Mélytörések, jólvezető dyke-ok és kétdimenziós modellek*

ÁDÁM ANTAL**

A Dunántúli-középhegységben a magnetotellurikus (MT) adatok statisztikus vizsgálata az S-hatás torzítási elmélete alapján azt mutatta, hogy a földkéregben észlelt vezetőképesség növekedés kapcsolatban van a mélytörésekkel.

A fentiek igazolására újabban terepi modell-méréseket végeztünk egy ismert tektonikájú, sekély és kvázi-kétdimenziós medencében 1–3 km-es megnetotellurikus ponttávolsággal.

A felszínközeli torzulások numerikus számítása – 3–D hatásokat is feltételezve – szintén alátámasztja feltevésünket, hogy a mélytörések (vetők) tartalmazzák a jólvezető formációkat.

2–D modellszámítás szerint több, kellő mélységű jólvezető dyke olyan anomáliákat okozhat, amelyeket nem lehet elválasztani egy vezető réteg hatásától.

Статистическое исследование магнитотеллурических (MT) данных в Задунайских горах на основании теории искажения S-влияния показало, что наблюдаемое в земной коре увеличение проводимости находится в связи с разломами.

Для подтверждения вышесказанного нами проводились в последнее время полевые измерения модели изветсной тектоники, в мелком и квазидвухразмерном бассейне с магнитотеллурической плотностью точек 1–3 км.

Числовое вычисление близповерхностных искажений – предполагая и 3–Д влияния – также подтверждает наше предположение, что глубинные разломы (нарушения) содержат хорошо проводящие формации.

По вычислению 2–Д модели большое число подходящец глубины хорошо проводящих дайков может вызвать такие аномалии, которые нельзя отделить от влияния проводящего слоя.

A statistical treatment of MT data of the Transdanubian Mid Mountain made on the basis of the distortion theory of S-effect showed that the crustal conductivity increase is connected with deep fractures.

Recently field model measurements were made in a shallow and quasi 2–D basin of well known tectonics using MT station distances of 1–3 km.

Numerical modelling of near surface distortions, allowing for 3–D effects, support the idea that deep fractures (faults) contain the conducting formations.

According to 2–D model computations several conducting dykes in considerable depth can cause anomalies which are indiscernible from an anomaly due to a conducting layer.

1. Bevezetés

Az elmúlt évtized során mintegy *50* magnetotellurikus *(MT)* szondázást végeztünk a dunántúli elektromos vezetőképesség anomália területén a Bakonyban és ÉNy-i előterében. A kéreganomália átlagos mélységére 7 km-t kaptunk.

Az elektromágneses tértorzulás, elsősorban az S-hatás elmélete alapján végzett statisztikai vizsgálataink – összhangban *Ádám Oszkár (1977)* feltevésével – arra a következtetésre vezettek, hogy a

1. a jólvezető képződmény keskeny lineáris törési zónákhoz kapcsolódik, amelyeknek csapásiránya határozza meg a ϱ_{min} irányát,

2. a jólvezető képződményeket magukban foglaló töréseknek jelentős szerepük van az üledékes medenceszerkezet kialakításában is, tehát ezek a törések egyben a blokkokat is határolják *(Ádám, 1980a)*.

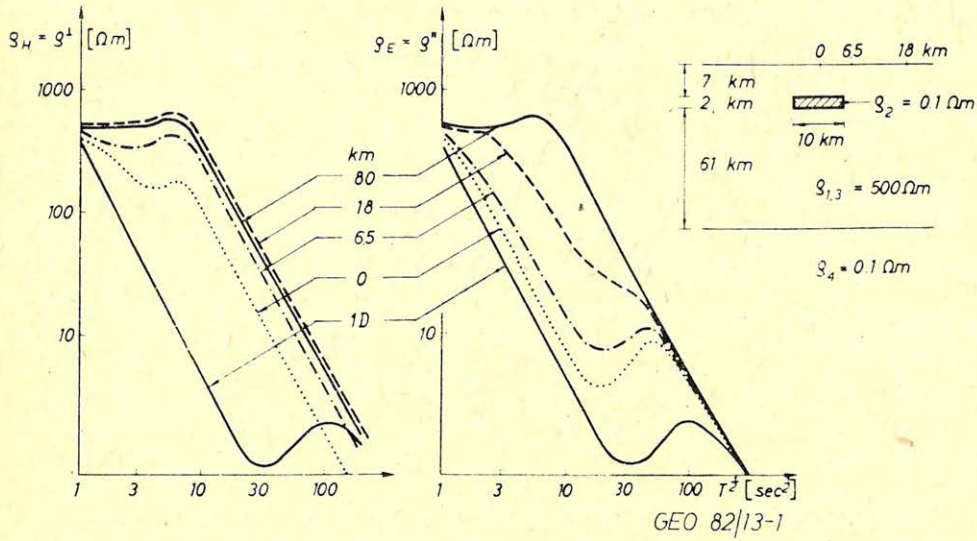
* Elhangzott az MGE 13. Vándorgyűlésén, Nagykanizsán 1982. június 3–4-én

** MTA Geodézikai és Geofizikai Kutató Intézete,
H–9401 Sopron, POB 5

A törésekben foglalt jólvezető képződmények kétdimenziós elektromos ellenállásmodelljéhez *Tátrallyay (1977)* számította ki az elméleti *MT* szondázási görbéket *(1. ábra)*. E görbék szerint is – összhangban a statisztikus vizsgálataink kal – a *keskeny törések esetében* az *E* polarizációs szondázási görbét a ϱ_{min} görbe képviseli.

Minthogy az indikációk alapján a jólvezető képződmény változó vastagságú összefüggő rétegnek is tekinthető, szükségesnek tartottuk, hogy legalább a Bakony egy peremi medencéjében közvetlenül megvizsgáljuk a *jólvezető képződmények és a jól ismert törések kapcsolatát (Ádám, 1980b)*.

E kísérlet, valamint az ehhez kapcsolódó kétdimenziós modellszámításaink révén arra is feleletet kívántunk kapni, hogy a kéreganomália valóban *mélyható-e*, vagy a kis ellenállású vetőzóna felszíni kibúvása torzítja el a szondázási görbéket, és így hibás mélységet határozunk meg.



1. ábra. Kétdimenziós jólvezető test (dyke) MT szondázási görbéi *Tátrallyay (1977)* számítása szerint

$\varrho_E = \varrho_{\parallel}$ = *E* polarizációs szondázási görbék a test középétől való távolság függvényében

$\varrho_H = \varrho_{\perp}$ = *H* polarizációs szondázási görbék a test középétől való távolság függvényében

Рис. 1. Двухразмерное хорошо проводящее тело (дайк), кривые МТЗ расчитанные *Тамрайау* (1977)

$\varrho_E = \varrho_{\parallel}$ = E поляризованные кривые зондирования в зависимости от расстояния от середины тела

$\varrho_H = \varrho_{\perp}$ = H поляризованные кривые зондирования в зависимости от расстояния от середины тела

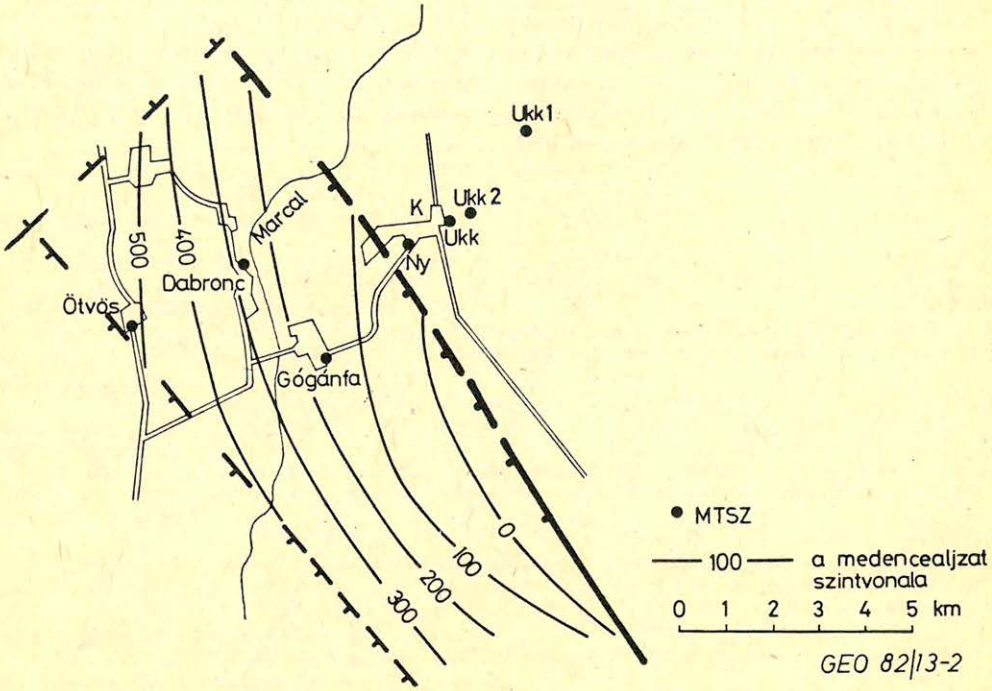
Fig. 1. Magnetotelluric sounding curves of *2 – D* conducting dyke after *Tátrallyay* (1977)

$\varrho_E = \varrho_{\parallel}$: *E* polarized curves in function of the distance from the centre of the dyke

$\varrho_H = \varrho_{\perp}$: *H* polarized curves in function of the distance from the centre of the dyke

2. A kisérleti terület kiválasztása

A kísérleti terület kiválasztása *1980*-ban a Dunántúli Középhegység Bauxitföldtani Térképe alapján történt, amely Ukk és Ötvös térségében egy-egy jelentős harántvetőt jelez. A vetők között a krétakori medencealjzat kb. *500* m-re mélyül el *(2. ábra)*.



2. ábra. Méréspontok a Középhegység Bauxitföldtani Térképén megadott tektonikával

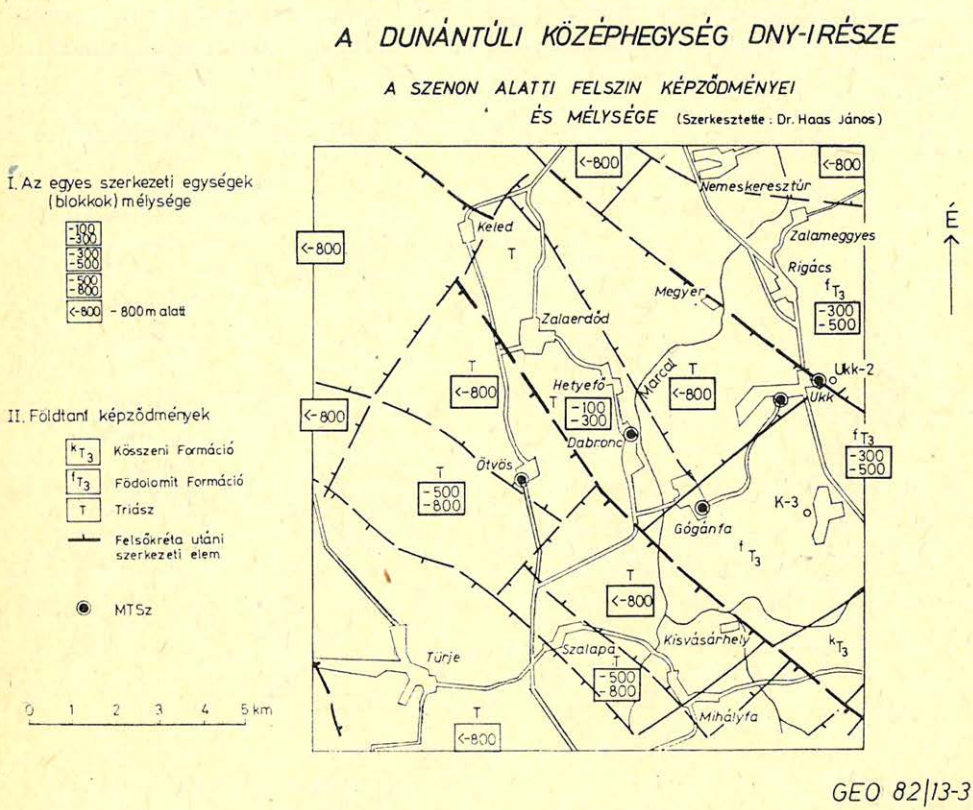
Рис. 2. Точки измерения с данной на геологической карте бокситов средне-венгерской горы тектоникой.

Fig. 2. Measuring sites with tectonic lines given on the Bauxtie Geologic Map of the Mid Mount ains

1981-ben a Magyar Állami Földtani Intézetben *Haas János* újabb tektonikai térképet szerkesztett a Dunántúli Középhegység DNy-i részéről, amelyen a szenon alatti felszín képződményeit és azok mélységét adta meg *(3. ábra)*. A tektonika meghatározásában a szórványos fúrási adatok mellett erősen támaszkodott a szűrt gravitációs adatokra is.

E térkép jól szemlélteti a terület blokkos szerkezetét, amelyet a K-ÉK-i irányú hosszanti és az É-ÉNy-i haránttörések alakítottak ki. Míg az ukki haránttörést Haas ugyanott jelöli, addig az ettől Ny-ra fekvő másik nagy haránttörés nyomvonalát nem Ötvösön keresztül, hanem Ötvös és Dabronc között adja meg. Ötvös és Ukk között *3* blokk képződött kb. *500* m-es szintkülönbséggel. Dabronc község sasbércen fekszik.

E térképen jól látható, hogy milyen bonyolult a Pannon-medence aljzata. Ha a medencét vastag üledék borítja, *1–2* km-nél nagyobb ponttávolsággal az *MT* módszer nem tudja e szerkezeti elemeket szétválasztani. Még kisebb ponttávolságnál is erősen átlagol az *E* polarizációs görbéken jelentkező indukciós hatás. Ezért a törésekhez kapcsolódó jólvezető dyke-okat összefüggő rétegként észlelhetjük. (E kérdésre modellszámításaink bemutatásakor visszatérünk.)



3. ábra. Haas János által a kísérleti területről szerkesztett térkép

Рис. 3. Карта, составленная под руководством *Яноша Хааш,* об экспериментальной территории.

Fig. 3. New tectonic map on the test area after *J. Haas*

A terület szeizmikusan aktív. *1953. szeptember 13-án* Ukk és Türje környékén $M = 4{,}3$-as magnitudójú földrengés pattant ki. Az epicentrális területen a legnagyobb intenzitásértékeket a fő haránttörések mentén észlelték *(Zsíros, 1982)*.

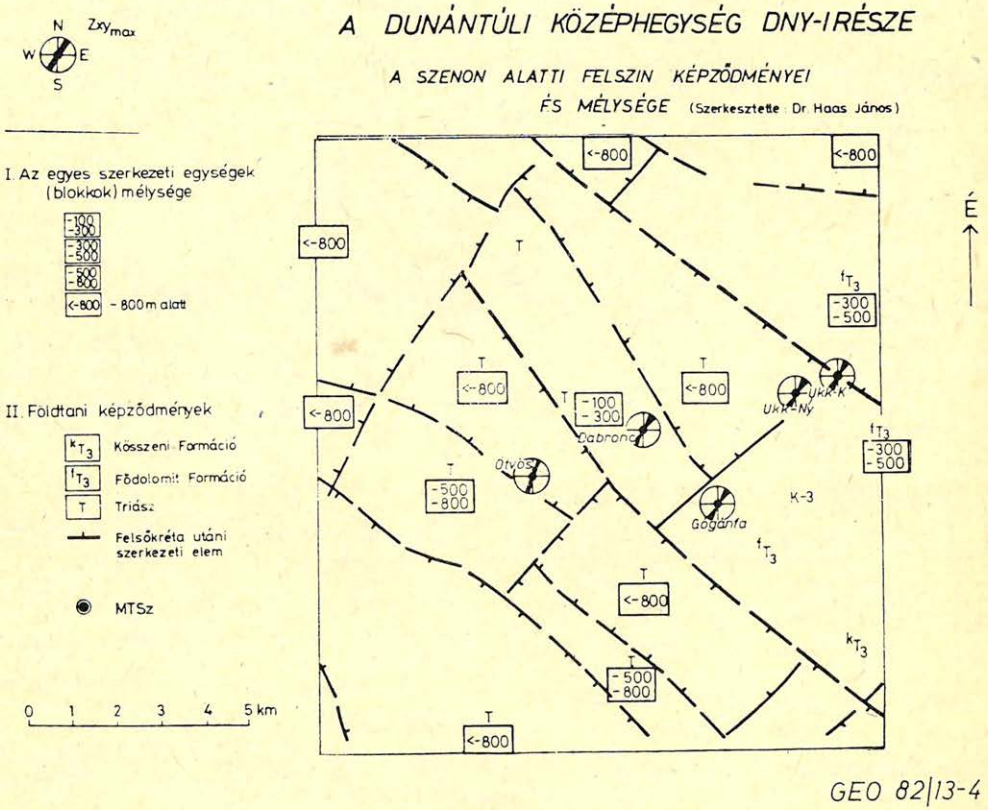
3. Az elektromágneses szondázások eredményei

Az *MT* szondázások pontjait *1–3 km* távolságban választottuk meg Ukk és Ötvös közötti kb. *7 km*-es szelvény mentén. Ugyanezen pontokban Askania-variográffal földmágneses szondázásokat is végeztünk. Az *MT* adatokból meghatá-

roztuk a ϱ_{min} és ϱ_{max} szondázási görbéket és a főimpedancia maximális értékének irányát. A földmágneses regisztrátumból 2 periódustartományban ($T < 20$ perc és $T > 20$ perc) számítottuk ki a *Wiese*-féle indukciós nyilakat.

a) Az iránymennyiségek kapcsolata a tektonikával

A $Z_{xy\,max}$ iránya valamennyi pontban közel merőleges a haránttörések irányára, illetve a medencealjzat ezzel azonos csapásirányára. A periódus növekedésével a $Z_{xy\,max}$ irány azonban átlagosan 20°-kal elfordul, amely az oldalhatások érvényesülésére — pl. a hosszanti törések hatására — utalhat (*4. ábra*).



4. ábra. $Z_{xy\,max}$ irányok a méréspontokban

Рис. 4. Направления $Z_{xy\,max}$ в точки измерения

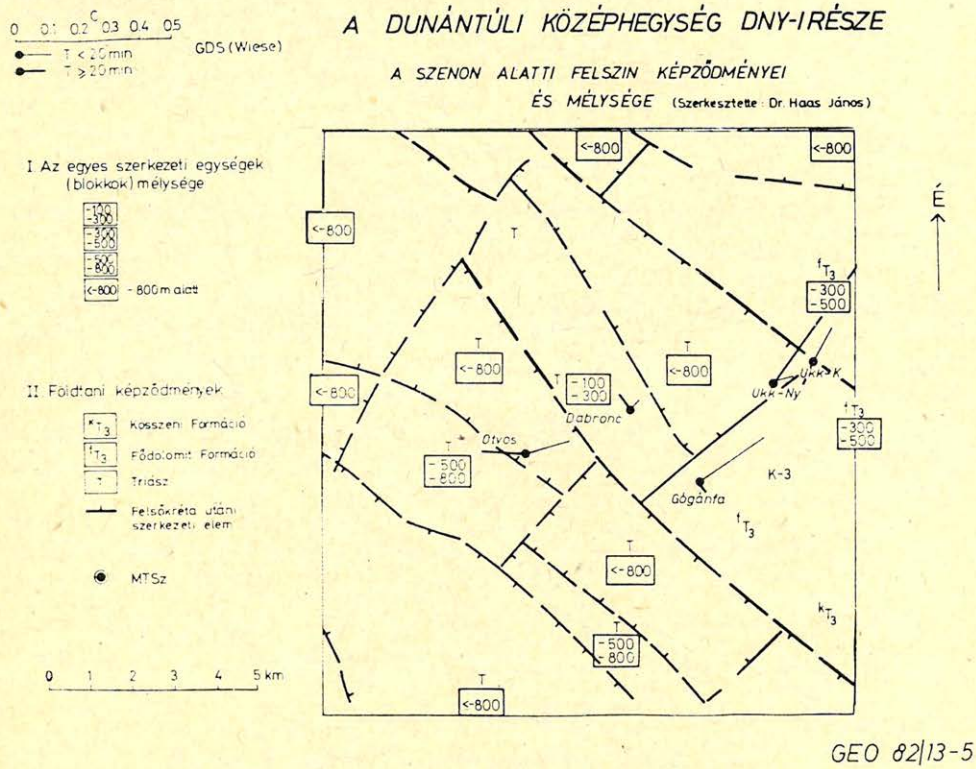
Fig. 4. $Z_{xy\,max}$ directions in the sounding points

A Wiese-féle indukciós nyilak a kisebb periódusoknál ($T < 20$ *perc*) — a $Z_{xy\,max}$ irányához hasonlóan — a haránttörésekre, illetve a szerkezetcsapására merőlegesek (*5. ábra*). Ennél sokkal változatosabb képet mutatnak a *20* percnél nagyobb periódusú változásokból számított nyilak átfordulásaikkal. Az ellentétes nyílirányok a pontok közötti jólvezető képződményeket jelezhetik. Ezek közül figyelemre méltó a Dabronc és Gógánfa közötti átfordulás, amely a Haas-féle térképen Gógánfán átmenő hosszanti törést indikálhatja, mint új szerkezeti elemet a Bauxittérképhez viszonyítva.

A $Z_{xy\,max}$ irányok és a kisebb periódusú *Wiese*-nyilak egyaránt utalhatnak a dőlt vagy elvetett medencealjzatra, vagy a törésekhez kapcsolódó jólvezető képződményekre, míg a nagyobb periódusú *Wiese*-nyilak átfordulásaikkal, valamint kis hosszukkal *(C < 0,1)* a jólvezető inhomogenitások jeleinek tekinthetők.

b) Az MTSZ-görbék kapcsolata a törésekhez (vetőkhöz)

A ϱ_{min} és ϱ_{max} szondázási görbék *(6. ábra)* értékei között legalább 1 nagyságrend különbség van. A ϱ_{max} görbék *100 – 1000* Ω m közötti értékei megközelítik a medencealjzatban a triász mészkő fajlagos ellenállását.



5. ábra. Wiese-féle indukciós nyilak a méréspontokban

Рис. 5. Индукционные стрелы по теории *Визе* в точках измерения

Fig. 5. Wiese induction arrows in the sounding points

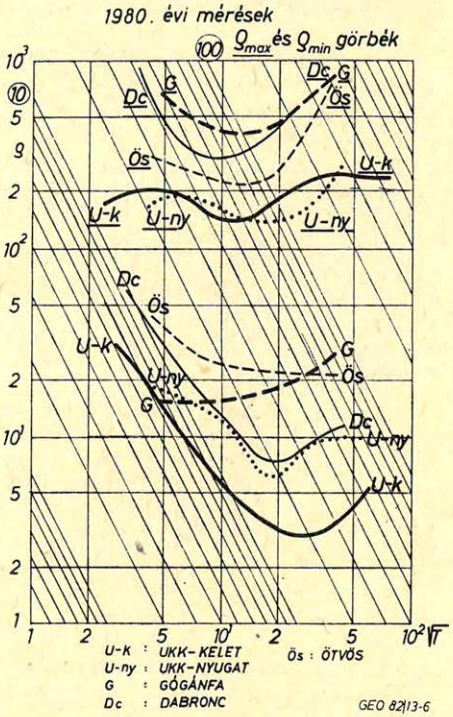
Valamennyi szondázási görbe csökkenő görbeágával jólvezető képződményre utal a medencealjzatban. A legerősebb indikáció Ukkon (főként Ukk-K-en) és Dabroncon jelentkezik a ϱ_{min} görbék hosszú csökkenő görbeszakaszain.

Az ukki nagy anomália egyértelműen kapcsolódik az Ukkot keresztező haránttöréshez. A dabronci indikációról nem tudjuk eldönteni, hogy a dabronci sasbérc két oldalán levő törések közül melyiket jelzi; esetleg a két törés hatása szuperponálódik benne. Ha a periódus ($\sqrt{T}$), tehát a behatolási mélységgel arányos paraméter függvényében a szelvény mentén ábrázoljuk az *MTSZ*-görbék

ϱ-értékeit, az izoohm vonalak minimumai is kijelölik a törések helyét *(7a., b. ábra)* Ukknál és Dabronc térségében. A vezetőképesség-anomália és a törések kapcsolata tehát nyilvánvaló.

4. Az MTSZ-görbék torzulása és a jólvezető képződmény mélysége

Bonyolult medenceszerkezetnél a legerősebb torzítás az üledékvastagság változásából származik. Ezt nevezzük *S*-hatásnak. Ennek következtében a *H* polarizációs görbéken a jólvezető képződmények indikációja, a csökkenő görbeág a képződő töltésfelesleg hatására a ϱ-tengely mentén eltolódik (galvanikus torzí-



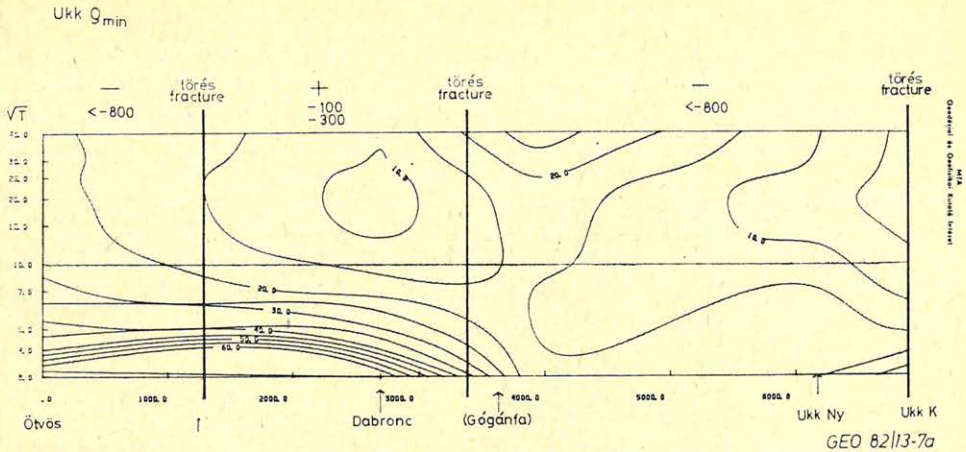
6. ábra. ϱ_{min} és ϱ_{max} szondázási görbék

Рис. 6. ϱ_{min} и ϱ_{max} кривые зондирования

Fig. 6. ϱ_{min} and ϱ_{max} sounding curves

tás). Így a jólvezető rétegre (testre) hibás mélységet kapunk. Az *E* polarizációs görbék csökkenő szakaszai — *tiszta 2—D szerkezetek* esetében — az *S*-hatásra nem változnak. A *H* polarizációs görbék viszont a felszíni geoelektromos szerkezetet helyesen írják le.

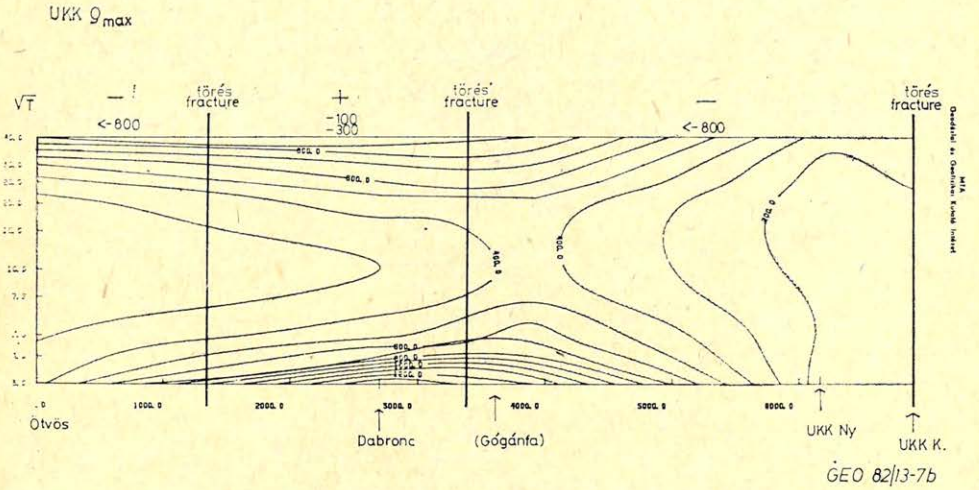
A kísérleti terület tektonikája jó közelítésben kétdimenziós. Bár a blokkos medencealjzat tipikus *3—D* szerkezet, a hosszú haránttörések regionálisan *2—D* jelleget adnak a területnek. E megállapítást támasztja alá a ϱ_{min} és ϱ_{max} görbék határozott elkülönülése. A két csoporton belül azonban a görbék szétcsúszása az üledékvastagsággal arányosan az *S*-hatás másodlagos érvényesülését mutatja az



7a. ábra. ϱ_{min} értékekből szerkesztett izzoohmszelvény $\sqrt{T}$ függvényében (T = periódus)

Рис. 7а. Полученный из величины ϱ_{min} изоомпрофлиь в функции от $\sqrt{T}$ (T = период)

Fig. 7a. Isoohm-lines in function of $\sqrt{T}$ (T = period) constructed on the basis of ϱ_{min} curves



7b. ábra. ϱ_{max} értékekből szerkesztett izoohmszelvény $\sqrt{T}$ függvényében (T = periódus)

Рис. 7б. Полученный из величины ϱ_{max} изоомпрофнль в функции от $\sqrt{T}$ (T = периой)

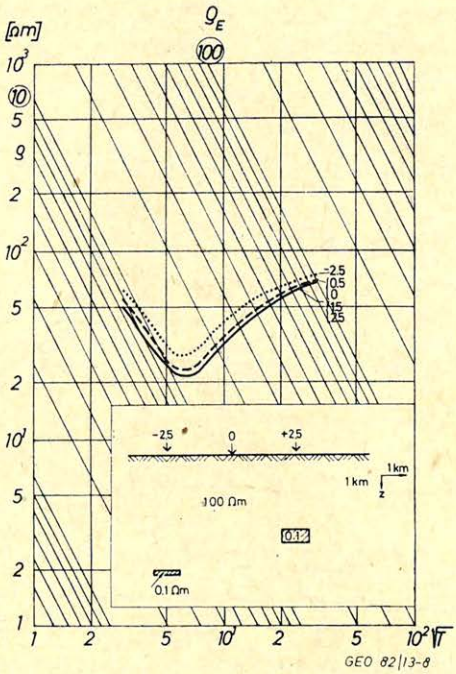
Fig. 7b. Isoohm-lines in function of $\sqrt{T}$ (T = period) constructed on the basis of ϱ_{max} curves

„*E-polarizációsnak*" tekintett ϱ_{min} görbék esetében is, feltehetően $3-D$ hatásra. (Pl. a sasbércen levő Dabronc esetében a ϱ_{min} és a ϱ_{max} görbe csökkenő ága egyaránt a nagyobb ϱ értékek felé tolódik el.)

Mivel a haránttörések által kialakított medencék csapására a $Z_{xy\,max}$, illetve az ebből számított ϱ_{max} görbék iránya merőleges, a H polarizációt a ϱ_{max}, az E polarizációt pedig a ϱ_{min} görbék képviselik a *Tátrallyay (1977)* modellel összhangban. A jólvezető képződmények mélységére a ϱ_{min} görbékből $6-7$ km-t kapunk a dunántúli vezetőképességanomália átlagmélységének megfelelően *(Ádám, 1980a)*.

A ϱ_{min} görbéken azonban olyan „gyors" változások is jelentkeznek, amelyeket nem tudunk levezetni Ukk és Dabronc térségében feltételezett két nagy haránttörésből, illetve ennek jólvezető mélyzónáját képviselő *2* dyke-ból. Amint a *8. ábrán* látható, az *E* polarizációs ϱ_{min} görbék jellege a szelvény mentén nem változik. A mért görbék változása (torzulása) *3 – D* hatásból, vagy felszínközeli jólvezető beágyazódásokból származhat.

A felszínközeli hatások vizsgálatára két *2 – D*-os modellt számítottunk ki. *500 Ω* m-es közegbe *2* km széles, *5 Ω* m-es dyke-t úgy ágyaztunk be, hogy egyszer *(a)* a felszínig ért a felső lapja, másszor *(b)* pedig *0,2* km vastag ugyancsak *5 Ω* m-es réteggel (üledék) fedtük le. A számított *E* és *H* polarizációs szondázási görbékből megállapítható:

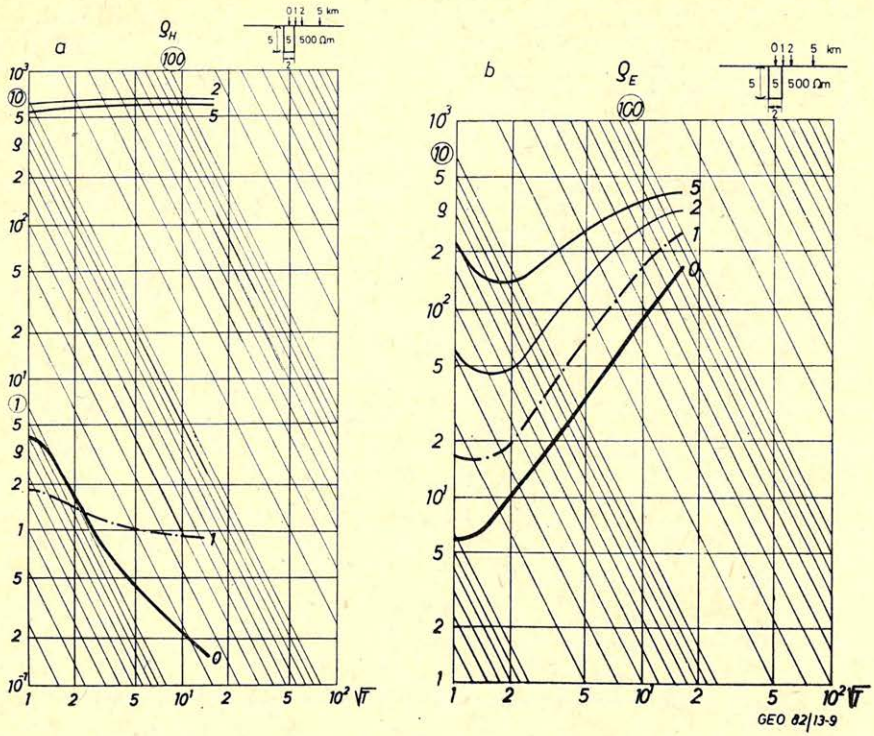


8. ábra. Két *2 – D*-os jólvezető dyke elméleti MTSZ-görbéi

Рис. 8. Теоретические кривые МТЗ двух двухразмерных хорошо проводящих дайков

Fig. 8. Theoretical MTS curves of two *2 – D* conducting dykes

a) A felszínre kibúvó dyke (vetőzóna) esetében a *H* polarizációs görbe torzulása csökkenő ϱ szakaszokban nyilvánul meg, amelyek *1 – 2* km mélységben látszólagos képződményeket jeleznek közvetlenül a dyke felett. Az *E* polarizációs görbe csak növekvő ϱ értéket mutat az interferenciás kezdő kis minimum után *(9a., b. ábra)*. Így a felszíni jólvezető dyke felett a ϱ_{max} görbe az *E* polarizációs, ellentétben a kísérleti méréseink során tapasztaltakkal. A vizsgált jelenség esetünkben legfeljebb csak másodlagos torzításként léphetett fel a hosszanti töréseket kísérő felszíni jólvezető beágyazódások hatására.



9. ábra. Felszíni jólvezető $2-D$-os dyke elméleti MTSZ-görbéi

Рис. 9. Теоретические кривые МТЗ поверхностного хорошо продовящего двухразмерного дайка

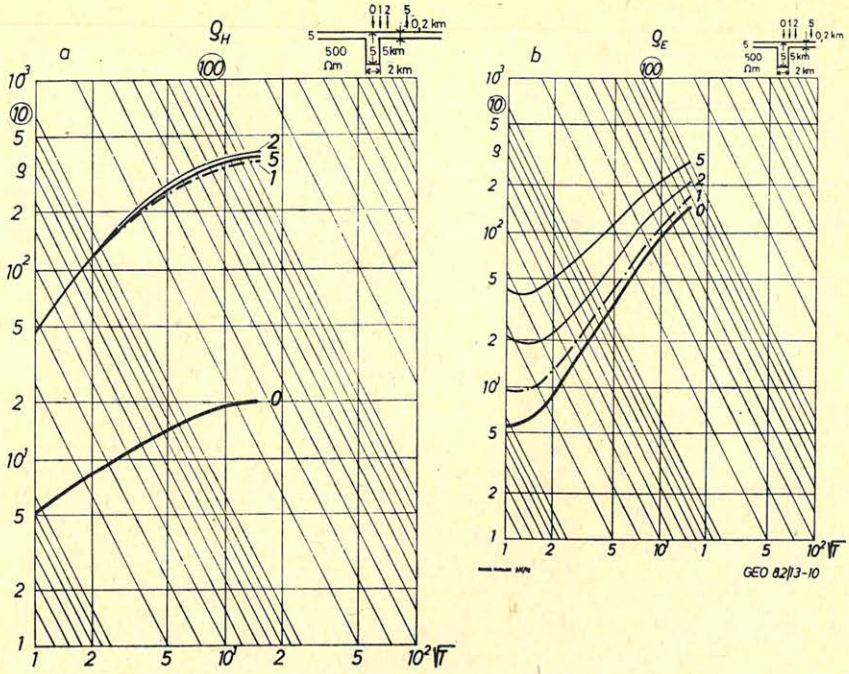
Fig. 9. Theoretical MTS-curves of a $2-D$ conducting dyke outcropped to the surface

b) Az üledékkel takart és annak fajlagos ellenállásával megegyező fajlagos ellenállású dyke esetében csökkenő görbeágak sem az E, sem a H polarizációs görbében nem alakulnak ki *(10a., b. ábra)*. A kísérleti medencénket egy ilyen geoelektromos modell tehát nem reprezentálja.

Ha a dyke fajlagos ellenállása lényegesen kisebb, mint a takaró, vagy beágyazó kőzeteké, akkor $2-D$-os modellszámításaink szerint az E polarizációs szondázási görbék a dyke mélységére reális értéket adnak.

Minél közelebb vannak a felszínhez a dyke-ok, annál határozottabban kirajzolódnak a hatók, illetve annál jobban szétválaszthatók egymástól. Ezt szemlélteti izoohm-szelvényünk két egymástól *5* km távolságban, de különböző – *1* és *3* km – mélységben elhelyezett dyke E polarizációs hatásának bemutatásával *(11a., b. ábra)*. E modellek megmagyarázzák, hogy miért észleljük a dyke-okat gyakran összefüggő rétegként.

A fenti modellszámítások szerint is az MT szondázások nagy valószínűséggel mélyhatókat indikálnak. E megállapítást alátámasztják az indukciós nyilak is, illetve a velük végzett földmágneses frekvenciaszondázás. A nagyobb periódusú,



10. ábra. Üledékkel fedett ugyanolyan ellenállású dyke MTSZ-görbéi

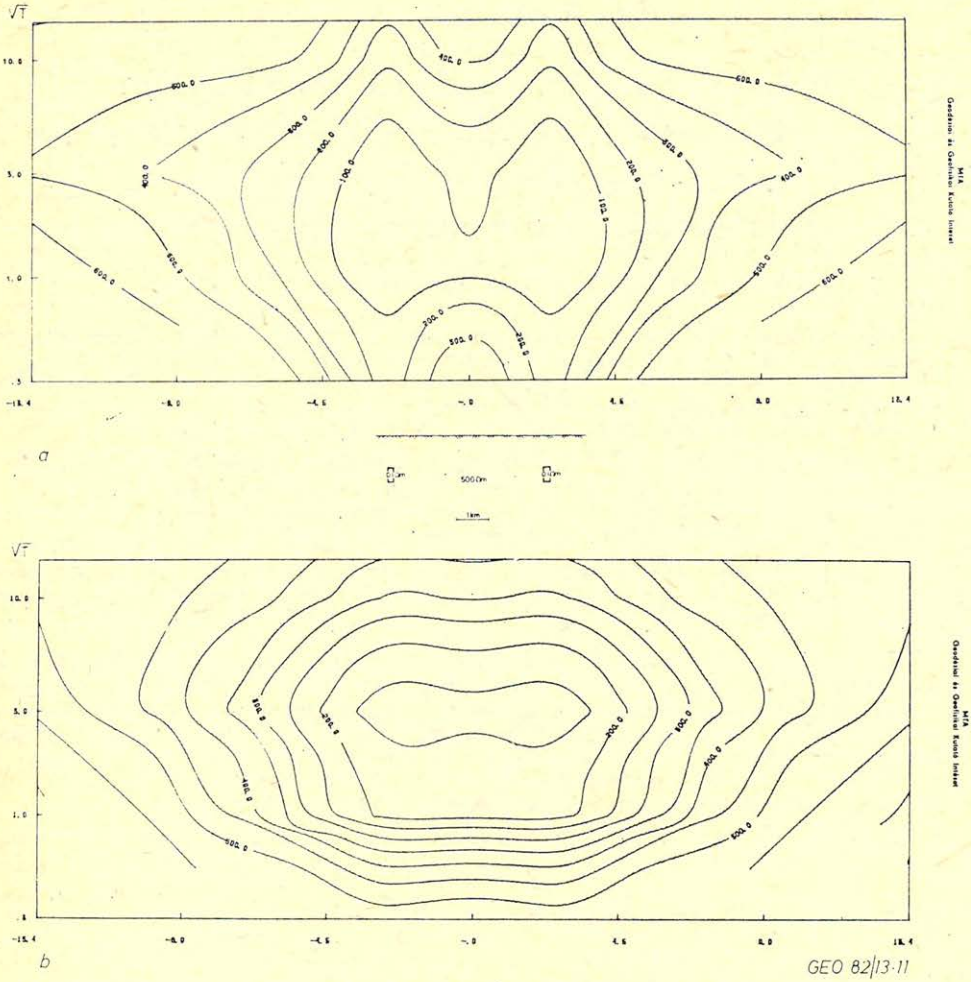
Рис. 10. Кривые МТЗ того же сопротивелия дайка, покрытого осадками

Fig. 10. Theoretical MTS curves of a $2-D$ conducting dyke covered by sediments of the same resistivity

tehát nagyobb behatolású változásokból számított indukciós nyilak hossza lényegesen kisebb a törészónák felett, mint a felszínhez közelebbi hatást tükröző kis periódusú indukciós nyilaké. Ez a változás a vezetőképesség ugrásszerű növekedését jelzi a mélyben, az *MTSZ* görbékkel összhangban.

* * *

Jólvezető képződményeket, pl. vetőzónákat tartalmazó bonyolult szerkezetek *MT* hatásának tanulmányozását megkezdtük a soproni elektromágneses modell-laboratóriumunkban is. Bár itt csak elektromos dipól gerjesztésű frekvenciaszondázást tudunk végezni, *Goldstein* és *Strangway (1975)* tanulmánya szerint az így mért fajlagos ellenállás görbe a jólvezető *rétegek* esetében egybeesik az *MT* szondázási görbével. E nagyon lényeges megállapítást saját vizsgálatainkkal is igazoltuk. A dyke-ok hatása a dipólszondázásnál azonban lényegesen kisebbnek bizonyult, mint az *MT* esetében. Az eltérés okát tovább kutatjuk.



11. ábra. Két egymástól 5 km-re levő *2 – D*-os dyke izoohm szelvénye, ha a dyke-ok mélysége *a) 1* km; *b) 3* km

Рис. 11. Два изоомпрофиля двухразмерного дайка, находящихся на расстоянии *5* км друг от друга а) *1* км; б) *3* км

Fig. 11. Isoohm profile of two conducting dykes lying from each other in a distance of *5* km and in a depth of *a) 1* km; *b) 3* km

IRODALOM

Ádám, A. (1980a): Statisztikus összefüggések az elektromos vezetőképesség-eloszlás és a töréses tektonika között a Dunántúlon. Magyar Geofizika, XXI. 3, 95 – 107.

Ádám, A. (1980b): Jelentés az 1980. évi dunántúli magnetotellurikus alapkutatásról (MTA GGKI kézirata).

Ádám, O. (1977): A földtani-geofizikai előkutatások feladatai a Dunántúli Középhegységben. Magyar Geofizika, XIX. 1, 231 – 236.

Goldstein, M. A. and *Strangway, D. W.* (1975): Audio-frequency magnetotellurics with a grounded electric dipole source. Geophysics, 40, 669 – 683.

Tátrallyay, M. (1977): On the interpretation of EM sounding curves by numerical modelling using the S.O.R. method. Acta Geod. Geoph. Mont. Hung., 12 (1 – 3), 279-285.

Zsiros, T. (1982): Ukk – Türjei földrengés (MTA GGKI kézirata).