

E. Varga

TRENNUNG EINFACHER UND MULTIPLER REFLEXIONEN DURCH
SEISMOKAROTTAGE-MESSUNGEN

Ein altes Problem der Interpretation der ungarischen Reflexionsmessungen ist die Erkennung der Einsätze von Mehrfachreflexionen. Zur Unterscheidung dieser Reflexionen nach Geschwindigkeit, Neigung und gleichmässiger Verteilung in der Zeit wurden schon früher Untersuchungen angestellt. In erster Linie führten Geschwindigkeitsanalysen zur Annahme der Ausbildung von Mehrfachreflexionen.

In dieser Hinsicht neue Evidenz wird durch das zur Besprechung vorliegenden Verfahren geliefert, bei welchem die beim Seismokarottage zum Geophon gelangenden späteren Einsätze bearbeitet werden. Die durch die letzteren indizierten Teufen-Zeitkurven bestimmen dann die an der Oberfläche beobachteten einfachen und mehrfachen Reflexionen. Aus dem Vortrag erhellt, dass - in Abhängigkeit von der Qualität der Messungen - eine jede Mehrfachreflexion identifiziert werden kann.

Der Vortrag enthält die Besprechung der Verfahrens und dessen Anwendung in der Praxis.

VALÓDI ÉS TÖBBSZÖRÖS REFLEXIÓK KÜLÖNVÁLASZTÁSA
SZEIZMOKAROTTÁZS MÉRÉSSEL

Varga Ede

Az alföldi kutatási területek szeizmogeológiai viszonyai lehetővé teszik többszörös reflexiók keletkezését. Már régebben is végeztek vizsgálatokat ezek kimutatására és a valódiaktól történő elkülönítésére.

E próbálkozások a többszörös reflexiók következő tulajdonságain alapultak:

A terjedési sebesség mindig kisebb, mint az ugyanazon t_0 -hoz tartozó valódi reflexióé.

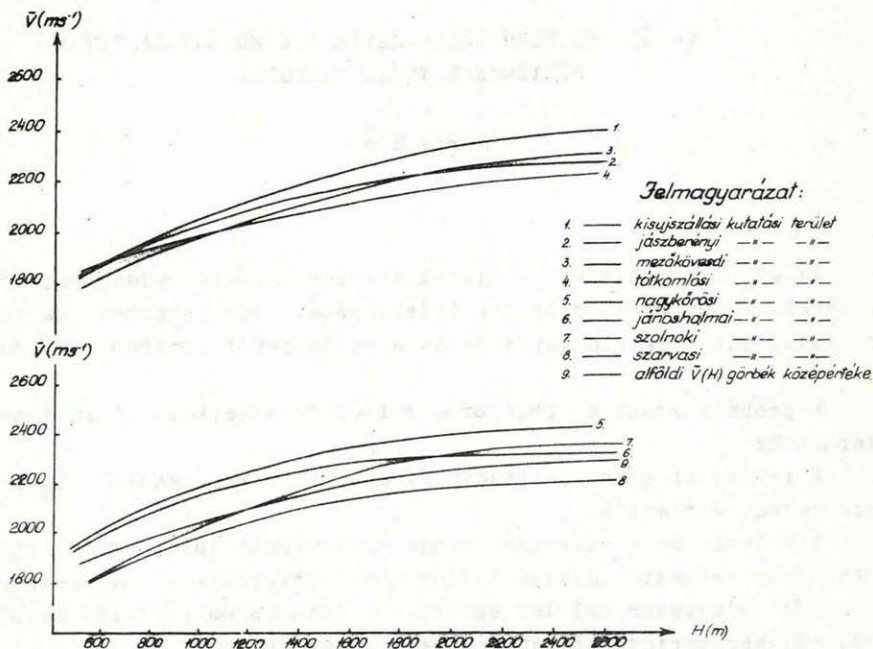
A felszín és a vele párhuzamos visszaverőfelület között kialakult többszörös reflexió egyenlő időközökben mutatkozik a szeizmogramon.

Dőlt visszaverőfelület esetében e többszörös reflexió felületelemei, mélységszerinti dőlésnövekedést mutatnak.

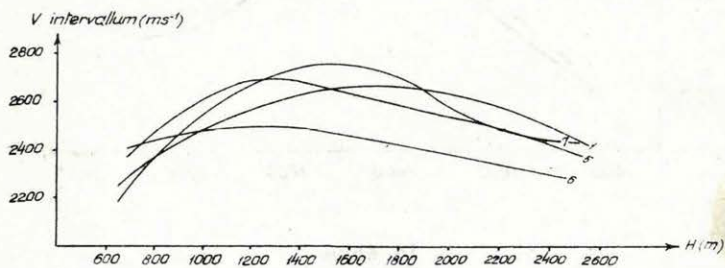
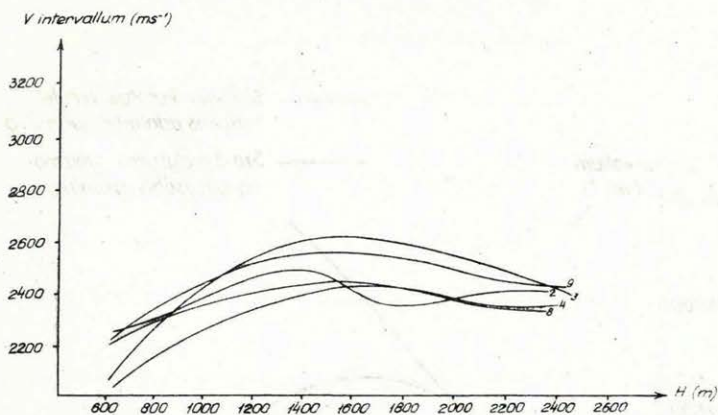
E törvényszerűségek azonban általában nehezen ismerhetők fel, és vizsgálatuk csak kivételes esetekben vezet eredményre.

Az évről-évre halmozódó mérési anyag miatt sürögössé vált a feladat megoldási lehetőségeinek további tanulmányozása. A problémára ismételten felhívta figyelmünket a reflexiós utidőgörbékben számított alföldi területi átlagsebesség-mélység görbék vizsgálata (1a ábra). Ezekből intervallumsebesség-mélység görbéket számítva (1b ábra) azt tapasztaltuk, hogy egy kezdeti emelkedő szakasz után mindegyik visszahajlik és további részén viszonylag kis sebességértékeket mutat.

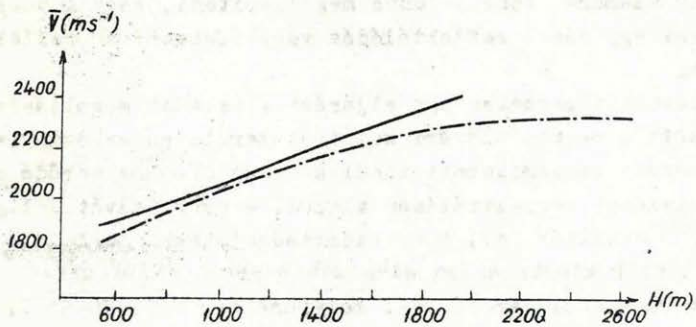
A karottázs és reflexiós mérések adataiból meghatározott sebességgörbék jellemző ellentétékeként láthatjuk a szolnoki kutatási terület reflexiós és a szolnoki 3.sz. mélyfúrás szeizmokarottázs mérésének eredményei szerint meghatározott $v(H)$ és $V_{\text{intervallum}}(H)$ görbéket. (1c. és 1d ábra). Az 1b ábrán látható görbék alakját nem magyarázhatjuk inverz sebességeloszlással, mert ennek ellentmondanak geológiai ismereteink és a szeizmokarottázs mérések eredményei. Inhomogénitások, a vízszaverőfelületek görbültsége sem szolgálhatnak magyarázatul, mert ezek egy-egy területen belül is két irányú hibát okoznak, az egész alföldi mérési anyagot tekintve még kevésbé lehetnek egyirányúak. A sebesség-



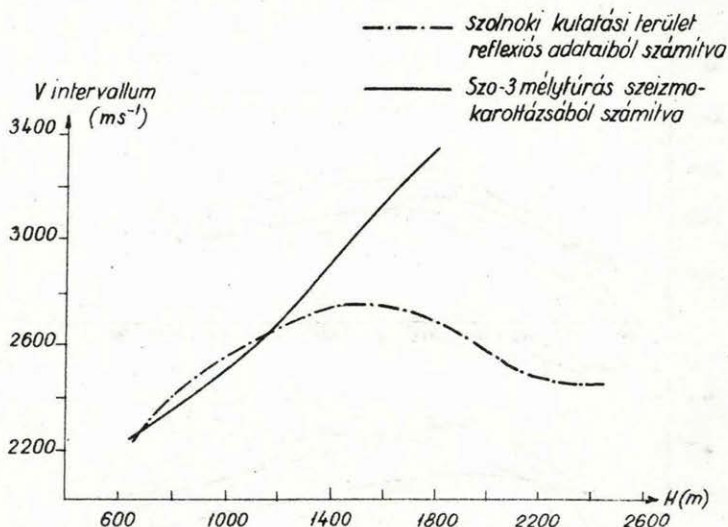
1a ábra



1b ábra



1c ábra



1d ábra

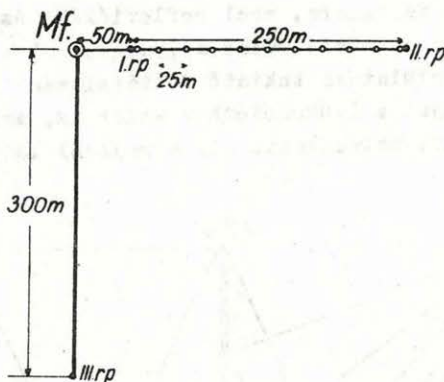
számításhoz felhasznált utidőgörbék helytelen kiválogatása szintén nem okozhatja az intervallumsebesség-görbék egyenlő előjelű torzulását minden kutatási területen. Legvalószínűbb, hogy ez a többszörös reflexiók viszonylag kis sebességértékeinek következménye.

A gyakorlat számára fontos lenne megállapítani, hogy a beérkezések, illetve azok egy része reflektálódás vagy többszörös reflektálódás eredménye-e.

A következőkben ismertetek egy eljárást a feladat megoldására, amelyet többek között a pusztaföldvári kutatási területen eredményesen alkalmaztunk. A mérés, szeizmokarottázásnál a lyukgeofonhoz verődő direkt és későbbi beérkezések regisztrálásán alapul. A mérés elvét Jolly közlése nyomán (1) használtuk fel, műszeradottságainknak megfelelő, és a többszörös reflexiók kimutatására alkalmas eljárás kidolgozására.

A mérést a Pusztaföldvár 16. sz. mélyfúrásban SzSz-26-51 D. mintájú szovjet műszerrel és átalakított SzPED-56 mintájú 31 Hz-es lyukgeofonnal végeztük. A robbantópontok elhelyezését a 2. ábra mutatja. Az I. és II. robbantópontban nagyobb tölteteket alkalmaztunk direkt és későbbi beérkezések nyerése céljából. A III. robbantópontban kistöltetű robbantásokkal csak frekvenciaanalízálásra alkalmas direkt beérkezések keltésére törekedtünk.

A lyukgeofon feszültség-ingadozását 7 csatornán regisztráltuk. Ezek közül a felső négyen négyféle szűrőfokozatot, AVC-t és a zajnívó által megengedett legnagyobb erősítést alkalmaztunk. Így a felszíni mérések-nél használt műszerparaméterek felhasználásával észleltük a beérkezéseket. A három másik csatornát szűrés és AVC nélkül működtettük - ezek



2. ábra

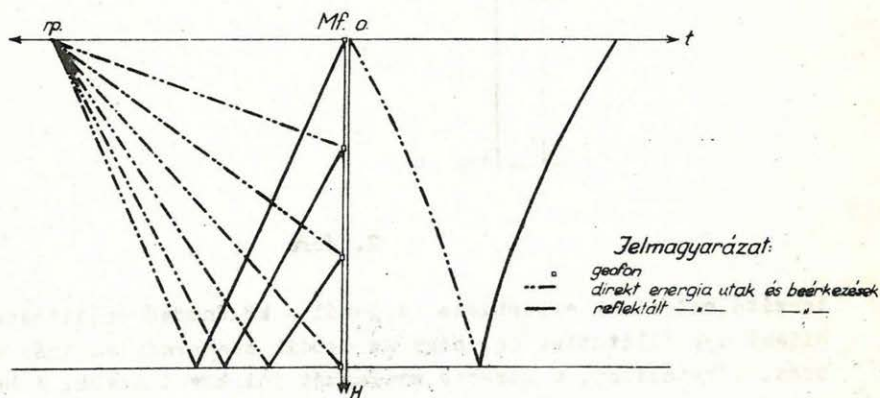
torzító hatásának elkerülése céljából - különböző erősítéssel. Az erősítést úgy állítottuk be, hogy az ötödik csatornán az írás első szakaszát, a hatodikon, a középső szakaszát jól követhessük. A hetedik csatornán a zajnívó által megengedett legnagyobb erősítést állítottuk be a legkésőbb beérkező hullámok észlelése céljából. A szalag alsó részét az ellenőrző, ill. korrekciós geofonok jelei foglalják el.

Az I. és II. robbantópont közé 25 m-es geofonközökkel terítettünk és lövés-ellenlövéses felvételeket készítettünk, a területen használt műszerparaméterekkel. A felvételeken határozott beérkezések mutatkoznak, megközelítőleg 2,7 s-ig. Az a feladat, hogy néhány legkorábban jelentkező beérkezés kivételével, amelyeknek az olajkutatók számára nincs jelentőségük - különválasszuk a valódi és a többszörös reflexiókat.

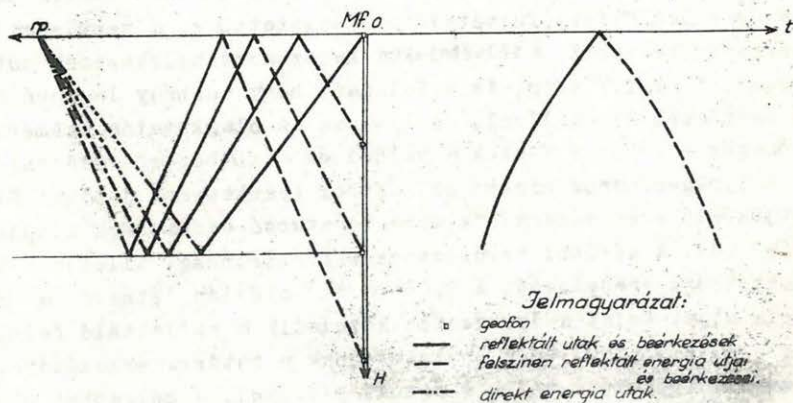
A lyukgeofonhoz direkt és későbbi beérkezések jutnak. Előbbiekből állítjuk elő a sebességeloszlásra vonatkozó számítások alapját képező utidőgörbét. A későbbi beérkezések reflektálódás, illetve többszörös reflektálódás eredményei. A 3. ábra bal oldalán látható a reflektált energia útja. Amint a lyukgeofon közeledik a reflektáló felülethez, az energiapálya rövidül és a lyukgeofonnak a határra érkezésével éri el minimumát. Egyenlővé válik a direkt pályával. A mélyebbre süllyedő lyukgeofonhoz erről a felületről már nem juthat több reflexió. Ennek meg-

felelően a reflektált beérkezések utidőgörbéje (az ábra jobb oldalán) a mélységgel csökkenő időértékeket mutat, a direkt beérkezések utidőgörbéjével alkotott metszése pedig a reflektáló felület mélységét adja.

A többszörös reflexió útjának egy részét a 4. ábra bal oldala mutatja. A robbantópontból induló energia visszeverődik a szeizmikus határfelületről a felszínre, ahol reflexióként észleljük. A felszínen ismét reflektálódva lefelé halad a lyukgeofonhoz. A talaj-levegő határt reflektáló felületnek tekintő feltételezést a továbbiakban igazoljuk. A hullám eljut a lyukgeofonhoz akkor is, amikor az már a reflektáló felület alatt helyezkedik el. A rajzról látható, hogy a lyukgeofon



3. ábra



4. ábra

mélységének növekedésével az energia utja növekszik. A felszínen is reflektált energia beérkezéseinek jobb oldalon látható utidőgörbéje tehát a mélységgel növekvő időértékeket mutat.

Az 5. ábra bal oldalán látjuk a lefelé hatoló energia direkt utjait és tudjuk, hogy a réteghatárokon visszaverődve az ábra jobb oldalán látható, mélységgel csökkenő idejű utidőgörbék mentén jut a felszínre. Innen lefelé indul és a lyukgeofonon észlelt beérkezések, mélységgel növekvő idejű görbék szerint helyezkednek el. Utközben az energia egy része ismét visszaverődik a réteghatárokon és a mélységgel csökkenő idejű görbék mentén érkeznek a felszínre. Tekintve, hogy a mérés eredményeként az ábra jobboldali része áll rendelkezésünkre, ennek alapján kell eldöntenünk minden - a mélységgel csökkenő idejű - görbéről, hogy valódi vagy többszörös reflexióhoz tartozik-e. Eddigi ismereteink szerint ezt már megtehetjük, mert csak azt kell megvizsgálnunk, hogy e görbék metszésbe hozhatók-e a direkt beérkezések görbéjével; legmélyebb szakaszukon megtalálhatók-e a lyukgeofon későbbi beérkezései. Amennyiben metszésbe hozhatók valódi, ellenkező esetben többszörös reflexiókhoz tartoznak. E görbéknek a (t) tengellyel alkotott metszéspontjai kijelölik azon időket, amelyeknél a terítés felvételén mutatkozó beérkezések eredetét meghatároztuk.

A reflexiók és többszörös reflexiók görbéivel párhuzamos görbék számíthatók is, a karottázs átlagsebesség-mélység függvény ismeretében.

A reflexiós beérkezések görbéit a következő formula határozza meg kiszűrésű réteghatárok esetén:

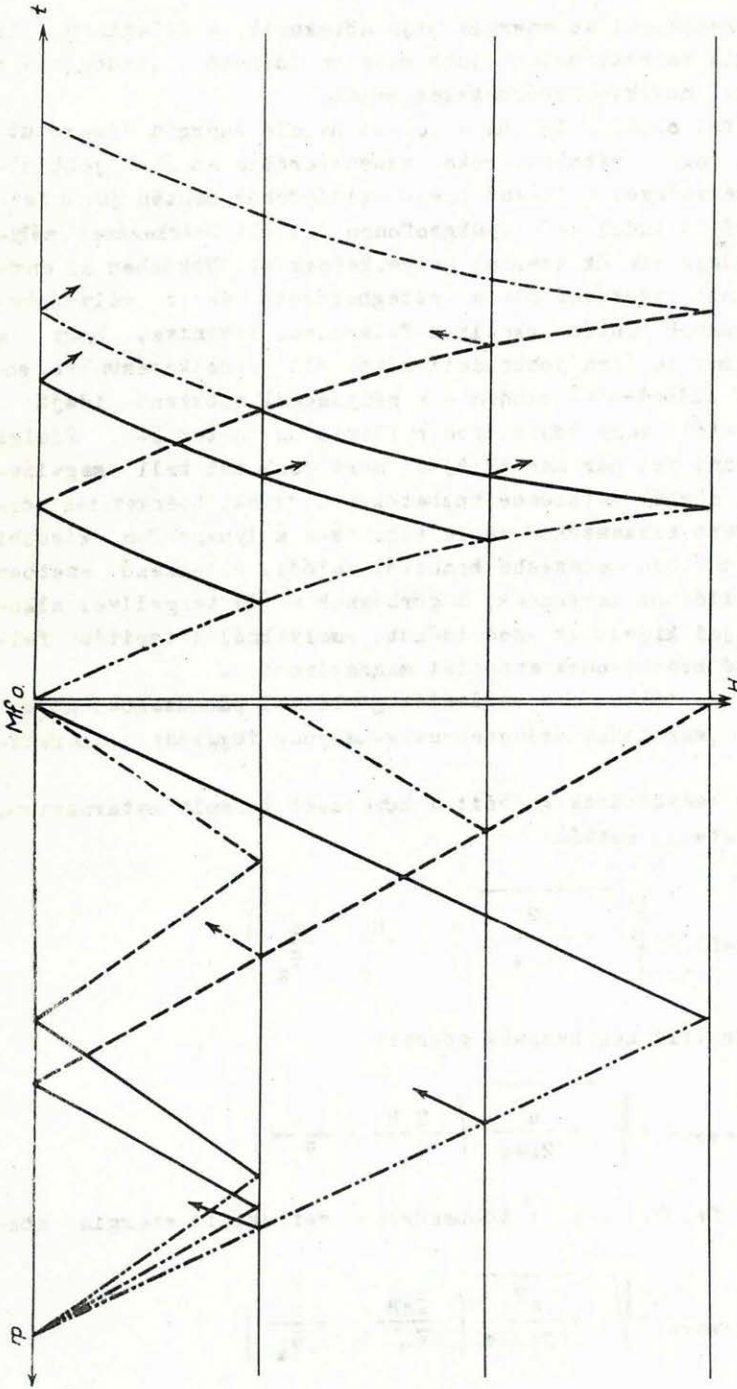
$$t_{\text{refl}} = \sqrt{1 + \frac{a^2}{2H-z}} \left(2 \frac{H}{\bar{v}_H} - \frac{z}{\bar{v}_z} \right)$$

a felszínen reflektált beérkezések görbéit:

$$t_{\text{reverb}} = \sqrt{1 + \frac{a^2}{2H+z}} \left(\frac{2H}{\bar{v}_H} + \frac{z}{\bar{v}_z} \right)$$

a felssin és egy felület között többszörösen reflektált energia görbét:

$$t_{\text{reverb}} = \sqrt{1 + \frac{a^2}{2nH-z}} \left(\frac{2nH}{\bar{v}_H} - \frac{z}{\bar{v}_z} \right)$$



Jelmagyarázat:

- direkt energia utak és beérkezések
- - - - - reflektált " " " " " "
- felzárón reflektált energia útjai és beérkezései
- - - - - fobbzárón " " " " " "
- szeizmikus reteghatár

J. ábra

- ahol H = a felület mélysége
 z = a geofon mélysége
 \bar{v}_H = az átlagsebesség H mélységben
 a = a robbantópont távolsága a mélyfurástól
 n = a leverődések száma.

E görbékét a terítés felvételein kijelölhető és az időtengelyen is megjelölt (t) értékekhez rajzoljuk. A lyukgeofon későbbi beérkezéseivel igazolt görbéknek megfelelő energiautak a valóságban is megvannak. A későbbi beérkezések hiánya a feltételezett hullámutak hiányát jelenti.

A lehetséges hullámutak közül az esetünkben előfordulókra a továbbiakban rámutatok.

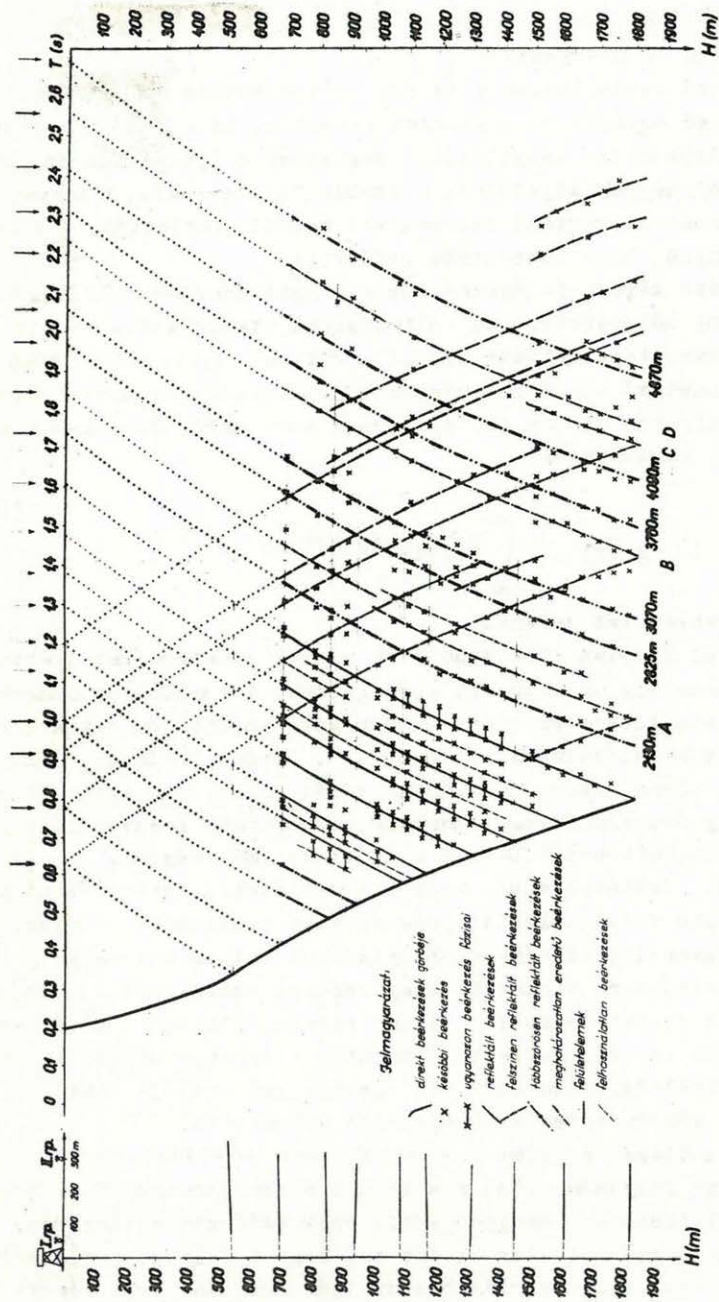
Amennyiben a mélyfurás szájánál robbanthatnánk, a lefelé tartó energia utidőgörbéi a direkt beérkezések utidőgörbéjével párhuzamosak lennének. Ez nincs így, mert a robbantópontot a mélyfurástól általában 50 - 300 m-re helyezük el. A direkt beérkezések utidőgörbéje kivételével az egymással párhuzamosoknak látszó görbék gyakorlatilag valóban párhuzamosak, amennyiben a reflektáló felületek dőlése 10° -nál kisebb. A mélységgel növekvő idejű görbék a mélységgel csökkenő idejűek tökélyképei.

Mindezek ismeretében tekintsük meg a 6. ábrát. A mérést a mélyfurás talpától, 1840 m-től felfelé 50 m-es geofonközökkel végeztük 700 m-ig. A lyukgeofonhoz jutó direkt és későbbi beérkezéseket H, t koordinátarendszerben ábrázoltuk. A (t) tengelyen nyilakkal jelöltük a felszínre jutó és a terítésben észlelt energia, robbantási mélység korrekcióval megjavított beérkezési időértékeit. (Domborzati korrekcióra nem volt szükség.) A lyukgeofonhoz verődő beérkezések kijelölnek a mérési mélységintervallumban néhány, a mélységgel növekvő illetve csökkenő idejű görbét, amelyeket az előzőekből már ismerünk. Természetesen csak a leghatározottabbakat rajzoltuk meg. (Ezek 700 m fölötti részét, ahol csak direkt beérkezéseink vannak, pontozva jelöltük.)

A direkt beérkezések görbéjétől indulnak - az előzőekben megismertek szerint - a reflexiós görbék. A kiindulási pontok meghatározzák a reflektáló felületek mélységeit. Ezek megegyeznek a terítésben észlelt beérkezések felületelemeinek mélységeivel, melyeket a karotázis $\bar{v}(t_0)$ függvényvel szerkesztettünk meg, és az ábra baloldalán láthatók. A görbék (t) tengellyel közös pontjai kijelölik a reflektált hullámok felszínre érkezésének időértékeit. Az ábrán láthatók azok a görbék is, amelyeknek a direkt beérkezések görbéjével nincs közös pontjuk.

Ezek közül a mélységgel növekvő idejűek mentén (a 4. ábrán bemutatott típusu), a talaj-levegő határán visszaverődött, lefelé tartó energia beérkezései helyezkednek el. E görbéknek a felszínre kiszámított pontjai megegyeznek a terítésben észlelt reflexiók robbantási-mélység korrekcióval ellátott beérkezéseinek időértékeivel. E jelenségre hivatkoztam, amikor a hullámutak tárgyalásánál a felszín reflektáló felületnek tekintetem. A mélység növekedésével csökkenő idejű görbék közül (A, B, C, D) mentén többszörösen reflektált beérkezések vannak és ide tartoznak a terítés felvételén e görbék által kijelölt beérkezések is. Ezt könnyen beláthatjuk, ha arra gondolunk, hogy a 6. ábrán látható görbék a hullámutakhoz hasonlóak. Tekintsük ezért az ábrát a hullámutak rajzának. Az (A) görbét metszi az alapkőzet mélységében egy mélységgel növekvő idejű görbe. Utóbbi kizárólag többszörös reflektálódás eredménye lehet és az energia a kristályospala alaphegységről a metszéspontban visszaverődve az (A) görbe mentén jutott a felszínre, ahol beérkezésként jelentkezett. A (B) görbe mentén felülről az első megszerkesztett reflektáló felületről a felszínre, majd az alapkőzetre, végül innen ismét a felszínre verődött energia beérkezései helyezkednek el. A harmadik felületről a felszínre, az alapkőzetre, végül innen ismét felfelé tartó energia - (C) görbe mentén - utközben elhalt, nem jutott a felszínre. A negyedik réteghatárról az előzőekhez hasonló uton az energia feltételezhetően elérte az alapkőzetet. Amennyiben a lefelé tartó energia görbéje az alapkőzetig meghosszabbítható, a felszínre hatolás a (D) görbe mentén történt.

Az (A, B, C, D)-vel párhuzamos és direkt beérkezések görbáját nem metsző görbék, valamint a terítésben ezeknek megfelelő beérkezések eredetét nem ismerjük. Nem állíthatjuk, hogy többszörös reflexiók, mert nem tudjuk a lefelé tartó energia útjának megfelelő görbét az időadatok alapján megbízhatóan kijelölni. Amennyiben így lenne, a lefelé haladó energia görbéinek hiányára magyarázatul szolgálhat, hogy a terítés felvételén bizonytalanul mutatkozó és ezért számításon kívül hagyott, de a valóságban meglevő felületek közötti többszörös reflektálódás útján is juthatott energia az alapkőzetre, amelynek útja ezért nehezen nyomozható. Azt sem állíthatjuk, hogy valódi reflexiók, mert nem tudjuk, hogy metszenék-e a direkt beérkezések görbáját ha a mérést a jelenleginél nagyobb mélységben is folytathatnánk. Mindenesetre megállapíthatjuk, hogy amennyiben valódi reflexiók, úgy mélységük az ábrán olvasható mélységeknél, tehát 2130, 2825, 3070, 3760, 4090 és 4870 m-nél nagyobb. (Megjegyezzük, hogy a kristályospala alapkőzet felszíne 1840 m.) Azért nagyobbak a valóságban ezek a mélységek, mert e beérkezések t_0 -jaihoz tartozó \bar{v} értékeket az alapkőzet konstans 5650



6. ábra

m/s-os rétege sebességével számítottuk. (Refrakciós adat.) Ezzel szemben az egymás alatti visszaverő felületekhez nagyobb rétege sebességek tartoznak, ami a reflektálás feltétele. Így az átlagssebesség és a felület-elemek mélysége is növekszik.

E görbékkel kapcsolatban a valódi és többszörös reflektálódás kérdésére vonatkozó egyértelmű megoldást nyernénk, ha a furást legalább 100 m-re az alapkőzetbe mélyítenék. Amennyiben a lyukgeofonhoz jutó beérkezések e mélységben kijelölnék a görbék folytatásait, bizonyos lenne, hogy a görbékhez tartozó beérkezések valódi reflexiók. Ellenkező esetben, bizonyos, hogy többszörös reflexiók.

A karottázs mérést felhasználtuk a longitudinális hullámok frekvenciaspektruma mélységszerinti változásának vizsgálatára is. A III. robbantópont karottázs felvételein kijelölt, a lyukgeofon különböző mélységeihez tartozó direkt beérkezéseket analizáltuk. Ezeket aperiódikusnak tekintve, minden jel számára a következő Fourier-integrál megoldása vált szükségessé:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t) e^{-i2\pi ft} dt$$

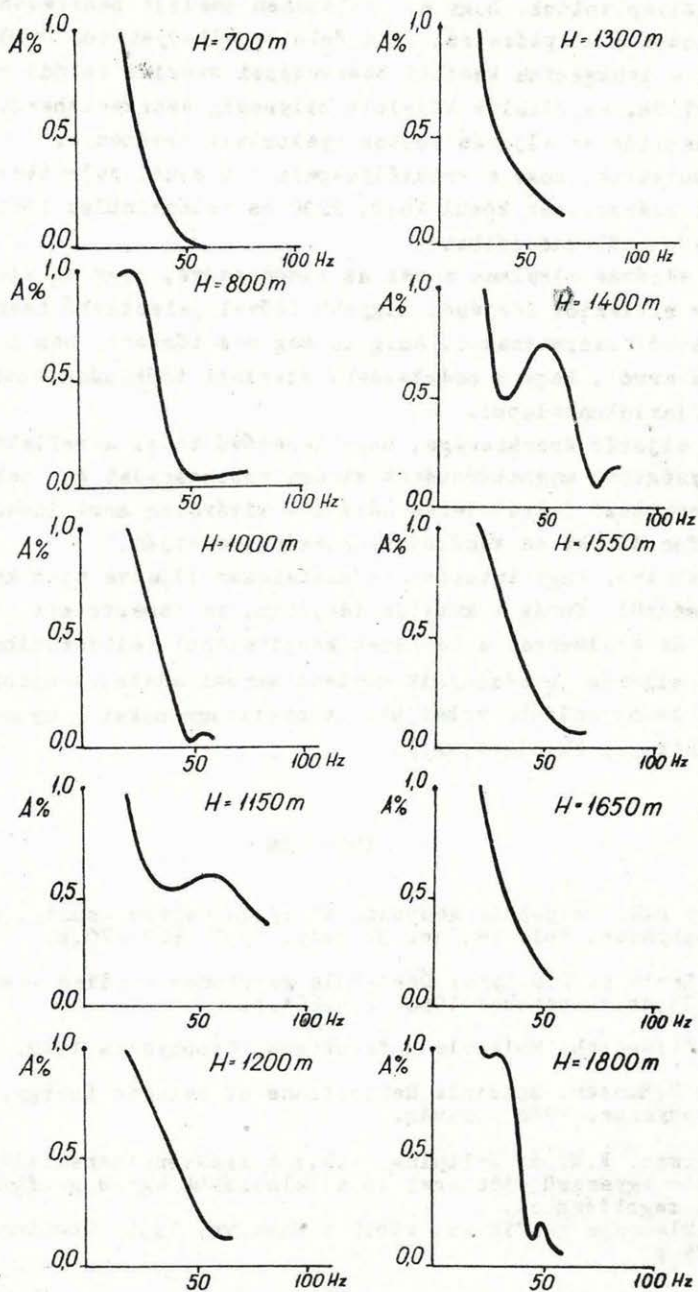
ahol (f) a frekvenciát jelenti.

Eredményül komplex (frekvencia és fázis) spektrumokat nyertünk. A frekvenciaspektrumok amplitudóit korrigáltuk, a szeizmikus csatorna frekvenciakarakterisztikája szerint. A korrigált amplitudók egymáshoz viszonyított értéke százalékban látható a 7. ábrán. (Relatív amplitudó százalék.) Az abszcisszára frekvenciaskálát jelöltünk. Amint látjuk, a jelek alacsony frekvenciákban dúsabbak, a magasabb frekvenciájú komponensekben szegényebbek 700-1800 m-ig minden mélységben.

Amennyiben feltételezzük, hogy a közetrétegek sávszűrőként működnek, a magasabb frekvenciák mélységszerinti csökkenését várjuk. Ezzel szemben a frekvenciatartomány szabálytalanul változik a mélység függvényében. A jelenségre kielégítő magyarázatul szolgálhat a hullámok interferálásának feltételezése: a vékony rétegen áthaladó hullám egy része a rétegben történő reflektálódás után folytatja útját. Az áthaladó és a reflektálódás után áthaladó komponensek eredője (amelyet analizálunk), a vékony réteg frekvenciáját kiemelheti.

Az elmondottakat röviden összefoglalva megállapíthatjuk, hogy hasai méréseink folyamán először sikerült bizonyítanunk többszörös reflektálódás keletkezését, amelyet eddig csak valószínűsítettünk.

Első alkalommal mutattuk ki azt is, hogy a felszín reflektál (a mélységgel növekvő idejű görbék bizonyítják ezt) és így résztvevő a többszörös reflexiók kialakításában.



7. ábra

Megállapítottuk, hogy a felszínen észlelt beérkezések közül a kristályospala alapkőzetről és a felette elhelyeskedő felületekről származókat, a lyukgeofon későbbi beérkezései szerint valódi reflexióknak tekinthetjük. Az általuk kijelölt mélységig szerkeszthetünk térképeket. E megállapítás az eljárás fontos gyakorlati eredménye.

Kimutattuk, hogy a kristályospala 1,6 s-nál jelentkező reflexiója utáni beérkezések közül 1840, 2230 és valószínűleg 2560 msec-nál is többszörös reflexió látható.

Az eljárás alkalmas annak az eldöntésére, hogy az alapkőzet felszínének reflexiós idejénél nagyobb idővel jelentkező beérkezések az alapkőzetből származnak-e. Amíg ez még nem történt, nem lehetünk meggyőződve arról, hogy e beérkezések szerinti térképünk, többségében valódi reflexiókon alapul.

Az eljárás érdekessége, hogy lehetővé teszi a reflektáló felületek mélységének meghatározását minden sebességadat és sebességeloszlásra vonatkozó feltételezés nélkül - kizárólag mért időadatok - a lyukgeofon direkt és későbbi beérkezései alapján.

Tekintve, hogy kutatási területeinken illetve ezek közelében több helyen mélyül furás a kutatás idejében, az ismertetett mérés elvégezhető és eredményei a térképek készítésénél felhasználhatók.

Az eljárás eredményeit meglevő mérési adataink újabb feldolgozásánál is számításba vehetjük. (A szeizmogramokat nyomdatechnikai okok miatt nem közölhetjük.)

IRODALOM

1. Jolly R.N. Deep-hole geophone study in Garvin County, Oklahoma. Geophysics, vol. 18, no. 3, July, 1953, 662-670.p.
2. F.K.Levin és R.D.Lynn: Deep-hole geophones studies. Geophysics, v. 23, no. 4. october 1958. 639-664.p.
3. T.P.Ellseorth: Multiple Reflections. Geophysics 1948. január.
4. Raul F.Hansen: Multiple Reflections of seismic Energy. Geophysics. 1948. január.
5. Gol'cman, F.M. és Kalinina, T.B.: A frekvenciaanalízis és - szintézis egyszerű módszerei és alkalmazásuk egyes geofizikai feladatok megoldásához. Příkladnaja geofizika, v.ü.p.21. Moszkva, 1958. Gosztoptehizdat. 3-25.p.