

Э. МИТУХ, К. ПОШГАЙ, Л. ШЕДЫ

## PRIMENENIE ZAKRITICHESKIH OTRAZHENIY PRI IZUCHENII ZEMNOY KORY

V процессе измерений для изучения земной коры Геофизическим Институтом были сделаны попытки получить отражения, приходящие под широким углом около критической точки с поверхности Мохоровичича, и определить с их помощью мощность земной коры. Опыт оказался успешным и полученные результаты совпадают с результатами, полученными обычным методом преломленных волн. На основании приобретенного при этом опыта была введена методика исследования земной коры, основывающаяся главным образом на регистрации отражений с большими углами и на их корреляции. В условиях Венгрии и густонаселенных районов этот метод кажется наиболее экономичным и легко осуществимым.

E. MITUCH—K. POSGAY—L. SÉDY

## THE USE OF WIDE ANGLE REFLECTIONS FOR THE INVESTIGATION OF THE EARTH'S CRUST

In the course of the measurements for the investigation of the earth's crust the Geophysical Institut attempted to observe wide angle reflections around the critical point arriving from the Mohorovičić discontinuity and to determine the thickness of the crust by their help. The attempt was successful and the results obtained corresponded to the data furnished by the traditional refraction method. On the basis of the experiences, obtained here a method was introduced for the investigation of the crust based mainly on the registration of wide angle reflections and their correlation. In Hungary and in areas with a dense population this method seems to be the most economical and the easiest to be realized.

## SZÉLESSZÖGŰ REFLEXIÓK ALKALMAZÁSA A KÉREGKUTATÁSBAN

MITUCH ERZSÉBET—POSGAY KÁROLY—SÉDY LORÁND

### 1. Bevezetés

A földkéreg felépítésének részletes megismerését a közeli sekélyrengések, továbbá a reflexiós és refrakciós vizsgálatok eredményei tették lehetővé. Ezek segítségével alakult ki szemléletünk a mélyebb kéreg szerkezetéről, felépítéséről és kialakulásának mechanizmusáról.

A kéreg felépítésében lényeges különbség az óceánok és a kontinensek területén mutatkozik, de bizonyos különbségre következtethetünk az egyes kontinensek, sőt a kontinenseken belül levő nagyszerkezeti egységek között is. A kéreg tehát nem csupán keletkezési körülményeinek nyomait mutatja, hanem későbbi deformációk hatását is.

A Kárpát-medencében végzett kéregkutató mérésektől azt várjuk, hogy adatokat kapjunk az úgynevezett közbülső tömeg problémájához, a medencealjzat nagyszerkezeti egységeinek kialakulásához, a kéreg és az izosztikus anomáliák kapcsolatához.

E kérdések tisztázásához még számos mérés szükséges, amelyek elvégzése a különböző országok kutatóinak közös feladata: olyan mérési eljárásokat kell kidolgozni, amelyek a területi adottságoknak legmegfelelőbbek és olyan műszereket kell készíteni, amelyek érzékenységgükkel biztossá teszik az igen nagy-távolságú észleléseket is (100–200 km).

A M. Áll. Eötvös Loránd Geofizikai Intézet Szeizmikus Osztálya ezeket a szempontokat tartotta szem előtt, amikor saját készítésű új, kislekfrekvenciás átvitelű tranzisztoros műszerrel 1962–1963. évi kísérletei során olyan mérési eljárást próbált ki, amely — úgy hisszük — hazai viszonyok mellett legalkalmasabb a kéregkutatásra. Mielőtt azonban ennek az ismertetésére rátérnénk, röviden összefoglaljuk az eddigi kéregkutató méréseket, és rámutatunk az új mérési eljárás bevezetését indokló szempontokra.

## 2. Az eddigi mérési eljárások és eredmények rövid összefoglalása

Hazánkban az első kéregkutató kísérleti mérések 1954-ben reflexiós módszerrel kezdődtek és egészen 1958-ig ezzel az eljárással folytatódtak. Az ország több helyén észleltek ez alatt az idő alatt mélyreflexiókat, melyek közül a 8–9,5 sec körül jelentkezőket a Mohorovičić határfelületről származóknak fogadtak el. Ezeket kívül egyes felvételeken a Conrad határfelülettel azonosítható beérkezéseket is sikerült regisztrálni.

A mélyreflexiók észlelési helyét, a beérkezési időket és a számított mélységeket az I. táblázat tünteti fel (Gálfi—Stegena, 1960).

I. táblázat

A mérés		Beérkezési idő (s)		Mélység felszíntől (km)	
száma	helye	Conrad refl.	Moho refl.	Conrad szint	Moho szint
1	Sopron	6,82	7,83	16,3	19,7
2	Debrecen	7,45	8,62	19,2	23,2
3	Karád	7,78	—	20,8	25,2*
4	Pécs	7,57	9,25	21,5	27,2
5	Bonyhád	7,52	9,62	19,1	25,9
6	Putnok	7,45	8,55	18,8	22,6
7	Szerencs	7,25	8,76	18,2	23,2
8	Szolnok	8,28	9,54	20,2	24,5
9	Tótkomlós	7,30**	8,30**	18,8	22,3

\* Extrapolált érték

\*\* Az adatokat a Köolajipari Tröszt Szeizmikus Üzeme bocsátotta rendelkezésünkre

Ezek a reflexiók mérések bizonyos tájékoztatást adtak ugyan a magyarországi kéreg vastagságára vonatkozólag, de mivel az egymástól nagy távolságban kapott adatokat csak a számított mélységek alapján lehetett összehasonlítani, azért ezeknek az eredményeknek biztossága nem volt megnyugtató.

Ezért szükségszerű volt a kéregkutatást refrakciós módszerrel folytatni, és ennek segítségével sebességadatok megállapítására is lehetőséget nyerni.

1958-ban Hajdúszoboszló – Törtel között egy 120 km hosszú vonal mentén végezték az első refrakciós méréseket. A Mohorovičić határfelületről azonban a 800 kg-os töltetű robbantás is csak gyenge beérkezéseket eredményezett. 1960–1961-ben ugyanezen a területen folytatódottak a kísérletek. A kapott felvételek nem voltak elég jók és mindössze néhány adatot lehetett az eddigiék pótlására felhasználni.

Az eredménytelenség okát egyrészt abban láttuk, hogy műszereink e célra nem alkalmasak, másrészt pedig, hogy a szokásos mérési eljárás mellett az eddig alkalmazott töltetek nem elegendők, viszont a 800–1000 kg-os vagy ezen felüli robbantások a hazai sűrű települési viszonyok mellett komoly nehézséget okoznak.

A megoldás keresésének útja tehát kettős volt:

1. olyan műszert konstruálni, amely kisfrekvenciás átvitelű és így alkalmas a nagy távolságban rendszerint kis frekvenciával beérkező jelek regisztrálására.

2. olyan mérési eljárást keresni, amelyben kisebb észlelési távolságok is elégségesek.

Az első feladatot megoldotta a Geofizikai Intézet Szeizmikus Osztályán épített hordozható, a fenti kívánalmaknak megfelelő tranzisztoros berendezés, amely 1962-ben készült el 24 csatornás kivitelben; a másodikat pedig a Mohorovičić és esetleg a Conrad felületről a későbbi beérkezések között jelentkező szélesszögű – főleg a kritikus pont körüli – reflexiók felhasználása. Kritikus pontnak azt a pontot nevezzük, amelyben a totális reflexió határszögével reflektált hullám a felszínre ér. Ez egyúttal az első refraktált hullám beérkezési helye is. A viszonylag kis távolság miatt a robbantópont és a felvevőhely közötti rádióösszeköttetés is egyszerűbb eszközökkel oldható meg.

### 3. A kritikus pont közelítő meghatározása és a szélesszögű reflexiók észlelésén alapuló mérési eljárás ismertetése

A Mohorovičić szintről származó kritikus ponton túli szélesszögű reflexiók kijelölésének lehetőségét elsőnek Tuve és Tatel mondta ki 1947-ben, de elgondolásuk nem talált támogatásra a szeizmológusok körében.

A Szovjetunióban a Mohorovičić szintről származó kritikus ponton túli reflexiók regisztrálásának lehetőségét I. D. Nyerszeszov ismertette 1956-ban, majd 1958-ban A. Sz. Alexejev végzett számításokat a reflexiók dinamikai sajátosságaira vonatkozóan. 1961-ben I. P. Koszminszkaja és R. M. Kraksina ismertették a Mohorovičić szintről származó, kritikus ponton túli reflexiók legfontosabb kinematikai és dinamikai tulajdonságait. (Koszminszkaja – Kraksina, 1961.)

1962-ben az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet Szeizmikus Osztályán is tervbe vettük, hogy a kéregkutató mérések során megkíséreljük a Mohorovičić szintről származó kritikus pont körüli reflexiókat regisztrálni, és a kritikus pont helyét közelítően meghatározni. A rendelkezésre álló rövid idő miatt nem tervezhettünk folyamatos szelvényezést, hanem csak a robbantóponttól számított kb. 50–100 km távolságon belül 5 km-es állomásközpontokra korlátoztuk az észleléseket. A Hajdúszoboszló–Szolnok irányában húzódó vonal ily módon való felmérése után, annak a helynek a környékén, ahol a nagy energiájú későbbi beérkezések már megjelentek a felvételeken, 2,5 km-es közzel sűrítettük az észlelési állomásokat. Az eredmény igen biztató volt. Sikeredt ugyanis ezzel az eljárással:

1. az energianövekedés valószínű helyét megállapítani, és ezzel a kritikus pontnak a robbantóponttól való távolságát közelítően meghatározni (52–54 km),

2. felismerni és követni a kritikus ponton túli megnövekedett energiájú reflexiókat,

3. kijelölni egy bizonyos szakaszon a refraktált és reflektált beérkezések szétválását.

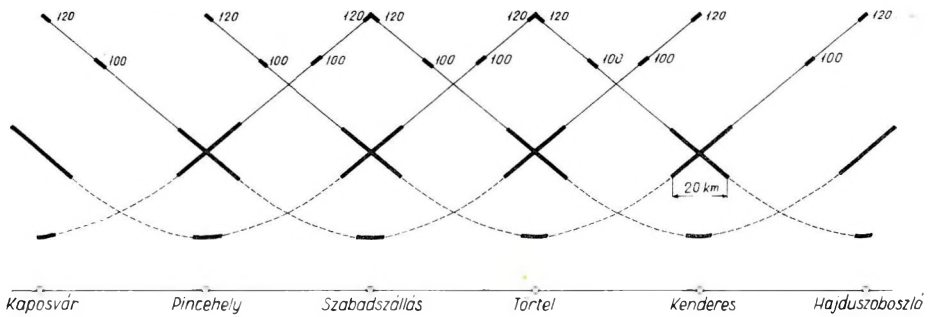
A refrakciós észlelésekre szánt robbantásokat a hajdúszoboszlói robbantópont közelében egy reflexiós műszer is regisztrálta szintén nem folyamatos terítésben. Határozott fázistengelyű, a zajból jól kiemelkedő reflexiókat kaptunk a Mohorovičić és néhány terítésben feltehetően a Conrad határfelületről is. A reflexiós adatokból számított mélységek közel azonos értéket adtak a refrakciós beérkezésekből számítottakkal. A Mohorovičić felület mélységére Hajdúszoboszlónál 23,9 km-t, a Conrad határfelületére pedig átlagban 18,5 km-t kaptunk.

Az 1962. évi sikeres mérés adta meg a lehetőséget olyan mérési rendszer megalkotására, amelyben, ha a robbantópont távolságokat 5–10 km-rel nagyobbra választjuk a feltételezett kritikus pont távolságnál, a kölcsönös pontokban a kritikus ponton túli reflexiók és az esetleg már különvált refraktált beérkezések korrelálhatók. Ebben az észlelési rendszerben 22 km hosszú folyamatosan beterített szakaszokat terveztünk a robbantópontoktól kb. 50–72 km távolságban. Ezeket kívül tervbe vettünk észleléseket egy-egy terítésben kb. 100 és 120 km távolságban is. Mivel ezekben a távoli terítésekben – hazai viszonyok között – már a Mohorovičić határfelületről jövő refraktált beérkezések jelentkeznek elsőként, azért ezeknek a segítségével olyan sebesség-ág-szakaszok határozhatók meg, melyek a Mohorovičić határfelülethez tartoznak, és korrelálhatók a kölcsönös pontokban. Továbbá, ha ezeket az ágakat összekötjük a kritikus pont környéki Mohorovičić szintről kapott refrakciós beérkezésekkel, akkor – ha a beérkezések valóban a Mohorovičić szintről származnak – olyan sebesség-ágakat kell nyernünk, amelyekből az erre a határfelületre jellemző 7,9–8,2 km/sec valódi sebességérték határozható meg.

A szélesszögű reflexiókból számítható mélységadatok ellenőrzésére tervbe vettünk lyukközeli reflexiók folyamatos észlelését is 10–12 terítésben.

Az ilyen elgondolások alapján tervezett, kereken 300 km hosszú – Hajdúszoboszló–Kaposvár irányában fektetett – vonalunkat az 1963. évi kísérleti mérésünk során mértük végig. E vonal mentén 6 robbantópontot

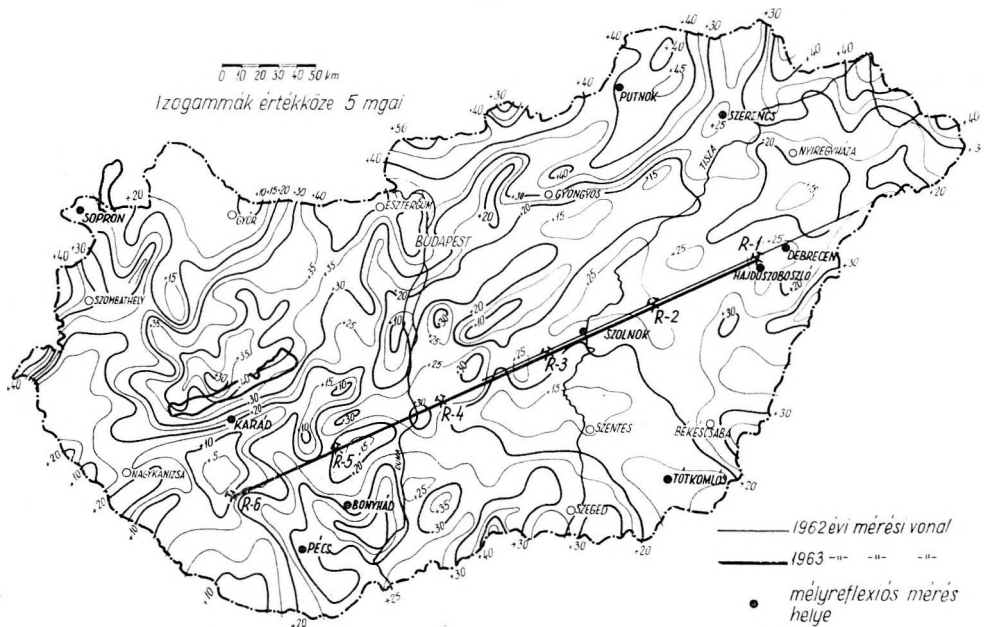




1. ábra. Az 1963. évi kéregkutató kísérleti szeizmikus vonal lövési vázlata

Fig. 1. Схема взрывных пунктов по экспериментальной сейсмической линии для изучения земной коры в 1963 г.

Fig. 1. The scheme of shooting of the experimental seismic profile for the investigation of the earth's crust in 1963.

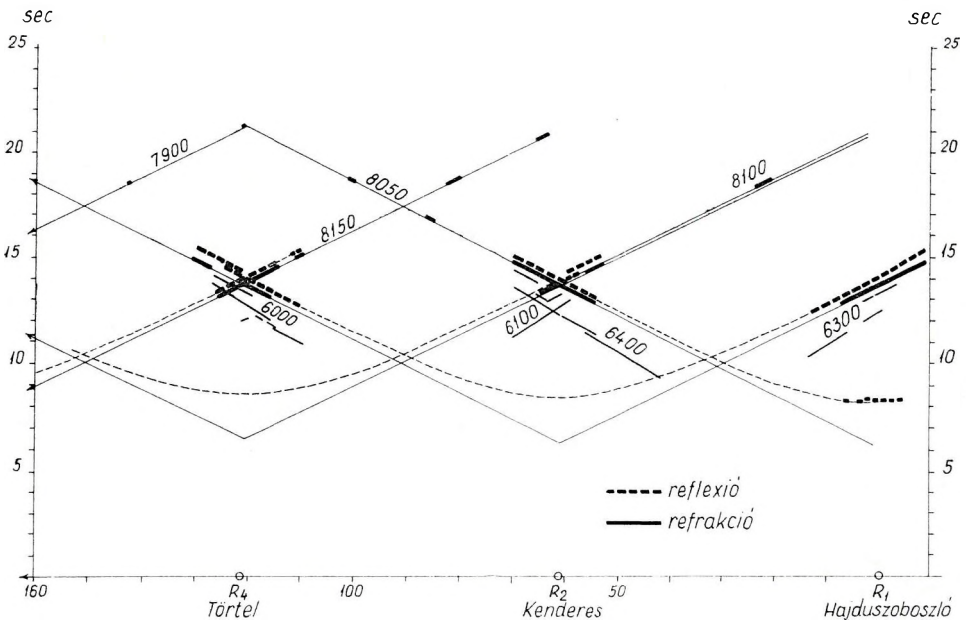


2. ábra. Magyarország izosztaticus anomália térképe az 1962. és 1963. évi kéregkutató kísérleti szeizmikus vonalakkal

Fig. 2. Карт изостатических аномалий Венгрии с экспериментальными сейсмическими линиями для изучения земной коры, созданными в 1962 и 1963 гг.

2. Map of isostatic anomalies in Hungary showing the location of the experimental seismic profiles for the investigation of the crust, laid in 1962. and 1963.

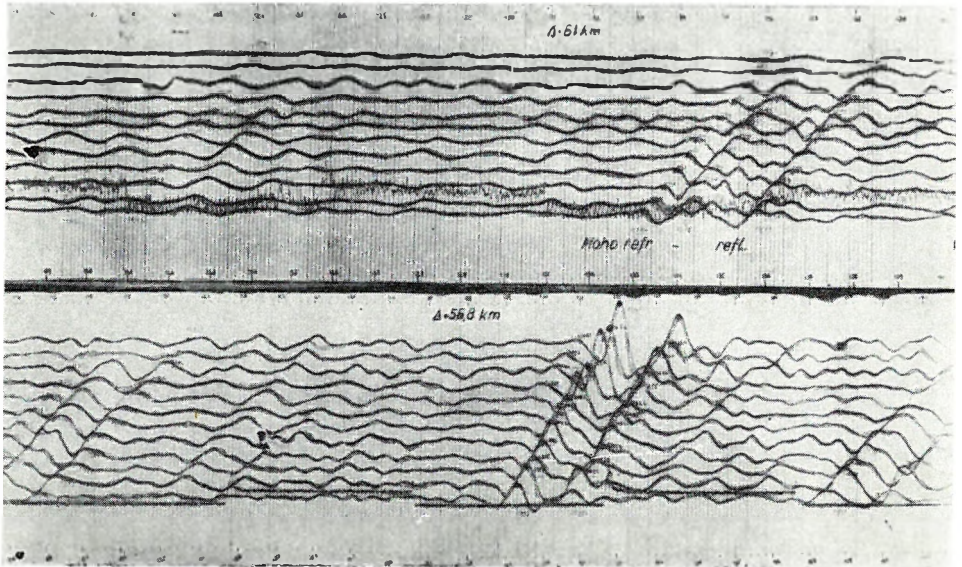
helyeztünk el egymástól kb. 60–60 km távolságban. Minden robbantópontnál a kritikus pont környékét 22 km-es folyamatos terítéssel ág-ellenágban észleltük végig, kivéve a kenderesi robbantópont környékét, amelyet 35,2 km hosszú szakaszon lőttünk meg. Ezeket a szakaszokat, valamint a távoli ágakat képező 100, illetve 120 km-re levő terítéseket egy-egy, az előbbieken már említett kisfrekvenciás átvitelű tranzisztoros berendezéssel mértük. A geofonok közti távolság 200 m volt. A lyukközeli reflexiók felvételeket egy GMG típusú hordozható műszerrel készítettük 40 m-es geofonközzel. Egy-egy robbantáshoz általában 100 kg robbanóanyagot használtunk, a távoli ágak meglövéséhez pedig 400 kg-ot.



3. ábra. Az 1963. évi kéregkutató kísérleti szeizmikus vonal egy részének menetidő-diagramja  
 Фиг. 3. Годограф на участке экспериментальной сейсмической линии для изучения земной коры, созданной в 1963 г.

Fig. 3. Travel-time diagram on a part of the experimental seismic profile for the investigation of the crust, measured in 1963.

Adataink egy részét vázlatosan a 3. sz. ábrán látható menetidő-diagram tünteti fel. Eredményeink jóknak mondhatók, mert bizonyos távolságon túl sikerült mindenütt észlelnünk azokat a nagy energiával jelentkező későbbi beérkezéseket, amelyek a Mohorovičić szintről származó szélesszögű reflexiókkal azonosíthatók. Egyes helyeken a reflektált és refraktált beérkezések szétválását is nyomon tudtuk követni. A 4. sz. ábrán bemutatott két szeizmogramon ez a jelenség jól látszik. A felvételek nem egymás melletti terítésben készültek; az alsó szeizmogram első geofonja a robbantóponttól 56.8 km-re,



4. ábra. Kenderes környékén készült felvételek a Mohorovičić határfelületről származó kritikus ponton túli refraktált és reflektált beérkezésekkel

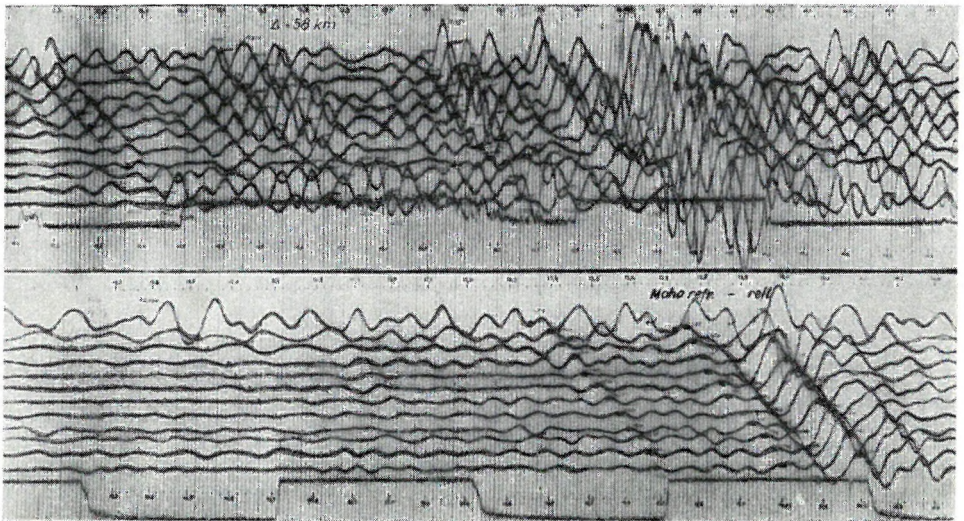
Фиг. 4. Записи из района Кендереш с закритическими отражениями и преломленными волнами от поверхности Мохоровичича

Fig. 4. Records from the Kenderes area with reflection and refraction arrivals beyond the critical point from the Mohorovičić discontinuity

a felsőé 61 km-re volt. A távolság növekedésével a fázisengelyek szétválása és a beérkező energia csökkenése jól megfigyelhető. Az 5. sz. ábrán látható két szeizmogram más helyen készült. Itt a terítések szomszédosak. Ezeken a felvételeken is a Mohorovičić határfelületről származó kritikus ponton túli beérkezések jelentkeznek maximális amplitúdókkal. Azt az állításunkat, hogy ezek a beérkezések valóban a Mohorovičić határfelületről származnak, megerősítik azok a 100 és 120 km távolságban a menetidő-görbén feltüntetett refrakciós észlelési adatok is, amelyek az első beérkezésben jelentkező hullámok idő és látszólagos sebesség értékeit ábrázolják. Ha ugyanis ezeket összekapcsoljuk a kritikus pont körüli refrakciós beérkezésekkel, akkor ág-ellenágból 8100 m/sec körüli valódi sebesség adódik, amely – az előzőek értelmében – a Mohorovičić határfelület mentén terjedő rengéshullámok határsebességének felel meg.

Az említetteken kívül a 22 km-es szakaszon folyamatosan meglőtt terítésekben több helyen találunk elsőként jelentkező 6000–6400 m/sec-os sebességet adó beérkezéseket. Ezek értelmezése egyéb – az alaphegységre vonatkozó – sebességadatok ismerete hiányában csak feltételeesen lehetséges. Gondolhatunk arra, hogy a kapott beérkezések esetleg arról a határfelületről származnak, amely a kéregszerkezetre vonatkozó külföldi adatokban mint „gránit-felszín” szerepel.





5. ábra. Hajdúszoboszló környékén készült felvételek a Mohorovičić határfelületről származó kritikus ponton túli refraktált és reflektált beérkezésekkel

Фиг. 5. Записи из района Хайдусобосло с закритическими отраженными и преломленными волнами от поверхности Мохоровичича

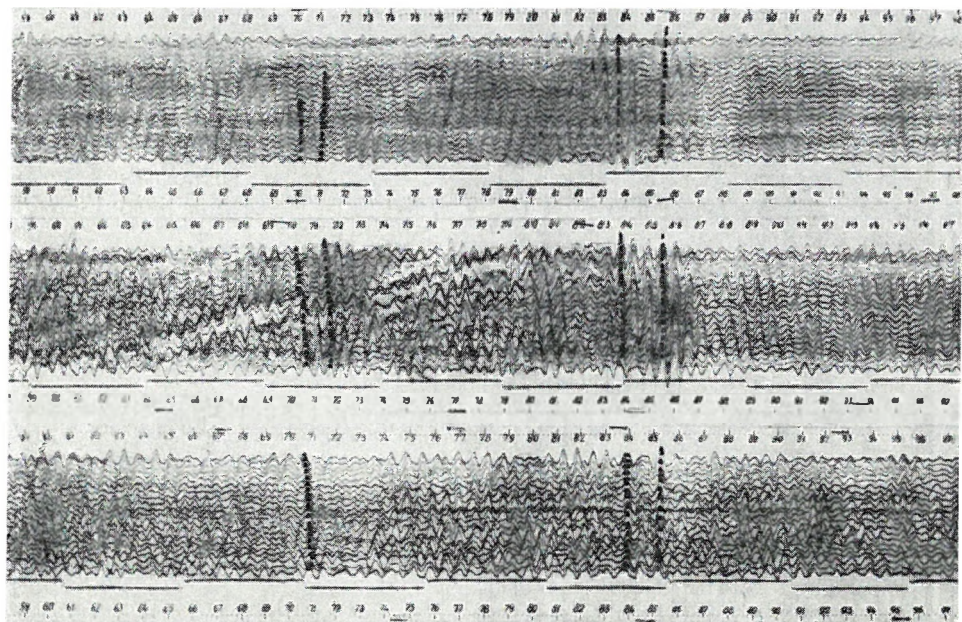
Fig. 5. Records from the Hajdúszoboszló area with reflection and refraction arrivals beyond the critical point from the Mohorovičić discontinuity

A lyukközeli mélyreflexiós felvételek közül említésre méltók a hajdúszoboszlói robbantópont közelében készültek. A 6. sz. ábra ezek közül mutat be hármat, melyek egymástól kb. 2 km távolságban levő terítésekben rögzítették a beérkezéseket. A két szélső felvétel csoportgeofonnal, a középső normál terítéssel készült. A 8,4–8,6 sec körül látható beérkezés a „Moho”-reflexió, a 7,0–7,1 sec körül jelentkezőről pedig feltételezzük, hogy a „Conrad”-reflexió.

A többi robbantópontnál sajnos nem sikerült hasonló minőségű mélyreflexiókat kapni.

A mérési eredményekről bővebben nem szólhatunk, mert a kiértékelés jelenleg még folyamatban van. Az eddigiekből azonban már látszik, hogy az idei adatok igazolják az előző évi kéregvastagságra vonatkozó számításokat, továbbá, hogy ez a vastagság valamennyire változik a mérési vonal mentén. Megállapítható, hogy a mérési szisztéma jó, és a kettős korreláció feltétlen biztonságot jelent a refrakciós és reflexiós menetidőgörbék helyes megszerkesztésében. Nem a mérési eljárást, hanem a kivitelezést kell a jövőben tökéletesítenünk. Ugyancsak meg kell kísérelni csoportgeofonnal eredményt elérni azoknál a robbantópontoknál, ahol normál terítéssel nem sikerül lyukközeli mélyreflexiókat kapni. Ezeknek a Mohorovičić határfelületről származó reflexióknak ismerete azért is előnyös, mert a kritikus pont körüli reflexiós beérkezési időket a lyukközelen kapott értékekkel összekapcsolva, egy-egy





6. ábra. A hajdúszoboszlói robbantópont közelében készült reflexiós felvételek a Mohorovičić és Conrad határfelületekről származó reflexiókkal

Фиг. 6. Записи отраженных волн, зарегистрированные вблизи взрывного пункта в районе Хайдусобосло, с отражениями от поверхностей Конрада и Мохоровичича

Fig. 6. Reflection records, registered in the proximity of the shot-point at Hajdúszoboszló, containing reflections from the Mohorovičić and Conrad discontinuities

kb. 120 km hosszú szakaszra jellemző nagy hiperbolát kapunk, amelyből a Mohorovičić szint feletti rétegösszlet átlagsebessége meghatározható.

Az elmondottakon kívül tervezzük még a harántlövéses szelvényezési eljárás kipróbálását is.

Ezekre a módszertani finomításokra az idei méréseink során nem volt lehetőség.

Röviden megemlítjük, hogy a hazai kéregkutató méréseink eddigi eredményei azt mutatják, hogy a Magyar medence alatti kéreg jóval vékonyabb az átlagosnál. Ezt a tényt a szeizmológiai számítások is alátámasztják, bár ezek a Mohorovičić szint mélységét — az általunk számított kerek 24 km-rel szemben — nagyobb, 33 km mélységben adják meg (Bisztricsány E. — Csomor D., 1957). Ennek magyarázata az, hogy a szeizmológusok a mélységszámításhoz a Kárpát medencén túli állomások adatait is felhasználták, ami indokoltá teszi a mélység növekedését. Számításaink szerint, ha csak a medencebeli adatokat vesszük figyelembe, az ezekből számított mélység a szeizmikusan meghatározott értékkel egyezik.

## 4. Összefoglalás

Az elmondottakat összefoglalva úgy gondoljuk, hogy az ismertetett, és az idei mérésünk során kipróbált mérési eljárás igen alkalmas hazai viszonylatban a kéregkutatásra, mert viszonylag kistöltetű robbantásokkal, azaz viszonylag kis költséggel nyerhetünk a Mohorovičić határfelületről megbízható beérkezéseket. Ennek köszönhető az is, hogy az ismertetett mérési eljárás sűrűn lakott vidéken is a többi szeizmikus méréshez hasonló üzembiztonságú, rutinszerű szelvényezést tesz lehetővé.

## IRODALOM

- A. G. Averjanov, P. Sz. Fejerman, Je. J. Galjperin et al (1961.) Glubinnyje szeizmszeszkoje zondirovanije v perehodnoj zonzje ot aziatszkovo kontinenta k tyihomu okeanu v period MGG (IAN. SzSzSzR, Szer. geof. No. 2.)
- Balkay B. (1960): A magyarországi földkéreg szerkezete (Geofizikai Közlemények IX. köt. 1–2. sz.)
- M. Bath (1961): Die Conrad-Diskontinuität (Freiberger Forschungshefte. C. 101.)
- Bisztricsány E. — Csomor D. (1957): Az 1956. jan. 12-i földrengés mikro szeizmikus adatainak feldolgozása és a Föld kérgének felépítése a Magyar Medencében (Geofizikai Közlemények VI. köt. 1–2. sz.)
- A. Clement és C. Layat (1961): Correlation à distance constante sismique réfraction (Geophysical Prospecting, Vol. IX. No. 2. June)
- A. M. Epinačeva (1957): Reflected waves produced at angles of incidence greater than critical (Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. No. 6.)
- Gálfi J. — Stegena L. (1955): Nagymélységű reflexiók Hajdúszoboszló környékén (Geofizikai Közlemények IV. köt. 2. sz.)
- Gálfi J. — Stegena L. (1957): Szeizmikus reflexiók mérésével meghatározott néhány adat a földkéreg magyarországi részéről (Geofizikai Közlemények VI. köt. 1–2. sz.)
- Gálfi J. — Pálos M. (1960): Refrakciós kéregkutató szelvény a Magyar Medencében (Geofizikai Közlemények VIII. köt. 4. sz.)
- Gálfi J. — Stegena L. (1960): Mélységi reflexiók és a földkéreg szerkezete a Magyar Medencében (Geofizikai Közlemények VIII. köt. 4. sz.)
- H. Gunter Reinhardt (1954): Steinbruchsprerungen zur Erforschung des tieferen Untergrundes Freiberger Forschungshefte. c. 15.
- Kertay Gy. (1957): A magyarországi medencék és a kőolajtelepek szerkezete a kőolajkutatás eredményei alapján (Földtani Közlemények LXXXVII. köt. 4. sz.)
- I. P. Koszmínszkaja, R. M. Kraksina (1961): O zakriticseszkih otrazsenijah ot granyciu Mohorovicicsa (IAN. SzSzSzR, Szer. geof. No. 6.)
- dr. Körössy L. (1957): A Tiszántúl mélyföldtani és ősföldrajzi viszonyai a kőolajkutatás kilátásai szempontjából (Bányászati Lapok 9. sz.)
- L. V. Molotova (1959): O regisztracii glubinnih otrazsenij pri szeizmorazvedke (Trudü Insztituta fiziki Zemli, No. 6.)
- I. A. Rezanov (1961): Szovescsanyie po glubinnomu szeizmszeszkomu zondirovanyiju zemnoj korü (IAN. SzSzSzR, Szer. geol. No. 5.)
- T. C. Richards (1960): Wide Angle Reflections and their Application to Finding Limestone Structures in the Foothills of Western Canada (Geophysics, Vol. XXV., No. 2.)
- T. C. Richards and Walker (1959): Measurement on the thickness of the earth's crust in the Albertan plaine of the Western Canada (Geophysics, Vol. XXIV. No. 2.)
- Sz. M. Sztjiszov (1963): Priroda granyciu Mohorovicicsa (IAN. SzSzSzR, Szer. geof. No. 1.)