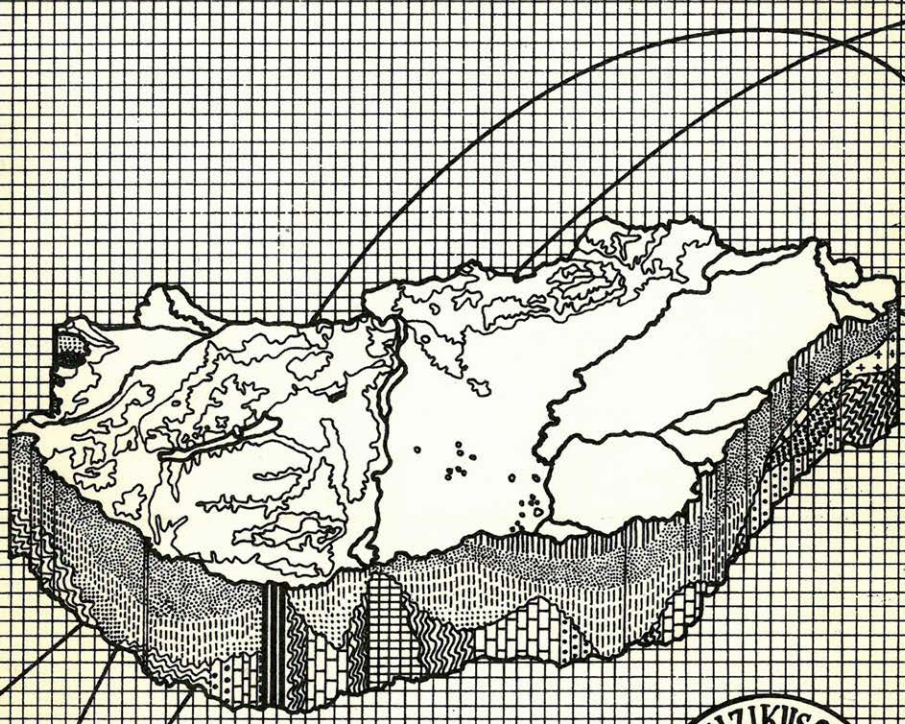


MAGYAR

6

Sz. J.

GEOFIZIKA



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA
BUDAPEST, 1989. XXX. ÉVFOLYAM, 6. SZÁM

MAGYAR GEOFIZIKA

a MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE folyóirata

XXX. évfolyam

6. szám

HU ISSN 0025 — 0120

Főszerkesztő: Zelei András

Szerkesztőbizottság: Deres János, Kilényi Éva, Meskó Attila, Rádler Béla, Verő József

Szerkesztőség címe: 1368 Budapest VI., Anker köz 1. félemelet 17. Postafiók: 240.

TARTALOMJEGYZÉK

Čermák Vladimír—Bodriné Cvetkova Lujza: A kontinentális kéreg radioaktivitásának mélységbeli eloszlása és a Moho-hóáram	201
Kőrös Miklós—Regős Ferenc—Szilágyi Lajos: Újabb eredmények a hortobágyi néma zóna szeizmikus kutatásában	214
Nekrológ	234
Könyvismertetés	235

MAGYAR GEOFIZIKA

A szerkesztésért felelős: Zelei András felelős szerkesztő

A szerkesztőség címe: Budapest VI., Anker köz 1. fem. 17. 1368. Telefon: 12-9754

Kiadja: a Delta Szaklapkiadó és Műszaki Szolgáltató Leányvállalat

Budapest IX., Közraktár u. 4. 1093

Telefon: 117-5200

Felelős kiadó: Budai Ferenc főigazgató

Egri Nyomda, Eger — Felelős vezető: Kopka László

* * *

Terjeszti a Magyar Posta. Előfizethető a hírlapkézbesítő hivataloknál, a Posta Hírlepelőfizetési és Lapellátási Irodáján, 1900 Budapest V., József nádor tér 1., vagy átutalással a 215-96 162 pénzforgalmi jelzőszámra. Egy szám ára: 32,50 Ft. Előfizetés félévre: 97,50 Ft, egy évre: 195 Ft. Külföldön terjeszti a Kultúra Könyv- és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat, 1389 Budapest, Pf. 149. és a Magyar Média 1392 Budapest, Pf. 279. 86-253. Egyesületi tagoknak tagdíj ellenében

Megjelenik évente hatszor.

Index: 26 507

fesztésekkel. A kutatási jogot megszerző következő vállalat a geológiai koncepció gyökeres átalakítása és néhány további meddő fúrás után találta meg a világranglistán is előkelő olajmezőt.

Elutazásom és hazaérkezésem között — úgy érzem — megerősödött bennem a szakmám szeretete és a munkakedvem. Egy tanulmányi úttól ezt megkapni nem kevés — hanem a legtöbb. Sok tapasztalatot adott és önmagában értékesnek, hasznosnak érzem, hogy egy időre egy más kollektívában dolgozhattam. Nagyon hasznos gyakorlatnak tartom az egyetemi dolgozóknál szokásos „sabbatical” (kutatóév) rendszert, ahol 6 évenként egy év kötetlen kutató munkát végeznek egy szabadon megválasztott intézménynél. Illetményüket eközben is az egyetemtől kapják. Bár én az iparban dolgozom és a fizetést sem otthonról kaptam, külföldi munkavállalásomat az előbb vázolt intézményhez hasonlítom. Új technológiák megismerésének a külföldi tanulás mellett ez is egy elfogadott, legális módszere. Nem véletlen, hogy a céhek idejében a mestervizsga letétele után illet a vándorbotot kézbe venni és körülnézni a nagyvilágban. Családostól persze mindez kissé komplikáltnak tűnt, különösen az elején...

Késmárky István
Geofizikai Kutató Vállalat

CONTENTS

<i>Čermák, V.—Bodri, L.</i> : On the vertical distribution of radiogenic heat production in the continental crust and the estimated Moho heat flow	201
<i>Kőrös M.—Regős F.—Szilágyi L.</i> : Latest results of seismic exploration on Hortobágy blind zone (East-Hungary)	214
Necrology	234
Book reviews	235

СО Д Е Р Ж А Н И Е

<i>Чермак В.—Бодри Л.</i> : Вертикальное распределение радиогенной теплогенерации в континентальной коре и тепловой поток на поверхности Мохо	201
<i>Кёрёш М.—Регёш Ф.—Силади Л.</i> : Последние результаты сейсморазведки жортобадьской немой зоны	214
Обзор кннг	235

A kontinentális kéreg radioaktivitásának mélységbeli eloszlása és a Moho-hőáram

V L A D I M I R Č E R M Á K*—B O D R I N Ě C V E T K O V A L U J Z A**

Kísérleti eredmények szerint határozott összefüggés létezik a v_p szeizmikus sebesség és a kőzetek radioaktív hőtermelése között. Így szeizmikus adatok felhasználásával lehetőség adódik a kéregbeli radioaktivitás eloszlásának becslésére. Feltételezve, hogy a hőtermelés a mélységgel exponenciálisan csökken; $A(z) = A_0 \exp(-z/D)$, de eközben a D csillapodási együttható nem szükségszerűen konstans az egész kéregben, a szerzők vizsgálták $A(z)$ változását Közép- és Kelet-Európában különböző tektonikájú területeken meghatározott számos $v_p(z)$ -szelvény alapján. Az eredmények arra utalnak, hogy D -paraméter mélységgel csökkenő tendenciát mutat, ez pedig ellentétben áll azzal a növekedéssel, amely a geokémiai-lag megállapított és az U , Th , K radioaktív elemeknek megfelelő $D_u \leq D_{Th} < D_K$ sorrend alapján várható. A radioaktivitás eloszlását illetően lényeges eltérésnek kell lenni a felső és az alsó kéregtartomány között, és nagyon valószínű, hogy a felső kéregrészt mintegy 10–15 km mélységig terjedő zónájában az urán eredeti eloszlása vízcirkuláció következtében jelentősen megváltozott. Nagyobb mélységeken a radioaktív komponensek kezdeti összetétele lényegében változatlanul megmaradt. További eredmények szerint $A(z)$ nem független a geológiai történettől, a köpenyből származó hőáram pedig jelentős variációkat mutat a tektonikai jellemzők változásától függően. Becsléseink szerint ez utóbbi hőáramkomponens értéke prekambriumi pajzsokon 15–25 mWm^{-2} fiatal tektonikai képződmények területén pedig 40 mWm^{-2} fölé emelkedik.

Согласно экспериментальным результатам существует определенное соотношение между сейсмической скоростью и радиогенной генерацией тепла. Таким образом результаты взрывной сейсмологии могут быть непосредственно использованы для оценки распределения источников тепла в коре. Предполагая обычную экспоненциальную зависимость радиоактивности от глубины вида $A(z) = A_0 \exp(-z/D)$, где логарифмический декремент D однако не обязательно постоянен во всей коре, авторы изучали вертикальное распределение теплогенерации с глубиной для ряда профилей сейсмических скоростей, измеренных для различных тектонических единиц Центральной и Восточной Европы.

Результаты показали, что параметр D уменьшается с глубиной, что находится в противоречии с определенной геохимиками последовательностью логарифмических декрементов $D_u \leq D_{Th} < D_K$ соответствующих урану (U), торию (Th) и калию (K). Наиболее вероятной причиной установленного различия является существенная разница радиоактивной структуры верхней и нижней коры. По всей вероятности, в верхней части коры вплоть до глубин 10–15 км из-за циркуляции подземных вод уран подвергся существенному перераспределению. На больших глубинах радиоактивные элементы сохранили свое первоначальное распределение. Полученные результаты подтверждают также существенную зависимость $A(z)$ от геологической истории, и значительную вариабильность теплового потока, приходящего из мантии. Оценки показали, что эта компонента поверхностного теплового потока составляет 15–25 $mW m^{-2}$ на докембрийских щитах, и превышает 40 $mW m^{-2}$ для молодых тектонических единиц.

Experimental evidence suggests a certain relationship between seismic velocity and radiogenic heat production. The results of the explosion seismology can thus be used to estimate the distribution of crustal heat sources. Assuming the general exponential depth dependence of the radioactivity, $A(z) = A_0 \exp(-z/D)$, in which however, the logarithmic decrement D need not necessarily be constant in the whole crust, we studied its possible vertical behaviour for a number of $v_p(z)$ profiles in various tectonic units in Central and

* Geophysical Institute, Czechosl. Acad. Sci., Praha, Czechoslovakia.

** ELTE Geofizikai Tanszék, Budapest.

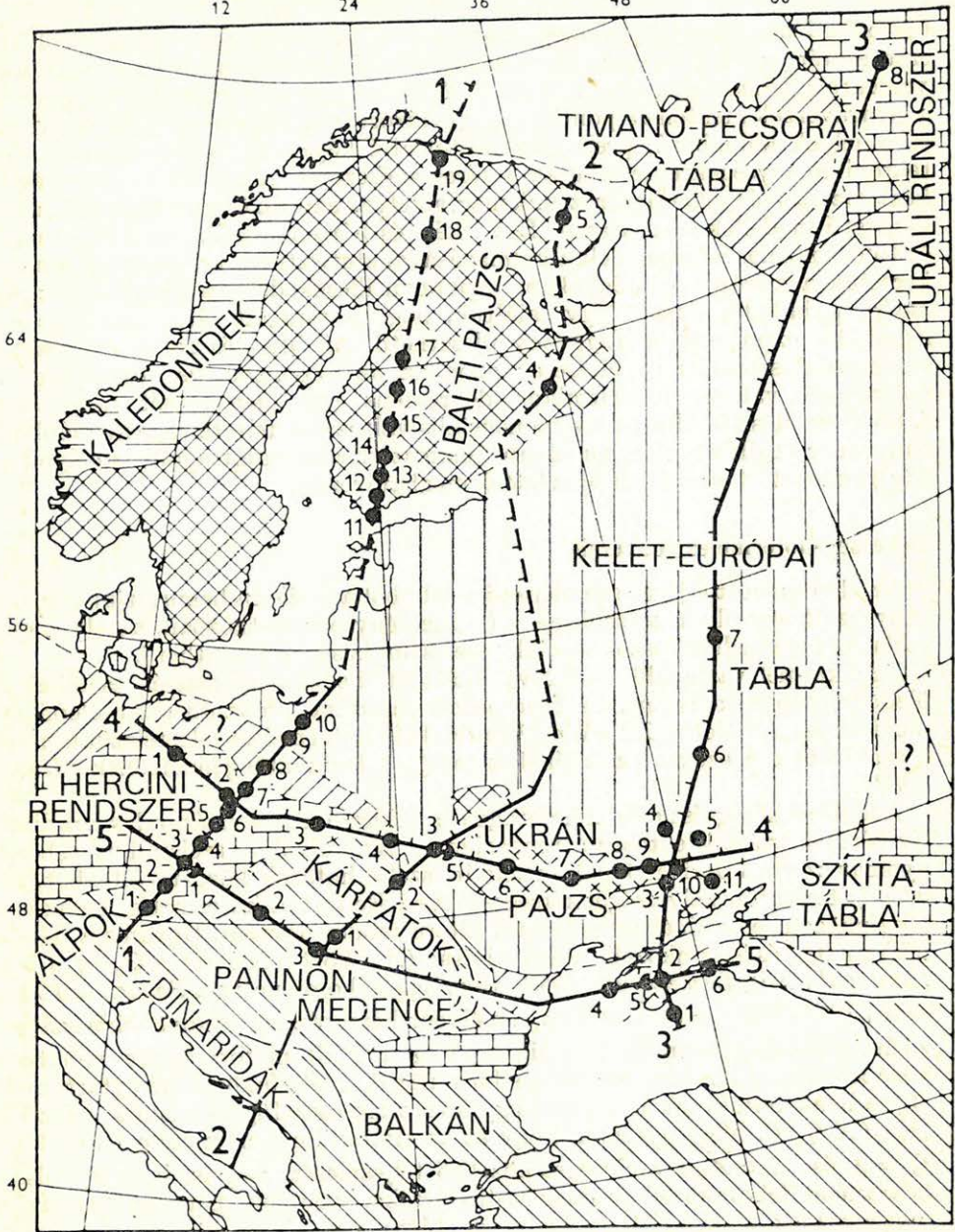
Eastern Europe. The D-parameter seems to decrease with depth, which contradicts the expected increase of the D-value with depth based on the geochemically established succession $D_u \leq D_{Th} < D_K$ corresponding to the composite U, Th and K contributions. There must be a considerable difference in the radioactive structure of the upper and lower crust and in the upper part up to a depth of 10–15 km mainly U might have undergone a certain redistribution due to deep groundwater circulation. Below this depth the radioelements maintain their primordial composition. The data obtained also suggest certain dependence of the $A(z)$ on the geological history and the estimated mantle heat flow shows considerable variability, ranging from 15–25 mW · m⁻² under the Precambrian shields to more than 40 mW · m⁻² in the young tectonic regions.

Bevezetés

A radioaktív hőtermelés kontinentális kéregben mutatott mélységbeli változásának leírására a szakirodalom több olyan egyszerű függvénykapcsolatot ismer, mint pl. lépcsős, lineáris vagy exponenciális törvény. A kéregbeli radioaktivitásra azonban erős befolyással lehetnek olyan tényezők, mint vulkáni, metamorfikus és tektonikus aktivitás, a felszín emelkedése vagy eróziója, felszín alatti fluidumok áramlása stb. Egyre világosabbá válik a felismerés, hogy nem adható meg az egész földkéregre érvényes egyszerű eloszlási szabályosság a lokális kéregjellemzők figyelembevétel nélkül. Másrészt viszont szükséges egy általános és ugyanakkor elfogadhatóan egyszerű eloszlási törvényt definiálni abból a célból, hogy összehasonlítható legyen tenni az egyes tektonikai egységek között és kategóriákba lehessen őket sorolni, valamint, hogy vizsgálni lehessen a kéregfejlődés hosszútávú geotermikus konzekvenciáit. A v_p szeizmikus sebesség és az A radioaktív hőtermelés között először kísérletileg kimutatott (Rybach, 1973) majd később funkcionálisan megfogalmazott (Rybach and Buntebarth, 1984) összefüggés egy, a korábbiól független módszert adott a radioaktív fűtés becslésére a kéregben. Egyéb geofizikai ismeretanyaggal összehasonlítva valószínűleg a középső és alsó kéregrésze vonatkozó $v_p(z)$ szeizmikus sebességeloszlásról és az ennek megfelelő szeizmo-tektonikai modellről rendelkezünk legpontosabb információval. Így adott kéregtípus geotermikus modellje kidolgozásának, valamint mélyhőmérsékletek és mélységi hőáram meghatározásának lehetőségén kívül a $v_p \rightarrow A$ konverzió módot ad különböző funkcionális kapcsolatok helytállóságának ellenőrzésére is.

A $v_p \rightarrow A$ konverzió (Rybach and Buntebarth, 1984) nagyszámú, a gránitoktól az ultrabázisos kőzetekig terjedő kőzetfajtákon végzett olyan laboratóriumi mérések eredményein alapul, ahol egyidejűleg mindkét paraméter mérésre került. Az is ki lett mutatva (Rybach and Buntebarth, 1982), hogy az $A(v_p)$ összefüggés lényegében a petrofizikai sajátságok egy általános kölcsönös összefüggési rendszerének részét képezi. Mivel idősebb kőzetekre általában kisebb radioaktivitás jellemző, fenti szerzők a kérdéssé kapcsolatnak két változatát adják meg, amelyek közül a $\ln A = 12,6 - 2,17 v_p$ összefüggés prekambriumi, a $\ln A = 13,7 - 2,17 v_{p3}$ formula pedig fanerozoos kőzetekre vonatkozik (A μ Wm v_p pedig km/s egységben értendő). Mivel a v_p sebesség laboratóriumi mérése a kőzetmintákban szobahőmérsékleten és 100 MPa nyomáson történt, az „in situ” sebességmeghatározások adataira nyomás- és hőmérsékleti-korrektciókat kell megadni (Rybach and Buntebarth, 1984). Ehhez mindenekelőtt szükséges a (dv_p/dP) és (dv_p/dT) gradiensek ismerete, a megfelelő számítási eljárás leírása egy másik dolgozatban (Čermák, 1988) található.

Fenti konverziót alkalmaztuk Közép- és Kelet-Európa területén KAPG mélyszeizmikus szondázási program keretében kutatott öt transzkontinentális geotraverz (Sollogub et al., 1980; 1. ábra) adatrendszerére. A publikált szeizmo-



1. ábra. Közép- és Kelet-Európa sematikus tektonikai térképe a vizsgált nemzetközi szeizmikus szerkezetkutató szelvények helyzetének feltüntetésével. A fekete körök azokat a helyeket jelölik, amelyekre a $v_p(z) \rightarrow A(z)$ átszámítást végeztük

Рис. 1. Схематическая тектоническая карта Центральной и Восточной Европы с приведенными на ней пятью геотраверсами, на которых указаны точки, где проводился перевод сейсмических скоростей в профили теплогенерации

Fig. 1. Simplified tectonic setting of Central and Eastern Europe together with the position of five geotraverses and the locations of sites for which the crustal seismic velocity profiles were converted into heat production profiles

tektonikai adatok alapján meghatároztuk a kéreg és felső köpeny blokk-szerkezetét és kétdimenziós hőmérsékleteloszlásokat számítottunk a geotraverzekre (Čermák and Bodri; 1986, 1988). Azonkívül vizsgálat alá vettünk a geotraverzek mentén 49 pontban meghatározott egydimenziós $v_p(z)$ szelvényt is, amelyek különböző, prekambriumtól alpi képződményekig változó korú tektonikai egységekre definiálják a kéregszerkezetet. A konverzió eredményeként $A(z)$ szelvényeket határoztunk meg, amelyek azután össze lettek hasonlítva egyszerű modellek sorozatával. Egy-, két- és háromlépcsős, valamint lineáris és több exponenciális modell alkalmazásával statisztikus kritériumok alapján kerestük a mérési eredményekhez legjobban illeszkedő modellt (Čermák and Bodri, publikálás alatt). Úgy találtuk, hogy a vizsgált $A(z)$ szelvényekhez leginkább exponenciális függvény illeszthető. Az illesztés során tapasztalt bizonyos szisztematikus eltérések azonban az exponenciális összefüggésbe mélységgel változó logaritmikus dekremens (D) bevezetését indokolják. A hőforrás-eloszlás általános exponenciális változását feltételezve az alábbiakban ismertetjük az eloszlás olyan finomszerkezeti sajátosságait, amelyek az $A(v_p)$ konvertált adatok alapján lettek meghatározva.

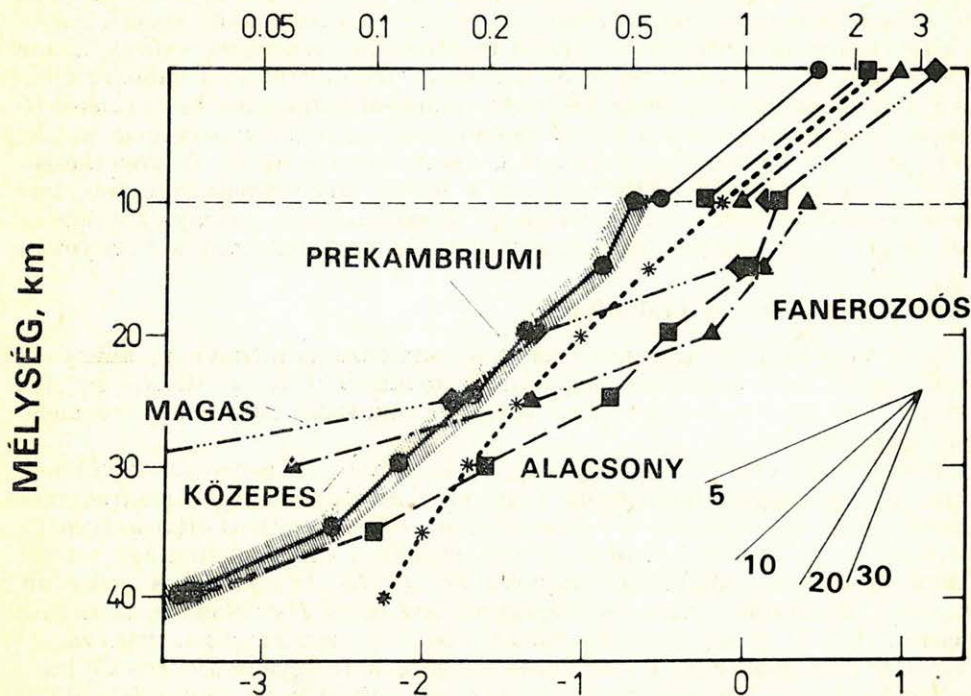
Sebesség-hőtermelés konverzió

Az alkalmazott eljárás szemléltetése céljából a 2. ábrán bemutatjuk a $v_p \rightarrow A$ konverziót egy olyan tetszőleges $v_p(z)$ szelvényre vonatkozóan, amely a gyakorlatban előforduló összes speciális eset szintézisének tekinthető.

Egy km-nél vastagabb takaróval borított üledékes medencék esetében az üledékrétegben konstans, és fanerozoos, valamint prekambriumi üledéknek megfelelően 1,0 illetve 1,2 μWm^{-3} radioaktív hőtermelést feltételezünk, mivel a szakirodalom ezeket az értékeket tartja a leginkább jellemzőnek (Haack, 1982).

A legfelső kéregrész erősen heterogén és a felszín alatti vízáramlás a radioaktív elemeloszlást jelentősen átrendezhette. Azonkívül a szeizmikus sebesség nyomás szerinti deriváltjának értéke itt széles határok között változhat, ami $v_p \rightarrow A$ átszámítás helyességét kétségessé teszi. Emiatt a hőtermelés becslése a felszínközeli kéregzónában fentiekől eltérő módon történt. Ugyanis a felszíni hőáram (Q_0) és felszínközeli radioaktivitás (A_0) között ismeretes $Q_0 = q_0 + DA_0$ (Roy et al., 1968; Lachenbruch, 1968) összefüggést kombinálva a Pollack and Chapman (1977)-féle $q_0 = 0,6 \bar{Q}$ (ahol q_0 a mélyebb kéregrészből és köpenyből származó ún. redukált hőáram és \bar{Q} pedig a vizsgált földtani formációra vonatkozó közepes felszíni hőáram) empirikus formulával, a felszínközeli kéregtartomány A_0 radioaktivitásának becslésére egy közvetlen összefüggés adódik, miszerint $A_0 = 0,4 Q_0/D$. Megjegyezzük, hogy ez az eljárás implicit módon feltételezi a $Q_0 = Q$ és $A_0 = \bar{A}_0$ egyenlőségek közelítő teljesülését, vagyis, hogy a felszíni hőáram és felszínközeli radioaktivitás értékei valamely pontban közelítőleg megegyeznek a vizsgált geológiai egységre vonatkozó közepes értékekkel (Čermák, 1988). Ami D -paraméter értékét illeti, tipikusnak a $D = 10$ km tekinthető, ami a szakirodalomban ismeretes hőáram-provinciákra vonatkozó közepes érték (Morgan and Sass, 1984). Mintegy 10 km-es mélységen a kéregszerkezet már kevésbé heterogén mint fentebb, és a kőzetekben a víz behatolását lehetővé tevő mikropedések már jórészt elzáródnak (Costain, 1978). Ezért exponenciális $A(z) = \bar{A}_0 \exp(-z/D)$ hőforrás-eloszlást eddig a mélységig feltételeztünk úgy, hogy a logaritmikus dekremens az említett $D = 10$ km konstans érték és A_0 pedig fentieknek megfelelően arányos a felszíni hőárammal.

HŐTERMELÉS, $\mu\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$



HŐTERMELÉS LOGARITMUSA

2. ábra. Szeizmikus sebességszelvény radioaktív hőtermelési görbébe történő átszámításának példája

Рис. 2. Пример перевода профиля сейсмической скорости в профиль теплогенерации

Fig. 2. An example of how seismic velocity versus depth profile is converted to heat production versus depth profile (see text)

10 km-nél nagyobb mélységeken a hőforrás-eloszlást a $v_p \rightarrow A$ konverzió (Rybach and Buntebarth, 1984) alapján határoztuk meg a nyomás- és hőmérsékleti-korrekcióik figyelembe vételével. Az egyes rétegekben $A(z)$ általános exponenciális változását tételeztük fel és a D csillapodási együttható rétegről rétegre változott; a számított értékek a néhány km-től mintegy 50 km-ig terjedő intervallumba estek (Čermák and Rybach, 1988).

A $v_p \rightarrow A$ átszámítás alkalmazhatóságát illetően problémát jelenthetnek egyes $v_p(z)$ szelvényeken tapasztalt inverziós (alacsony sebességű) zónák. Alacsony sebességű zónák a kéregben kialakulhatnak speciális helyi fizikai körülmények miatt (pl. termikusan előidézett α/β kvarc átalakulás, részleges olvadás, dehidratációs reakció stb; (Fielitz, 1976; Kern, 1982), vagy tükrözhetnek a kőzetösszetételekben előálló (pl. alátolódással kapcsolatos) változásokat. Ilyen zónák jelenléte erősen korlátozhatja a $v_p \rightarrow A$ konverzió alkalmazhatóságát, ezért inverziók esetén a helyi viszonyok vizsgálata fokozott figyelmet igényel. Ilyen esetekre Čermák (1988) egy egyszerű kritériumot javasol,

amely Kern, (1982) kőzetfizikai vizsgálataiban megállapított empirikus tapasztalaton alapul, és amely szerint 100 K hőmérsékletnövekedés mellett a nyomásnak legalább 100 MPa-lal kell emelkedni, hogy a közegben termikusan aktivált repedezés ne kezdődhessen el. Ha egy inverziós zóna felső határán a nyomás nem haladta meg e feltétel teljesüléséhez szükséges értéket, akkor ezt a zónát a helyi fizikai tényezők hatásának tekintettük és a radioaktivitás nagyságát a szomszédos rétegekből interpolálással határoztuk meg. Ellenkező esetben az inverziós zónát úgy értelmeztük, hogy az a kőzetminőségben előállt változással kapcsolatos, ahol emiatt alacsonyabb a sebesség és következésképp magasabb a radioaktivitás, mint a felette elhelyezkedő rétegben. Bár ez az eljárás teljesen formális, mégis jól használhatónak bizonyult csökkent sebességű zónák elkülönítésére fanerozoos és prekambriumi szelvényeken

D-paraméter mélységbeli változása

A D logaritmikus dekremens távolság dimenziójú mennyiség, amelynek értéke adott $A(z)$ eloszlás esetén kiszámítható mint $D = (z_2 - z_1) (\ln A_1 - \ln A_2)$, ahol a A_1 és A_2 valamely z_1 és z_2 mélységekre vonatkozó radioaktív hőtermelés mérőszámai.

Fentebb már említettük, hogy a $v_p \rightarrow A$ konverziót számos olyan egydimenziós $v_p(z)$ -szelvényre alkalmaztuk, amelyek eloszlását a vizsgált geotraverzek mentén az 1. ábra szemlélteti (Sollogub et al., 1980). A kapott $A(z)$ -szelvények alapján $z = 10$ km-től kezdve D értékét minden 1 km-es vastagságú rétegre kiszámítottuk és 5 km-enként (vagyis a 10–15, 15–20 stb. km-es intervallumokra vonatkozóan) átlagokat képeztünk. Az egyes D -értékekben tapasztalt jelentős szórás ellenére az átlagokban bizonyos szisztematikus változás figyelhető meg. Közvetlenül a 10 km-es mélység alatt ugyanis $D = 20\text{--}30$ km a jellemző, utána azonban határozott csökkenés mutatkozik mintegy $D = 10\text{--}15$ km-es értékig a kéreg-köpeny határ környezetében.

A vizsgált terület tektonikai szempontból igen változatos, prekambriumi táblás vidékek éppúgy megtalálhatók itt mint fiatal gyűrt hegységek. A kéreg szerkezet sem kevésbé eltérő az egyes földtani egységek között, és ez a változottság aligha jellemezhető mindössze egyetlen paraméterkészlettel. Ezért a vizsgálat céljaira alkalmas 47 v_p -szelvényt (Čermák and Rybach (1988) ugyanis két görbét nem talált reprezentánsnak) négy jellemző csoportba soroltuk; nevezetesen prekambriumi szelvények ($n = 27$) valamint alacsony ($Q < 62$ mWm⁻²; $n = 11$), közepes ($62 \leq Q \leq 74$ mWm⁻²; $n = 5$) és magas ($Q > 74$ mWm⁻² $n = 4$) hőáramú területeken mért fanerozoos szelvények csoportjába. Ez a besorolás a kéreg olyan sajátosságainak figyelembevételén alapul, mint a kor és kéregvastagság közötti kapcsolat. A D csillapodási tényező mélységgel csökkenő tendenciája minden egyes csoportban világosan megmutatkozik. Azonkívül olyan magas hőáramú területeken, ahol a kéreg hőmérséklete is magas, bármely mélységre kisebb D -értékek adódnak, mint alacsonyabb hőáramú térségekben és ez a tény ott a radioaktív elemek felszín felé történő feldúsulására utal. Ez az eredmény összhangban van Rybach (1976) elgondolásával, mely szerint exponenciálisan változó radioaktivitás esetén az exponenciális törvényben szereplő logaritmikus dekremens értéke minden bizonnyal fordítottan arányos a felszíni hőáram nagyságával.

D -paraméter mélységbeli változását fentiekől eltérő módon is vizsgáltuk. Ez utóbbi eljárás során először a fenti tektonikai/hőáram kategóriák mindegyikére meghatároztuk a karakterisztikus (átlagolással adódó) $v_p(z)$ szelvényt (a v_p -értékeket 5 km-es intervallumonként átlagoltuk) és a kapott négy pro-

filt $A(z)$ eloszlásokba konvertáltuk (3. ábra). Függetlenül a számított D -értékek pontatlanságától (amely 40%-ot is elérhet), $D(z)$ mélységgel csökkenő tendenciája itt is világosan megmutatkozik.

Szükségesnek tartjuk hangsúlyozni, hogy a D -re adódó eredmények szignifikanciáját természetesen nem szabad túlbecsülni. A számítási eljárásba bevont paraméterek mindegyike bizonyos mértékben pontatlan és egy kapott D -érték hibája a v_p (in situ) $\rightarrow v_p$ (P, T -szerint korrigált) $\rightarrow A(z) \rightarrow D(z)$ láncban való hibaterjedésnek megfelelően adódik. Ennek megfelelően egy számított D -érték jellemző hibája legalább I. 20–30%. Ilyen pontatlanság mellett esetleg nem mindig tehető világos elhatárolás a fanerozoos kéretípusok között, $D(z)$ mélységgel csökkenő tendenciája azonban így is vitathatatlan. A radioaktív hőtermelésnek olyan exponenciális változását feltételezni a kontinentális kéregben, amelynek során a logaritmikus dekremens a mélységgel csökken meglehetősen szokatlan gondolatnak tűnik, és erre az eredményre az alábbiakban magyarázatot kísérlünk adni.

A Moho-hőáram

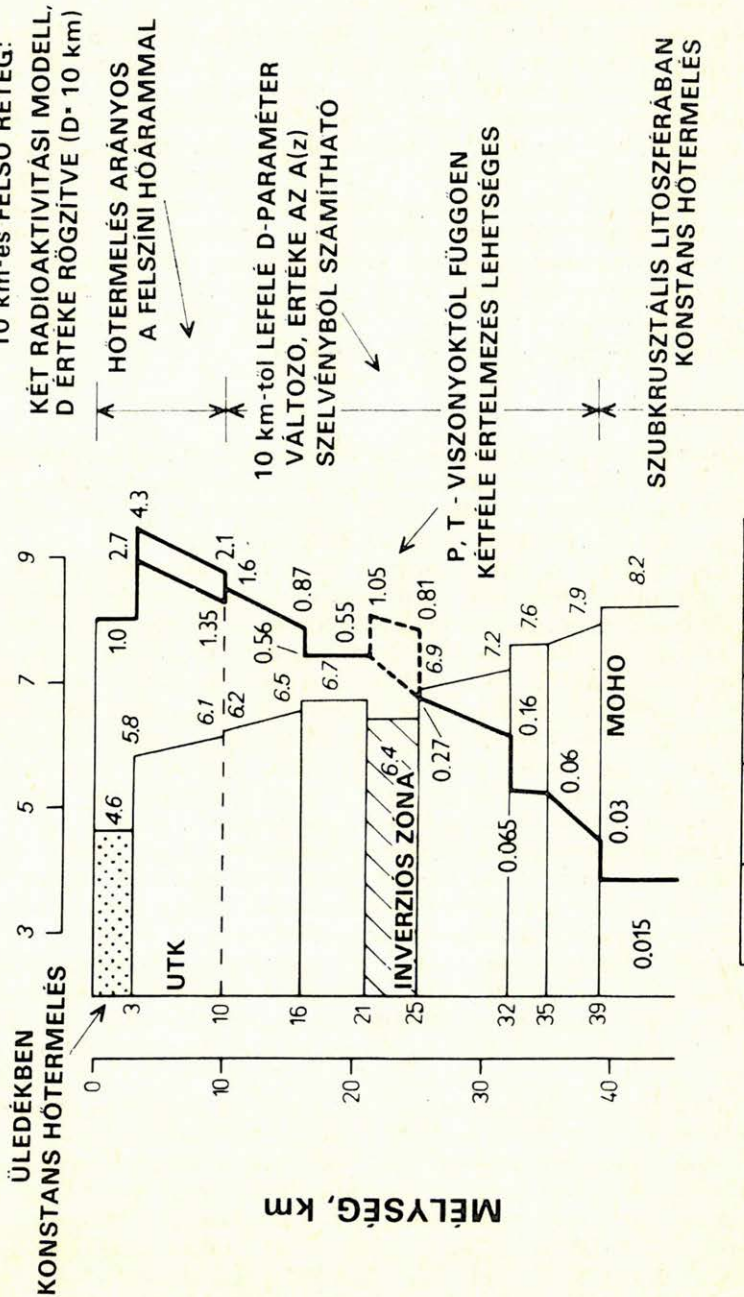
A kéreg-köpeny határon átfolyó hőáram vagy Mohó-hőáram képet ad a felső köpenyben zajló fizikai-kémiai folyamatok energiabalanszáról. Ez a hőáram egyszerűen meghatározható a kéreg radioaktív hőtermeléséből származó hőáramnak a felszíni hőáramból történő kivonásával.

A vizsgált területen a prekambriumi Európai kraton dominál, a rendelkezésre álló adatok sűrűsége itt általában jó, a fanerozoos övben viszont az adatsűrűség csökken és nagy az értékek szórása. A legalacsonyabbak a hőáramok (40 mWm^{-2}) a Balti és az Ukrán pajzson, a kraton pajzsokon kívüli részére vagyis a Kelet-Európai táblára némileg magasabb közepes hőáram (46 mWm^{-2}) jellemző. A Moho-diszkontinuitásra számított hőáramok a 17 és 30 mWm^{-2} értékek közötti tartományban változnak (Čermák, 1988), a minimális hőáramok megint csak a pajzsokra adódnak. A Balti pajzusra vonatkozóan $20 \pm 1 \text{ mWm}^{-2}$ ($n=11$), az Ukrán pajzson pedig $23 \pm 1 \text{ mWm}^{-2}$ ($n=7$) a közepes Mohó-hőáram értéke. A pajzsok emelkedő peremlein ez a hőáramkomponens kissé növekszik és megközelíti a táblára jellemző $26 \pm 2 \text{ mWm}^{-2}$ ($n=9$) értéket. Míg a felszíni hőáramok a két pajzson gyakorlatilag megegyeznek, az Ukrán pajzson az alsó kéreg gyengébb radioaktivitást mutat mint a Balti pajzson és következésképpen a közepes Moho-hőáramokban 3 mWm^{-2} nagyságú eltérés adódik. Meglehetősen nehéz eldönteni, hogy lehetnek-e szerkezeti vonatkozásai ennek az eltérésnek. Az mindenesetre világos, hogy a nagyobb és stabilabb Balti pajzs az óriási Európai kraton legősibb (~ 1750 millió év) részét képezi, míg a kisebb Ukrán pajzs a késő paleozoikumban újabb fejlődési szakaszt élt át.

A Kelet-Európai tábla és a pajzsok területén az alsó réteg lényegében egyforma mértékben vesz részt a felszíni hőáram kialakításában. A számított Moho-hőáram a táblán 20 és 30 mWm^{-2} határok között változik, a magasabb értékek a tábla szegélyein és olyan megsüllyedt szerkezetek zónáiban fordulnak elő, mint a Dnyepro-Donyecki aulakogén és Pacselmszki aulakogén.

A kontinens magját szegélyező fanerozoos tektonikai egységeken a termikus aktivitás emelkedik, a Moho-hőáramok a 20 mWm^{-2} és mintegy 50 mWm^{-2} közötti széles tartományba esnek, a 20 adatból meghatározott közepes hőáram $31 \pm 4 \text{ mWm}^{-2}$. Általában, ezekre a hőáram-adatokra meglehetősen nagy szórás jellemző. Az egyes szerkezeti formációkon itt legtöbbször mindössze egy vagy esetleg néhány $A(z)$ -szelvény állt rendelkezésünkre és ezért nem

SZEIZMIKUS SEBESSÉG, kms⁻¹



3. ábra. A radioaktív hőtermelés mélységbeli változása négy különböző; prekambriumi, illetve alacsony, közepes, és magas hőáramot mutató fanerozoos formációknak megfelelő kéregtípusra. A jobb alsó sarokban feltüntetett egyenesek az exponenciális mélységfüggés logaritmikus dekrementjének (km-ben) megfelelő meredekséget illusztrálják. A csillagokkal jelzett görbe a felszínközeli hőtermelés extrapolálásával adódó $A(z) = A_0 \exp(-z/D)$ -változást mutatja, ahol a felszínen $D = 10$ km és a mélységgel úgy növekszik, hogy az összegzett hőtermelést az egyes radioaktív elemeknek megfelelő alábbi D -értékek és felszíni elemkoncentrációk (C) alakítják ki: $D_U = 6$, $D_{Th} = 10$, $D_K = 30$ km, $c_U = 4$ ppm, $c_{Th} = 18$ ppm; $c_K = 3,5\%$ (Čermák and Rybach, 1988)

Рис. 3. Распределение теплогенерации с глубиной для четырех типов коры: докембрийского и фанерозойского с низким, средним и высоким тепловым потоком. Прямые линии в нижнем правом углу иллюстрируют крутизну наклона, соответствующую приведенным значениям логарифмического декремента D (в км). Кривая, обозначенная звездочками, получена при экстраполяции закона $A(z) = A_0 \exp(-z/D)$ в приповерхностные слои при значении $D = 10$ км на поверхности. Глубинное изменение этой кривой было получено при следующих параметрах, соотвествующих совместной вкладу радиоактивных элементов: логарифмические декременты $D_U = 6$, $D_{Th} = 10$, $D_K = 30$ км, поверхностные концентрации $c_U = 4$ ppm, $c_{Th} = 18$ ppm, $c_K = 3,5\%$ (Čermák and Rybach, 1988).

Fig. 3. The variation of heat production with depth in four crustal types: Precambrian and Phanerozoic with low, medium and high heat flow. The lines in the lower right corner correspond to D -values (= logarithmic decrement, in km) of exponential depth dependence. Asterisks correspond to extrapolated near surface heat production $A(z) = A_0 \exp(-z/D)$, where $D = 10$ km at surface and increases with depth to correspond to the composite contribution of U, Th and K, with respective D -values $D_U = 6$, $D_{Th} = 10$, $D_K = 30$ km; the near surface concentrations of radioelements are $C_U : C_{Th} : C_K = 4, 0$ ppm: 18 ppm: 3,5% (Čermák and Rybach, 1988)

volt módunkban részletes statisztikus vizsgálatokat végezni. A Kelet-Kárpátok külső zónájában a Moho-hőáram, eléggé meglepően, mindössze 17 mWm^{-2} , az összes többi fanerozoos szelvény azonban növekvő köpeny-hőáramokat mutat fiatalabb képződményeken. A variszkszi öv Közép-Európában a Cseh masszívumot, a paleozoos Lengyel táblát és a kelet-Labe masszívumot magában foglaló komplex rendszert képez. A lokális anomáliák többsége a területen felszín alatti vízáramlás, sótektonika stb. hatásának tulajdonítható. A közepes felszíni hőáram itt $61.4 \pm 8.4 \text{ mWm}^{-2}$, az alsó réteg radioaktivitásából 18 mWm^{-2} nagyságú hőáram származik, a köpeny-eredetű hőáram 9 adatból számított közepes értéke pedig $29 \pm 4 \text{ mWm}^{-2}$ ami jól megfelel a geológiai kor és tektonikai történet alapján várható viszonylag magasabb szintnek (Čermák, 1988). A kontinensmagot szegélyező zónában növekvő köpeny-hőáramra utal az észak-uráli Vorkuta előmelység területére számítással adódott 24 mWm^{-2} érték is.

Az alpi molassz térségben a köpeny-hőáram 39 mWm^{-2} , a Nyugat-Kárpátok belső övében pedig 37 mWm^{-2} . A Pannon-medencét az anómálishan vékony kéreg mellett magas termikus aktivitás jellemzi (pl. Horváth et al., 1979), a számított karakterisztikus Moho-hőáram meghaladja az 50 mWm^{-2} értéket.

A közepes hőáramokhoz fentebb megadott hibák az egyes tektonikai egységeken mért szelvények adatainak szórásából adódó kvadratikus középhibák. A számított Moho-hőáramok valódi pontatlansága azonban minden bizonynyal jelentősen nagyobb ezeknél az értékeknél. Ez abból következik, hogy a $v_p \rightarrow A$ konverzió egyes paramétereinek pontatlansága mintegy 10–15%-ra becsülhető, a szeizmikus sebességek hibái a prekambriumi területekre jellemző $\pm 0.1 \text{ m/s}$ értékről emelkedve alpi övezetekben valószínűleg eléri a $\pm 0.5 \text{ m/s}$ szintet is, továbbá, hogy a szeizmikus réteghatárok pontatlansága mintegy 0.1–0.5 km-re, a felszíni hőárammérések hibái pedig 5–10%-ra tehetőek. Azonban ösítő fiatalabb földtani képződmények felé haladva a Moho-hőáram emelkedő trendje aligha vitatható.

Összefoglalás és következtetések

A radioaktív hőtermelés a három fő radioaktív elem, az urán, tórium és kálium bomlásának együttes eredménye. Ez elemek mélységbeli eloszlását nem szükségeszerűen egy és ugyanaz a törvény szabja meg. Ha mindegyik radioaktív elem saját mélységfüggéssel bír, akkor relatív szerepük a kéregbeli radioaktivitás kialakításában a mélységgel változik. Ez viszont ahhoz a következményhez vezet, hogy D paraméternek mélységbeli eltéréseket kell mutatni a felszíni vagy felszínközeli mérésekből meghatározott konstans értéktől. A hőáram-radioaktivitás összefüggés vizsgálata alapján Jaupart et al. (1981) a radioelemek mindegyikére saját külön mélységskálát határoztak meg, és eredményeik szerint $D_{Th} \leq D_u < D_K$. Arra a következtetésre is jutottak továbbá, hogy a radioaktív elemek eloszlásában bizonyos átrendeződésnek kellett végbemenni magmás és/vagy metamorfikus fluidum-cirkuláció következtében, amire a tórium különösen érzékeny, valamint a több km mélységig lehatoló csapadékvíz áramlásának hatására, ami főképpen az urán eloszlását befolyásolja. Haack (1982) a radioaktív urán és tórium káliummal szembeni magasabb koncentrációját mutatta ki a felső kéreg kőzeteiben. Hasonlóan, a $D_u \leq D_{Th} < D_K$ viszony helyessége következik Nicolaysen et al. (1981) vagy Swamberg (1972) adataiból is.

Az egyes radioelemek eloszlását jellemző saját mélységskáláktól függetlenül, a teljes radioaktív hőtermelés exponenciális változását az egész kéregben megszabó D paraméter értékének a mélységgel növekednie kell. Egy kisebb D

értékkel bíró radioaktív elem koncentrációja gyorsabban csökken és relatív szerepe a mélységgel kevésbé jelentős lesz, mint egy nagyobb D -vel jellemezhető elem esetében. Az alsó kéregben, a kéreg-köpeny határhoz közeledve, az a radioaktív elem válik dominánssá, amelyre D maximális. Ez a kép teljes ellentmondásban van azzal a tendenciával, amelyet mi a vizsgált szelvényeken végzett $v_p \rightarrow A$ konverzió alapján D -re meghatároztunk. Az ellentmondás egyetlen magyarázata az lehet, hogy a radioaktív elemek eloszlása az alsó kéregben más szabályszerűséget mutat mint fentebb, és, hogy a felszínközeli mérések eredményei nagy mélységekre nem extrapolálhatók. Jelen esetben alsó kéreg alatt a kéreg D km vastagságú felső zónája alatti tartományt értjük.

A radioaktív elemeknek a protokéreg anyagának differenciálódásával kialakult kezdeti eloszlása, valószínűleg a kálium kivételével, későbbi folyamatok eredményeként jelentősen módosulhatott. A magmás és metamorfikus folyamatokat kísérő átkristályosodás mellett leginkább a csapadékvíz áramlása jöhet szóba mint ilyen folyamat. Az előbbi átrendezheti mind az urán, mind a tórium kezdeti eloszlását, az utóbbi főként az urán felszín felé történő feldúsulását segíti elő. *Costain (1978)* arra a felismerésre jutott, hogy a kéreg mikrorepedéses porozitású zónája, a benne mintegy 7 km mélységig lejutó víz mozgása folytán, ugyancsak nem elhanyagolható szerephez jutott az urán átrendeződésében. A kéreg és kéregbeli fluidumok kölcsönhatásának fontosságára utalnak *Gosnold and Swanberg (1980)* által az Idaho batolit területén végzett részletes vizsgálatok is.

Jelen, valamint több korábbi (pl. *Čermák and Rybach, 1988*) vizsgálatunk alapján a következő modell tűnik plauzibilisnek. A „kezdeti” hőforrás-eloszlás az alsó kéregben megőrződött, és felszíni mérések alapján nem vonhatók le következtetések erről az eloszlásról. Ha a radioaktivitás általános mélységbeli változását exponenciális összefüggés írja le, akkor a változás ütemére jellemző D paraméter értéke a mélységgel csökken, vagyis nagyobb mélységeken a kéregbeli radioaktivitás intenzitása gyorsabban esik, mint fentebb. Ez a csökkenés magasabb hőáramot mutató fiatalabb képződményeken markánsabban kitűnik, mint ősi pajzsokon vagy táblákon. A felszín közelében, vagyis D paraméterre a kombinált hőáram-radioaktivitás mérésekből adódó 7–14 km mélységekig, későbbi folyamatok (magmatizmus, metamorfizmus, hidrogeológia tényezők stb.) a kezdeti radioaktív elemkoncentráció átrendeződéséhez vezettek. A felszín alatti vízáramlás döntő jelentőségű az urán felfelé irányuló migrációjában és feldúsulásában (*Jaupart et al., 1981; Etheridge et al., 1983*). Bár nem tűnik bizonyosnak egy világos átmeneti zóna jelenléte, amely a legfelső kéregrészt (ez értelmezésünk szerint addig terjed, ameddig a csapadékvíz lehatol) elválasztaná a mélyebb tartománytól, nem zárható ki egy inverziós zóna létezése sem a $z=10$ km körüli mélységeken. Egy ilyen zóna megfelelne az $A(z)$ -görbe menetében tapasztalt inflexiónak a pluton-víz kölcsönhatás maximális mélysége környezetében (*Gosnold and Swanberg, 1980*). A felső kéregben a hőtermelésre becslés végezhető kombinált hőáram-radioaktivitás vizsgálatok alapján, ahol D paraméter a vonatkozó összefüggés regressziós együtthatójaként adódik. A kéreg legfelső zónájában a kezdeti eloszláshoz viszonyítva a radioaktív elemtartalom feldúsult, a zóna alatt viszont lecsökkent.

A $v_p \rightarrow A$ konverzió egyedülálló lehetőséget nyújt a kéregbeli radioaktivitás becslésére, amelynek ismerete viszont igen fontos a köpenyből származó hőáram vizsgálatához. A konverziós eljárás bizonyos korlátai és a vizsgálatainkban felhasznált adatok szórása ellenére konzisztensen kimutattuk, hogy a Moho-hőáram prekambriumi formációkon stabilan alacsony és fiatalabb képződmények területén értéke határozottan növekszik (*Čermák, 1988*).

Azzal a korábbi elképzeléssel ellentétben, hogy kontinentális területeken a köpeny-hőáram viszonylag állandó (*Clark and Ringwood, 1964*), a jelenlegi álláspont szerint bizonyosan léteznek olyan regionális változások, hogy tektonikusan aktív fiatalabb képződményeken a Moho-hőáram emelkedik (*Pollack and Champan, 1977*). Kevésbé egyértelmű azonban a Moho-hőáram stabil kontinentális kéregre vonatkozó karakterisztikus értékének kérdése, pedig ez a jellemző érték bármely kontinentális litoszféramodell esetében kulcsfontosságú paraméter szerepét tölti be.

A redukált hőáramot a köpeny-hőárammal azonosítva, kontinentális pajzsokra viszonylag magas, $25\text{--}28\text{ mWm}^{-2}$ nagyságú Moho-hőáramok adódnak. Ezekkel jól egyező 27 mWm^{-2} értéket tart valószínűnek *Vitarello and Pollack (1980)*, ugyancsak hasonló, $25\text{--}29\text{ mWm}^{-2}$ értékű köpeny-hőáramokra következtet *Sclater et al. (1981)* vizsgálata is. Lényegesen kisebb, $12\text{--}21\text{ mWm}^{-2}$ hőáramokat tart mérvadónak pl. *Smithson and Decker (1974)* vagy *Nicolaysen et al. (1981)*. Ez utóbbi szerzők szerint a köpenyből származó hőáram stabil kontinentális pajzsokon 12 és 17 mWm^{-2} között lehet.

Az előbbi modellek mindenekelőtt olyan eljáráson alapulnak, amelyben felhasználásra kerülnek, illetve lefelé irányuló extrapolálás történik a felszíni hőáram, felszínközeli radioaktivitás és a vizsgált tektonikai egységre vonatkozó közepes hőáram adataival. A radioaktivitás mélységbeli eloszlását itt egyszerű exponenciális összefüggés adja meg, ami a primordiális magma differenciálódásával kapcsolatos egységes kéregfejlődésnek felel meg. A második csoportban viszont a modellek réteges kéregszerkezetet tartalmaznak és a radioaktív hőtermelés számítása a feltételezett petrológiai összetételnek megfelelő kőzetparaméterek alapján történik. Míg a felszíni jellemzők, valamint A_0 , D vagy az alsó kéreg hőtermelésének vonatkozásában a két csoport között nincsenek lényeges eltérések, a középső kéregrészben jelentős többségek adódhatnak (*Nicolaysen et al., 1981*).

Vizsgálatunkban pajzsokra $20\text{--}23\text{ mWm}^{-2}$, a Kelet-Európai táblára pedig 26 mWm^{-2} Moho-hőáramot határoztunk meg és ezek az értékek valahol a két modelles csoport között vannak. Mivel a kéreg alsó zónája jelentéktelen tényező a hőáram kialakításában, adataink megerősítik egy lokális maximum lehetőségét (*Nicolaysen et al., 1981*) a hőforrás eloszlásában. Ezt a maximumot mi közvetlenül a 10 km -es felső kéregrész alatt lokalizáljuk, amely zóna megfelelhet a *Nicolaysen et al. (1981)* által valószínűsített exponenciális csökkenés felső szakaszának. A maximum fiatalabb képződmények területén jobban kifejlődött, de létezése nem zárható ki prekambriumi szerkezeteken sem. A kéregnek közvetlenül a felszínközeli réteg után következő zónájában a radioaktív hőtermelés magasabb is lehet mint fentebb, az inverzió leginkább vízáramlással kapcsolatos urán átrendeződéssel magyarázható (*Čermák and Rybach, 1988*). Némely $v_p(z)$ -szelvényre vonatkozó eredmények alátámasztják ezt a hipotézist, a probléma (és különösen D -paraméter mélységbeli változásának kérdése) azonban további vizsgálatokat igényel.

IRODALOM

- Čermák, V.: Crustal heat production and mantle heat flow in Central and Eastern Europe, *Tectonophysics*, in press, 1988.
- Čermák, V., and Bodri, L.: Two-dimensional temperature modelling along five East-European geotraverses, *J. of Geodynamics*, 5, 133—163, 1986.
- Čermák, V. and Bodri, L.: Közép- és Kelet-Európa geotermikus modellje, *Magyar Geofizika*, 28, 153—186, 1987.
- Čermák, V. and Rybach, L.: Vertical distribution of heat production in the continental crust, *Tectonophysics*, in press, 1988.

- Clark, S. P. and Ringwood, A. E.: Density distribution and constitution of the mantle, *Rev. Geophys. Space Phys.*, 2, 35—88, 1964.
- Costain, J. K.: A new model for the linear relationship between heat flow and heat generation, *EOS, Trans. Am. Geophys. Union*, 59, 329, 1978.
- Etheridge, M. A., Wall, V. J. and Vernon, R. H.: The role of the fluid phase during regional metamorphism and deformation, *J. metamorphic Geol.*, 1, 205—226, 1983.
- Fielitz, K.: Compressional and shear wave velocities as a function of temperature in rocks at high pressure. In: P. Giese, C. Prodehl and A. Stein (Eds.), *Explosion Seismology in Central Europe*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg and New York, 40—44, 1976.
- Gosnold, W. D. and Swanberg, C. A.: A new model for the distribution of crustal heat sources, *EOS, Trans. Am. Geophys. Union*, 61, 387, 1980.
- Haack, U.: Radioactive isotopes in rocks. In: G. Angenheister (Ed.), *Landolt-Börnstein New Series*, Vol. VIb, *Physical Properties of Rocks*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg and New York, 433—560, 1982.
- Horváth, F., Bodri, L. and Ottlik, P.: Geothermics of Hungary and the tectonophysics of the Pannonian basin „Red Spot”. In: V. Čermák and L. Rybach (Eds.), *Terrestrial Heat Flow in Europe*, Springer, Berlin, 206—217, 1979.
- Jaupart, C., Sclater, J. G. and Simmons, G.: Heat flow studies: constraints on the distribution of uranium, thorium and potassium in the continental crust, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 52, 328—344, 1981.
- Kern, H.: Elastic wave velocities and constants of elasticity of rocks at elevated pressures and temperatures. In: G. Angenheister (Ed.), *Landolt-Börnstein New Series*, Vol. VIb, *Physical Properties of Rocks*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg and New York, 99—140, 1982.
- Lanthenbruch, A. H.: Preliminary geothermal model of the Sierra Nevada, *J. Geophys. Res.*, 73, 6977—6989, 1968.
- Morgan, P., and Sass, J. P.: Thermal regime of the continental lithosphere, *J. of Geodynamics*, 1, 143—166, 1984.
- Nicolaysen, L. O., Hart, R. J., and Gale, N. H.: The Vredefort radioelement profile extended to subcrustal strata at Carletonville, with implications to continental heat flow, *J. Geophys. Res.*, 86, 10653—10661, 1981.
- Pollack, H. N. and Chapman, D. S.: Mantle heat flow, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 34, 174—184, 1977.
- Roy, R. F., Blackwell, D. D., and Birch, F.: Heat generation of plutonic rocks and continental heat flow provinces, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 5, 1—12, 1968.
- Rybach, L.: Wärmeproduktionsbestimmungen an Gesteinen der Schweizer Alpen, *Beitr. Geol. Schweiz. Geotechn. Ser.*, 51, 43 pp., 1973.
- Rybach, L.: Radioactive heat production: A physical properties determined by the chemistry of rocks. In: R. G. J. Strens (Ed.), *The Physics and Chemistry of Rocks*, Wiley and Sons, London, 309—318, 1976.
- Rybach, L. and Buntebarth, G.: Relationship between the petrophysical properties, density, seismic velocity, heat generation and mineralogical constitution, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 57, 367—376, 1982.
- Rybach, L. and Buntebarth, G.: The variation of heat generation, density and seismic velocity with rock type in the continental lithosphere, *Tectonophysics*, 103, 335—344, 1984.
- Rybach, L. and Čermák, V.: The depth dependence of heat production in the continental lithosphere, derived from seismic velocities, *Geophys. Res. Lett.*, 14, 311—313, 1987.
- Sclater, J. G., Parsons, B. and Jaupart, C.: Oceans and continents: similarities and differences in the mechanism of heat loss, *J. Geophys. Res.*, 86, 11535—11552, 1981.
- Smithson, S. B. and Decker, E. R.: A continental crustal model and its geothermal applications, *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 22, 215—225, 1974.
- Sollogub, V. B., Guterch, A. and Prosen, D. (Eds.): *Struktura zemnoy kori i verkhney mantiyi po dannim geofizicheskikh issledovaniyi*. Naukova Dumka, Kiev, 208 pp. (in Russian), 1980.
- Swanberg, C. A.: Vertical distribution of heat generation in the Idaho batholith, *J. Geophys. Res.*, 77, 2508—2513, 1972.
- Vitarello, I., and Pollack, H. N.: On the variation of continental heat flow with age and the thermal evolution of the continents, *J. Geophys. Res.*, 85, 983—995, 1980.

Újabb eredmények a hortobágyi néma zóna szeizmikus kutatásában

KÓRÓS MIKLÓS*—REGŐS FERENC*—SZILÁGYI LAJOS*

A szeizmikus reflexiók kutatás hazai kezdete óta a hortobágyi terület néma zónaként ismert. Jelen cikk az 1985—87 között végzett terepi kísérletekkel foglalkozik. Szerzők feltételezték, hogy a néma zóna jelenség oka a felszín közeli alacsony sebességű rétegekkel kapcsolatos. E feltételezésből kiindulva a kísérleti szelvényen különleges terepi statikus korrekciót alkalmaztak, majd speciális feldolgozási lépések után egy értelmezhető szeizmikus időszelvényt kaptak. További terepi kísérletek igazolták a statikus korrekció értékének nagymértékű vonalmenti változásait a tökéletesen sík területen.

С начала проведения сейсморазведки в стране эта территория известна как хортобадьская немая зона. В этой статье рассматриваются результаты полевых опытных работ. Авторы предполагали, что причиной немои зоны является расположенный вблизи поверхности низкоскоростной слой. Исходя из этого предположения, на опытном профиле вводились отличающиеся от окружающих полевые статические поправки, а профиль подвергался специальной обработке. В результате этого был получен интерпретируемый временной разрез. Последующие опытные полевые работы подтвердили резкое изменение значений статических поправок вдоль профиля при совершенно ровной поверхности территории.

The Hortobágy region has been known as a blind zone in view of seismic reflection data recording from the very beginning of seismic reflection exploration in Hungary. This paper describes the field experiments carried out in 1985—87. The authors assumed the reason for blind zone phenomenon to be the near surface low velocity layer. Using this assumption they applied special statics on the experimental profile and after special processing an interpretable seismic time section has been received. Further field experiments proved fast changing of the statics along the flat line.

Bevezetés

A reflexiók szeizmikus kutatás kezdete óta találtak a geofizikusok olyan területrészekkel, ahol a rutin mérési módszerekkel értékelhető szeizmikus anyagot nem kaptak. Az ilyen jellegű területeket „néma zóná”-nak vagy „nem reflektáló terület”-nek nevezték.

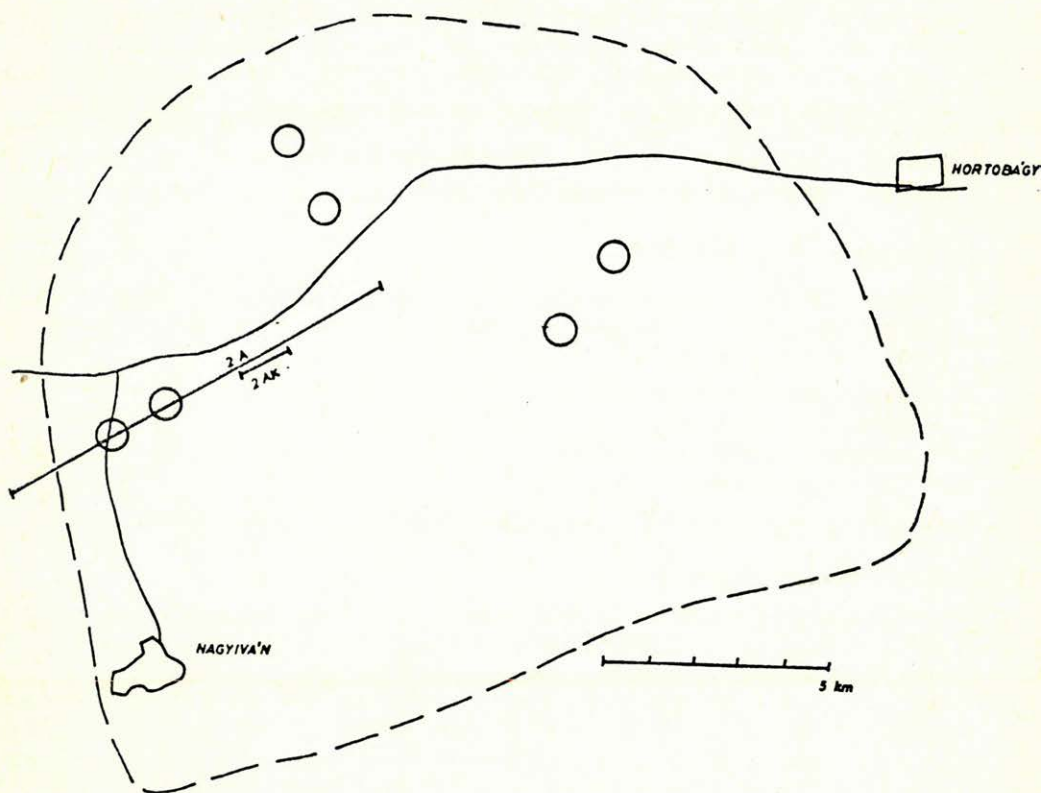
E területekre jellemző:

- a magas zajszint
- a rendezett reflexiók jelek hiánya
- szeizmikus első beérkezések késése és torzulása.

A jelenség okát általában a felszínközeli lazaréteg felépítésének változásaival hozták összefüggésbe. A mérési eszközök fejlődésével és a tapasztalatok növekedésével e területek száma és mérete egyre csökkent.

Magyarországon a legjellegzetesebb, legnagyobb kiterjedésű, és napjainkig néma zónának ismert terület a Hortobágyon található mintegy 15—18 km átmérőjű térség. (1. ábra) A területen az 50-es évek eleje óta folytak kísérletek

* Geofizikai Kutató Vállalat, Budapest.



Geo-89/10-1

1. ábra. A néma zóna térképe. Jelmagyarázat: O: a kísérletek helye,
— —: a néma zóna határa

Рис. 1. Карта немой зоны. Условные обозначения: O: место опытных работ
— —: с граница немой зоны

Fig. 1. Map of blind zone. Legend: O: Spots of parameter tests; — —: Extention of blind zone

reflexiós szeizmikus kutatásra, a mérési eszközök színvonala azonban nem tette lehetővé a probléma megoldását.

A GKV 1985—87 évi mérési programjának egyik területe érintette a hortobágyi néma zónát. Ez a körülmény lehetővé és szükségessé tette, hogy napjaink legkorszerűbb eszközeivel ismét kísérletet tegyünk a néma zóna területén is szeizmikus szelvényt készítésére.

E dolgozatban időrendi sorrendben leírjuk azokat a kísérleti méréseket és adatfeldolgozási lépéseket, amelyek alapján megpróbáltuk a némaság okát megtalálni és ennek ismeretében értékelhető szeizmikus szelvényt előállítani.

A méréseket először hagyományos digitális műszerekkel (24 csatornás DFS—IV és 48 csatornás MDS—10), majd 1986-tól 120 csatornás telemetrikus MDS—16 rendszerrel végeztük. A hullámkeltés mindvégig fűrt lyukakba

töltött robbanóanyaggal (*paxit*, *TNT*) történt. Az adatok feldolgozásához *RDS-500* típusú számítógépet, *Geomax-I* programrendszert használtunk.

A dolgozatban bemutatott anyag csak egy töredéke annak, amit kísérleteink eredményeképpen kaptunk. Igyekszünk a legjellegzetesebb képekkel megismertetni az olvasót. Eltekintettünk a kevésbé érdekes, más területen is általános ábrák közlésétől. A teljesség kedvéért azokról a próbálkozásokról is említést teszünk, amelyek eredménye negatív.

Mérési paraméter kísérletek

Első lépésben a néma zóna területén néhány alkalmasan megválasztott ponton meghatározott program szerint kísérleti mérés sorozatot folytattunk. Ez a sorozat tartalmazott:

- sekély refrakciós mérést
- felszíni zavarhullám mérést
- robbantási mélység kísérletet
- töltetsúly kísérletet.

Az e fejezetben leírt kísérletek helyét az *1. ábrán* karikával jelöltük.

Sekély refrakciós mérések

E méréseknél a más területen alkalmazottnak megfelelően *4–5 m* mélységből *1 kg*, vagy annál kisebb tölteteket lőttünk. A néma zónán belül mért sekély refrakciós méréseink kétféle, lényegesen eltérő eredményt adtak:

Az egyik esetben teljesen jellegtelen, egy egyetlen, *1600 m/sec* körüli sebességre utaló első beérkezéseket kaptunk. A másik esetben az első beérkezések néhány *10 m*-en belül megszűntek és a robbantóponttól távoli csatornákon a várható első beérkezések idejénél később, a háttér zajszintből alig kiemelkedő jeleket észleltünk. A *2. ábrán* közölt felvételeknél *5 m*-es geofonközzel, *240 m*-es ághosszat lőttünk a terítés közepéről (*B*) és két végéről (*A*, *C*) *5 m*-ből, *0,2 kg* töltettel. Ilyen robbantási paraméterekkel más területen általában értékelhető sekély refrakciós méréseket készítettünk.

A *3. ábrán* az előzővel azonos terítés két végéről a *18 m*-ből *2 kg*-al készült terepi felvételek láthatók (*A*, *C*). E felvételek a felszínközeli rétegek bonyolult felépítésére utalnak.

Felszíni zavarhullám mérések

A felszíni zavarhullám méréseket hasonló módon hajtottuk végre, mint más területeken. A mért felszíni zavarhullámok paraméterei, a látszólagos frekvencia (*5–15 Hz* között) és a látszólagos sebesség (*300–1000 m/sec*) között hasonlóak a más területeken kapott értékekhez.

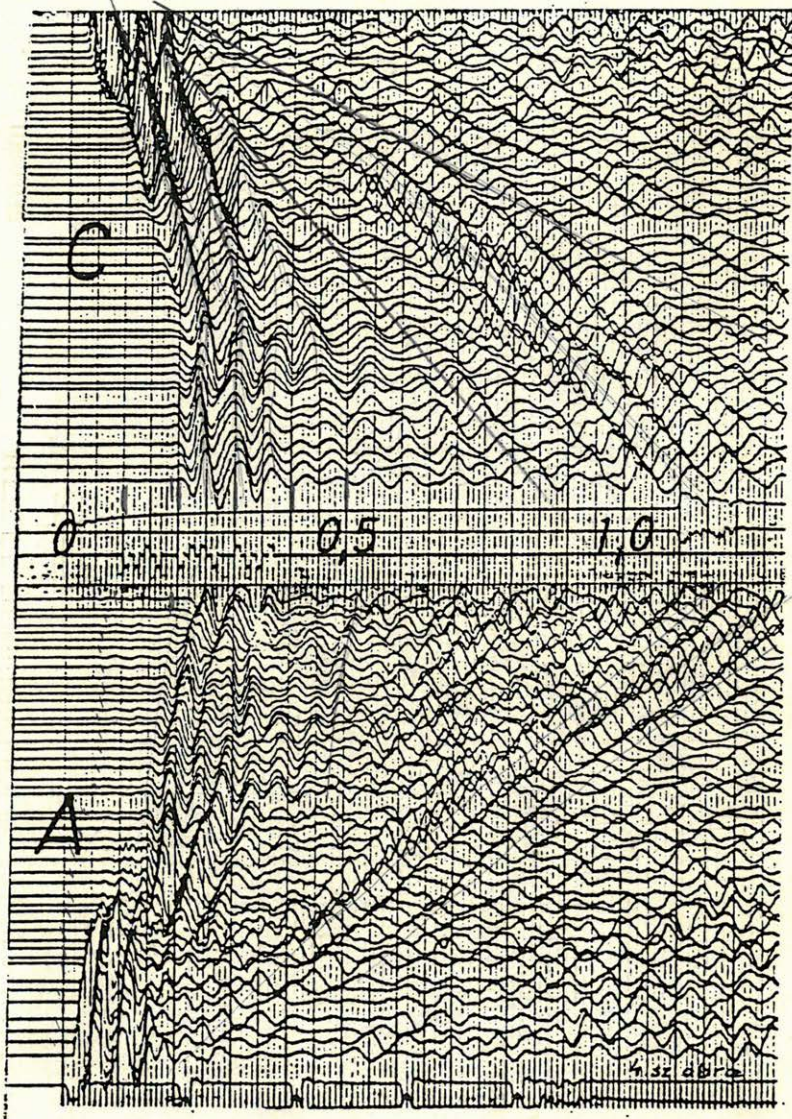
A *3. ábrán* bemutatott felvételek a felszíni zavarhullám mérés részfelvételei.

2. ábra. Sekély refrakció felvételei. $H=5$ m; $Q=0,2$ kg

Рис. 2. Сейсмограммы мелких преломленных волн:
 $H=5$ м, $Q=0,2$ кг

Fig. 2. Records of shallow refraction test $H=5$ m; $Q=0,2$ kg

2402



Geo-89/10-3

3. ábra. Zavarhullám mérés terepi felvételei. $H=18$ m; $Q=2$ kg

Рис. 3. Полевые сейсмограммы волн-помех:
 $H=18$ м, $Q=2$ кг

Fig. 3. Field records of noise test $H=18$ m; $Q=2$ kg

4. ábra. Robbantási mélység kísérlet felvételei

Рис. 4. Сейсмограммы опытных взрывов на разных глубинах

Fig. 4. Records of shooting depth test

Ezek az alábbi eltérések figyelhetők meg az egyéb területen készített hasonló felvételekkel szemben:

— az első beérkezések késése és torzulása

— a felszíni zavarhullám csomagok látszólagos sebességének felszíni hatásra utaló változása. Ez a jelenség sík területen általában nem jellemző

— reflexiós jelek hiánya a zavarhullám mentes zónában.

Megjegyzendő, hogy a nagyobb robbantópont-geofon távolságokon a reflexiós jelek alig, vagy egyáltalán nem emelkedtek ki a háttérzaj szintjéből.

Robbantási mélység kísérletek

A 4. ábrán egy jellegzetes robbantási mélység kísérlet eredménye látható. Feltűnő, hogy a 20 ill. 30 m-ből lőtt felvételek között mekkora különbség van. Ez a különbség más pontokon mélyebben, 30—40 esetleg 40—50 m között jelentkezett, minden esetben úgy, hogy a kisebb mélységből készült felvételek látszólagos frekvenciája lényegesen alacsonyabb volt. A felvételek részletes elemzése azt mutatta, hogy a területen a jel/zaj viszony spektrális összetétel szempontjából a leginkább elfogadható robbantási mélység 50—90 m között van.

Robbantási töltetsúly kísérletek

Az 5. és 6. ábrán a néma zónán belül, két eltérő jellegű ponton készült töltetsúly kísérletek eredményét mutatjuk be. A mélységkísérlethez hasonló hirtelen nagyarányú változás itt is kimutatható, az alacsonyfrekvenciás felvételeket a töltetsúly növelésekor kaptuk. A jelenség egyébként logikus, de megjegyezzük, hogy ilyen mértékű, ugrásszerű változásokat egyéb területen nem tapasztaltunk. Megfigyelhető a 4. és 6. ábrákon a felszíni zavarhullámok zónájában a jel/zaj viszony jelentős romlása.

Egyéb kísérletek és vizsgálatok

A bemutatottnon kívül egyéb kísérleteket és vizsgálatokat is végeztünk, ezek azonban lényegében új eredményt nem hoztak, ezért ezeket csak címszavakban soroljuk fel.

— Az egy csatornára kötött geofonok számának növelése. Általában 24 geofont kötöttünk egy csatornára vonalas elrendezésben, de kipróbáltuk a 48 geofon/csatorna elrendezést is. A növelés lényegi javulást nem hozott. Az 5. ábra felvételein az 1—12 csatornákra 48, a 13—24 csatornákra ugyanott 24 geofon van kötve.

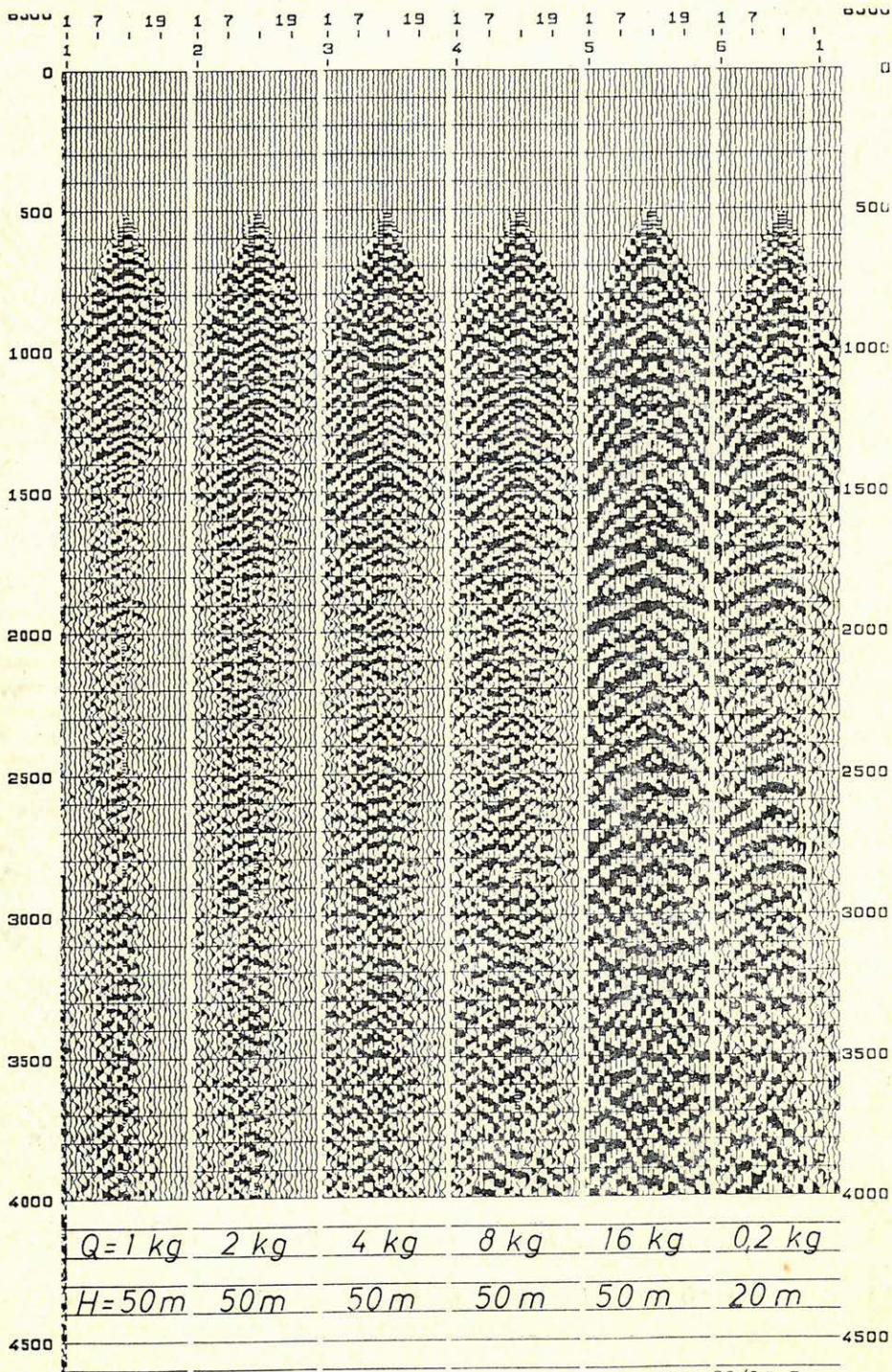
— Az általában használt 12 Hz-es felvételezési alulvágó szűrő mellett 18 Hz-es alulvágást is kipróbáltunk.

Más területeken ez a változtatás hozott általában annyi eredményt, hogy a robbantópont közelében is észlelhettünk, miután a felszíni hullámok megfelelően csillapodtak. Itt úgy tűnik, bár a zavarhullámok igen erősek voltak, az elsődleges probléma mégsem ez.

5. ábra. Töltetsúly kísérlet felvételei

Рис. 5. Сейсмограммы опытных взрывов для разного веса зарядов

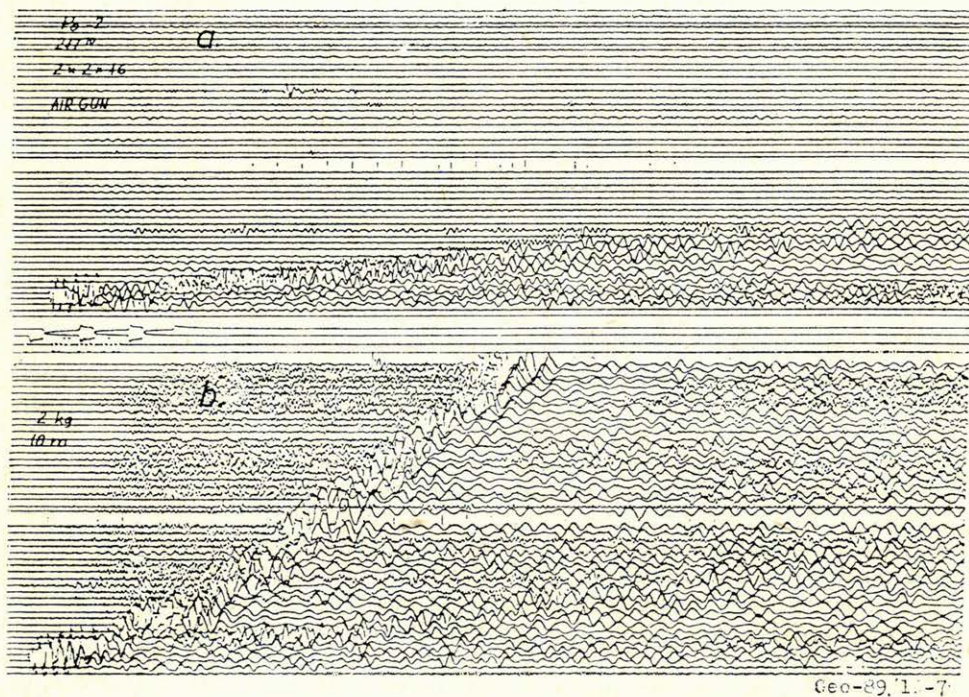
Fig. 5. Records of charge size test



50 50 50 20 ft
 FEB. 1956

Geo-39/10-5

- Robbantólyuk mélység növelés. Kísérleteztünk 100—150 m közötti mélységű robbantólyukkal is, eredménytelenül.
- Horizontális és vertikális lyukcsoportosítás. A különböző elrendezésű és számú lyukak csoportosítása érdemi eredményt nem adott.
- A különböző kísérletsorozatokra alkalmasan kiválasztott ablakokban amplitudóspektrum vizsgálatokat végeztünk. Ezek eredménye nem változtat azon a képen, amit a mellékelt ábrákon egyébként is láthatunk.
- A terület egyik pontján készítettünk egy felvételt airgun hullámkeltéssel, ez látható a 7/a ábrán. Az alkalmazott paraméterekkel a néma zónán kívül használható felvételeket kaptunk. Az itt kapott felvétel azonban nem ha-



7. ábra. Air gun (a) és robbantásos (b) terepi felvételek

Рис. 7. Сейсмограммы, полученные при возбуждении сигнала воздушной пушкой (a) и взрывом (b)

Fig. 7. Air-gun (a) and dynamite (b) field records

sonlít egy használható reflexiós felvételhez. A szeizmikus csatornákat a levegőben terjedő hanghullám indítja be. A 7/b ábrán az ugyanitt készült robbantásos felvétel látható, amit 18 m-ből 2 kg-os töltettel készítettünk. Mint a korábbiakból kitűnik, a robbantási mélység nem feltétlenül jó, de a különbség mégis óriási a felszíni forrással összehasonlítva.

Szeizmikus időszelvény készítése

A fentebb leírt kísérleti eredmények birtokában úgy véltük, hogy érdemes megkísérelni szeizmikus szelvény készítését a néma zóna területén. Az alábbiakban az 1. ábrán 2A számmal jelölt vonalszakaszon történt mérésről és feldolgozásról számolunk be.

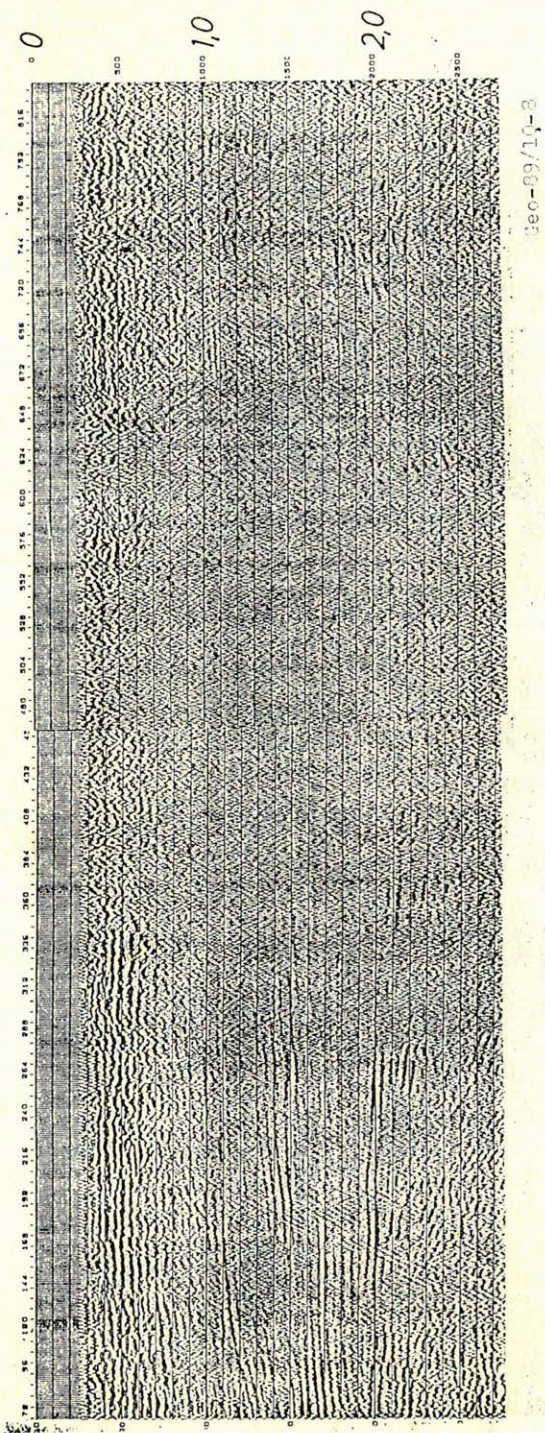
A mérést 120 csatornási MDS—16 műszerrel végeztük 60×-os fedéssel. A geofoncsoportok bázisa közötti távolság 40 m volt. Egy csatornára 24 db 10 Hz-es geofont kötöttünk vonalas elrendezésben. A geofoncsoportok hossza 40 m volt. A terítéselrendezés: —2480...—120...×...120...2480 m volt. A felvételeket 70 m-es lyukból 2 kg-os töltettel készítettük. A szelvény mentén nem kaptunk egységes szeizmikus képet. A spektrális összetétel és a jel/zaj viszony változott, ugyanakkor az első beérkezési idők eltérő módon késtek ahhoz képest, amit a néma zónán kívül kaptunk.

A mérési anyagot a rutin feldolgozási programokkal dolgoztuk fel (terepi statikus, automatikus statikus javítás, dinamikus korrekció, közös mélységpontos összegzés).

Az eredményszelvény (8. ábra) messze elmaradt várakozásainktól. Bár az egyszerű felvételeken a jel/zaj viszony korántsem volt kielégítő, azért helyenként reflexiónyomokat fel lehetett fedezni. E körülményben, valamint a magas fedésszámban bízva lényegesen jobb időszelvényt vártunk. Feltételeztük, hogy a sikertelenség oka a felszínközeli rétegekben jelenlévő sebesség inverzió, vagyis egy alacsony hullámterjedési sebességű réteg betelepülése. E kis sebességű rétegnek nagyjából a 70 m-es robbantási mélység alatt kell elhelyezkednie, a szelvény mérés folyamán nyert vertikális idők ugyanis nem utaltak arra, hogy a felszínközeli jelentős anomáliák lennének.

Továbbá feltételeztük, hogy a korábban említett szelvény mérés folyamán tapasztalt változások az első beérkezések késésében a betelepült kis sebességű réteg vastagságának vagy sebességének változásával vannak összefüggésben. Az első beérkezések késése a szelvény mentén 0—140 msec között változott. Megvizsgáltuk valamennyi geofonhelyre ezt a késést, több felvétel alapján átlagoltuk, és feltételeztük, hogy az adott geofonhelyhez tartozó késést egy kis sebességű réteg betelepülés okozza, amelyen kétszer halad át a szeizmikus jel. Így minden egyes geofonhelyhez hozzárendeltük a fentebb számolt átlag felét, és ezzel módosítottuk az adott pont statikus korrekciójának értékét. Az ilyen módon előállított statikus korrekciót a számítás módjából eredően csak közelítésnek tekintettük. Egyes szakaszokon 10—15 msec-os hibát is elképzelhetőnek tartottunk. Az így készült előzetes időszelvény és az alkalmazott statikus korrekció a 9. ábrán látható. Miután ezen az előzetes szelvényen biztató jeleket, helyenként reflexió töredékeket véltünk fölfedezni, úgy gondoltuk, hogy érdemes egy, fenti szempontokat figyelembe vevő speciális feldolgozást végrehajtani.

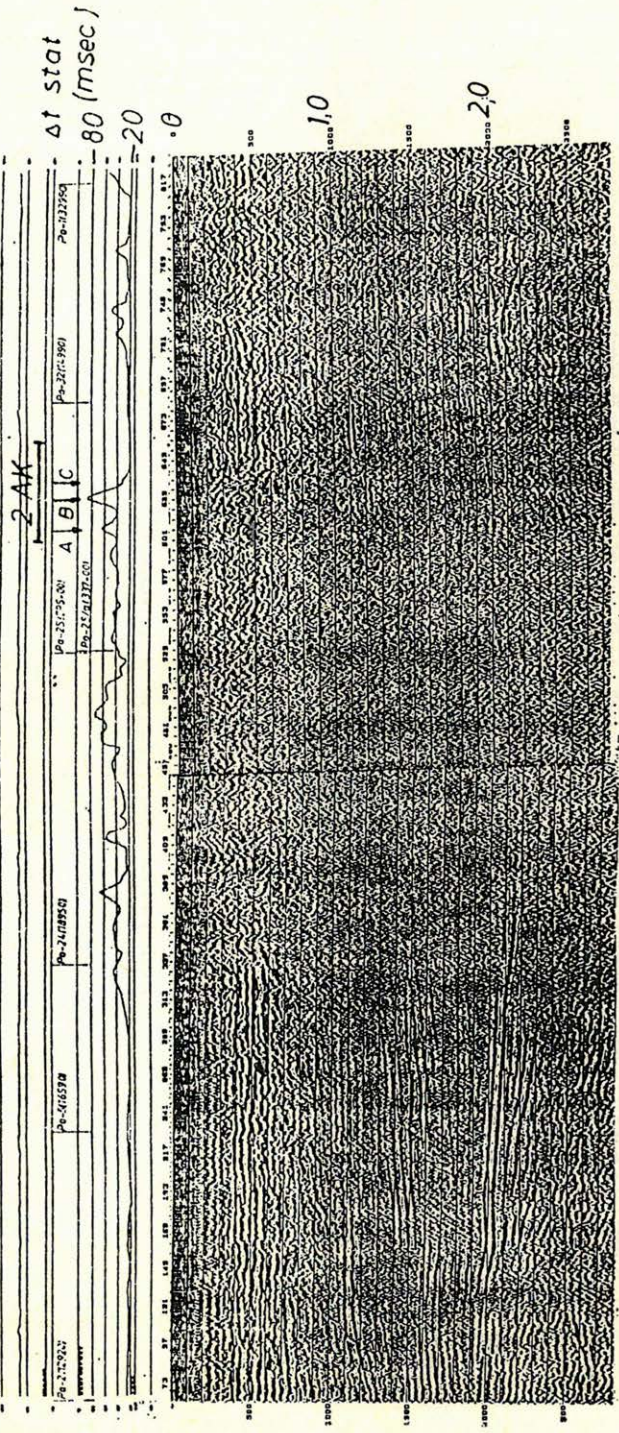
Az elsődleges statikus korrekció újraszámításának alapján feltételezhető volt, hogy a maradék statikus becslés során is szokatlanul nagy értékeket kell meghatároznunk programjaink segítségével.



8. ábra. Végleges időszelvény szabvány feldolgozással

Рис. 8. Окончательный временной разрез после обычной обработки

Fig. 8. Final time section after conventional processing



Geo-99/10-9

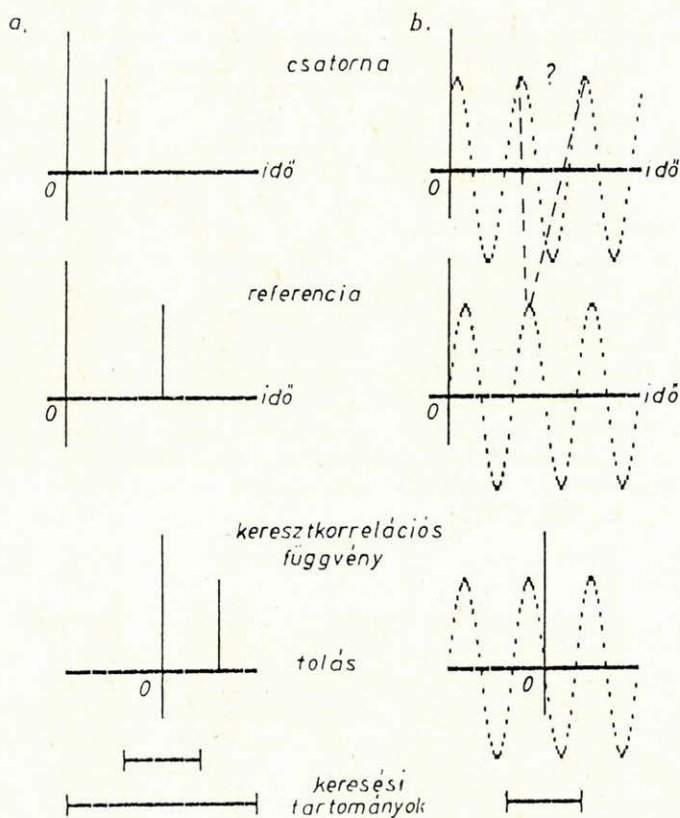
9. ábra. Előzetes időszelvényt javított terepi statikus után

Рис. 9. Предварительный временной разрез после исправления полевых статических поправок

Fig. 9. Brute stack after improved field statics

A legtöbb statikus korrekciót javító eljárás alapja a dinamikusan korrigált egyszeres csatorna valamely kiválasztott időablakának keresztkorrelációja egy modell csatornával, és a fázis eltérés meghatározása. Ezt nevezzük tolásbecslésnek. A modell lehet az összegcsatorna, valamelyik kitüntetett egyszeres csatorna, esetleg egy tényleges modellszelvény.

A keresztkorreláció eredményeként adódó maximálisan — fázistévesztés nélkül — meghatározható időtolást egyfelől mi magunk korlátozzuk véges hosszúságú keresési tartomány megadásával, másfelől korlátozzák ezt a csatorna és a modell spektrális jellemzői is. Nézzük erre két végleges példát. (10. ábra).



Geo-89/10-10

10. ábra. Tolásbecslés: a. szélessávú jel esetén, b. monofrekvenciás esetben

Рис. 10. Оценки сдвигов:

а. в случае широкополосного сигнала; б. в случае моночастотного сигнала

Fig. 10. Estimation of delay in case of — a spike as input (a) — monofrequency as input (b)

Az első esetben jelünk szélessávú, a csatorna fázis eltérését a referenciához képest maximális biztonsággal meg tudjuk határozni, feltéve, hogy a keresési tartományt elegendő szélesre választjuk.

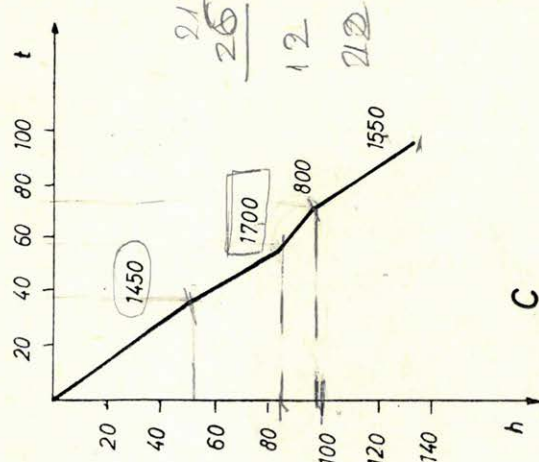
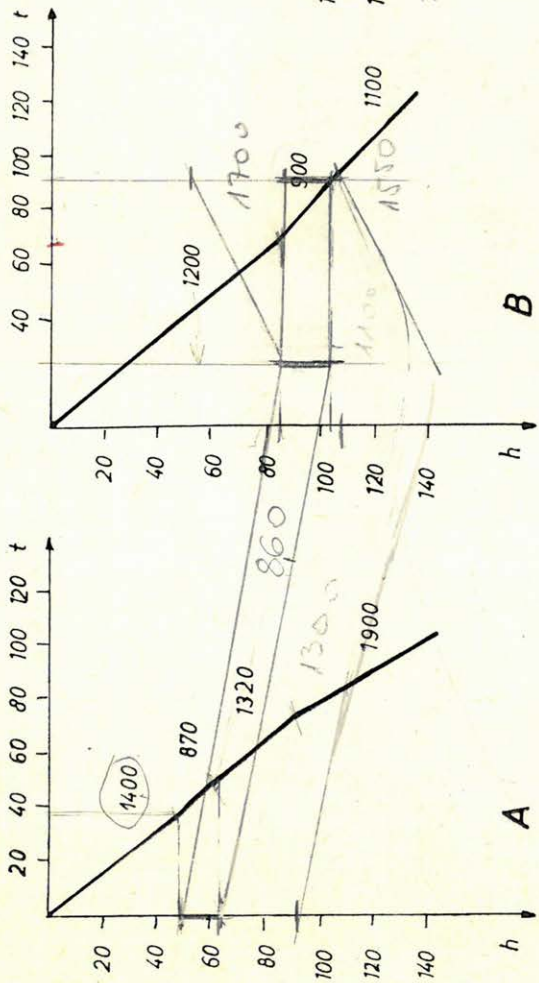
A második esetben a tolást csak akkor tudjuk jól becsülni, ha a meghatározandó hiba kisebb a periódushossz felénél. Ha csökkentjük a frekvenciát, ezzel együtt növekszik a meghatározható tolás.

A valóságban természetesen bonyolultabb a helyzet, jeleink sávkorlátozottak, és a zaj hatásával is számolnunk kell. Adott frekvencián, a zaj hozzáadása fázistolást eredményez, ami éppen olyan, mintha statikusan toltuk volna el a csatornát. A meghatározott tolásértékből — monofrekvenciás esetben — nem tudjuk szétválasztani a statikus eredetű, valamint a zaj okozta hibát. Szélesíteni kell tehát a spektrumot, feltételezve, hogy a statikus hiba a frekvenciától független, ennek azonban határt szab a jel/zaj viszony frekvencia növelésével csökkenő volta. A spektrumszélesítés ez esetben nem az eredeti jelspektrum szélesítésére értendő — pl. dekonvolúció — hanem a mono frekvenciás esethez képest. A gyakorlatban meg kell találnunk azt a határt, amin belül a jel/zaj viszony még kielégítő, a spektrum elég széles és a látszólagos frekvencia elég alacsony. Ezeket az értékeket mindig a várható hiba nagyságának szemszögéből kell értékelnünk. Ugyancsak a várható hibához kell igazítanunk a keresési tartomány megválasztását is.

A szóban forgó szelvény esetében, amint azt a feldolgozásról szóló rész bevezetőjében említettük, sejthető volt, hogy a statikus hiba jóval nagyobb a szokásosnál, ezért a tolásbecsléshez kb. 20 Hz középfrekvenciájú, viszonylag szűk sávzélességű szűrőt alkalmaztunk, s a keresési tartományt 60 ms-ra választottuk. Ezekkel a paraméterekkel jó eredményt kaptunk majdnem a szelvény teljes hosszában, de a szelvény végén nem volt megnyugtató kép. Ezért ezen a szakaszon horizontkövetést alkalmaztunk — azaz leírtuk a reflexió kívánt menetét. Ez az eljárás igen drasztikusan tud működni, gyakran fantomképet eredményez, ha azonban az általunk előírt horizonton kívül is megjelennek értékelhető szintek a szelvényen, akkor elhithetjük, hogy nem „délibáb”, amit látunk. Ez esetben — szerencsére — ez történt, s a kapott eredményt a 11. ábrán láthatjuk.

Lazaréteg vizsgálatok

A viszonylagos eredmény ellenére kétségeink maradtak, hogy elfogadható-e egy tökéletesen sík területen olyan bizarr statikus korekciós menet, mint amit alkalmaztunk. Ezért a 11. ábrán megjelölt *A*, *B*, *C* pontokban méréseket végeztünk a lazaréteg sebességének vizsgálatára. *A—B* távolság 366 m, a *B—C* távolság 120 m. E pontokat úgy választottuk ki, hogy az erősen változó statikus menet jellegzetes pontjaihoz essenek. E pontokon olyan mélyre lefúrtunk, amennyire eszközeink engedték (130—145 m) és a lyukakat 6m-enként végiglőtük 400 gr-os *TNT* töltetekkel. A felszínen 6m-es geofonközű 2×60 csatornás kereszt-terítésben észleltük. A 12. ábrán látható a lyuk szá-jánál elhelyezett geofonon mért első beérkezési idő a mélység függvényében. Az ábrán feltüntettük az intervallumsebességeket is. Mint látható a három, viszonylag egymáshoz közel eső ponton jelentős eltérések vannak a felszínközeli rétegek sebességviszonyaiban. Az egyszeres terjedési idők a felszín, és a felszín alatti 130 m között az *ABC* pontokon 95, 118 és 92 msec. Ezek az értékek hasonlóságot mutatnak a korábban számolt statikus korekciós menettel, különösen ha figyelembe vesszük, hogy nem értük el az egységes konszolidált összletet. A sebességviszonyok térbeli gyors változását illusztrálja a 13. ábra.

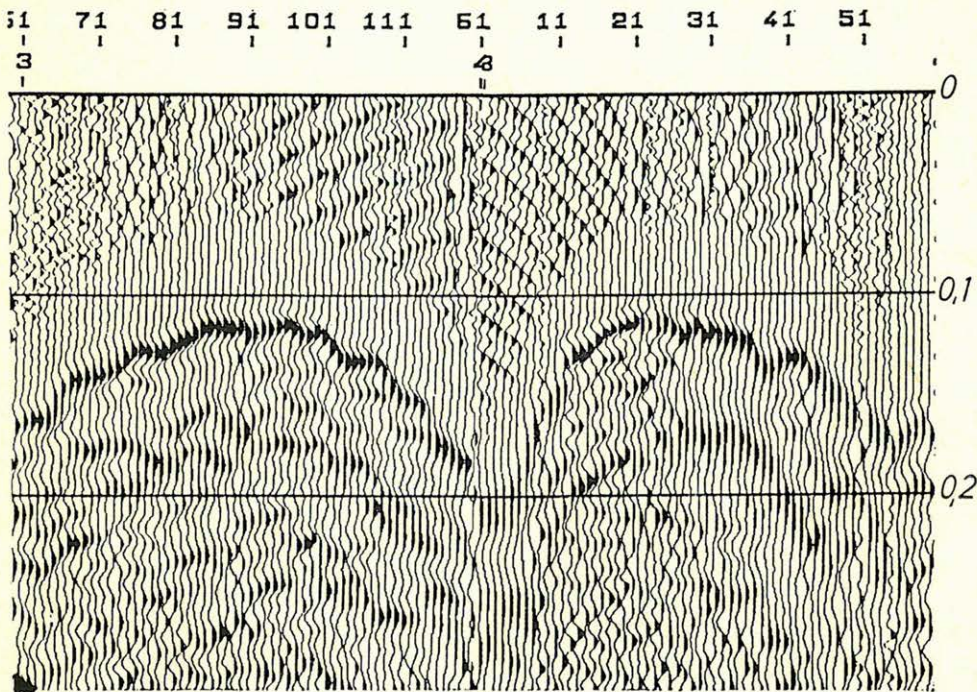


Geo-89/10-12

12. ábra. Lyukkorrekciós mérés új-ídő görbéi az A, B, C pontokon az intervallum sebességekkel (m/sec)

Рис. 12. Годографы и интервальные скорости, полученные в скважинах для изучения поправок в точках А, В, С
Fig. 12. Travel time curves of check-shots at A, B, C points with interval velocities (m/sec)

10m = 14
2ms
15m
Vastag
13
8ms



Geo-89/10-13

13. ábra. Első beérkezések a kereszt-terítésen az A pontnál. $x=6$ m; $H=132$ m; $Q=0,4$ kg

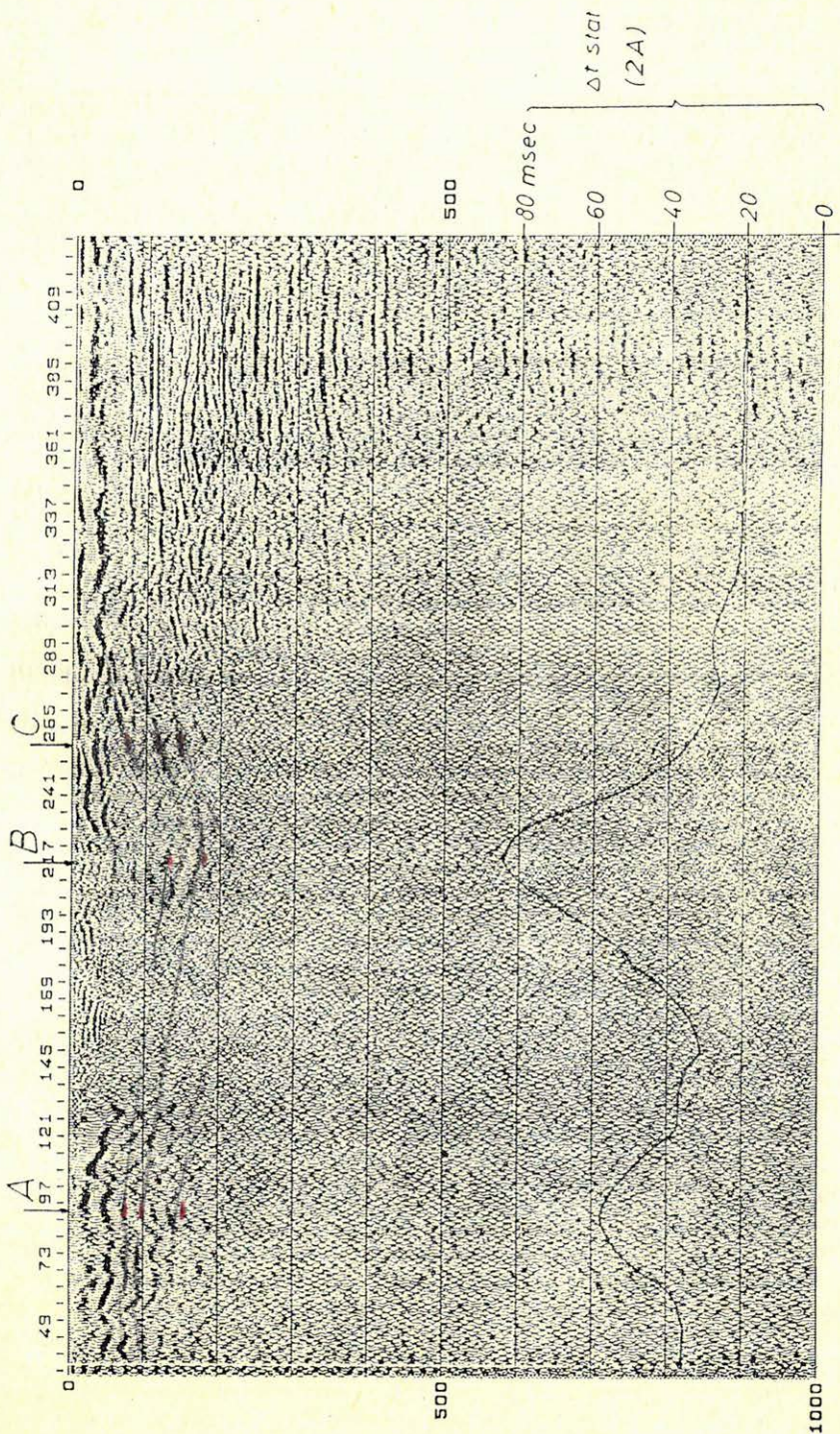
Рис. 13. Первые вступления на крестовой расстановке у точки А: $X=6$ м, $H=132$ м, $Q=0,4$ кг

Fig. 13. First breaks on cross-layout at A point. $x=6$ m; $H=132$ m, $Q=0,4$ kg

Ez az A ponton 132 m-es mélységből lőtt felvétel kereszt-terítésen észlelt első beérkezéseket mutatja. Píyen mérésnél, normális területen normális hiperbolákat szoktunk kapni. A szabályos, sima hiperbolától való eltérések oka a felszínközeli lazaréteg felépítésében lehet. Megjegyezzük, hogy a B és C ponton is változatos, a bemutatottól és egymástól is eltérő képet kaptunk, ami a robbantási mélység változásával is értelemszerűen változott.

A lazaréteg felépítésének ezen ugrásszerű változása magyarázatot ad arra is, hogy a 10. ábrán látható szelvény sekélyebb szintjei miatt olyan zajosak. Feltehetőleg az alkalmazott 40 m-es hosszúságú geofoncsoporton belül az egyes geofonhelyek között olyan mértékű statikus korrekció különbségek vannak, hogy ezáltal az amúgyis gyenge reflexiókat „sikeresen” csillapítottuk. A 2,0 sec körüli erősebb reflexió a csillapítás ellenére is folyamatosan követhető maradt.

A lazaréteg szelvénymenti változásának jobb megismerése céljából az 1. és 11. ábrákon 2AK-val jelzett helyen mértünk egy 1200 m hosszú sekély reflexiók szelvényét. 60 csatornás középpontos rendszerrel $30 \times$ -os fedést állí-



Sec-89/10-14

14. ábra. Sekély reflexiók szeizmikus szelvény a 2AK vonalon

Рис. 14. Мелкий сейсмический разрез МОВ на профиле 2АК

Fig. 14. Shallow reflection section on 2AK line

tottunk elő, 6 m-es geofonközzel. A robbantásokat 4 m-es lyukból 2 gyutaccsal végeztük. A zavarhullámok csökkentése érdekében a terepi feltételezésnél 45 Hz-es alulvágást alkalmaztunk. A szelvényt a felszínre korrigáltuk a feldolgozásnál, mivel a cél éppen a statikus korrekcióérték változásai okának megkeresése volt. A 14. ábrán látható szelvényre feltüntettük az ABC pontok helyét, valamint a szelvény alapján a 2A vonalon (II. ábra) alkalmazott statikus korrekció értékeit. A szelvény alapján a felszínközeli rétegek felépítése nem ismerhető fel, jellegét tekintve négy, lényegesen eltérő egységre bontható a vonal. Ezen egységek és az ábrázolt statikus korrekció változás között felismerhető összefüggés van.

Összefoglalás

A hortobágyi néma zóna területe szeizmikus szempontból korántsem tekinthető egységesnek, hanem különböző jellegű foltok halmazának. A jellegbeli különbség a felszínközeli (néhány 100 m) lazaréteg felépítésében észlelhető. Ez a körülmény a statikus korrekció értékének extrém térbeli változását okozza. E gondolatmenetet felhasználva sikerült a néma zóna területén egy szeizmikus szelvényhez hasonló eredményhez jutnunk.

Hangsúlyozni szeretnénk, hogy a közölt kísérletekkel és vizsgálatokkal a problémát korántsem tekintjük lezártnak. A meglévő anyag is még számtalan vizsgálatra ad lehetőséget, továbbá kívánatos lenne a terepi kísérleteket is folytatni. Amennyiben a jövőben a terület CH perspektívája újabb méréseket tesz szükségessé, célszerűnek tartanánk az alábbi szempontok figyelembe vételét.

- kis geofonközű (max. 20 m) nagy csatornaszámú észlelési rendszereket kell kialakítani, magas fedésszámmal. A forrás és vételoldali csoportosítás hossza se haladja meg a 20 m-t.
- A hullámkeltési paraméterek optimalizálása. Jelen eszközeink közül csak a klasszikus fúrás-robbantás eljárást tartjuk célravezetőnek.
- a lazaréteg korrekció számítás és a számítógépes feldolgozás speciális kezelése.

IRODALOM

- Szénás György—Ádám Oszkár: Szeizmogeológiai viszonyok Délnyugat-Magyarországon. Geofizikai Közlemények II. kötet 9. 1953.
- Ádám Oszkár: Egyes DNY-dunántúli területek némaságának okai. Geofizikai Közlemények IV. kötet 1. sz. 1955.
- Jelentés az 1962-ben végzett hortobágyi geofoncsoport és linear-shooting kísérletekről. MÁELGI 1962.
- Molnár Károly szóbeli tájékoztatása a GKV 1962. évi hortobágyi kísérleteiről.
- Működési jelentés a Hortobágyi Nemzeti Park és közvetlen környezetében végzett 1978. évi vibroszeiz mérésekről. MÁELGI 1979.
- Jelentés a Hortobágyi Nemzeti Parkban és környezetében végzett vibroszeiz mérésekről. (1978—79) MÁELGI 1979.
- Szeidovitz Gyözőné—György Lajos: Vibroszeiz mérések a hortobágyi néma zóna területén. Magyar Geofizika XX. évf. 2—3 sz. 1979.
- Gálfi János—Márton Péter—Meskó Attila—Stegena Lajos: Geofizikai kutatási módszerek I. Szeizmika. Tankönyvkiadó 1967.
- R. Meissner: Wave-front diagrams from uphole shooting Geophysical prospecting, Vol IX. N. 4. Dec. 1961.

Christian Ulrich Wagner professzor 1935—1989



1989 márciusában Sopronba vártuk Wagner professzort, mint a KAPG konferencia egyik rendezvényének vezetőjét. Sajnos, már akkor nem tudott eljönni, nemsokára súlyos betegségéről érkeztek hírek, és 1989. június 24-én el is hunyt. Az ionoszférával és magnetoszférával foglalkozó kutatók mind a KAPG, mind az INTERKOZMOSZ együttműködés keretében sokáig fogják még hiányolni magas alakját, megfontolt szavát, érdekfeszítő előadásait.

Wagner professzor 1959-ben kezdte meg tudományos pályafutását az NDK Tudományos Akadémiájának Geomágneses Intézetében, Potsdamban, Fanselau és Lucke professzor irányításával. Pályája kezdetén főleg az ionoszféra fizikájával kapcsolatos kutatásokkal foglalkozott. Elsősorban az alsó ionoszféra ionizációja, és a töltésemlegesítési folyamatok foglalkoztatták. 1962-ben osztályvezetőként doktorált a negatív oxigén-ionoknak az ionoszférában játszott szerepéről írt disszertációval. Ismeretségünk ebből az időből származik. Habilitációs munkája (1967) az ionoszférikus plazma vezetőképességének geomágneses adatokból való meghatározásával foglalkozott. Ekkor már aktív szerepet játszott a magnetoszféra és az ionoszféra közötti kapcsolat, a két tartomány dinamikájának mesterséges holdakkal történő kutatásában, és nagyon sok kísérlet adatainak feldolgozásában, értelmezésében vett részt. Ezeknek, főleg az INTERKOZMOSZ, majd a KAPG keretében folyó kutatásoknál többnyire ő volt a kezdeményezője és motorja. Felismerve azt, hogy alapvető eredményeket ezen a területen csak komplex metodikával lehet elérni, a vizsgált terület és a figyelembe vett paraméterek körének kiterjesztésére törekedett. Így került sor arra is, hogy ezekben a retrospektív vizsgálatokban mesterséges holdakon észlelt jelenségek értelmezésénél felszíni mérések eredményeire is támaszkodva, az együttműködésbe a hazai ionoszféra állomás is bekapcsolódott. A nemzetközi együttműködésnek kitartó pártfogója volt,

a nemzetközi szervezetekben betöltött vezető szerepével kapcsolatos utazásait mindig felhasználta tudományos vitákra, baráti kapcsolatok ápolására is. Így jutott el számos alkalommal, utoljára 1985-ben az ionoszféra, magnetoszféra szemináriumra hazánkba is.

A potsdami Geomágneses Intézet számos átszervezése során egyre nagyobb területek irányítását bízták rá, s végül, amikor 1983-ban az NDK Tudományos Akadémiája professzorrá nevezte ki, az Asztrófizikai Intézetben a nap-föld fizikával foglalkozó főosztály vezetője lett.

Hazájában számos magas kitüntetésben részesült, több nemzetközi szervezetben választották meg különböző funkciókra, így elsősorban a Nemzetközi Geomágneses és Aeronómiai Asszociáció szervezetében töltött be jelentős szerepet. 1986-tól az NDK Rádiófizikai és Rádiótechnikai Nemzeti Bizottságának (URSI) elnöke is volt.

Hatalmas munkabírásáról mintegy 150 tanulmánya és 220 előadás tanúsodik, amelyek jelentős része vezető nemzetközi folyóiratokban jelent meg, nagyon sok különböző nemzetiségű társszerzőkkel. Az emlékére írott vers a kalugai utcán siető alakját említi, de éppilyen otthonos volt Sopronban, Szófiában, Prágában, Leningrádban, mindenhol barátok köszöntötték. Most egy kicsit tanácstalanul állunk, mi lesz kezdeményezéseivel, hiszen az 1990-ben Magyarországon rendezendő magnetoszféra téli iskola terveit is még vele készítettük.

Kedves Christian barátunk, emlékedet megőrizzük.

Bencze Pál—Verő József

Könyvismertetés

Tánczer Tibor: Műholdmeteorológia

A könyvet az Akadémiai Kiadó jelentette meg. Ez jelzi, hogy tudományos elmélyültségű munkáról van szó. Terjedelme 272 oldal. Ez mutatja, hogy a szerző a szakterület átfogó leírására vállalkozott.

A könyv 11 részre tagolódik, beleértve a bevezetést is. Ez utóbbiból érdemes felidézniünk a műholdas mérések meteorológiai jelentőségét:

— olyan áttekintésben mutatják egyes meteorológiai elemek területi eloszlását, amelyre más mérések nem adnak lehetőséget,

— a megfigyelés egységes műszerrel és módszerrel történik mindenütt, tehát nincs szükség a műszerek és módszerek eltéréseiből adódó különbségek kiküszöbölésére,

— az adatgyűjtés gyors, közvetlenül számítógépbe vihető az adatfolyam,

— olyan mérések is elvégezhetők műholdról, amelyeket a felszínről vagy a levegőből nem tudtunk elvégezni.

A könyvet elsősorban a szinoptikus meteorológiai szemlélet hatja át, azaz az időjárás fő jellegzetességeinek a műholdképek segítségével történő vizsgálatát mutatja be, de természetesen nem hiányoznak a műholdas észlelési technika fizikai és geometriai vonatkozásai sem. Fizikailag a műholdas meteorológiai észlelések a távérzékelés egy területét jelentik, azaz a mérési hely és a mérőeszköz egymástól távol van, közöttük a kapcsolatot valamilyen sugárzási tér hozza létre. A műhold által észlelt értékeket hozzá kell rendelniük (a felszínen vagy a légkörben) ahhoz a helyhez, amelyre vonatkoznak. Ez az ún.

földrajzi azonosság, amely megköveteli a műhold mozgásának és a leképezés geometriájának pontos ismeretét.

A szerző ismerteti a két alapvető meteorológiai műholdtípust: a geostacionárius és a kvázipoláris pályán működő rendszereket. A geostacionárius holdak a Föld forgásával szinkronban keringenek, így az Egyenlítő valamely pontja felett állni látszanak. Az általuk beállított Föld-részletről félóránként tudnak képet adni, így az ottani időjárást gyakorlatilag folyamatosan mutatják. A poláris holdak egyazon hely fölé naponta kétszer jutnak, közben letapogatják az egész Földet, legsűrűbben a sarkvidékeket.

A felhőzet különböző fajtáinak megjelenését számos szép ábra szemlélteti. Megtanulhatjuk felismerni a különböző felhőket műholdas képeik alapján. A felhőrendszereket kialakító időjárási folyamatok és a felszín hatása jól felismerhető a jellegzetes felhőzetéről. Ezek részletes szinoptikus elemzése a könyv fő értéke.

A nagymennyiségű műholdas felhőészlelés lehetővé tette a műholdas felhőklimamitológia kialakulását. Ennek módszereiről, lehetőségeiről szóló fejezet az éghajlatkutatás sok más területe számára nyújt értékes segítséget.

Könyve végén szerzőnk az észlelések leghatékonyabb feldolgozási eljárásáról, a digitális kiértékelés módjairól, lehetőségeiről ír. Ezen az úton jóval többféle és pontosabb feldolgozást végezhetünk, mint a csak vizuális hasznosítással, noha az ember gyors felismerőképességét különleges esetekben nehéz géppel helyettesíteni. A digitális kiértékelés teszi lehetővé derült időkből készült infravörös felhőképek alapján a felszín hőmérsékletének térképezését.

A legutolsó, a 11. fejezet, a meteorológiai műholdsorozatok teljes leírását, adja, a fellövés dátumával együtt, tehát a műholdas meteorológiai észlelési technika rövid történetét ismerteti.

Összefoglalva: a könyv a meteorológiai műholdtechnika és a műholdszinoptika tudományos és részletes áttekintésével az első magyar nyelvű szakkönyv, amely nélkülözhetetlen a szakterület kutatói, az előrejelzést végző meteorológusok és az egyetemi hallgatók számára.

Major György

L. Hatton, M. H. Worthington, J. Makin, *Seismic Data Processing Theory and Practice Blackwell Scientific Publications, 1986.*

A kötet tartalmának zömét az Oxfordi és Londoni Egyetemen tartott előadások anyaga teszi ki, melyet a szerzők a kőolajkutató szeizmika tárgykörében tartottak. Mivel a hallgatóság általában erősen eltérő geológiai, fizikai, matematikai alapokkal rendelkezett, a szerzők törekedtek, hogy a matematikai részletek mennyiségét minimalizálják és minél jobban a szemléletességre támaszkodjanak. Ennek ellenére feltételezték, hogy az olvasó tisztában van a differenciál és integrálszámítás alapjaival, a Fourier sorozatok és mátrix algebra elemeivel, beleértve a sajátvektor — sajátérték számítást, valamint a főténgely transzformációkat.

A szerzők tudatában voltak, hogy számos témát más, kiváló szakkönyvek sokkal részletesebben tárgyalnak. A könyv megírását főleg az a meggyőzés ösztönözte, hogy adottnak véve egy jól felszerelt számítógéphez való hozzáférés lehetőségét, elsősorban gyakorlati tanácsokra és útmutatásra van szükség

ahhoz, hogy ezeket az eszközöket a lehető legelőnyösebben lehessen felhasználni.

Az 1. fejezetben egy tipikus szeizmikus feldolgozó központ hardver eszközeivel ismerteti meg az olvasót. A 2. fejezet az idősorozatok analízisének elméleti alapjait tekinti át; Fourier analízis, konvolúció, szűrők, minimum fázis, Hilbert transzformáció, szűrő tervezés, spektrum analízis stb. A 3. fejezet a szeizmikus feldolgozás valamennyi fontos műveletét áttekinti, beleértve a 3D-s feldolgozást is. A migráció műveletét külön tárgyalják a 4. fejezetben. A napi rutinfeldolgozás során jelentkező tipikus problémák megoldásainak rendszerezése és leírása e kötet legérdekesebb része a két fejezetben. Az 5. fejezet az inverzió elméletét és alkalmazásait tekinti át a lehető legerősebb tárgyalásra törekedve. A szeizmikus tomográfia algoritmusait kivéve legtöbb mini és mainframe számítógép rendelkezik ezekkel a szubrutin könyvtárakkal, melyekkel valamennyi, a fejezetben leírt művelet megvalósítható.

A kötetet mindvégig az egyszerű tárgyalásmód és a kitűnő minőségű szemléltető ábrák nagy mennyisége jellemzi. Figyelemre méltó, hogy ez az egyetemi tankönyv feldolgozza az utóbbi évek szinte valamennyi modern kutatási eredményét, így a bevezetés mellett kiválóan alkalmazható szakmai továbbképzésre és kézikönyv gyanánt is. A kötetet feladatgyűjtemény és index egészíti ki.

Késmárky István

Könyvismertetés

Az üledékes medencék átfogó földtani-geofizikai vizsgálata a szakma egyik legaktuálisabb problematikájává vált. Ezért felfokozott érdeklődésre számíthatnak a medenceanalízissel, ill. annak részterületeivel foglalkozó tudományos munkák, összefoglaló monográfiák. A Springer-kiadó egyszerre két értékes művet adott ki idén e tárgykörben, amelyek a magyar földtani kutatás szakembereinek figyelmére is feltétlenül érdemesek.

Lefort, Jan-Pierre: *Basement Correlation Across the North Atlantic*, ISBN 0-387-18794-4, 3-540-18794-4 148 pp. 77 figs.

A munka a kevésbé ismert francia és spanyol szakirodalom adatait is felhasználva végez sokoldalú korrelációt Észak-Amerika, Európa és Afrika földtani szerkezetei között. A geológiai, geofizikai és geokémiai ismeretek szintézise a vizsgált területtől elvonatkoztatva is példaadó módszertani anyag.

Naeser, D. Nancy, McCulloh, H. Thane Eds: *Thermal History of Sedimentary Basins*.

ISBN 0-387-96702-8, 3-540-96702-8 319 pp. 187 figs.

A kötetben az American Association of Petroleum Geologists 1985 évi konferenciája keretében megtartott az egyik szimpózium előadásait gyűjtötték össze. Az anyag jól szerkesztett és a tárgymutatóval, valamint 17 szakdolgozat mindegyikét kísérő bőséges szakirodalmi jegyzékkel kiegészítve szinte monográfiaként alkalmazható.

Dr. Deres János

R. Haenel — L. Rybach — L. Stegena: Handbook of Terrestrial Heat — Flow Density Determination. (*A földi hőáramsűrűség meghatározásának kézikönyve*), *Chuver Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 1988. XIV + 486 old. 186 ábra (részben térkép) és nagyszámú táblázat. Megjelent a "Solid Earth Sciences Library", sorozatban.*
ISBN szám: 90277258896.

A tudományok történetében gyakran jelentkeznek korszakok, amikor mind a kutatás, mind a gyakorlati alkalmazások terén gyors és intenzív fejlődés jelentkezik és az egyre nagyobb anyag áttekintése szinte lehetetlenné válik. Ilyenkor felmerül olyan összefoglaló munkák szükségessége, melyek rendszeressé téve közérthetően mutatják be a legújabb eredmények létrehozta állapotot. Ilyen esetnek vagyunk tanui napjainkban a geotermika elmélete és gyakorlati alkalmazásai terén és amint az előszavában A. E. BECK, az IHFC (International Heat Flow Commission — Nemzetközi Hőáram Bizottság) elnöke elmondja, ilyen rendszerezési feladatot old meg kitűnően az itt bemutatandó könyv a szakterület kiváló művelőinek szerkesztésében.

A mű 10 főfejezetre oszlik. A már említett előszó után az első fejezet (R. HAENEL—L. RYBACH—L. STEGENA) Bevezetés címmel rövid áttekintést ad a tudományág jelentőségéről és történeti fejlődéséről Olato és Aristoteles korától napjainkig. Az ezt követő 2. fejezet (címe: A geotermika alapjai/R. HAENEL—L. RYBACH—L. STEGENA). A szerzők itt részletesen tárgyalják a hővezetés és konvekció elméleti alapjait és a használatos numerikus módszereket, külön alfejezetben terjeszkedve ki a véges differenciák és a véges elemek módszerének alkalmazására (1—58 old.). A 3. fejezetben A.E. BECK—N. BALLENG a kőzetek eredeti hőmérsékletének meghatározását tárgyalja. (85 old.) A szerzők itt részletesen kiterjeszkednek az alkalmazott műszerekre és a mérési eljárásokra, a műszerekben használt szenzorokra és módszerekre, a különböző mérőhelyeken (fűrólyukak, tavak, tengerek) szükséges speciális eljárásokra.

A 4. fejezet (A.E. BECK — L. RYBACH és C. CLAUSER) termális tulajdonságokkal foglalkozik (konduktivitás, diffuzivitás, hőtermelési sebesség, opacitás)

Az 5. fejezet (W.G. POWELL — D. S. CHAPMAN — N. RALLING és A. E. BECK) a kontinentális hőáram -sűrűséggel foglalkozik, míg a 6. fejezet (E. E DAVID) ugyanezt az óceánokra vizsgálja.

A 7. fejezetben (V. ČERMAK és R. HAENEL) tollából áttekintést kapunk a geotermális térképezésről. A fejezet ajánlásokat is tartalmaz a tökéletesítésre.

A 8. fejezet tárgya (H. POLLACK — I. H. SASS és D. STROMEYER) a kéreg és köpeny geotermikája. Ezen belül külön foglalkoznak a litoszféra termális rezsimével és lefelé folytatással is.

A 9. fejezetben a geotermika különböző kutatási területekkel való kapcsolatairól és gyakorlati alkalmazásokról van szó. S. UYEDA a geodinamikai kapcsolatokat fejti ki, F. MOMGELLI és R. HAENEL a gyakorlati geotermikus kutatásról számolnak be, L. Stegena paleogeotermikával G. Delisle pedig a mérnöki ipari alkalmazásokról ad számot.

Végül a 10-ik fejezetként G. ZOTH és R. HAENEL tollából a hővezetés elméleti tárgyalásával kapcsolatban táblázatokot tartalmaz, valamint számítógépes programot a 4. 3. 3-as alfejezethez. Ugyanitt kapunk bőséges irodalmi felsorolást, de az egyes fejezetek és alfejezetek befejezéseként mindenütt szintén találunk irodalomjegyzéket. Szerző- és tárgymutató fejezi be a könyvet, mely célkitűzésének és feladatának kitűnően megfelel és melynek forgatása minden szakembernek melegen ajánlható.

Tóth Géza

Beszámoló külföldi munkavállalásról

15 hónapos külföldi tanulmányi utamat (post doctoral fellow-ship) a Saskatchewan Egyetem Geológiai Tanszékén (Saskatoon, Kanada) töltöttem. A látogatásra dr. Hajnal Zoltán professzor hívott meg. Az előzményekhez tartozik, hogy hozzászóltam a Geophysics „short notes” rovatában egy korábbi, a sebességbecslések megbízhatóságával kapcsolatos cikkéhez (történetesen ez volt az én doktori dolgozatom témája is).

Az 1986-ban átadott új intézet észak amerikai viszonylatban is kiválóan fel van szerelve és kitűnő oktató és kutató gárdával rendelkezik. Az egyetem Geológiai Tanszékén geofizikus képzés is folyik. A képzés különösen erős oldala a geológusokra is kiterjedő alapos számítástechnikai gyakorlat. A Tanszék önálló DFS-V terepi műszerrel, számos terminállal ellátott VAX 11/785 számítógéppel, szeizmikus feldolgozó programcsomaggal, grafikus munkaállomásokkal és mikrogépes laboratóriummal rendelkezik (a különféle hálózatokhoz való hozzáférés lehetőségeit nem is említve). A geofizikus hallgatók az egyik gyakorlat keretében például önállóan feldolgoztak egy szeizmikus szelvényt! A nyári szakmai gyakorlat keretében a Tanszék saját szeizmikus méréseket is végzett. Jellemzően Hajnal professzor rugalmasságára és arra a törekvésre, hogy az oktatás versenyképes legyen, a „Seismic Data Processing Theory and Practice” (lásd a könyvismertetés rovatban) című könyvet még a megjelenés évében a Saskatchewan Egyetemen tankönyvként kezdték el használni.

Kinttartózkodásom alatt két nagyobb témán dolgoztam. Az egyik egy Kanada legészakibb részén, a sarkkörön túl, a kontinentális shelf felett úszó (3×5 km nagyságú, 40 m vastag), tengeráramlások által hajtott jégtáblán mért, rendkívül zajos, „pegleg” többszörösökkel terhelt kéregkutató szeizmikus adatrendszer újrafeldolgozása volt. Ilyen jégsziget, amely elég szilárd ahhoz, hogy repülőgéppel le lehessen rá szállni, körülbelül 30 évenként törik le a poláris jégsapka széléről. Az észlelést egy 120 csatornás, 3,5 km hosszú, jégbe fagyasztott geofon rendszerrel végezték. A robbantásokat 110 m mélyen, a jégbe fúrt lyukakon letöltött töltetekkel végezték, a sziget sodródási sebességétől függően 5—20 percenként. Az újrafeldolgozást a korábban elvégzettetett ipari feldolgozás sikertelensége (nekik nem volt rá egy egész évük...) és az adatrendszer nagy értéke és megismételhetetlensége miatt tartották szükségesnek. A munkát közvetve a Kanadai Geological Survey megbízásából végeztem. A munka során nagyon hasznos tapasztalatokat szereztem a bonyolult háromdimenziós szeizmikus adatok feldolgozásában, melyet Magyarországon is alkalmazni fogunk a következő években. A munka a navigációs adatokat tartalmazó fájlok rendezésével és téképezéssel kezdődött. Később egyes szakaszokra szabályos 3D feldolgozás készült. A legnagyobb problémát a nagyon erős (100—200 m-es tengermélység miatti) többszörösök jelentették. Ezek csillapítására, illetve kivonására a meglévő programok mellé új programokat kellett kifejleszteni.

A munka érdekes verseny légkörben folyt, a Kanadai Geological Survey egy másik egyetemnek is kiadta ugyanezt az adatrendszert kontroll céljából. A két jelentés végül jól kiegészítette egymást. A kutatás fő érdekessége az volt, hogy erről a területről más adat még alig áll rendelkezésre a mostoha földrajzi viszonyok miatt.

A gondos feldolgozás és a kifejlesztett többszörös kivonó program alkalmazása után készített szelvényeken demonstrált minőségjavulás hatására a Geological Survey elhatározta (az egyébként igen költséges) mérések folytatását. Mivel a terület geofizikai szempontból csaknem teljesen ismeretlen, érthető, hogy a gyenge anyagminőség ellenére is fontosnak tartják a további adatgyűjtést.

A másik munka egy Vancouver Szigeten keresztül mért, a szubdukciós zóna fölött dőlés irányban mért kéregkutató Vibroseis szelvényen végzett speciális intervallum sebesség becslés volt, mely a geológiai modell felépítésén folytatott vitához szolgáltatott egy „szeizmikus érvet”. Az első eredményekről az 1987 nyarán Vancouverben tartott CCSS (Commission on Controlled Source Seismology workshop, Whistler) találkozón számoltunk be. Mindkét munkából publikáció készült.

Ezenkívül 1987 tavaszán részt vettem a Kanadai Geofizikusok Egyesületének (CSEG) kongresszusán is. Érdekes, hogy az előadásokkal egyidőben tartott műszerkiállításon a szupergépek mellett a mikrogépek is milyen komoly geofizikai programsomagokkal voltak képviselve. A legújabb 32 bites modellek valóban egy minigép teljesítményével rendelkeznek az íróasztalon. A már szintén kapható tömbprocesszor kártyákkal kiegészítve, (áruk 2000 \$ körül mozog) ezekkel már lassan szeizmikus feldolgozást is lehet végezni. A trend egyértelműen az, hogy a kiértékelési és a feldolgozási tevékenység a szakmán belül egyre inkább közeledik egymáshoz.

Összefoglalom néhány további fontosabb szakmai tapasztalatomat

A számítógépes kultúra fejlődését mindennek előtt a számítógép hálózatok térhódítása jellemzi. A vezetékkel összekapcsolt vállalati hálózatok és a normál telefonvonalat használó modemek és egyéb távadatközlési rendszerek alkalmazása teljesen általános. A szeizmikus feldolgozást egyre nagyobb számítógép kapacitás és a teret nyelő interaktivitás jellemzi. Az új programrendszerek lényegesen rugalmasabbak, több feldolgozási variációt produkálnak az igényeknek megfelelően. A szeizmikus modellezés is az ipari méretű alkalmazás stádiumába lépett. A számos feldolgozási variáns miatt fontos a „szoft” szelvény készítés (azaz a kimenet többnyire csak képernyőn jelenik meg) és a számítógépes grafika alkalmazása.

Feltűnő, hogy a feldolgozás fejlődése mögött a kiértékelés sem maradt el. A több szakterület együttműködésére különösen nagy súlyt helyeznek („prospect team concept”). Az olajkutató vállalatok szakmai életére jellemző, hogy az új kutatási céloknak megfelelően (ti. a szerkezeti csapdák lassan elfogynak, és ezek kutatására irányuló technika elavulttá válik) a geológus — geofizikus gárdájukat átképezték a szeizmikus sztratigráfia (azaz a rétegtani csapdák kutatásának) ipari alkalmazására. Azóta a meddő fúrások arányát tovább sikerült csökkenteniük. Egyes szakemberek véleménye szerint több olaj van sztratigráfiai csapdákban, mint szerkezetiben. A vállalatoknak minél több széles látókörű („explorationist” típusú) szakemberre van szüksége elszigetelődő specialisták helyett. Az egyetemek is ezt az ipar részéről jelentkező igényt igyekeznek kielégíteni.

Ezt a folyamatot és a korszerűbb geológiai szemlélet kialakításának fontosságát jól példázza egy kelet kanadai tengeri olajmező (Hibernia) felfedezésének története. Az első kutatásokat végző vállalat több igen költséges meddő fúrás után sikertelennek minősítette a kutatást és felhagyott a további erő-

Ára: 32,50 Ft