

A földköpeny és a földkéreg kutatása reflexiós módszerrel*

POSGAY KÁROLY – PETROVICS ILONA**

A földköpeny felső része és a földkéreg kutatásának legfontosabb célja alapadatok gyűjtése a legvalószínűbb nagytektonikai elméletek kialakításához. A kutatott mélységtartomány és a nagytektonikai kép ismerete elősegítheti az ásvány és energiavagyon keletkezése és felhalmozódása néhány alapvető kérdésének tisztázását, s így közvetve a nyersanyag és energiabázis szélesítését szolgálhatja.

Dolgozatunkban – a hazai és nemzetközi együttműködésben végzett – földkéreg- és felsőköpeny-kutatásaink néhány eredményét ismertetjük és válaszoljuk a további kutatások irányára.

Основная цель исследования верхних частей мантии и земной коры заключается в сборе опорных данных для создания наиболее вероятных теорий по макротектонике. Необходимая глубинность изучения и знание макротектонической картины способствуют выяснению некоторых основных вопросов возникновения и накопления минеральных ресурсов, и тем самым, расширению сырьевой и энергетической базы.

В работе излагаются некоторые результаты, полученные при исследовании верхней мантии и земной коры в рамках отечественных работ и международного сотрудничества а также намечаются направления дальнейшей деятельности.

The most important aim of the geophysical investigation of the Earth's Crust and Upper Mantle is to obtain data for the elaboration of more accurate global tectonical theories. The knowledge of the investigated depth range and its global tectonical consequences might be useful to answer basic questions about the origin and accumulation of energy resources, that is, at least implicitly, the research promotes the extension of the raw material and energy supplies.

The paper reports recent results of our Crust and Upper Mantle investigations (carried out in Hungary, or in international cooperation) and outlines the main tasks of future research.

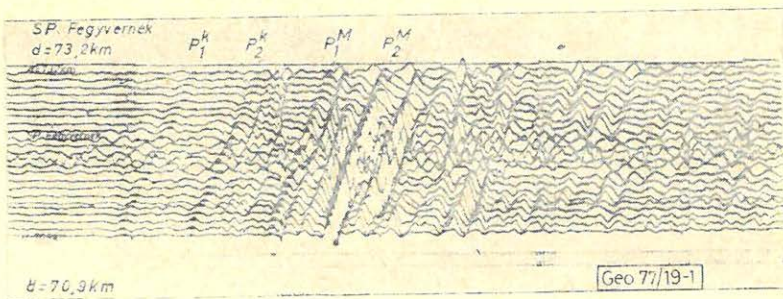
A földköpeny felső része és a földkéreg kutatásának egyik legfontosabb célja alapadatok gyűjtése a nagytektonikai elméletek helyes kialakításához. A kutatott mélységtartomány és a nagytektonikai kép helyes ismerete elősegítheti az ásvány- és energiavagyon keletkezése és felhalmozódása néhány alapvető kérdésének megoldását. Ezáltal a földkéreg és a felsőköpeny kutatása közvetve a nyersanyag- és energiabázis szélesítését szolgálhatja.

A nemzetközi együttműködésben végzett földkéregkutatásaink az Alpi-Kárpáti terület hegységszerkezetéhez alapvető adatokat adtak. Ezeknek értelmezése során felmerült kérdések indokolják, hogy a kutatásokat a nagyobb mélység felé kiterjesszük. Előadásunkban néhány eredményt ismertetünk a földkéreg és a felsőköpeny „határának” vizsgálatáról, a felsőköpenyről szerzett ismereteinkről és a további kutatások irányáról.

A Pannon-medence területén a Mohorovičić-diszkontinuitásról jellegzetes reflexiók beérkezéseket kaptunk. A kritikus távolságban észlelt szélesszögű reflexiók jelentős amplitúdóval, több hullámcsoportban jelentkeztek (Mituch, Posgay 1972). Két fázis – a Pannon-medence nagy részén – jól megkülönböztethető és jól követhető volt. A hullámcsoport időtartománya néhány tized másodperc (1. ábra).

* Elhangzott 1977. IV. 28-án a MGE Soproni Vándorgyűlésén.

** ELGI.

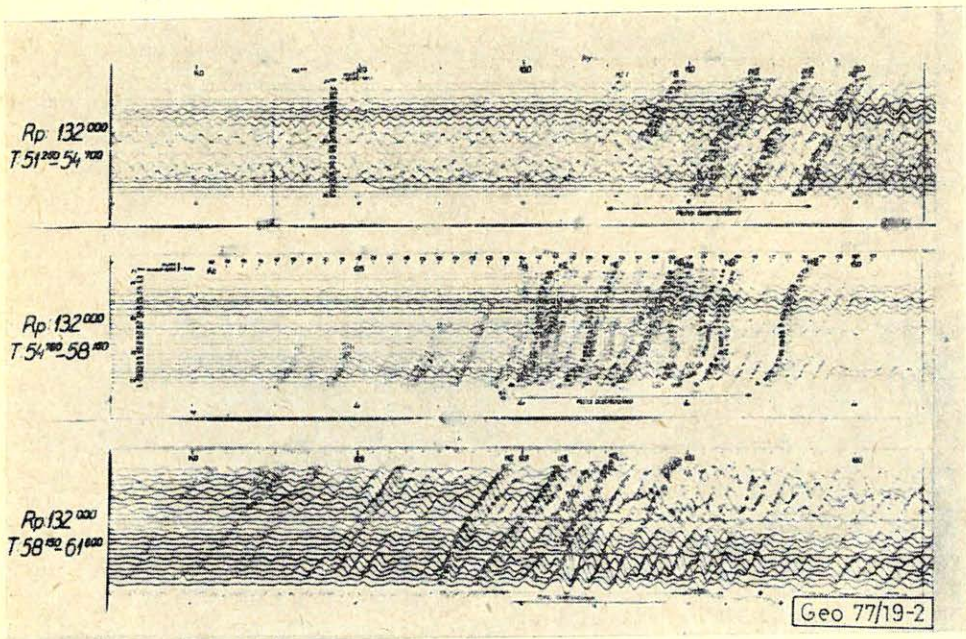


1. ábra. Jellegzetes, kritikus távolságban észlelt szeizmogram a Mohorovičić-diszkontinuitás beérkezéseivel

Рис. 1. Характерная сейсмограмма, полученная на критическом расстоянии, с вступлениями от раздела Мохоровичича.

Fig. 1. A typical seismogram observed at critical distance, showing arrivals from the Mohorovičić discontinuity

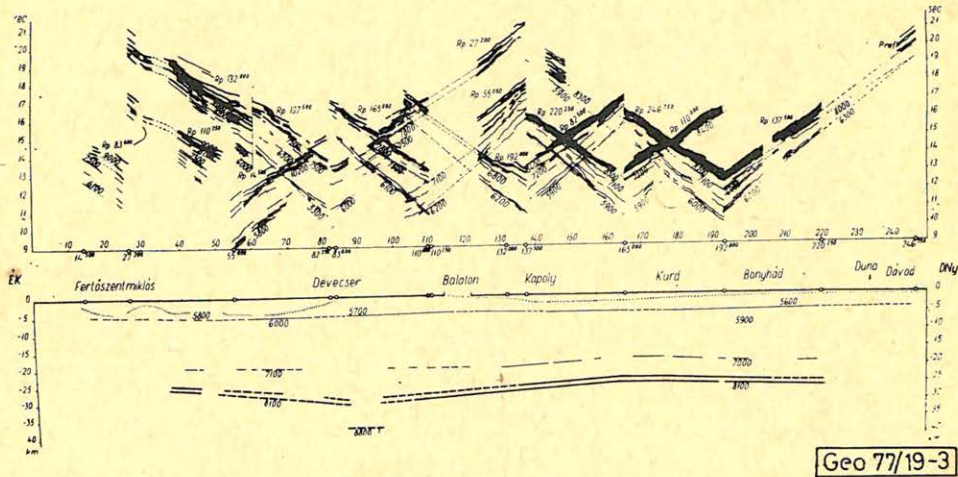
Nagyszerkezeti következtetések szempontjából fontosnak tartjuk megemlíteni, hogy a Bakonyt keresztező szelvényben több hullámcsoport jelentkezett kb. 2,5 másodperc időtartományban (2. ábra). Feltételezhetően a Mohorovičić-diszkontinuitásnak nem csak a mélysége (3. ábra), hanem a szerkezete is megváltozott a hegység alatt.



2. ábra. A Bakony-térségében észlelt szeizmogramok a Mohorovičić-diszkontinuitás beérkezéseivel

Рис. 2. Сейсмограммы, полученные в районе Баконьских гор, с вступлениями от раздела Мохоровичича.

Fig. 2. Seismograms observed in the region of the Bakony Mt. with arrivals from the Mohorovičić discontinuity

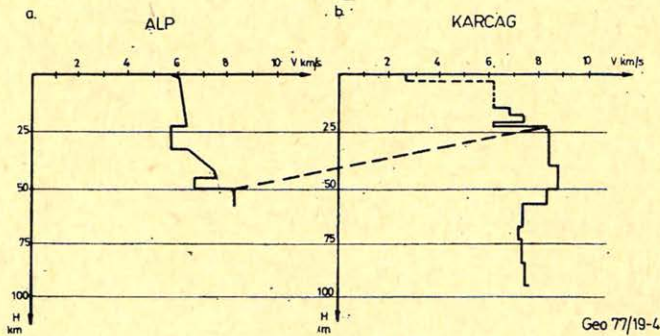


3. ábra. A Bakony hg-et keresztező Dunántúli szelvény

Рис. 3. Профиль в Задунайском районе, пересекающий Баконьские горы.

Fig. 3. Transdanubian profile traversing the Bakony Mt.

A Karcag környékén végzett reflexiós sebességmeghatározási kísérletekből (Posgay 1975) arra lehetett következtetni, hogy a Mohorovičić-diszkontinuitás táján inverz zóna helyezkedik el (4.b ábra). Az Alpi hossz-szelvény értelmezésénél ugyancsak kimutattak egy inverz zónát a Mohorovičić diszkontinuitásnál (Miller 1976. 4.a. ábra) a szelvény D és F robbantópontja közé eső szakasz K-i részén (5. ábra).



4. ábra. Az alpi hossz-szelvény K-i részén (a) és a Nagyalföldön (b) meghatározott intervallumsebességek

Рис. 4. Интервальные скорости, определенные (а) в восточной части альпийской продольного профиля, и (б) в Большой Венгерской Низменности.

Fig. 4. Interval velocities determined a: at the Eastern part of the Alpine longitudinal profile, and b: at the Great Hungarian Plain

Feltételezzük, hogy a Mohorovičić-diszkontinuitás táján valószínűsített sebesség-inverzió egy fizikai-kémiai szempontból instabil zónát jelent. A szeizmikus beérkezések a nagyobb sebességű padokról érkeznek. Lefelé növekszik az intervallumsebesség, amelyből a nagyobb sebességű padok túlsúlyba jutására következtethetünk.



5. ábra. Az alpi és nagyalföldi kéreg-szelvények

Рис. 5. Разрезы земной коры в Альпах и на Большой Низменности.

Fig. 5. The profiles measured in the Alps and in the Great Hungarian Plain

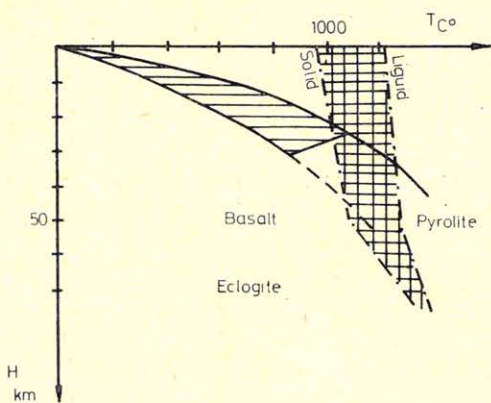
Meissner (1973) a Mohorovičić-diszkontinuitásnál növekvő sebességű átmeneti zónát határozott meg, amely – véleménye szerint – alacsonyabb sebességű közegben levő lencséből, padokból áll. A közeg alacsonyabb sebességéből olyan olvadékokra következtetett, melyben kristályosodó gócoakat, vagy intruziókat, vagy levált köpenydarabokat jelenthetnek a visszaverő lencsék. Elképzelhetőnek tartjuk, hogy a lencsés kifejlődés csak látszat, és a mérési módszerek tökéletesedésével esetleg a szintek követhetősége is javulni fog.

A Mohorovičić-diszkontinuitás mélységében a kőzetek részleges olvadását valószínűsítik a Pannon medence geotermikus viszonyai: a nagy, $-1,4$ HFU-hőáram a köpenyben, a nagy geotermikus grádiens (Stegena 1974) és a nagy, $800 - 1100$ °C-ra (Čermák és társai 1976) becsülhető hőmérséklet a Mohorovičić-diszkontinuitás táján (6. ábra).

Szükségesnek érezzük annak ismételt kiemelését, hogy a Bakony alatt nemcsak a kéreg, hanem az átmeneti zóna is kivastagodik. A hegység topográfiája, a kéreg és a Mohorovičić-diszkontinuitás zónájának a kivastagodása szoros összefüggést mutatnak.

Véleményünk szerint eredményeink új adatokat adnak Stegena és társainak (1975) a Kárpát medence kialakulásával kapcsolatos vizsgálataihoz is. Stegena feltételezi, hogy a Pannon medence alá behatoló litoszféralemezből keletkező köpenydiapir a kéreg alját erodálta és az elvékonyodott kéreg izosztatikus süllyedése révén alakult ki a Pannon medence.

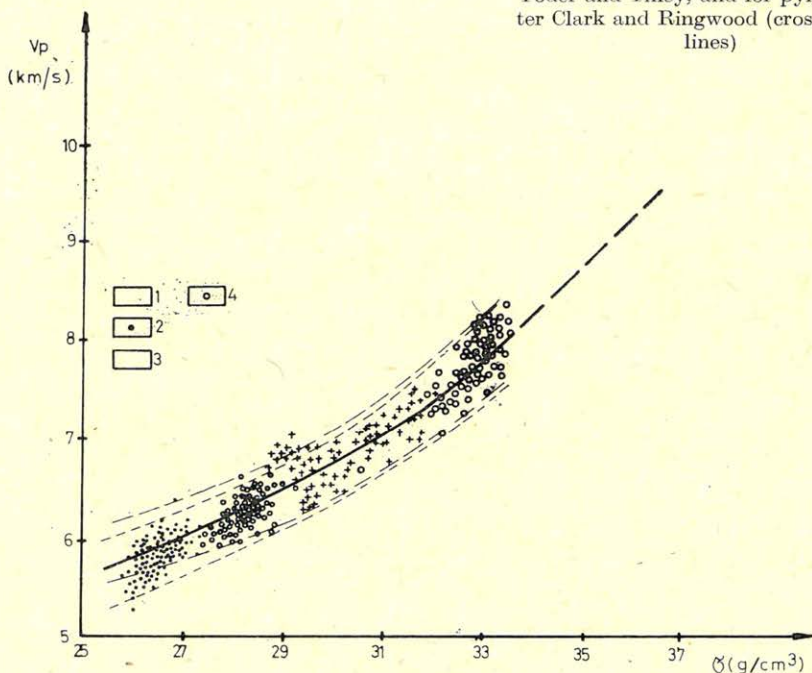
Feltételezésünk szerint a Dunántúli Középhegység mezozoós kialakulásával (Wein 1972) közel egyidős az alatta megállapított vastagabb kéreg és az ezzel valószínűleg összefüggő vastagabb Mohorovičić-diszkontinuitás-zóna is. Ebben



Geo 77/19-6

6. ábra. A Pannon-medence alatti kéreg hőmérsékleteloszlása Čermák, Pečová és Praus szerint (vízszintes vonalkázás), és az olvadási tartomány bazaltja és eklogitja Yoder és Tilley, pyrolitja Clark és Ringwood szerint (kereszt vonalkázás)

Рис. 6. Распределение температуры в коре под Паннонским бассейном по Чермаку, Печове и Праусу (горизонтальной штриховкой), и диапазон плавления для базальта и эклогита по Йодеру и Тилли, для пиролита по Клэрку и Рингвуду (поперечной штриховкой).



Geo 77/19-7

7. ábra. Sebesség- és sűrűség-értékek összefüggése kristályos kőzetekben (Dortman és Magid nyomán) 1 – savanyú; 2 – intermedier; 3 – bázisos; 4 – ultrabázisos

Рис. 7. Связь между значениями скорости и плотности в кристаллических породах (по Дортману и Магиду) 1 – кислые, 2 – средние, 3 – основные, 4 – ультраосновные породы

Fig. 7. Relationship between velocities and densities in crystalline rocks, after Dortman and Magid (1 – acid, 2 – intermediate, 3 – basic, 4 – ultrabasic rocks)

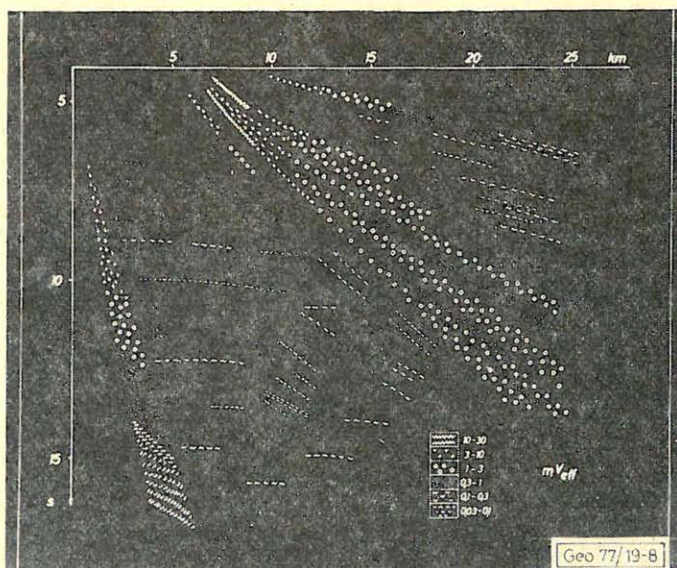
az esetben viszont a miocén korúnak becsült szubkrusztális eróziának elsősorban a kérdéses zónát kellett volna erodálnia. Nem látjuk indokolhatónak, hogy ez a lepusztulás a Kis-Alföld és a Nagy-Alföld alatt úgy történhetett, hogy a Dunántúli Középhegység részben érintetlen maradt.

A felső köpeny legfelső részén a szeizmikus és a szeizmológiai megfigyelésekből is nagy, 9 km/s longitudinális sebességű padra következtethetünk. Feltételezhető, hogy a Pannon-medencében a litoszféra jelentős szilárdságú és ez a tény alapvetően hozzájárult a medence és a Kárpátok sajátos kialakulásához (Posgay 1977).

A szeizmikus, szeizmológiai és magnetotellurikus adatok egybevetéséből az asztenoszféra kis, kb. 60 km-es mélységére következtethetünk (4.b. ábra; Bisztricsány 1974; Ádám 1970). Ez a tény szoros összefüggésben van a Pannon medencében megfigyelt kis kéreg-vastagsággal és az anomáliás geotermikus viszonyokkal.

A Pannon-medence gravitációs viszonyait vizsgálva feltételezhető, hogy az asztenoszféra kiemelt helyzetét itt is figyelembe kell venni. A fiatal üledékek hatását korrigálva Renner és Stegena (1966) + 35 mgal Bouguer-anomália-átlagot határoztak meg. A Pannon-medence vékony kérgé ezzel szemben, Stegena (1967) számításai szerint, 130–200 mgal anomáliát kellene, hogy okozzon. Az egy évtizede közölt eredményekből arra következtetett, hogy a köpeny 20–30 km vastag felső része 0,1 egs-el kisebb sűrűségű az átlagosnál.

A sebesség- és sűrűségértékek között korrelációt feltételezve (7. ábra), és összehasonlítva a Pannon-medencében meghatározott sebességértékeket Európa és Ázsia más helyein meghatározott felsőköpeny-sebességgel (Alekszejev és tár-



8. ábra. A szeizmométerek kimenetére számított amplitúdók vázlata

Рис. 8. Схема амплитуд, рассчитанных для выхода сейсмоприемников.

Fig. 8. Amplitude values computed to geophone output

sai 1973; Müller 1972), valószínűbbnek látszik, hogy a köpeny felső 30 km-ében a sűrűség is nagyobb az átlagosnál.

Az LVL átlagos mélységét 80–85 km-nek feltételezve a Pannon medence tágabb környezetében (Bisztricsány 1972), továbbá a felsőköpeny és az LVL között $0,15 \text{ g/cm}^3$ sűrűségeltérést felvéve) a mért sebességekből következtetve), közelítőleg 130–170 mgal anomáliát kapunk. Ezt az értéket kiegészítve az említett redukált Bouguer-anomáliaértékekkel közelítő magyarázat adódik a Mohorovičić-diszkontinuitás kiemelkedése folytán keletkező gravitációs-anomália kompenzálásáról.

A fentiekből arra következtethetünk, hogy a gravitációs anomáliakép értelmezésénél a Mohorovičić-diszkontinuitásnál nagyobb mélységeket is figyelembe kell venni. A felső köpenyre is kiterjedő vizsgálatok az izosztatikus kiegyenlítődéshoz, az izosztatikus anomáliák számításához is új adatokat adhatnak.

1976-ban kezdtük meg egy többszörös fedésű reflexiós szelvény mérését a földkéreg és a felsőköpeny további vizsgálatára. A mérések megtervezéséhez megvizsgáltuk a Karcag környéki reflexiós közös mélységpontos mélyszondázásnál megfigyelt hullámok amplitudóját. (A vizsgált méréseknél a rezgéseltést fűrt lyukakból, 200–400 kg robbanóanyaggal, az észlelést NC–2 típusú, 2,6 Hz önfrekvenciájú és 0,4 V/cel érzékenységű, lengyel gyártmányú szeizmométerrel végeztük. A 8. ábra a szeizmométer kimenetére számított feszültségeket mutatja az észlelési távolság és a beérkezési idő függvényében. A vázolt tartományban a legnagyobb amplitudók $30 \text{ mV}_{\text{eff}}$ a legkisebb $30 \mu\text{V}_{\text{eff}}$ körül voltak. A hullámkép legerősebb, legjellegzetesebb beérkezései a fiatal üledékekben görbült sugárúttal a felszínre visszaérkező, ott visszaverődő hullámok. Világosan megkülönböztethetők az első beérkezések és a felszíni zavarhullám is. Az egyedi felvételeken a reflexiók közepes és kis amplitudókkal jelentkeznek (Posgay, Petrovics 1976).

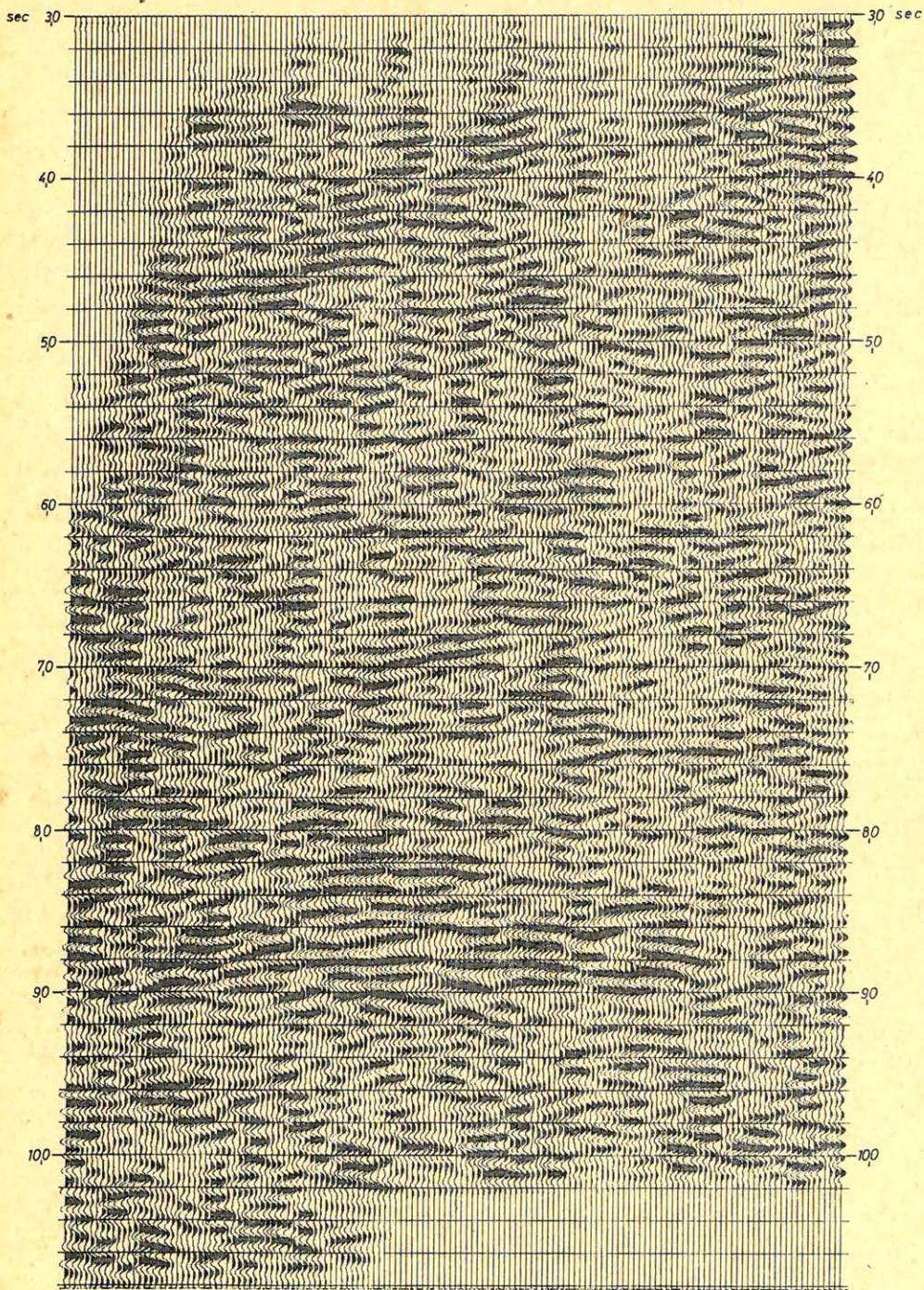
Az amplitudó vizsgálata alapján a reflexiós szelvény méréséhez az észlelési távolságot 6–10 km-nek választottuk. Az üledékes összlet hullámai itt zavarják legkevésbé a kéregből és a felsőköpenyből érkező reflexiókat. A kb. 20 km hosszúra tervezett, Debrecentől DK-re eső, közel É–D irányú kísérleti szelvény első felét 1976-ban mértük. A második rész mérése folyamatban van. Az 1976. évi szelvény-szakasz feldolgozása még nem fejeződött be, ezért csak a kb. 11 sec-ig végzett elsődleges feldolgozásból ismertetünk egy eredményt (9. ábra). A számítógépes feldolgozás során mért stacking-szelvényen 5–12 Hz-es sáv és 9 csatornás kétdimenziós szűrést használtunk. A szelvényen elsősorban a 8,2–9 sec tartományban jelentkező Mohorovičić-diszkontinuitás-zóna emelkedik ki. A Mohorovičić-diszkontinuitás zónáján kívül 6,1–6,2 sec-nál jelentkezett a leg-hosszabban követhető horizont.

A szelvény további vizsgálata és a nagyobb időtartományú rész feldolgozása még folyik. Várható, hogy az eredmények mind a szintek horizontális követhetőségéhez, mind a földkéreg és felsőköpeny szerkezetéhez továbbiértékes adatokat adnak.

9. ábra. 12-szeres fedésű szeizmikus-reflexiós időszelvény kétdimenziós szűrés után

Рис. 9. Временный разрез по данным МОВ с 12-кратным перекрытием после двухмерной фильтрации.

Fig. 9. 12-fold reflection seismic section after two-dimensional filtering



Geo 77/19-9

- Ádám, A. 1970: A földi elektromágneses tér szerepe a Föld belső szerkezetének kutatásában. *MTA X. Oszt. Közl.* 4, 385–417 old.
- Alekseev, A. S. et. al. 1973: Seismic studies of low-velocity layers of the crust and upper mantle on the territory of the USSR *Tectonophysics*. 20, pp. 47–56.
- Bisztricsányi, E. 1972: The determination of LVL depth from data of closely spaced seismological stations. *Geofizikai Közlemények* 21, 81–83 old.
- Bisztricsányi, E. 1974: The depth of the LVL in Europe and in some adjacent regions. *Geofizikai Közlemények* 22, 61–68 old.
- Čsermák, V. – Pečová, J. – Praus, O. 1976: Heat flow, crustal temperatures and geoelectric cross-section in Czechoslovakia. In: Ádám, A.: *Geoelectric and Geothermal Studies*. Budapest pp. 538–542.
- Clark, S. P. – Ringwood, A. E. 1964: Density distribution and constitution of the mantle. *Rev. Geophys.* 2, pp 35–88.
- Dortman, N. B. – Magid, M. S. 1968: Novüe dannüe o szkorosztyi uprugih voln v krisztallegeszkih porodah i jijó vazivsimosztyi ot vlaznyosztyi. *Szovetszkaja Geologija* 5, pp 123–129.
- Fuchs, K. – Schultz, K. 1976: Tunneling of low-frequency waves through the subcrustal lithosphere. *Journal of Geophysics* 42, 175–190 old.
- Meissner, R. 1973: The „Moho” as a transition zone. *Geophysical Surveys*. 1, 195–216 old.
- Meissner, R. – Vetter, U. 1976: Investigations on isostatic balance in different parts of Eurasia based on seismic and gravity data. *Explosion Seismology in Central Europe*, 396–400 old.
- Müller, H. 1976: A lithospheric seismic profile along the axis of the Alps, 1975-First results. *Alpine Explosion Seismology Group*. Kézirat.
- Mituch, E. – Posgay, K. 1972: Hungary; in “The Crustal Structure of Central and Southeastern Europe Based on the Results of Explosion Seismology” szerk. Szénás Gy. *Geofizikai Közlemények* 23, 118–130 old.
- Müller, St. 1972: Der Aufbau des oberen Erdmantels aus der Analyse seismischer Raum- und Oberflächenwellen. *Das Unternehmen Erdmantel*. Wiesbaden, 139–142 old.
- Posgay, K. 1975: Mit Reflexionsmessungen bestimmte Horizonte und Geschwindigkeitsverteilung in der Erdkruste und im Erdmantel. *Geofizikai Közlemények* 23, 13–18 old.
- Posgay, M. – Petrovics, I. 1976: Fine structure of the crust. *Kézirat. Az Európai Szeizmológiai Egyesület krakkói szimpóziumán tartott előadás.*
- Posgay, K. 1977: The Pannonian Basin. Kézirat. 1977. III. 29-én, a kievi ankéton tartott előadás
- Renner, J. – Stegena, L. 1966: Magyarország mélyszerkezetének gravitációs vizsgálata. *Geofizikai Közlemények* 19, No 1–4, 103–114 old.
- Stegena, L. 1967: A Magyar medence kialakulása. *Földtani Közlöny* 97, No 3, 278–285 old.
- Stegena, L. 1974: Geothermics and tectogenesis in the Pannonian Basin. *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, Tomus 18, (3–4) pp. 257–266.
- Stegena, L. – Géczy, B. – Horváth, F. 1975: A Pannon medence késő-kainozoós fejlődése. *Földtani Közlöny* 105, 101–123 old.
- Wein, Gy. 1972: Magyarország neogén előtti szerkezetföldtani fejlődésének összefoglalása. *Földrajzi Közlemények* 4. sz., 302–328 old.
- Woullard, G. P. 1969: Regional variations in gravity; In: *The Earth Crust and Upper Mantle* (P. J. Hart, ed.), Geophys. Monogr. 12. Am. Geophys. Un. Washington, D. C. 320–341 old.
- Woullard, G. P. 1969: A study of the problems associated with the prediction of gravity in Europe, 45. p. *Hawaii Inst. of Geophys.* 69–72.
- Yoder, H. S. – Tilley, C. 1962: Origin of basalt magmas, and experimental study of natural synthetic rock systems. *J. Petrol.* 3. pp. 342–532.