A Pannon-medence és a Keleti Alpok közötti átmeneti zónában végzett elektromágneses szondázások eredményei

(Előzetes közlemény)

ÁDÁM A., MÄRCZ F., VERŐ J., és WALLNER Á.

MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet, Sopron

DUMA, G. és GUTDEUTSCH, R.

Bécsi Egyetem Meteorológiai és Geofizikai Intézete

A magnetotellurikus szondázások a Keleti Alpok határán a szeizmikusan aktív töréseket rendkívüli elektromos vezetőképesség-növekedéssel jelzi kb. 7 km mélységben. A Pannon-medence és az Alpok közötti átmeneti zóna ezen a töréses szakaszán a mély kéregben is jelentkezik egy jólvezető zóna átlagosan 35 km mélyen, amelynek a kialakulása a terület nagy hőáramával (~ 100 mWm^{-2}) hozható kapcsolatba. Érdekes összefüggés van e területen a földkéreg elektromos szeizmikus sajátságai között is.

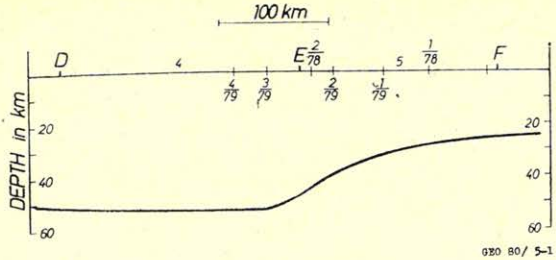
Магнитотеллурические зондирования на границе Восточных Альп указывают сейсмически активные разломы с чрезвычайным увеличением электрической проводимости на глубине приблизительно 7 км. В среднем на глубине 35 км также появляется хорошо проводящая зона в глубинной коре на участке разлома переходной зоны Бассейна Паннон и Альп, образование которой может быть связано с большим тпооком тепла территории (~ 100 мВм$^{+2}$). На этой территории нитересная зависимость имеется также между электрической особенностью земной коры и сейсмнической особенностью.

Magnetotelluric soundings detected the main seismically active zones at the boundary of the Eastern Alps in form of extreme conductivity increase in a depth of about 7 km. The relatively high position (about 35 km) of the conductivity anomaly of the deep crust could be in connection with the increased heat flow in this part of the transitional zone between the Pannonian Basin and the Alps. A close relation between the electric and seismic crustal models seems to exist, too.

1. *Bevezetés*

1978 és 1979-ben összesen 6 nagymélységű MT szondázást végeztünk az Alpi Mélyszeizmikus Hossz-szelvény F és D pontja között, tehát a 4. és 5. szakaszon *(1. ábra)* az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet, Sopron és a Bécsi Egyetem Meteorológiai és Geofizikai Intézetének együttműködésében. A méréspontokra vonatkozóan néhány jellegzetes földtani-topográfiai adatot az *1. táblázatban*, illetve a *2. ábrán* mutatunk be.

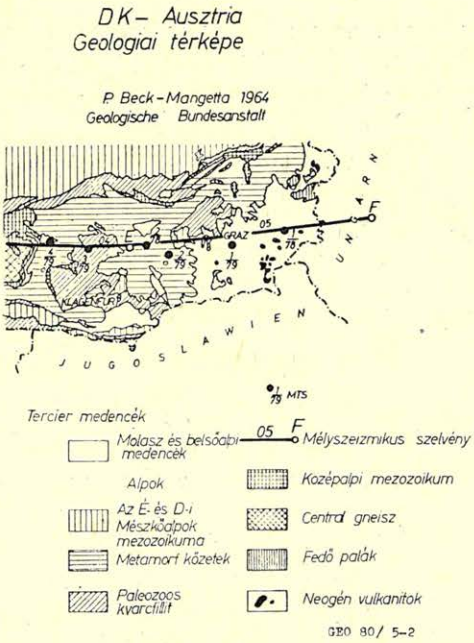
Mint az 1. ábrán látható, a szeizmikus földkéreg-szelvénynek ezen a szakaszán a Pannon-medence viszonylag vékony, 25 km vastag földkérge a Keleti Alpok peremétől Ny felé fokozatosan kivastagszik és eléri az 50 km-t. A szeizmikus mérések szerint a kéreg maga sem homogén; 24—34 km között a szeizmikus sebességnek egy inverzióját mutatták ki (Alpine Explosion Seismological Group, 1976). A Keleti Alpok K-i peremét szeizmikusan aktív törési zónák alkotják. Feltehető, hogy ezek mentén lépcsősen vastagszik a földkéreg és alakul ki az Alpok gyökere az izosztáziának megfelelően. A terület geodinamikailag tehát nagy változásokat mutat.



1. ábra. Az alpi kéregszelvény a magnetotellurikus (MT) pontok helyével (Alpine Explosion Seismology Group, 1975)

Рис. 1. Альпийский профиль коры с расположением магнитотеллурических точек (MT) Alpine Explosion Seismology Group, 1976)

Fig. 1. The Alpine Crustal Profile with the magnetotelluric (MT) measuring sites projected to the profile line. (Alpine Explosion Seismology Group, 1976)



2. ábra. Geológiai térkép DK-Ausztriáról a MT pontok helyével és az Alpi Kéregkutató Szelvénnyel

Рис. 2. Геологическая карта Южно-Восточной части Австрии с расположением магнитотеллурических точек MT и Профилем исследования Коры Альп

Fig. 2. Geologic map of SE Austria with the MT soundings points and the Alpine Seismic Crustal Profile

1. táblázat

Hely	Magasság	Topográfia	Földtani helyzet	Kőzet
Rehgraben (Burgenland)	250 m	hegyes	Grazi-medence	Tercier üledék (egy devon korú test közelében)
Breitenbuch (Steiermark)	400 m	hegyes	Grazi-medence	Tercier üledék
St. Georgen (Steiermark)	1100 m	lankás	Oberostalpini kristályos hegység	paragneisz
Oberpreitenegg (Kärnten)	1100 m	plató	Oberostalpini kristályos hegység	paragneisz
Lassnitz (Steiermark)	1100 m	völgyfenék	Oberostalpini kristályos hegység	Ó-paleozoós kvarcfillit, amfibolit
Lasaberg (Salzburg)	1250 m	lankás	Oberostalpini kristályos hegység	kristályos pala

A szeizmikus és szeizmológiai információkat hasznosan egészítik ki a geoelektromos szondázások, mivel többnyire más fizikai változásokat jeleznek, mint a rugalmas hullámok. Így pl. a kőzetek folyadéktartalma, a hőmérséklet a legfontosabb tényezők, amelyek az elektromos vezetőképességet kialakítják. Ezekre a szeizmikus sebesség kevésbé érzékeny. Így célszerűnek látszott az elektromos vezetőképesség-változások tanulmányozása az Alpi Hossz-szelvény mentén is a földkéreg és a felső köpeny fizikai sajátságainak és geodinamikai jelenségeinek teljesebb megismerése végett.

A Keleti Alpokban, ismereteink szerint, az első elektromágneses mélyszondázásokat egy észak-déli szelvény mentén a Müncheni Egyetem Geofizikai Tanszéke végezte Chiemsee és a Höhe Tauern között (Berktold et al., 1976). Eredményeikre visszatérünk.

2. *A mérési módszer*

Az elektromos vezetőképesség eloszlásának meghatározására a *magnetotellurikus szondázást használtuk* (Cagniard, 1953). Mint az jól ismert, ennél a módszernél az elektromágneses tér horizontális komponenseinek változását kell regisztrálni, hogy annak spektrumából az impedancia (Z), illetve a fajlagos ellenállás (ϱ) periódus szerinti függvényét kiszámíthassuk.

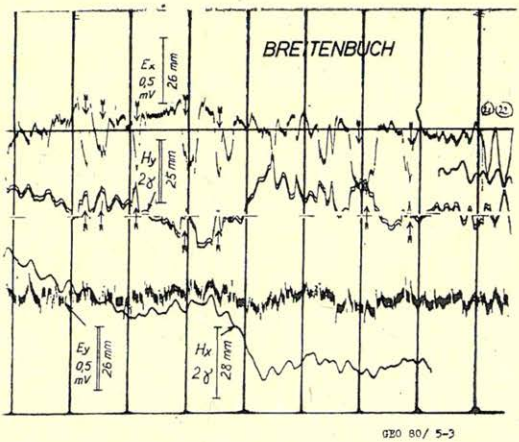
A *mérőberendezésünk* tellurikus és földmágneses érzékelőkből és analóg 4 csatornás regisztráló műszerből áll. Ez utóbbival 16 cm széles filmre (fotopapírra) 2 cm/perc (nappal), illetve 0,6 cm/perc (éjjel) filmsebességgel és max: 10 μV/mm-es érzékenységgel elektromos potenciálváltozásokat regisztrálhatunk. A mágneses térerősség-változások érzékelésére, illetve elektromos jellé való átalakítására az MTV – 2 típusú magyar gyártmányú variométerek szolgáltak, amelyek max. érzékenysége 0,01 nT/mm a fenti regisztráló alkalmazásával.

Ausztria területén az Alpi Hosszprofil mentén több tényezőből adódóan jelentős *zavarszinttel* kellett számolnunk. A regionális zavar forrása az ipar, a bányászat, a villamosított közlekedés stb. Ha ezeket el is kerüljük, nem kerülhetők el az egyéni kisfogyasztók (általában a lakosság), de különösen a gépesített parasztgazdaságok lokális zavarai. Ezeket a zavarokat hegyvidéken a vékony üledéktakaró jelentősen felerősíti, magába sűrítve a kóboráramokat. Érdekes jelenség, hogy az esti órák legnagyobb zavarforrása a televízió. Általános tapasztalatunk szerint zavartalanul a nagyperiódusú változásokat (főként „substorm"-okat) csak 23 órától tudtuk regisztrálni hajnalig, míg a pulzációkat csak a korareggeli órákban (általában 7 óráig). A nap többi időszakában a zavar erősen változott.

A zavar elsődlegesen a tellurikus komponensekben jelentkezett, többnyire különböző időtartamú és alakú impulzusok formájában. Megítélésünk szerint ezeket egy digitális regisztrátumból kiszűrni rendkívül bonyolult feladat. Éppen ezért racionálisnak bizonyult az analóg regisztrálás és a regisztrátumok nyugodt szakaszainak utólagos digitalizálása.

Egy sajátos zavarról külön megemlékezünk. A grazi medencében, Breitenbuchnál az impulzusok egy sajátos fajtája csak egy komponenspárban jelentkezett, a $H_y - E_x$-ben *(3. ábra)*. Ezeknek az impulzusoknak az amplitúdójából számítottuk a fajlagos ellenállásértékeket (ϱ). Az így kapott szondázási görbe párhuzamosan fut a természetes változásokból számított $\varrho(T)$ görbével, tehát a zavar forrásához viszonyítva a méréspont már a hullámzónában feküdt *(4. ábra)*. Sajnos, idő hiányában a forrás okát nem sikerült lokalizálnunk.

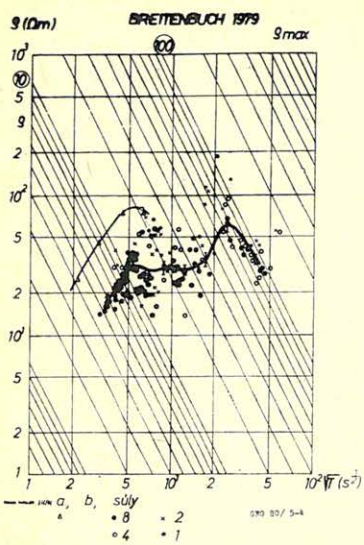
A digitalizált adatok számítógépes feldolgozása a MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézetben kidolgozott programrendszer segítségével történt,



3. ábra. MT regisztrátum egy része mesterséges impulzusokkal az E_x és H_y komponensben Breitenbuchról

Рис. 3. Часть магнитотеллурической записи, сделанной при помощи искусственных импульсов в компонентах E_x и H_y при Брайтенбух

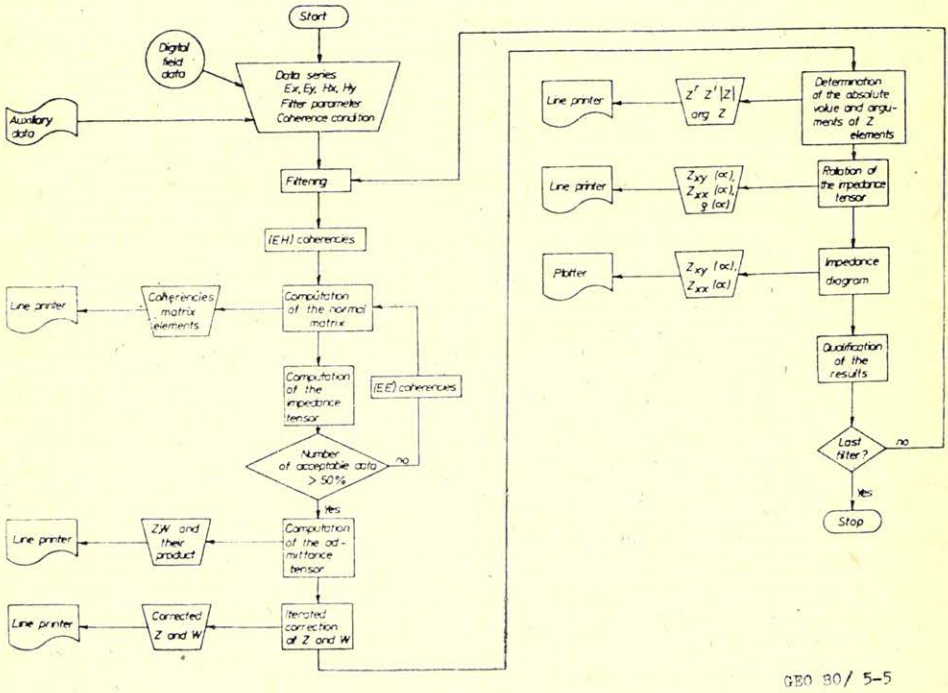
Fig. 3. A part of the MT record with artifical-impulses in E_x and H_y components made in Breitenbuch



4. ábra. Mesterséges impulzusszerű zavarjelekből (a) és természetes változásokból számított MT szondázási görbék súlyokkal (b) és középhibával

Рис. 4. Кривые МТ зондирования, вычисленные из искусственных импульсоподобных сигналов помех и из естественных вариаций

Fig. 4. MT sounding curves computed from artifical impulses (a) and natural variations (b) with weights and error bars



5. ábra. A MTA GGKI, Sopron-ban használt MT adatfeldolgozási program folyamatábrája

Рис.5. Схема программы обработки данных МТ, используемых в Шопроне в НИИГиГ ВАН

Fig. 5. Flow chart of the MT data processing used in the GGRI, Sopron

amelynek blokkdiagramja az *5. ábrán* látható. (Az alkalmazott számítógép HP 2100 típusú). A program végül kirajzoltatja a Z_{xy} és Z_{xx} polárdiagramokat és megadja a ϱ szélső értékeit (ϱ_{max} és ϱ_{min}) és azok irányát, valamint a fáziskülönbséget az analizált változás periódusának függvényében, tehát a szondázási görbék megszerkeszthetők.

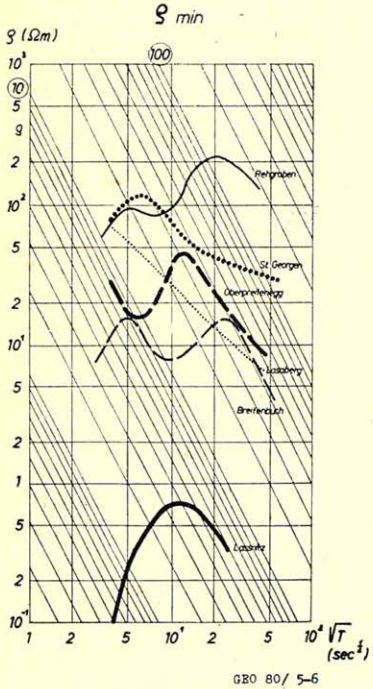
3. *A magnetotellurikus kutatások eredményei*

A magnetotellurikus adatfeldolgozás eredményeként rendelkezésünkre áll a 6 méréspontról:

- a ϱ_{min} és ϱ_{max} szondázási görbe *(6. és 7. ábra)*
- φz_{xymax} ($= \varphi_{max}$) és φz_{yxmin} ($= \varphi_{min}$) fázisgörbe *(8. ábra)*
- a Z_{xy} és Z_{yx} főimpedancia iránydiagramja a 'T' függvényében (L. pl. Oberpreitenegg-re a *9. ábrán*).

A görbék alapján elméleti rétegmodelleket számoltunk (L. pl. St. Georgen-ra a *10. ábrán*).

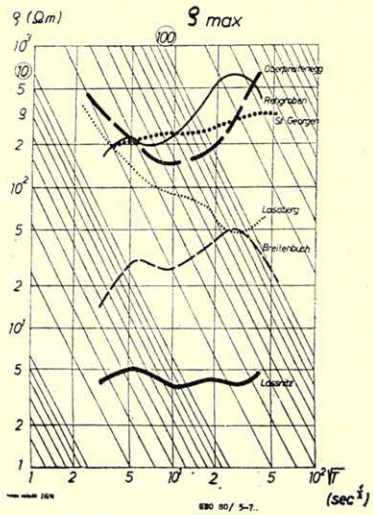
A ϱ szondázási görbék általában két jól vezető réteget (zónát) jeleznek a felszíntől a felső köpenyig. Ezek közül az első az általánosabb, míg a mélyebb réteg indikációja néhány ponton „elvész" a folyamatosan csökkenő görbeágban.



6. ábra. ϱ_{min} szondázási görbék DK-Ausztriából

Рис. 6. Кривые зондирования ϱ_{min} из Ю – В Австрии

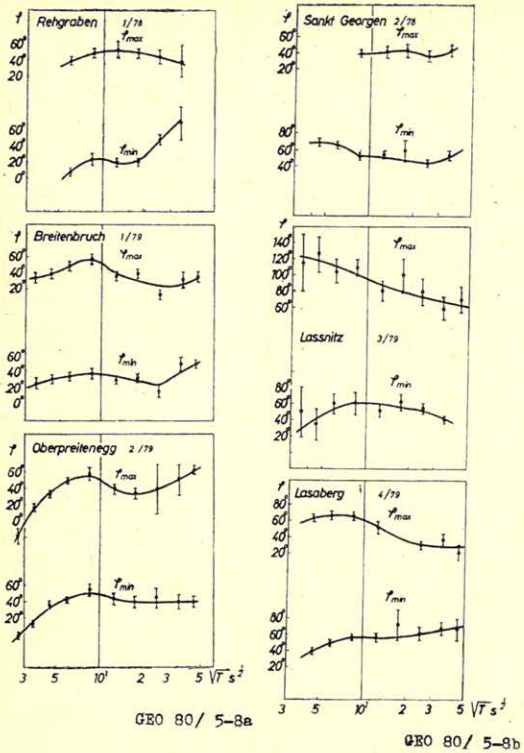
Fig. 6. ϱ_{min} MT sounding curves measured in SE Austria



7. ábra. ϱ_{max} szondázási görbék DK-Ausztriából

Рис. 7. Кривые зондирования ϱ_{max} из Ю – В Австрии

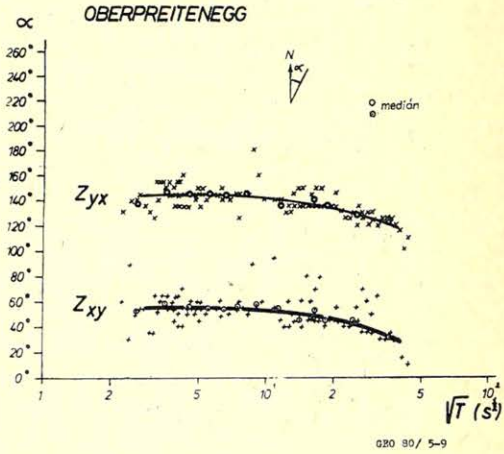
Fig. 7. ϱ_{max} MT sounding curves measured in SE Austria



8. ábra. φ_{max} és φ_{min} fázisgörbék

Рис. 8. Кривые фаз ϱ_{max} и ϱ_{min}

Fig. 8. ϱ_{max} and ϱ_{min} phase curves



9. ábra. A Z_{xy} és Z_{yx} irányváltozása a periódus függvényében Oberpreiteneggen

Рис. 9. Изменение направлений Z_{xy} и Z_{yx} как функция периода в Оберпрайтенег

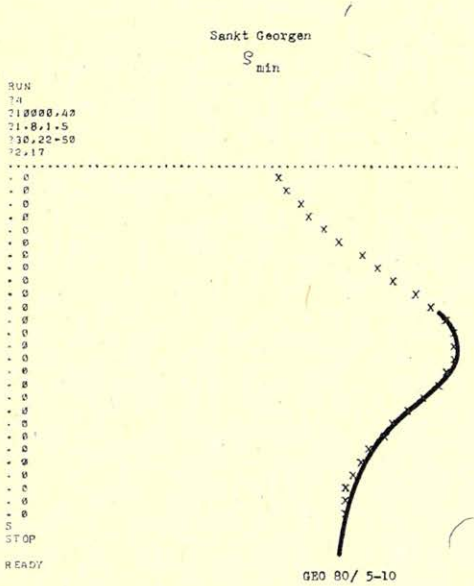
Fig. 9. Z_{xy} and Z_{yx} directions in function of the variation-period at Oberpreitenegg

A mélységértékek szórása mindkét jólvezető réteg esetében a csökkenő görbeágak alapján közvetlenül megítélhető. Látható, hogy a szórás ϱ_{min} görbék esetében lényegesen kisebb, mint a ϱ_{max} görbéknél. A felszíni inhomogenitások torzító hatása, az ún. S-effektus a ϱ_{max} görbéknél tehát nagyobb, mint a ϱ_{min} görbék esetében. Ezt igazolja a *2. táblázat* is, amelyben a modellszámításokból

2. táblázat

A jól vezető zónák mélysége a MT szondázások alapján km-ben

		Első zóna	Második zóna	Első zóna	Második zóna
		ϱ_{min} görbéből		ϱ_{max} görbéből	
Kelet	Rehgraben	26	162	41	330
	Breitenbuch	9	37	24	90
	Oberpreitenegg	7,5	35	17	—
	St. Georgen	—	32	—	62
	Lassnitz	5,5	—	6,2	20
Nyugat	Lasaberg	8,5	—	23	113
	Átlag (Rehgraben nélkül) ..	7,6	34,7	17,5	71
	Szórás %	18%	6%	40%	48%



10. ábra. Egydimenziós elméleti rétegmodell St. Georgen ϱ_{min} görbéje alapján számítva, valamint a mért és számított MTSz görbék illesztése

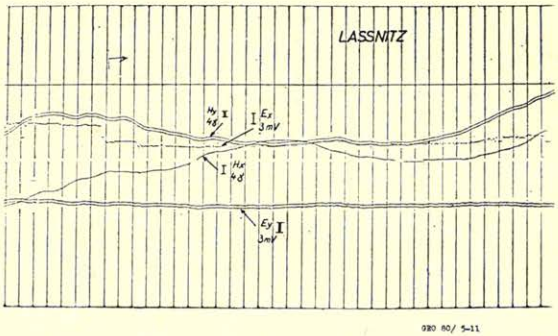
Рис. 10. Одномерная теоретическая слоистая модель, вычисленная на основании кривой ϱ_{min} в Сент-Георген и сопоставление измеренных и теоретически вычисленных кривых МТЗ

Fig. 10. Onedimensional theoretical layer model calculated on the basis of the ϱ_{min} curve in St. Georgen and the fitting of the measured and calculated curves

származó mélységértéket mutatjuk be a pontok szelvénymenti helyzetének megfelelően a mélységek középértékével és hibájával együtt. A ϱ_{min} és ϱ_{max} görbéknek ez a jellegzetes elkülönülése – a Rehgraben-i görbék kivételével – egyértelműen jelzi, hogy az E-polarizációt a ϱ_{min} görbék képviselik. Ez a jelenség – a dunántúli (Magyarország) példák alapján (Ádám, 1977) – akkor jelentkezik, ha a jólvezető képződmények töréses tektonikához kapcsolódnak. Az E-polarizációt a lineáris tektonika (törés-, vetőzóna) csapásvonala határozza meg (Ádám, 1980).

A jólvezető réteg tehát átlagosan 7 km és 35 km mélyen jelentkezik a földkéregben, illetve a kéreg és a köpeny határán. Ettől az átlagértéktől jelentős pozitív eltérést csupán a Rehgraben-i pont MTSz görbéi mutatnak. Földtani térkép alapján valószínűsíthető, hogy egy, az üledékből kiemelkedő devonkori nagyellenállású tömzs hatására e görbék jelentősen torzultak (elcsúsztak a ϱ tengely mentén és így a mélységértékek megnőttek). E feltevést igazolják a grazi-medencében mért Breitenbuch-i pont adatai. Itt az MTSz görbék teljesen hasonló jellegűek, mint a Rehgraben-i MTSz görbék, de kb. 1 nagyságrenddel kisebb ellenállás-tartományban fekszenek.

Kisebb mélységet mutat a Lassnitz-i szondázási görbe, amelyet a Lassnitz patak völgyében egy szűk (kb. 3 km széles) medencében, a Metnitz–Strassburg–St. Veit-i szeizmoaktív törésvonal felett mértünk. A fajlagos ellenállás értéke T = 20 s-os pulzációknál min 0,01 Ωm, max 5 Ωm. Nagyobb periódusoknál ennél kisebb értéket is elér. A nagy mágneses változások is alig követhetők a két elektromos komponensben, amint a *11. ábrán* látható regisztrátumszakasz mutatja.



11. ábra. Éjszakai MT regisztrátumszakasz Lassnitzről

Рис. 11. Часть ночной МТ записи из Лашница

Fig. 11. A part of the night time MT record in Lassnitz

Szélsőségesen kis ellenállásértékek szokatlan nehézségeket okoztak itt az adatfeldolgozásban. A mérési hely ráadásul még meglehetősen zavart is. Ennek megfelelően a számított impedanciák egy részét, úgy tűnik, hogy e zavarok befolyásolják. A koherenciára nézve bevezetett határértéket 0,9-ről 0,6-ra kellett csökkenteni, ezért a tisztán véletlen jellegű zajok egy része is kielégítette ezt a követelményt. Azonban néhány lehetőség adódott a helyes értékek megválasztásához (pl. általában a kis ellenállásértékek; koherenciák, amelyek nem csökkennek, ha a teljes impedanciatenzort használjuk a számításukban; a kohe-

renciáknak nem szabad csökkenniök, ha a regisztrátum különböző szakaszait összeadjuk stb.). Reméljük, hogy végülis a rendkívül kis E amplitúdók ellenére sikerült megbízható szondázási görbét szerkesztenünk.

Az első jól vezető réteg horizontális vezetőképessége több ezer Ω^{-1}-t(:S) is eléri, míg a második – nagyobb periódusú adatok hiányában – jó lvezető aljzatként jelentkezik a szondázási görbén.

A méréspontoknak 2/3-ad része 1000 m felett fekszik (fennsíkokon, vagy völgyekben). A topográfia változása néhány km-en belül néhány 100 m-t is eléri. A tértorzító hatásukat jelenleg még pontosan nem ismerjük. Folyamatban van a modellszámítás, véges differenciák módszerével. Amint a különböző topográfiai viszonyok mellett végzett szondázások jól egyező adatai mutatják, a topográfiai hatás jól vezető testek kutatásánál nem lehet jelentős.

Berktold et al. (1976) a Chiemsee és a Hohe Tauern között mért szelvényében a ϱ szondázási görbéket a felszíni fajlagos ellenállás-anomáliák jelentősen torzítják. „Therefore its interpretation is rather problematic" írják a szerzők és rétegmodelljeiket a 3 hasonló fázisgörbe alapján számították. A Keleti Alpok keleti peremén általunk néhány km mélyen észlelt jól vezető rétegnek nyomát jelzik a Keleti Alpok centrális részében is, bár lényegesen kisebb horizontális vezetőképességgel.

A 8. ábrán látható fázisdiagramok és a ϱ görbék közötti kapcsolatot a $\varphi_T = 45° \left(1 - \frac{d \log \varrho_T}{d \log T}\right)$ közelítő összefüggéssel vizsgáltuk. A magashegységben fellépő sokféle torzítás miatt e kapcsolat csak részben mutatható ki. Lassnitznál a felszínközeli kis fajlagos ellenállásértékeknek megfelelően a φ görbe jelentős szakasza 90° közelében fut.

A Z_{xy} polárdiagram nagytengelyének Z_{xymax} irányát a mérési terület tektonikai térképén ábrázoltuk *(12. ábra)*.

A Z_{xymax} irány közeli jelentős elektromos inhomogenitások esetében a periódustól függetlenül és az inhomogenitásra jellemző irányban, pl. a jólvezető közeget tartalmazó törésekre merőlegesen jelentkezik.

Ha az inhomogenitás a méréspontól távolabb helyezkedik el, akkor a periódus növekedésével a Z_{xymax} irány beforog a karakterisztikus irányba. 6 méréspontunk közül 4 esetben ez a helyzet.

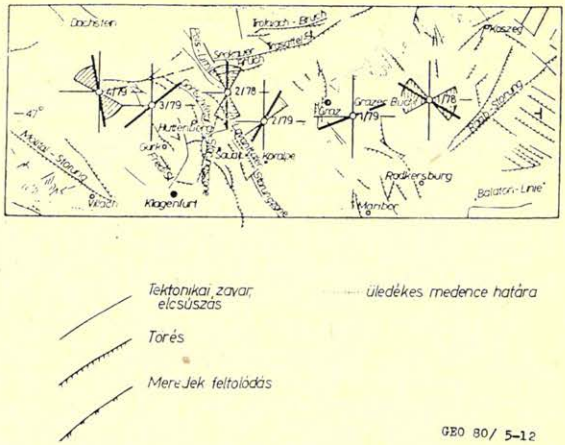
A töréses tektonikával való kapcsolat az Oberostalpin területén legtöbb esetben nyilvánvaló:

Így a leghatározottabb összefüggés a szélsőséges ellenállásviszonyokat is mutató Lassnitz esetében mutatkozik. A Z_{xymax} irány a *Metnitz – Strassburg – St. Veit-i* szeizmikusan aktív törészónára merőleges. Oberpreiteneggen a polárdiagram nagy valószínűséggel a *Lavant-i törészóna* hatására alakul ki. (A méréspont nem közvetlenül a Lavant völgyében van, hanem attól K-re egy fennsíkon).

Lasabergen (Tamsweg mellett) a szatellitképen látható *Ramingstein – Königstuhl* között jelentkező törés befolyását véljük felfedezni.

A St. Georgen-i irány a „Tauern-fault"-ra merőleges, amely a Mura folyó medencéjével párhuzamos.

A Graz-i medencében levő Breitenbuchon a periódustól független Z_{xymax} irány a tektonikai térképen látható törések csapására merőleges. Ezek a törések *ÉÉNy-i irányúak* a Lavant-i és Metnitz-i törészónával együtt amely a legerősebb befolyást gyakorolták a vezetőképesség-eloszlásra.



12. ábra. Tektonikai térkép DK-Ausztriáról Tollmann szerint és a Z_{xy} polárdiagramok nagytengelyének iránya a periódus szerinti változást is figyelembe véve

Рис. 12. Тектоническая карта из Ю – В Австрии по Толману и направление большой полуоси полярных диаграмм Z_{xy}, учитывая и изменения по периоду

Fig. 12. Tectonic map of the SE part of Austria after Tollmann with the major axis of the Z_{xy} polar diagrams and their variations with the periods at the MT stations

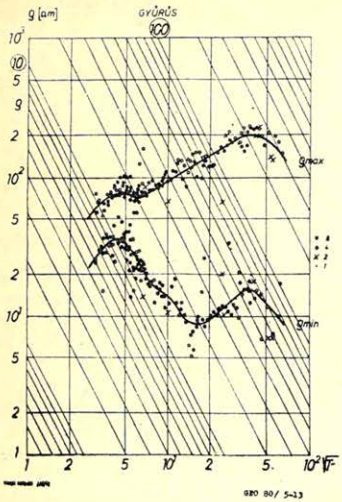
A rehgrabeni pontban a $Z_{xy\max}$ iránya hasonló a nyugat-magyarországi szondázások által kijelölt anizotrópiairányhoz, amelyet elsősorban a Rába elsőrendű tektonikai vonala jelöl ki.

Következtetések:

Az Alpi Szeizmikus Hossz-szelvény a Pannon-medencétől Ny-ra Ausztriában először a Graz-környéki tercier-medencét (Inneralpines Tertiär) harántolja. E terület földtani felépítése a Pannon-medencével rokon vonásokat mutat. A Rehgraben-i és Breitenbuch-i magnetotellurikus szondázások is ezt igazolják. Az itt mért MTSz görbék jellege hasonló a Pannon-medencében a pontokhoz legközelebb mért gyűrűsi pont MTSz görbéhez (*13. ábra*). A gyűrűs MTSz görbe azonban a felső köpenyben mélyebben (~60 km) jelzi a jól vezető réteget, mint a Breitenbuch-i. Ez utóbbi pontban majdnem a kéreg-köpeny határán (37 km) jelentkezik, összhangban a tőle Ny-ra fekvő többi szondázás eredményeivel.

Kérdés az, hogy azonosíthatók-e jól vezető rétegek, tehát ugyanannak a rétegnek megemelkedéséről beszélhetünk-e pl. a geotermikus viszonyok megváltozásával, a hőáram, illetve a mélybeni hőmérséklet megnövekedésével összefüggésben (Ádám, 1978). Erre a Keleti Alpok K-i peremén levő törési zónák (pl. Lavanti törészóna) területén észlelt 100 mWm^{-2}-es hőáram-anomália magyarázatot adhat (Čermák és Hurtig, 1977).

Az átlagosan 7,6 km mélyen jelentkező jól vezető képződmény az aktív töréses tektonika jellegzetes velejárója, amint az a Dunántúli vezetőképesség-anomália, vagy akár a Külső és Belső Kárpátok közötti kéregtörés területéről ismert. Ezek tényleges okának felderítése a kutatás egyik napirenden levő kérdése.



13. ábra. Gyűrűsön (Zala m.) mért MTSz görbék

Рис. 13. Кривые МТЗ, измеренные в Дъюрюш (район Зала)

Fig. 13 MTS-curves of the measuring point Gyűrűs (Zala county)

A Lassnitz-i 0,1 – 0,03 Ωm-es fajlagos ellenállást csak nagy ásványi só tartalmú hévforrások (thermal and mineral spring), illetve ércesedés magyarázhatja meg a felszín közelében. Nagyobb kéregmélységben részleges olvadásra is gondolhatunk.

A mélyszeizmikus kutatás is kimutatott ebben a mélységtartományban (7 – 10 km között) de csak a fenti töréses területen egy kissebességű zónát. A földkéregben a másik kissebességű zóna azonban kisebb mélységben (20 – 30 km) K felé elvékonyodva, de folyamatosan jelentkezik (Gutdeutsch és Arik, 1979).

A MT kutatás tehát feltárta a Keleti Alpok peremén levő szeizmikusan aktív (Drimmel, 1979) töréses terület rendkívüli elektromos vezetőképesség-eloszlását, amely a földrengés mechanizmusának kutatását is segíti a jövőben. Meghatározta a földkéreg általános geoelektromos szerkezetét az Alpok és a Pannonikum közötti átmeneti zónában.

IRODALOM

Alpine Explosion Seismology Group: A lithospheric seismic profile along the axis of the Alps, 1975 I: First Results, Pageoph. 114, 1109 – 1130, 1976.

Ádám, A.: The Transdanubian crustal conductivity anomaly. Acta Geod. Geoph. Mont. Hung. 12, 73 – 79, 1977.

Ádám, A.: Geothermal effects in the formation of electrically conducting zones and temperature distribution in the Earth. Phys. Earth Planet. Int. 17, P21 – P28, 1978.

Ádám, A.: Statisztikus összefüggések az elektromos vezetőképesség-eloszlás és a töréses tektonika között a Dunántúlon. (Magyar Geofizikához beküldve 1980-ban)

Berdichevsky, M. N., Dmitriev, V. I.: Distortion of magnetic and electric fields by near-surface lateral inhomogeneities. Acta Geod. Geoph. Mont. Hung. 11, 447 – 483, 1976.

Berktold, A., Beblo, M., Kemmerle, K.: On the distribution of the electrical conductivity below the Eastern Alps. Geologische Rundschau. 65, 716 – 732, 1976.

Cagniard, L.: Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting. Geophysics. 18, 605 – 635, 1953.

Čermák, V., Hurtig, E.: Preliminary HEAT FLOW MAP of EUROPE 1:500 000, Presented at the IASPEI/IAVCEI Assembly Durham, England, 1977.

Drimmel, J.: On the assessment of maximum earthquakes in the Alps and adjacent areas. Tectonophysics. 55, T1 – T5, 1979.

Gutdeutsch, R., Arik, K.: Eine Diskussion geophysikalischer Modelle des Grenzbereiches zwischen Ostalpen und Pannonischem Becken. Acta Geologica Hung. 21, 287 – 296, 1979.