

Geoelektromos munkálatok automatizálása^{*2}

Á D Á M A N T A L – N A G Y Z O L T Á N – S A L Á T P É T E R
V E R Ó J Ó Z S E F

A geoelektromos mérések automatizálási lehetőségei két nagyobb csoportba oszthatók:

1. hagyományos mérési és feldolgozási módszerek számítási munkáinak elvégzése számítógéppel,
2. új módszerek bevezetése, amelyek alkalmazási lehetőségei éppen a számítógépeknek köszönhetők.

Az első csoport néhány jellemző példája a Szeizmikus Kutatási Üzem geoelektromos csoportjától: Mesterséges térrel végzett szondázásoknál: elméleti görbék számítása speciál dipol elrendezéssel, geoelektromos szelvény rajzolása graphomattal stb.

Tellurikus méréseknél: dillomás, ellipszis számítása egyidejű mérésekből, a relatív ellipszis és a MT ellipszis alapján; ellipszis excentricitásának számítása; tengelyirány számítása; térképszerű szerkesztés szabálytalan elhelyezésű pontok adataiból stb.

A másik csoportba sorolható munkák:

Szondázásoknál: a tellurikus zaj kiküszöbölése digitális összegezéssel dipol méréseknél (Péterfai Béla), vertikális elektromos szondázások gépi kiértékelése a magfüggvény alapján (Salát Péter).

Magnetotellurikus méréseknél: az ellenállás- illetve relatív ellipszis meghatározás Fourier-transzformáció alapján, az energia sűrűség-spektrum alapján, valamint ugyanezen célokra szűrőfüggvények előállítás, ill. a szűrés elvégzése. Az utóbbi munkák a SZK Ű-ben és az MTA Geofizikai Kut. Labor-ban folynak az ELGI-ben kidolgozott függvények felhasználásával is.

Возможности автоматизации в области электроразведочных работ разделяются на две основные группы:

1. выполнение вычислительных работ, связанных с стандартными методами наблюдения и обработки данных, с использованием вычислительной машины;
2. внедрение новых методов, применяемость которых обуславливается именно использованием вычислительной машины.

Некоторые характерные примеры для первой группы можно привести из опыта электроразведочной партии Сейсморазведочного предприятия:

При зондированиях, проводимых с искусственно возбужденными полями: вычисление теоретических кривых со специальной дипольной установкой; представление электрических разрезов при помощи графомата и т. д.

При работах по методу ТТ и по магнитотеллурическому методу — подсчет эллипсов для базисной станции по одновременно выполненным измерениям, на основании относительного эллипса МТ; вычисление эксцентричности эллипсов; определение направлений осей; составление карт по данным неравномерно распределенных пунктов наблюдений и т. д.

Примеры для второй группы:

При зондированиях — исключение помехи теллурических токов цифровым накоплением, из данных дипольного зондирования (Б. Петерфай); машинная интерпретация кривых ВЭЗ по kernovým функциям (П. Шалат).

При магнитотеллурических исследованиях — определение сопротивления и относительного эллипса по трансформации Фурье, на основании спектра плотности энергии; составление для аналогичных целей функции фильтрации и осуществление фильтрации. Последняя работа выполняется в Геофизической исследовательской лаборатории АН ВНР, причем применяются и функции, разработанные в Геофизическом институте.

Die Automatisierungsmöglichkeiten geoelektrischer Messungen können in zwei grosse Gruppen eingeteilt werden:

1. Durchführung der Rechenarbeiten der herkömmlichen Messungs- und Bearbeitungsmethoden mit Hilfe von Rechenmaschinen,
2. Einführung von neuen Methoden, deren Anwendungsmöglichkeit den Rechenmaschinen zu danken ist.

Beispiele von Arbeiten der ersten Gruppe sind (aus dem Arbeitsprogramm der geoelektrischen Gruppe des Seismischen Schürfungsbetriebs):

Bei den Sondierungen mit künstlichem Kraftfeld: Berechnung von theoretischen Kurvenscharen mit spezieller Dipolanordnung, zeichnerische Darstellung eines elektrischen Profils mit Hilfe eines Graphomats usw.

Be tellurischen und magnetotellurischen Messungen: Berechnung von Stationsellipsen aus simultanen Messungen, auf Grund der relativen- und MT-Ellipse; Berechnung der Exzentrizität der Ellipse; Errechnung der Achsenrichtungen; Konstruktion von Karten aus den Daten von Punkten mit irregulärer Anordnung usw.

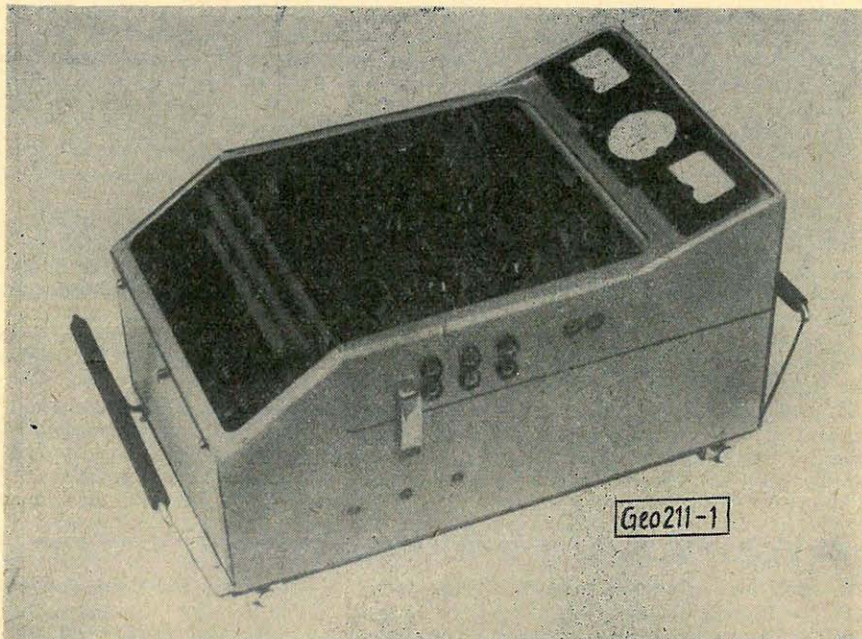
Arbeiten der zweiten Gruppe sind:

Bei Sondierungen: Elimination des tellurischen Geräusches durch digitale Summation bei den Dipolmessungen (B. Péterfai), maschinelle Auswertung von vertikalen elektrischen Sondierungen auf Grund der Kernfunktion (P. Salát)

Bei magnetotellurischen Messungen:

Bestimmung des Widerstandes bzw. der relativen Ellipse auf Grund von Fourier-Transformation sowie von Energie-Dichte-Spektrum, Konstruktion von Filterfunktionen für denselben Zweck und Durchführung der Filtrierung. Diese letztere Arbeiten finden im Seismischen Betrieb und im Forschungslaboratorium der Ungarischen Akademie der Wissenschaften statt, wobei auch die im Ungarischen Staatlichen Geophysikalischen Institut „Roland Eötvös“ ausgearbeiteten Funktionen benutzt wurden.

Habár Magyarországon a geoelektromos elméleti és terepi munkálatok automatizálása még nem fejlődött ki, mégis olyan szerteágazóak azok a munkák, amelyeket ezen a területen végeztek, hogy egy előadás keretében valamennyit ismertetni lehetetlen. Ezért a következőkben inkább csak kiragadott példákkal kívánunk foglalkozni, olyan eljárásokkal, amelyeket az OKGT Szeizmikus Kutatási Üzeme, a MTA Geofizikai Kutató Laboratóriuma vagy az ELTE Geofizikai Tanszéke dolgozott ki, és amelyeket többé-kevésbé a gyakorlatban is kipróbáltak.



1. ábra. Az MTA Geofizikai Kutató Laboratóriuma által tervezett totális számloló műszer
Фиг. 1. Тотальный счетчик, конструированный Геофизической Исследовательской Лабораторией АН ВНР.

Fig. 1. Totalzähler konstruiert im Geophysikalischen Forschungslaboratorium der Ung. Akademie der Wissenschaften

Ezek az eljárások lényegileg két csoportra oszthatók: az egyik csoportban a mérés, vagy feldolgozás alapján véve nem új, csak kivitelezését könnyíti meg az automatizálás; a második csoportba viszont olyan új módszereket sorolhatunk, amelyeknek alkalmazását éppen az automatizálás, elsősorban a számítógépek tették lehetővé. Természetesen, ezek az új módszerek is többé-kevésbé régi módszerekkel állnak kapcsolatban, s éppen ezért éles elhatárolás nem lehetséges.

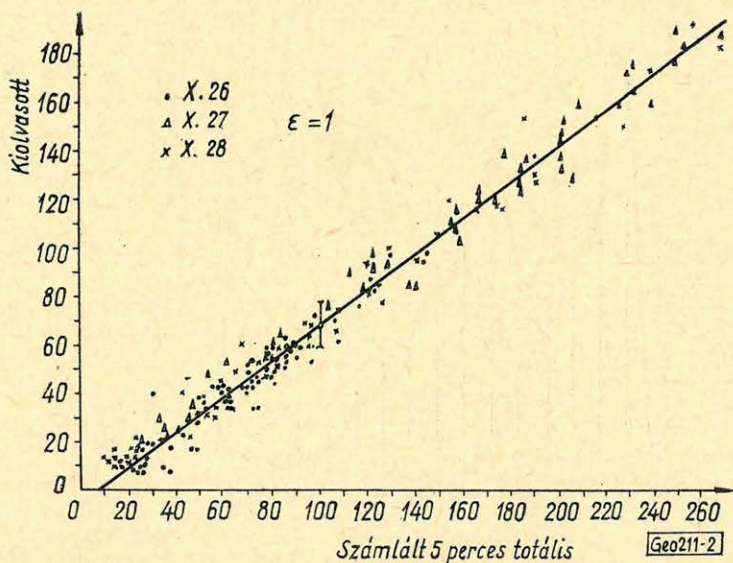
Az első csoportba sorolható, és a Szeizmikus Üzemenél megoldott feladatok közül megemlítjük például a speciális dipólus-elrendezésekhez (bányabeli szondázások) készült elméleti görbéket, vagy szeizmikus vonalakon végzett sekélyszondázások eredményeinek Graphomattal való kirajzoltatását.

Sokkal nagyobb érdeklődéretarthatnak számot a második csoportba sorolható problémák, s ezek közül néhányal részletesebben kívánunk foglalkozni.

Elsőként a geoelektromos szondázások területén ismertetünk néhány módszert. A Szeizmikus Üzemen a *DE* szondázások felvételeinek feldolgozása-kor a tellurikus „zajt” digitális összegezéssel igyekeznek kiküszöbölni (Péterfai Béla). A vertikális elektromos szondázások görbéinek kiértékelése a magfüggvény alapján az ELTE Geofizikai Tanszék, a Geofizikai Intézet és a Szeizmikus Üzem kooperációjában készült. Ennek alapelve a következő:

A látszólagos fajlagos ellenállást Schlumberger-elrendezés esetére a

$$\rho_L(r) = \rho_1 \left\{ 1 + 2r^2 \int_0^{\infty} K_i(m) \cdot J_1(mr) m \cdot dm \right\}$$



2. ábra. Az 1. ábrán bemutatott műszerrel mért és a közvetlenül az analóg regisztrátumról ki-
olvasott totális értékek kapcsolata

Fig. 2. Связь между тотальными значениями, измеренными аппаратурой, показанной
на Фиг. 1, и считываемыми с аналоговой записи

Fig. 2. Der Zusammenhang der mit dem Apparat der Fig. 1. gemessenen und von der Analog-
registrierung unmittelbar abgelesenen Totalwerte

integrál-kifejezés adja meg. Itt $K_i(m)$ az i -edik rétegre vonatkozó ún. magfüggvény, és ez csak a (ρ_i, h_i) rétegparaméterek függvénye. A képletben szereplő $J_1(mr)$ elsőfajú, elsőrendű Bessel-függvény. A $K_i(m)$ magfüggvény sorbafejthető:

$$K_i(m) = \sum_{n=1}^{\infty} Q_i(n)(e^{-2m})^n$$

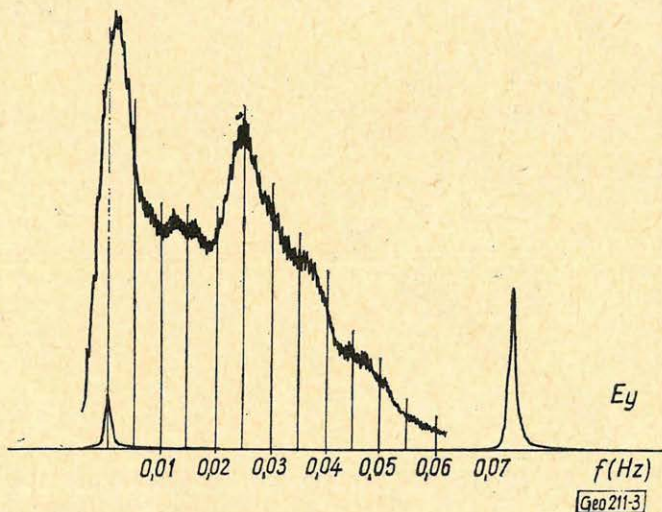
és az integrál megadható összeg formájában is:

$$\varrho_L(r) = \varrho_1 \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ Q_i(n) / \left(1 + \frac{4n^2}{r^2} \right)^{3/2} \right\} \right].$$

A $Q_i(n)$ sorfejtési együtthatók kiszámítására rekurzív összefüggések vezethetők le. A $\varrho_L(r)$ hibája a szokásos log-log léptékben ábrázolva h mm-nél kisebb, ha az összegezés N tagig történt és

$$N > \frac{1,06}{h} \frac{r^{3/2}}{\sqrt[3]{\varrho_L(r)}}.$$

A vázolt algoritmus alapján *MITRA* autókódban készültek elméleti szondázási görbék három réteg esetére. A 4 és 5 réteges, a Magyar Geofizikában közölt algoritmus és programvázlat felhasználásával a terepen mért görbéket fokozatosan meg lehet közelíteni, vagy egy-egy területen használható görbeseget ki lehet számolni.



3. ábra. NORATOM korrelátorral készült teljesítménysűrűség spektrum 3 órás mágneses gyors-regisztrátumról

Фиг. 3. Спектр плотности мощностей, изготовленный коррелятором NORATOM с 3-часовой быстрой магнитной записи

Fig. 3. Leistungsdichte-Spektrum-geliefert von einem NORATOM-Korrelator-auf Grund eines 3-stündigen magnetischen Schnellregistrats

Ennek az eljárásnak a továbbfejlesztéseként a görbék közvetlenül is ki lehet értékelni. A fenti integrálra a Hankel – Fourier transzformációt alkalmazva a $K_1(m)$ magfüggvény a $Q_L(r)$ görbéből integrálással kiszámítható:

$$K_1(m) = \int_0^{\infty} \frac{Q_L(r) - Q_1}{2Q_1 r} J_1(mr) dr.$$

A magfüggvény ismeretében közelítő eljárásokkal, pl. a legkisebb négyzetek módszerével, vagy szukcesszív approximációval a rétegparaméterek számíthatók. Ennek a feladatnak a programjait *ELLIOTT 803* gépen most próbálják.

Áttérve a tellurikus-magnetotellurikus mérések területére, bizonyos fokig még a hagyományos eljárások továbbfejlesztéseként is születtek új lehetőségek.

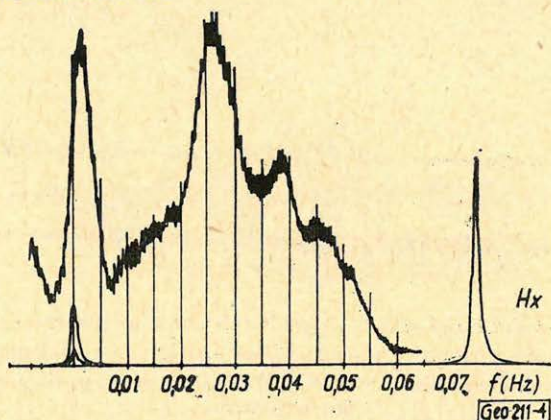
A természetes térrel végzett mérések eredetileg a Schlumberger-féle tellurikus eljárás alkalmazásakor egy adatot szolgáltatott: a mérőállomáson és a bázisállomáson mért vezetőképességek viszonyát. Ennek a módszernek háromféle bővítése lehetséges:

A) mágneses komponensek mérése (bázisállomás helyett a vezetőképesség abszolút értékét lehet meghatározni egyetlen pontban)

B) tellurikus ellipszis összes paraméterének számítása, vagyis a vezetőképesség anizotrópiájának meghatározása

C) a vezetőképesség frekvencia-függőségének meghatározása.

Természetesen a bővítések együttesen is alkalmazhatók, pl. A és C együttesen a magnetotellurikus frekvenciaszondázást jelenti, B-vel együtt impedancia-ellipszisek meghatározását stb.



4. ábra. A 3. ábrával együtt készült tellurikus regisztrátum spektruma

фиг. 4. Спектр теллурической записи, изготовленной вместе с фиг. 3

Fig. 4. Spektrum einer tellurischen Aufzeichnung, die mit dem der Fig. 3. simultan fertiggestellt wurde

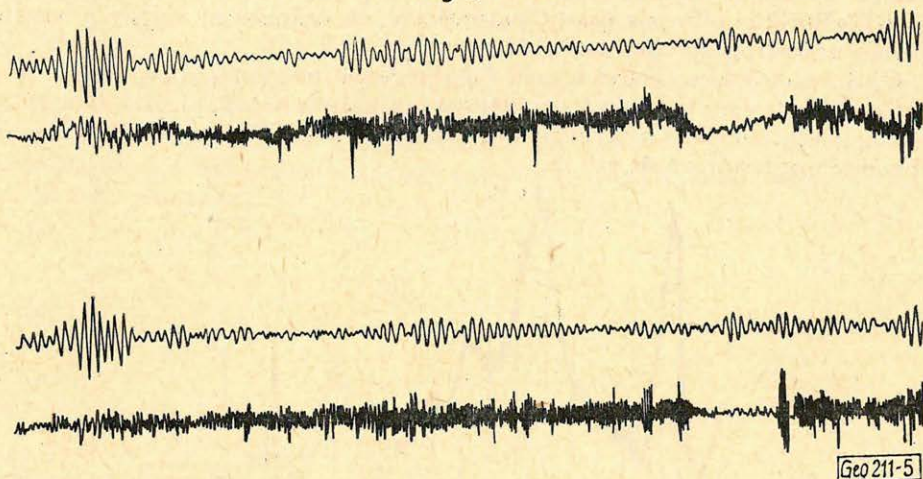
Az eredeti tellurikus mérések is többféle lehetőséget kínálnak az egyszerűsítésre: az MTA Geofizikai Kutatólaboratóriumában elkészült az ún. totális számláló. Ez lényegében a tellurikus (vagy mágneses) tér változásainak abszolút értékét összegezi egy rács és fényelektromos impulzusszámlálás segítségével. A műszer az 1. ábrán látható. Összehasonlítóképpen a 2. ábrán látható a műszerrel regisztrált változás-összeg (totális) és az analóg úton nyert regisztrátum szokásos úton feldolgozott totális értékei közötti kapcsolatot. Az egyezés kielégítő,

az eltérések a megszólalási küszöb rovására írhatók. Ezzel a műszerrel az állomásellipszis közvetlenül a terepen meghatározható.

Áttérve a mérések feldolgozására, az egyik kínálkozó lehetőség a mérési adatok egységesítése (állomásellipszissé való transzformálás a bázisállomás tenzorkomponensei alapján), a nyert egységes adatrendszer jellegzetességeinek (excentricitás, tengelyirány) meghatározása és térképen való ábrázolása. Ez tulajdonképpen az említett második kiterjesztési lehetőség alkalmazása, hiszen a vezetőképesség irányfüggését hasznosítjuk. A térkép szerkesztéséhez a szabálytalanul elhelyezkedő mérési pontok eredményeit négyzetháló sarokpontjaira kell interpolálni. A megvalósított program 1:50 000 méretarányban 5 cm-es körön belül levő pontok adatai alapján számítja a súlyozott középértéket. A súlyozás $1/R$, $1/R^2$ és e^{-R} függvénynek megfelelően történt. A legjobb eredményt az utolsó adta.

Az impedancia frekvenciafüggőségének meghatározásakor a legnagyobb problémát az jelenti, hogy a természetes elektromágneses térben a különböző frekvenciák egyszerre jelentkeznek, szét kell őket választani. Az egyszerű bec-

$$E_y ; H_x I$$

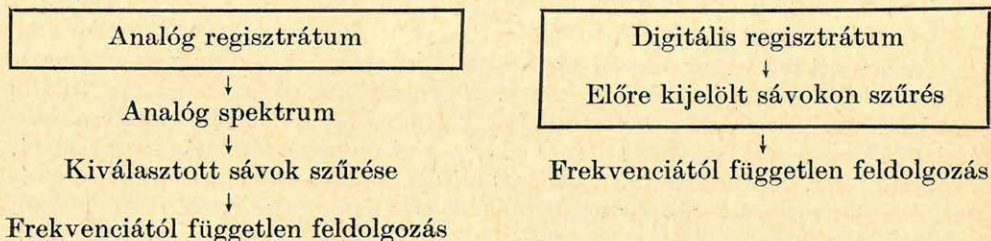


5. ábra. A 0,008 – 0,012 Hz-es szűrővel készült változatok az eredeti regisztrátumokkal

Фиг. 5. Варианты, изготовленные фильтром 0,008 – 0,012 гц, с оригинальными записями

Fig. 5. Varianten, die mit dem Filter von 0,00,8 – 0,012 Hz erhalten wurden, nebst den originellen Registratums

lésen alapuló kiolvasás sem ad saját tapasztalataink szerint rossz eredményt, de kétségtelenül érdemes a szűréssel foglalkozni ezen a területen is. Elvileg két út képzelhető el:



(A bekerített lépések a regisztráló műszerben történnek)

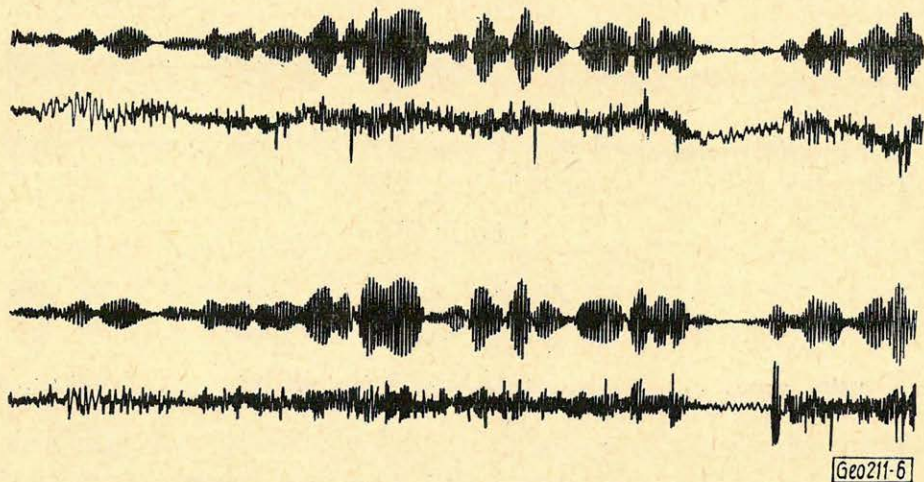
Az első út előnye a másodikkal szemben, hogy már ma is járható. Példaként bemutatjuk egy regisztrátum ilyen feldolgozását (3-4. ábra). A kb. 3 órás, pulzációkban nagyon gazdag regisztrátumról *NORATOM* korrelátor alkalmazásával készültek a mellékelt spektrumok. Tulajdonképpen ezek alapján is lehetne számítani az impedanciákat, de tapasztalatunk az volt, hogy ezekben a spektrumoknál csak a relatív értékek megbízhatóak a kellő pontossággal, az abszolút értékek nem. A szűrendő sávok kiválasztása viszont nagyon jól elvégezhető volt. Természetesen elképzelhető, hogy más alapelven történjék a szűrő kiválasztása, nem a spektrális csúcsoknak megfelelően. Lehet akár fix szűrőket is alkalmazni, vagy pl. a legkisebb koherenciájú helyeknek megfelelő szűrőket választani. Az utóbbi előnye, hogy ilyen sávokban az ellipszis meghatározása pontosabb. Mi mindenestre 7 sávot jelöltünk ki: $0,008-0,012$,^(I) $0,012-0,017$,^(II) $0,022-0,028$,^(III) $0,022-0,025$,^(IV) $0,025-0,028$,^(V) $0,036-0,040$,^(VI) $0,043-0,047$,^(VII) Hz között.

A szűrést a Geofizikai Intézetben szeizmikus célokra *Zilahi Sebess László* által készített szűrőprogrammal végeztük. A szeizmikus célokra készített programhoz az egyetlen szükséges változtatás az, hogy függőleges (amplitúdó) léptékre is szükség van, nemcsak időbelire. A szűrőfüggvény alakja a következő:

$$f'(t) = \frac{1}{\pi t} \left(\sin \frac{2\pi t}{p_2} - \sin \frac{2\pi t}{p_1} \right).$$

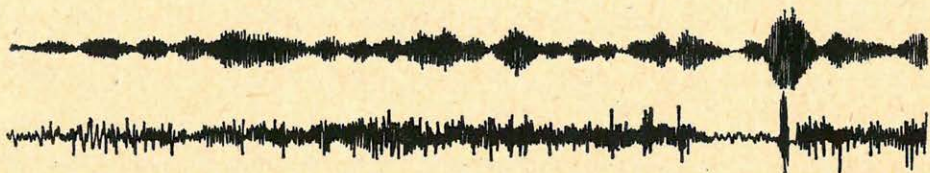
Közben a soproni Laboratórium Cellatron *SER 2c* típusú gépére is elkészült ez a program. Tekintettel arra, hogy ennek a gépnek a memória-kapacitása nagyon

E_y ; H_x III



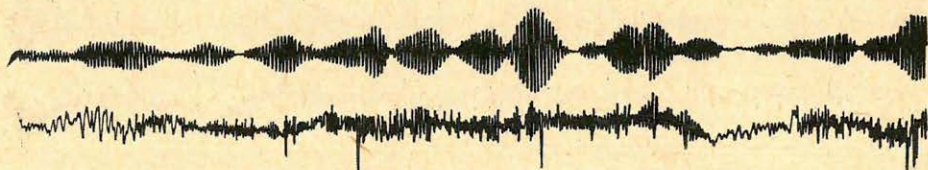
6. ábra. A $0,022-0,028$ Hz-es szűrővel készült változatok az eredeti regisztrátumokkal

Фиг. 6. Варианты, изготовленные фильтром $0,022-0,028$ гц, с оригинальными записями
 Fig. 6 Varianten, die mit dem Filter von $0,022-0,028$ Hz erhalten wurden, nebst den originellen
 Registratums



Geo211-7

7. ábra. A $0,043 - 0,047$ Hz-es szűrővel készült változatok az eredeti regisztrátumokkal
 Фиг. 7. Варианты, изготовленные фильтром $0,043 - 0,047$ гц, с оригинальными записями
 Fig. 7. Varianten, die mit dem Filter von $0,043 - 0,047$ Hz erhalten wurden, nebst den originellen Registratums

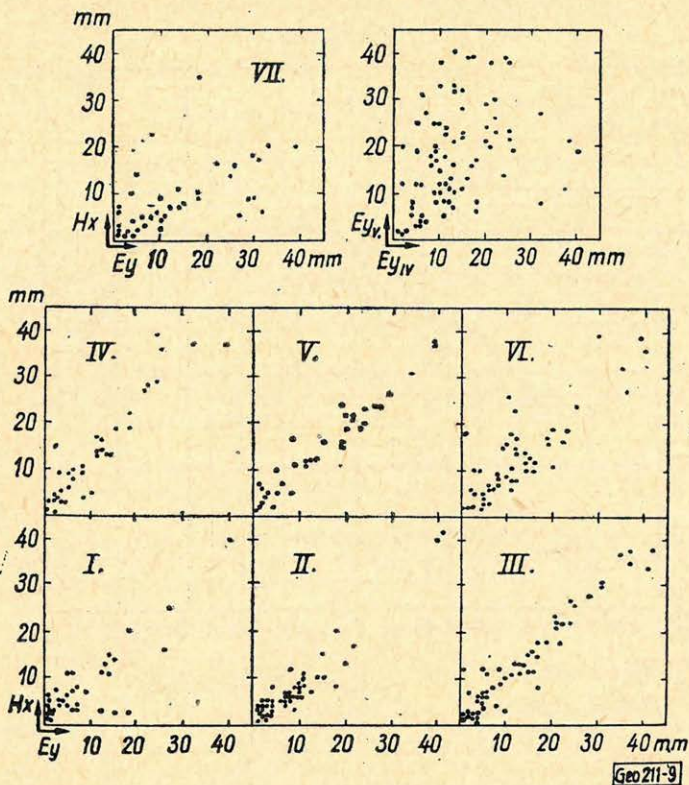


E_y III IV



Geo211-8

8. ábra. A $0,022 - 0,028$, a $0,022 - 0,025$ és a $0,025 - 0,028$ Hz-es szűrővel készült változatok a tellurikus regisztrátumról
 Фиг. 8. Варианты, изготовленные фильтрами $0,022 - 0,028$, $0,022 - 0,025$ и $0,025 - 0,028$ гц с теллурической записи
 Fig. 8. Die mit den Filters von $0,022 - 0,028$, $0,022 - 0,025$ und $0,025 - 0,028$ Hz erhaltenen Varianten des tellurischen Registrats



9. ábra. A különböző szűrőkkel készült regisztrátumokról kiolvasott maximális amplitúdók kapcsolata a tellurikus és a mágneses regisztrátumokon, valamint a tellurikus regisztrátum 0,022 – 0,025 és 0,025 – 0,028 Hz-es szűrővel kapott értékeinek kapcsolata

Fig. 9. Связь между максимальными амплитудами, отсчитанными с записей, изготовленных с разными фильтрами, по теллурическому и магнитным записям, а также связь между значениями теллурической записи, полученными с фильтрами 0,022 – 0,025 и 0,025 – 0,028 гц.

Fig. 9. Der Zusammenhang der aus den mit verschiedenen Filtern erhaltenen Registraten abgelesenen maximalen Amplituden in den tellurischen und in den magnetischen Registraten, sowie die Beziehung zwischen den Werten des tellurischen Registratums, die mit den Filtern von 0,022 – 0,025 bzw. 0,025 – 0,028 erhalten wurden.

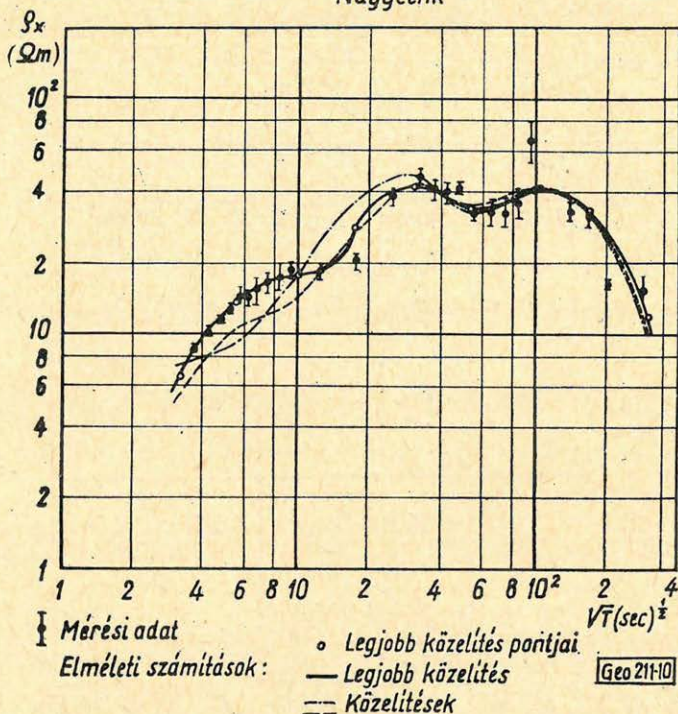
kicsi, célszerű volt a szűrőt egy

$$\left(\cos \frac{2\pi t}{T_0} + 1 \right) \frac{1}{2}$$

alakú függvénnyel megszorozni, hogy így az oldalhullámokat elnyomjuk. Ezzel a szűrővel a magnetotellurikus mélyszondázás területén is kívánunk vizsgálatokat elvégezni (pl. napi járás harmónikusainak szétválasztása).

A következő ábrákon (5 – 7. ábra) az előzőleg tárgyalt eredeti regisztrátumot, és néhány szűrővel készült változatot mutatunk be. Általában az egyes szűrt elektromos és mágneses komponensek között jó kapcsolat van, de vannak olyan időközök is, amikor ez a kapcsolat felbomlik. Ilyen időközöket feldolgozásra nem szabad felhasználni. Nagyon érdekes a spektrumban jelentkező legnagyobb

Nagycenk



10. ábra. A Nagycenk melletti q_x magnetotellurikus görbe és fokozatos megközelítései elméleti görbékkel

Фиг. 10. Магнитотеллурическая кривая x , полученная ок. с. Надьценк, и ее постепенная аппроксимация теоретическими кривыми

Fig. 10. Die q_x magnetotellurische Kurve von Nagycenk und ihre stufenweise Approximation mit theoretischen Kurven.

0,022–0,028 Hz közötti csúcs, valamint annak két részre bontott változatának megfelelő szűrt sorozat vizsgálata (8. ábra). Azt állapíthatjuk meg, hogy a teljes csúcspot magábanfoglaló szűrő inkább a jobb- és baloldalnak megfelelő szűrővel kapott értékek különbségeként, „lebegés”-szerűen értelmezhető. Ez a körülmény biztató abban az irányban, hogy érdemes az egyes spektrális csúcsokat részletesebben felbontani, ha erre szükség van.

A digitális regisztrálás és szűrés ma még Magyarországon nem teljesen megoldott probléma, külföldön is inkább kísérleti stádiumban van.

Végezetül a magnetotellurikus frekvenciaszondázási görbék elméleti görbékkel való megközelítésére mutatunk be egy példát. A program a MTA Számítástechnikai Intézetében készült (Varga Gyula). A bemutatott példán (10. ábra) a Nagycenk melletti Observatórium frekvenciaszondázási görbéjének megközelítését mutatjuk be. Egy-egy program futtatáskor 16 hétréteges görbe-variánst lehet kiszámítani, s tapasztalataink szerint 3–4 ilyen görbecsoport kiszámítására van szükség a bemutatott ábrán demonstrált egyezés elérésére.