egyoszlopos mátrixok, az $[R]$ ellenállás-mátrix pedig n sort és n oszlopot tartalmazó négyzetes mátrix. A mátrix-algebra alkalmazására az ad fizikai alapot, hogy az n

elektrodból felépített szonda és a teret folytonosan kitöltő közetanyagok együttes rendszere $2n$ -pólusú lineáris áramvezető rendszernek tekinthető, amelyben az áramtérlelésítő és potenciálfigyelő pólusokat a szonda elektrodbjai képezik. A $2n$ pólus közül n számú pólus közösítve van: ezek a bevezetett áramoknak a végtelen távolban elhelyezett visszatérési helyei és egyúttal az elektrodpotenciálok referencia helye; e közösített pont az áramvezetési tér ún. „földelési pont”-ja.

Az ellenállásmátrix főátlójában elhelyezkedő $R_{k,k}$ mátrixelemeket az elektrodbok földelési ellenállásai, az $R_{k,l}$ oldalelemeket pedig az elektrodbpárok közötti átcsatoló (transzfer) ellenállások képezik. A k -edik elektrodba földelési ellenállása az elektrodba – mint monoelektrodba – által a mérési térben mérhető $\varrho_{a,k-k}$ látszólagos ellenállással van kapcsolatban; a k -edik és az l -edik elektrodbok között fellépő transzfer ellenállás pedig a két elektrodbból képzett potenciálszonda által mérhető $\varrho_{a,k-l}$ látszólagos ellenállással hozható összefüggésbe. Megemlítendő, hogy az ellenállásmátrix a főátlóra szimmetrikus tükrös-mátrix, ugyanis a lineáris mérési terekre érvényes Maxwell-féle felcserélhetőségi elv értelmében;

$$R_{l,k} = R_{k,l}$$

Mármost az a kérdés, hogy a háromdimenziós mérési térrel egyenértékű, etalon műföldhálózatok elvi és gyakorlati felépítésében milyen utat követhetünk?

Az ekvivalens műföldhálózat megszerkesztése úgy történik, hogy koncentrált ellenállások – alkalmas geometriával bíró – hálózatából n bemenő pólusú és egy közös földelt pontú, ún. sokpólust képezünk oly módon, hogy mindegyik bemenő pólus és a földelési pont között megjelenő földelési ellenállás, továbbá bármely két bemenő pólus relációjában fennálló transzfer ellenállás megegyezik a modellezett térbeli vezetési rendszer $[R]$ ellenállás-mátrixának megfelelő mátrix-elemével. Mivel az $\{n\}$ -edrendű ellenállásmátrix független elemeinek W száma:

$$W = n \cdot \frac{n+1}{2}$$

ezért W számú követelmény szempontjából kell kielégíteni a hálózat és a modellezett háromdimenziós tér közötti egyenértékűséget. Mivel az egyenértékűség megvalósításakor alapvetően az ellenállás-mátrixra támaszkodunk, ezért azt – feladatunk szempontjából – ekvivalencia-mátrixnak nevezhetjük.

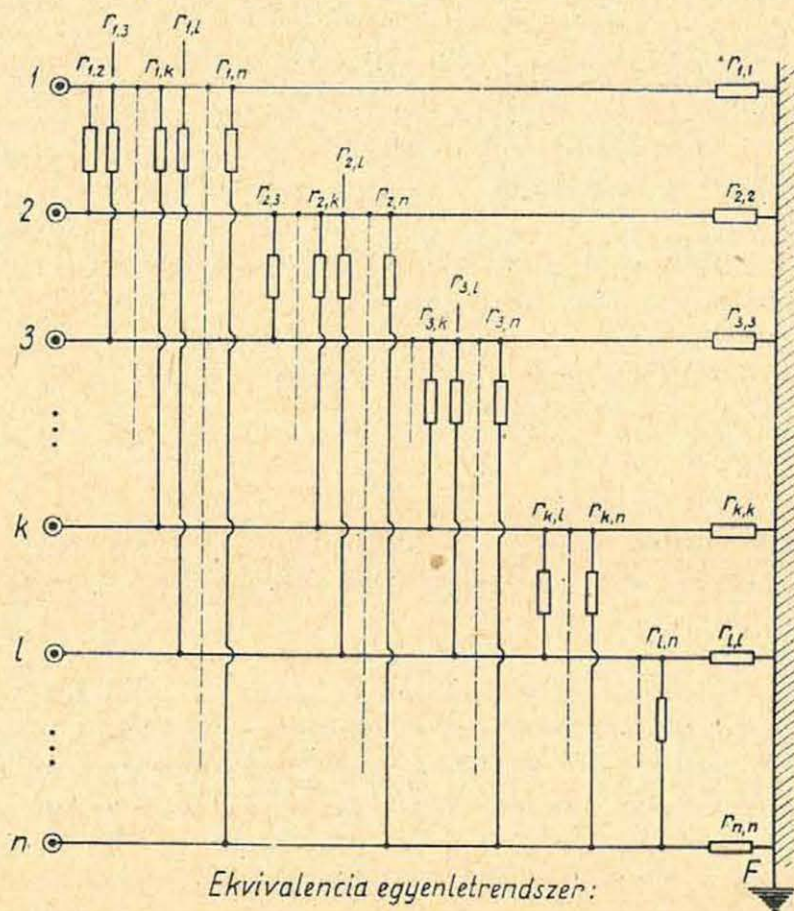
A W -számú ekvivalencia-követelmény egyidejű és egyértelmű kielégítéséhez ugyancsak W -számú ellenállásból építjük fel a műföldhálózatot. A hálózat felépítését a 2. ábra mutatja be n -elektrodbás szonda esetében.

A hálózat homogén – és az ekvivalenciamátrixszal formális logikai kapcsolatban álló – felépítését azáltal tartjuk biztosíthatónak, hogy egy-egy ellenállást helyezünk el minden bemenő pólus és a közös földelési pont közé ($r_{k,k}$), továbbá minden két bemenő pólus közé ($r_{k,l}$).

A hálózatot felépítő ellenállások szimultán meghatározása

$R_{k,l} = f(r_{i,j})$ általános alakú, W -ismeretlenes, n -edfokú egyenletrendszer megoldása útján történik. Az egyenletrendszert felépítő egyenletek azt írják le, hogy az ellenálláshálózat pólusainak földelési ellenállásai, továbbá a póluspárok közötti transzfer ellenállások megegyezzenek az ekvivalencia-mátrix megfelelő mátrixelemeivel.

Az egyenletrendszer általános felírásában szereplő k , l , i és j indexek az n pólusszámnál nem nagyobb természetes egészszámokat jelentenek. Az egyenletek bal oldalán mindig csak egy diszkrét k , l értékpár szerepel, amelyben l nem kisebb k -nál, a jobb oldalon viszont az összes lehetséges i , j értékpárok képviselve vannak azzal a megkötéssel, hogy j nem kisebb i -nél.



Ekvivalencia egyenletrendszer:

$$R_{k,l} = f(r_{i,j}) \dots \quad N = n \frac{n+1}{2} \text{ egyenlet}$$

ahol: $1 \leq k \leq n$ és $k \leq l \leq n \dots$ diszkrét értékpárok
 továbbá: $1 \leq i \leq n$ és $i \leq j \leq n \dots$ valamennyi értékpár
 k, l, i, j : természetes egészszámok [Geo 2-2]

2. ábra

A hálózati földelési ellenállások és a mátrix főátlójában levő analóg elemek közötti egyenlőségeket az $l=k$ indexű egyenletek képezik, míg a hálózat transzfer ellenállásai és a mátrix megfelelő oldalelemei közötti egyenlőségek az $l>k$ -indexű egyenletekkel vannak képviselve. Az egyes egyenletek felírása a műföldhálózatra alkalmazott ún. csomóponti feszültségek módszerével történhet, amelynek során mindig n ismeretlenes lineáris egyenlet-rendszerre jutunk, ahol a szabad paraméterként meghagyott csomóponti feszültségek képezik az ismeretlen mennyiségeket.

A W -számú ekvivalencia-követelmény szimultán kielégítéséhez tehát az

$$R_{k,l} = f(r_{i,j})$$

W -ismeretlenes n -ed fokú egyenletrendszerrel kell megoldani; az ilyen egyenletrendszerek megoldása külön problémakört képez. A megoldás szolgáltatja

a koncentrált hálózati ellenállástagok nagyságát. Ezekből felépítve a 2. ábrán bemutatott geometria szerinti hálózatot, rendelkezésünkre áll az adott mérőszonda és mérési tér ekvivalens műföldhálózata.

A feladat gyakorlati elvégzése műszerkutatásunkban jelenleg a különféle laterolog mérőrendszerek és az elektronikus karottázs berendezés ellenállásszelvényező szondái tekintetében bír aktualitással. A gyakorlati kidolgozást ezideig az elektronikus karottázs berendezés egy kombinált ellenállásszelvényező szondájára végeztük el, amely két különféle méretű gradiensszondából és két potenciálszondából van összetéve. A numerikus számításokat homogén, végtelen kiterjedésű izotróp vezető térre hajtottuk végre.

Az ekvivalens műföldhálózatokat több fontos probléma tisztázására lehet felhasználni az elektromos karottázs műszerkutatásban:

1. Miként már szóltunk róla, az etalon műföldhálózatok segítségével – mint etalon mérési térrel – végezhetjük el a mérőberendezések mérési pontosságának hiteles ellenőrzését.

Ilyenkor – a fúrólyukakban végzett mérésekhez hasonlóan – a komparatív ellenállásmérés elvét használjuk fel, vagyis a mérőáramkörben elhelyezett etalon hitelesítő ellenálláson létrejövő hitelesítő műszerkiteréssel hasonlítjuk össze a mérési indikációt, amely utóbbi a műföldhálózat mérőpólusaira csatolt mérőkörben jön létre.

2. Etalon műföldhálózatok alkalmazásával lehet vizsgálni azt a zavaró hatást, amit a szondák fémelektrodjainak az ideálistól eltérő viselkedése gyakorol a mérési eredményekre.

Köztudomású, hogy a folyadékba merített fémelektrodok fázishatárfelületén elektrokémiai eredetű kontakt hártványok jönnek létre, amelyek áramköri hatása – párhuzamosan kapcsolt R_c ohmos ellenállás és C_c kapacitás eredőjeként – komplex Z_c impedanciával modellezhető, szinuszos jelalakú periodikus váltakozó áramok átbecsátásakor. E kontakt impedanciák hatására komplex áramok lépnek fel a szonda áramköreiben; ez mérési hibákra, súlyosabb esetekben a mérőrendszer instabil működésére vezethet.

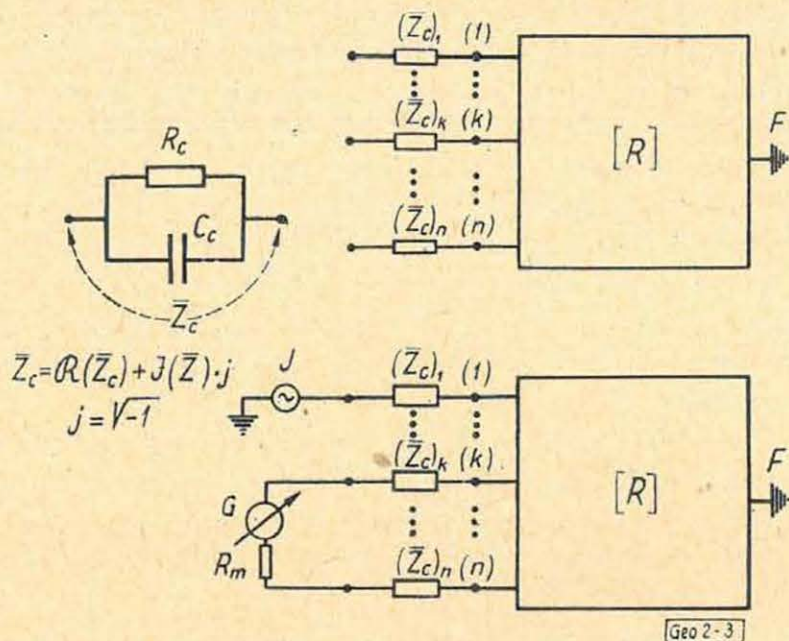
A vizsgálat számára az elektród impedanciákkal egyenértékű komplex impedanciákat kapcsolunk a műföldhálózat bemenő pólusai elé, a műföldhálózat és a mérőrendszer közé, ahogy azt a 3. ábra szemlélteti.

Az ábra példaként egy olyan vizsgálatot mutat be, amikor háromelektrodos ellenállásmérő rendszert kapcsolunk a kontakt impedanciákkal kiegészített műföldhálózatra. A kontakt impedanciák értékének megfelelő megválasztásával és változtatásával mennyiségileg vizsgálható azok zavaró hatása a mérőrendszer működésére és a mérési eredmények pontosságára.

3. Egy további alkalmazásként megemlítjük, hogy etalon műföldhálózatokon vizsgálhatók azok a mérési hibák és működési zavarok, amelyeket a karottázs szelvényező kábelek okoznak az elektrokarottázs mérőrendszerek üzemében. A karottázs kábel, mint sokparaméterű, elosztott elektromos átvívó rendszer, súlyos mérési hibákat okozhat, sőt kiválthatja a mérőrendszerek instabil működését is.

A vizsgálatokhoz kábel-műkapcsolásokat, vagy eredeti karottázs kábeleket használhatunk fel; a kábeleket laboratóriumban a mérőrendszer és az etalon műföldhálózat közé kapcsolhatjuk, sőt lehetőség nyílik arra is, hogy az etalon műföldhálózatot zárt karottázs szondákba építsük és a kábel végére kapcsolva, a vizsgálatot fúrólyuk körülmények között végezzük el; ilyenkor

a karottázs kábel elszenvedí azokat a változásokat, amelyek folyadék környezetben, a lyukfolyadék nyomásán és hőmérsékletén jönnek létre. E vizsgálati lehetőség különösen időszerű a 3000 m-nél mélyebb, nagymélységű fúrások számára tervezett elektrokarottázs mérőrendszerek kutatása tekintetében.



3. ábra

$$[U] = [Z] \cdot [J]$$

(1) □	=	$\begin{bmatrix} U_1 \\ \vdots \\ U_2 \\ \vdots \\ U_l \\ \vdots \\ U_n \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} Z_{1,1} & \dots & Z_{1,k} & Z_{1,l} & \dots & Z_{1,n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \textcircled{Z_{k,k}} & \textcircled{Z_{k,l}} & \dots & Z_{k,n} \\ \vdots & & \textcircled{Z_{l,k}} & Z_{l,l} & \dots & Z_{l,n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & Z_{n,n} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} J_1 \\ \vdots \\ J_k \\ \vdots \\ J_l \\ \vdots \\ J_n \end{bmatrix}$
⋮				
(k) □				
⋮				
(l) □				
⋮				
(n) □				

Geo 2-4

$$\bar{Z}_{k,k} = \frac{\bar{U}_{k,k}}{J_k} ; \bar{Z}_{k,l} = \frac{\bar{U}_{k,l}}{J_l}$$

$$\bar{Z}_{l,k} = \bar{Z}_{k,l}$$

4. ábra

Befejezésül szólunk az elektrokarottázs mérőszondák és mérési terek ellenállás mátrixának általánosításáról.

A modern elektrokarottázs mérőrendszerek egy részében 10 kHz, illetve 1 MHz nagyságrendű frekvenciákat alkalmaznak; előbbit az indukciós ellenállásszelvényező, utóbbit pedig a dielektromos karottázs rendszerekben.

E frekvenciákon az indukciós szelvényező rendszer alkalmazásakor örvényáramok, a dielektromos mérés alkalmával pedig dielektromos eltolási áramok lépnek fel a mérési térben. Az ilyen mérőrendszerek esetén is figyelemre

tarthat számot a szondák és a mérési tér kapcsolatát leíró ekvivalencia-mátrix meghatározása, majd — arra támaszkodva — etalon műföldhálózatok megvalósítása.

Az örvényáramokkal vagy dielektromos eltolási áramokkal képviselt szondaterék ekvivalencia-mátrixa komplex elemekből épül fel; ezzel eljutottunk a vezetési áramok egyszerű eseteire érvényes ellenállás mátrixok általánosítására: a $[Z]$ impedancia mátrix fogalmára. Egy $\{n\}$ -rendű impedancia mátrixot, továbbá az n -pólusú mérőszonda elektromos paraméterei között fennálló mátrixegyenletet a 4. ábra mutat be.

Ez esetben a feszültségmátrix és az árammátrix is komplex jellegűek.

Összegezve a mondottakat megállapítható, hogy az általános elektrodinamikussal működő elektrokarottázs mérőrendszerek esetében a mérőszonda és a háromdimenziós mérési tér közötti kapcsolatot a rendszer $[Z]$ impedancia mátrixával írhatjuk le.

Az impedancia mátrixra támaszkodva az általánosított esetben is el lehet készíteni az ekvivalens műföldhálózatokat, amelyek komplex impedancia komponensekből épülnek fel. A komplex ekvivalens műföldhálózatok alkalmazása fontos szerepet tölthet be az indukciós és dielektromos karottázs berendezések elméleti és gyakorlati kutatásában.

A III. ANGYALFÖLDI ÚJÍTÓ- ÉS TAPASZTALATOSERE KIÁLLÍTÁS EREDMÉNYEI

1962 április havában fejeződött be a III. Angyalföldi újító, műszaki fejlesztési és találmányi kiállítás, amelyet a XII. ker. Pártbizottság és a Budapesti Szakszervezeti Tanács rendezett az MSZMP kerületi bizottságának 1961 szeptember havi határozata alapján.

A kiállításon bemutatott újításokkal, találmányokkal és azok népgazdasági eredményeivel folyóiratunk szűkreszabott terjedelme miatt részletesen nem foglalkozhatunk.

Közöljük azonban Egyesületünk tagjaival, hogy a Geozifikai Mérőműszerek Gyára által készített és kiállított különböző típusú szeizmométerek leírásai Egyesületünk irattárában az érdeklődők számára rendelkezésre állnak.

A szeizmométer műszaki leírását Tamás Béla főmérnök bocsátotta Egyesületünk rendelkezésére, akinek ez úton is köszönetünket fejezzük ki.

Szerk.