

A refraktált hullámok útidőgörbéin alapuló átlagsebességmeghatározási módszerek vizsgálata és alkalmazása a kisalföldi és a Hajdúszoboszló környéki szeizmikus kutatásoknál

SÁGHY GYÖRGY – UJFALUSY ANTAL

A cikkben a refraktált hullámok útidőgörbéiből történő átlagsebességszámítás problémájával foglalkozunk.

Csoportosítjuk az irodalomban csak szétszórtan található átlagsebesség meghatározási módszereket. Összevetjük az egyes módszerek lényeges sajátosságait és megvizsgáljuk a különböző eljárásoknál várható eltéréseket, hibákat és ezek okait. Több gyakorlati példán elemezzük a különböző módszerekkel nyert eredményeket.

Konkrét területi vizsgálatainkkal a kisalföldi és Hajdúszoboszló környéki refrakciós mérésekből különböző módon történt átlagsebességfüggvény meghatározásokat és eredményeit ismertetjük, rámutatva a geológiai és szerkezeti összefüggésekre is.

A tapasztalatok alapján értékeljük a refraktált hullámok útidőgörbéiből történő sebességszámítási eljárásokat, kiemelve a „Csibiszov” módszert, amely alkalmasnak látszik nagyobb területek anyagának egysegés feldolgozására.

В статье разбирается проблема определения средней скорости по годографам преломленных волн. Были объединены еще не систематизированные в литературе методы определения средней скорости. Попоставлены существенные особенности каждого метода и исследованы возможные расхождения и ошибки различных способов и их причины. На ряде практических примеров анализируются результаты, полученные различными способами.

На примерах исследования конкретной площади показываются определения зависимости средней скорости, проведенные различными способами по данным разведки МПВ в районе Хайдусобосло и Малой низменности и их результаты указывая и на геологические и структурные взаимосвязи.

На основании накопленных опытов оцениваются способы вычисления скорости по годографам преломленных волн, выделяя способ „Чибисова”, который кажется наиболее применимым для единой обработки материалов больших территорий.

In dem Artikel befassen wir uns mit dem Problem der aus den Laufzeitkurven refraktierter Wellen erfolgenden Durchschnittsgeschwindigkeits-Rechnung. Wir gruppieren die in der Literatur nur vereinzelt auffindbaren Bestimmungsmethoden.

Wir vergleichen die wesentlichen Eigenschaften der einzelnen Verfahren und untersuchen die bei den verschiedenen Methoden zu erwartenden Abweichungen, Fehler und deren Ursachen. Die mit den diversen Verfahren erhaltenen Ergebnisse analysieren wir an mehreren praktischen Beispielen.

Wir besprechen die durch unsere konkreten regionalen Untersuchungen aus den Refraktionsmessungen in der Kleinen Ebene und in der Umgebung von Hajdusoboszló auf verschiedene Weise erfolgten Durchschnittsgeschwindigkeits-Funktionsbestimmungen, sowie deren Ergebnisse und weisen auf die geologischen und strukturellen Zusammenhänge hin.

Auf Grund von Erfahrungen werten wir die aus den Laufzeitkurven refraktierter Wellen erfolgenden Methoden der Geschwindigkeitsrechnung, die Tschibisow-Methode hervorhebend, welche zur einheitlichen Aufarbeitung des Datenmaterials grösserer Gebiete als geeignet zu sein scheint.

A refraktált hullámok útidőgörbéiből történő átlagsebességszámítási eljárások többségének közös vonása, hogy az első beérkezések útidőgörbéin alapulnak, feltételezik, hogy horizontális sebességváltozás a közegben nincs és az útidőgörbe egyértelműen kifejezi a közeg sebességeloszlását. Minden eljárás a fedő közeg sebességeloszlására szigorúbb, vagy kevésbé szigorú feltételezést tesz. Ez megegyezik a reális közegeknek a szeizmikában általánosan alkalmazott megközelítési módjaival.

A reális fedő közeget az átlagsebességmeghatározásnál is homogén, réteges, vagy folytonosan változó sebességű közeggel közelítjük meg, oly módon, hogy homogén, réteges, vagy folytonosan változó sebességű közegnek megfelelő szabályos útidőgörbével közelítjük meg a ténylegesen mért útidőgörbét.

A refraktált hullámok útidőgörbéiből történő átlagsebességszámítások elszórtan találhatók meg az irodalomban, ezért összefoglaló képet adunk és a közelítő közeg sajátosságai alapján rendszerezük az ismert, vagy kevésbé ismert eljárásokat.

Az I. ábrában a jelentősebb eljárásokat foglaltuk össze és a közelítő közeg sajátosságai alapján csoportosítottuk.

I. *Homogén fedő közeg.* A kezdőpont (a) módszer alapján a fekü felszínének megfelelő refrakciós útidőgörbe kezdőpontja $t_{k,p}$ és $x_{k,p}$ koordinátájának, a fekü határsebességének (v_h) és φ dőlésszögének ismeretében a táblázat szerint meghatározható a fedő közeg átlagsebessége. A módszer gyakorlati értéke erősen korlátozott, tekintve, hogy a kezdőpont a legritkábban határozható meg [5, 6].

Általánosabban elterjedt a (b) módszer, amikor egy bizonyos réteghatár felszínéig értelmezett átlagsebességet úgy határozunk meg, hogy a réteghatárról származó útidőgörbe és a fedőközegről származó első beérkezések útidőgörbéjének metszéspontját összekötjük a robbantópont $t=0$ pontjával. Az így kapott átlagoló útidőgörbe iránytangensének reciproka fejezi ki a homogén fedőközeg átlagsebességét [5, 6].

(c) esetben egy csapásmenti vonal útidőgörbéjéből ismerve a határfelület sebességét (v_h), a dőlésmenti vonal v_1^* és v_2^* látszólagos sebességértékeinek ismeretében határozhatjuk meg a réteghatárig vett átlagsebességet a táblázatban megtalálható összefüggés alapján [6].

A II. csoport réteges fedőt tételez fel. (d) módszernél az útidőgörbét sokszögvonallal közelítjük meg és a réteges közeg geometriai szeizmikájának ismert formuláival kapjuk meg a közelítő közeg átlagsebességfüggvényét. A látszólagos sebességek és a t_0 tengelymetszetek adataiból a megfelelő rétegvastagságok (Δz_k -k), illetve a hozzájuk tartozó V_k -k és így a táblázatban közölt ismert formulával az átlagsebesség-függvény meghatározható.

A III/a. csoportba számos eljárás tartozik [7, 10].

Ezek a módszerek egy célszerűen megadott $V = V(z)$ függvénnyel közelítik meg a fedőközeg sebességeloszlását, illetve ezen keresztül az útidőgörbét. Útidőgörbe sablonokat közölnek pl. lineáris, parabolikus és más közelítő függvényekre, melyek közül adott esetben a legjobban alkalmazhatót használják fel.

Ezen csoportból a későbbiekben is alkalmazott két számítást emelünk ki, amelyek jól jellemzik a matematikai függvénycsoportok típusait.

Az (e) módszer továbbfejlesztésével és gyakorlati alkalmazásával Ádám Oszkár és Szabó Zoltánné foglalkozott [1]. A közelítő közeg sebességfüggvénye e módszernél

$$V = Az^n$$

A refraktált hullámok útidőgörbén alapuló átlagssebesség meghatározási módszerek felosztása a közelítő fedőközeg alapján

Jel	A módszer megnevezése	A közelítő közeg helyi v. intervallum sebessége a mélység függvényében		A közelítő útidőgörbe egyenlete		Az átlagssebesség függvények ill. értékek	Jegyzet
		t	x	t	x		
I. Homogén fedőközeg							
a	Kezdpontos	$V = \text{const.}$	$t = \frac{1}{V} x$			$\bar{V}_z = \sqrt{\frac{X_{kp} \cdot V_{nat.}}{t_{kp}}}$	
b	Metszéspontos	$V = \text{const.}$	$t = \frac{1}{V} x$			$\bar{V}_z = \frac{\Delta t_k}{\Delta X_k}$	
c	Három útidőgörbés	$V = \text{const.}$	$t = \frac{1}{V} x$			$\bar{V}_z = \sqrt{\frac{V_{nat.}^2 \left(\frac{1}{V} + \frac{1}{V^*} \right)^2}{1 - \frac{V_{nat.}^2}{V^* V_k}}}$ V_{nat}	
II. Réteges fedőközeg							
d	Sokszögvonalas	$V = [C_n]_{z_n-1}^{z_n}$				$\bar{V}_z = \frac{\sum \Delta Z_k}{\sum \Delta \frac{Z_k}{V_k}}$	
III/a Analitikusan adott folytonos függvény szerint változó sebességű fedőközeg *							
e	Kaufman	$V = A z^{\frac{1}{n}}$	$t = \frac{2n}{A^{\frac{1}{n}} p^{\frac{n-1}{n}}} \int_0^x \sin^n t dt = \frac{n \pi^{\frac{1}{2}}}{A^{\frac{1}{n}} p^{\frac{n-1}{n}}} x \frac{2n}{A^{\frac{1}{n}} p^{\frac{n-1}{n}}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^n t dt = \frac{n \pi^{\frac{1}{2}}}{A^{\frac{1}{n}} p^{\frac{n-1}{n}}} r \left(\frac{\pi}{2} \right)$			$\bar{V} = \frac{n-1}{n} A z^{\frac{1}{n}}$	$A = \frac{n \pi^{\frac{1}{2}}}{V_k} \left(\frac{r^{\frac{n-1}{n}}}{\Gamma(\frac{n}{2})} \left[X_k \Gamma\left(\frac{n}{2} + 1\right) \right] \right)^{\frac{1}{n}}$
f	Lineáris, illetve parabolikus sebességfüggvény	$V = V_0 (1 + \beta z)^{\frac{1}{n}}$	$t = \frac{2n}{V_0 \beta_n \sin^n i_0} \int_0^x \sin^n t dt$ $x = \frac{2n}{V_0 \beta_n \sin^n i_0} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^n t dt$			$\bar{V} = \frac{V_0 \beta_n z}{n(1 + \beta_n z)}$ $\bar{V} = \frac{V_0 \beta_n z}{2(1 + \beta_n z)}$ $\bar{V} = \frac{2}{3(1 + \beta_n z)^{\frac{1}{2}}}$	$n=1$ $n=2$ $n=3$
III/b Tetszőleges folytonos függvény szerint növekvő sebességű fedőközeg							
g	Csibiszov	$V = V(Z)$	$t = t(x)$			$\bar{V}_{zk} = \frac{Z_k}{\Delta Z_k}$	$Z_{kp} = \frac{1}{\beta} \int_0^x \frac{V_{nat.} dx}{V(x)}$ $Z_{kp} = \frac{\Delta x}{\beta} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{V_{nat.}}{V_k}$
h	Gamburcev	$V = V(Z)$	$t = t(x)$			$\bar{V}_{zk} = \frac{\frac{n}{K=1} Z_k}{V_{k-1} + V_k}$	$2(\eta_n) = \frac{1}{\beta} \int_0^x \frac{x(p)}{\sqrt{p^2 - \eta_n^2}} dp$

* Kézeltő megoldás.

* A szeizmikában használt analitikus közelítő függvények közül a táblázat csak két jellemzőt tartalmaz

I. ábra. A refraktált hullámok útidőgörbén alapuló átlagssebesség meghatározási módszerek felosztása a közelítő fedőközeg alapján

Ez az eljárás főleg abban különbözik az (f) módszertől, hogy míg (e) módszer-nél $Z=0$ helyen a pillanatnyi sebesség 0, addig (f) módszer V_0 kezdő sebességgel is számol.

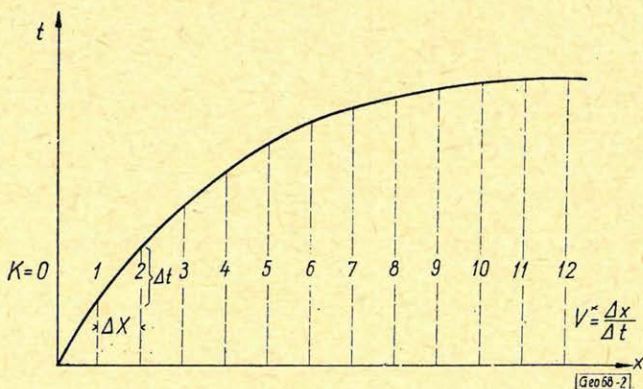
Az (f) módszernél a $V = V_0(1 + \beta_{nz})^{\frac{1}{n}}$ fejezi ki a közeg sebességeloszlását. Az útidőgörbék táblázatban közölt paraméteres egyenleteit $n=1, 2, 3$ esetére megoldva elméleti útidőgörbékkel állítottuk elő. Ha tehát a mért útidőgörbét az így nyert útidőgörbék valamelyikével közelítjük meg, akkor ezen közelítő útidőgörbe V_0 , β_n és n értékeit kell meghatározni ahhoz, hogy az átlagsebesség-függvényt megkapjuk.

A gyakorlati megoldás egyik módja, hogy különböző n értékekre kiszámítják a V_0 , β_n , $t=f(\beta_n X)$ függvényt és ezeket log-log koordináta-rendszerben pau-szon ábrázolják. Ha az ugyancsak log-log koordináta-rendszerben ábrázolt mért útidőgörbét fedésbe hozzuk a kiszámított elméleti görbék egyikével, akkor a mért útidőgörbe koordináta-rendszerének $X=1$ és $t=1$ tengelyei az elméleti görbe koordináta-rendszerének tengelyein kimetszik β_n és V_0 értékeit. β_n és V_0 ismeretében az 1. táblázatban közölt összefüggésekből az átlagsebesség-függvényt meghatározható. Az irodalom szerint $n=1, 2, 3$ görbék a gyakorlatban elegendőek [2].

A táblázat III/b. csoportjába tartozó módszereknél a helyi sebességre vonatkozó előzetes megkötések lazábbak. Itt csak azt tételezzük fel, hogy a se-besség a mélységgel folytonosan nő, de a növekedés függvénye tetszőleges lehet. Ebben az esetben az útidőgörbén a látszólagos sebességértéknek X növekedé-sével folytonosan növekvőnek kell lennie.

Ilyen közeg sebességfüggvény-meghatározási problémáinak megoldását a szeizmológiában gömbfelületre szférikus koordináta-rendszerben Wichert adta meg. Később ezt Csibiszov, majd Gamburcev alkalmazta a szeizmikus méré-seknél sík felszínre és derékszögű koordináta-rendszerre [4, 8, 9].

A Csibiszov módszernél a mért útidőgörbét egy $V^*(X)$ függvénnyé kell transzformálni (2. ábra). Ennek a függvénynek a táblázatban közölt határo-zott integrálja 0-tól X_n -ig adja az X_n pontban kilépő sugár z_{x_n} maximális be-merülési mélységét, ahol a helyi sebesség $V_{z_{x_n}} = V_{x_n}^*$.



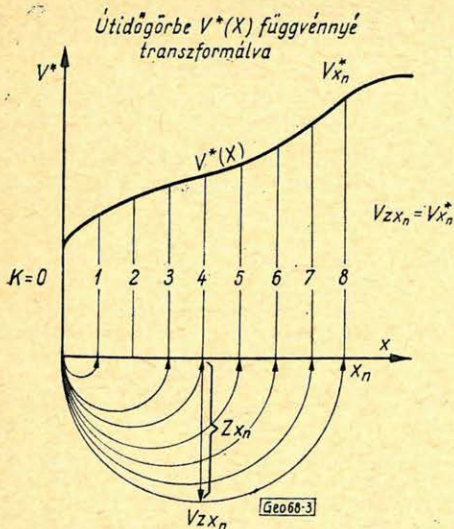
2. ábra. Az útidőgörbe felosztása a „Csibiszov” módszer alkalmazása esetén

Grafikusan adott mért útidőgörbe esetén a határozott integrált a közelítő trapéz módszerrel oldhatjuk meg.

$$Z = \frac{\Delta x}{\pi} \sum_{k=0}^n q_k \operatorname{arch} \frac{V^*(x_n)}{V^*(X_k)}$$

$$\text{ahol } q_k = \begin{cases} \frac{1}{2} & \text{ha } k=0 \\ 1 & \text{ha } k \neq 0, \end{cases}$$

k a felvett pontok sorszám.



3. ábra. Az útidőgörbe $V^*(X)$ függvénné transzformálva

A Gamburgcev-féle megoldás lényegében azonos az előbbivel, csupán a látzólagos sebesség helyett a sugárparamétert használja fel a számításoknál; a $t=t(x)$ útidőgörbét egy $X=X(p)$ függvénné transzformálják, ahol p a sugárparaméter. A két megoldás matematikailag egymásba átszámítható.

A felosztás alapját képező fedőközlegeken kívül más kombinált típusok és ennek megfelelő megoldások is előállíthatók. Például folytonosan változó sebességű réteges közeg, horizontális sebességváltozású közeg. Ezek azonban már nehézkesek, vagy speciális méréseket követelnek meg [3].

A refrakciós átlagsebesség-meghatározás módszereinek vizsgálata

A refraktált hullámok útidőgörbéiből nyert átlagsebesség-függvényekről általában azt tartják, hogy kevésbé megbízhatók, mint az egyéb módon nyert átlagsebességfüggvények. Ez összefügg azzal, hogy az eljárásoknál az elkövethető hibákat sem egy adott módszer esetén, sem a módszerek összességére nem tudjuk általánosan meghatározni.

A különböző módszerekkel nyert adatok abszolút ellenőrzésére csak a mélyfúrásokból nyert szeizmokarottázs átlagsebességfüggvény szolgálhat.

A különböző módszerekkel egyazon területről nyert adatok egymástól és a tényleges értéktől való eltérése, vagyis a meghatározott értékek hibája több okra vezethető vissza. A fellépő hibákat a két általánosan ismert szabályos és véletlen hibák csoportjába sorolhatjuk be.

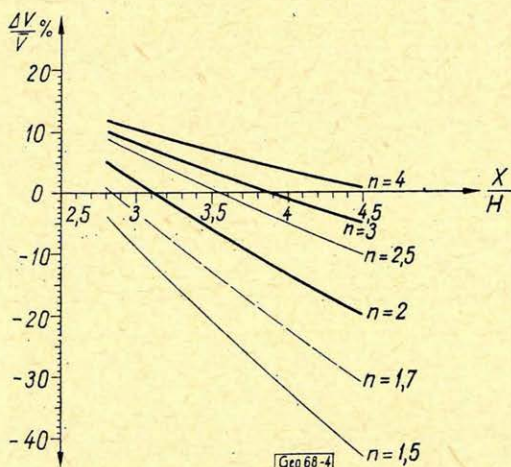
A szabályos hibák csoportjába két jelentős hibát kell sorolnunk.

1. A refrakciós első beérkezések útidőgörbéje nem mindig fejezi ki egyértelműen, illetve pontosan a közeg sebességfüggvényét, amelynek felszínén mérjük; így pl. inverzió, vagy rétegátlövés esetén sem. A refrakciós első beérkezések útidőgörbéinek többértelműségéből származó hibákat általában nem tudjuk kifejezni, megbecsülni előzetesen, csak szeizmokarottázs méréssel való összevetés után. Ez a hiba a sebességszámítás módszerétől független.

2. A másik főhiba onnan származik, hogy egyes átlagsebességszámítási módszerek nem a tényleges útidőgörbét veszik számításuk alapjául, hanem valamilyen közelítő útidőgörbét vesznek fel, melynek adataiból a számítás el-

végezhető. Mivel nem a tényleges útidőgörbével számolunk, hibát követünk el. A hiba a közelítés módjától, illetve mértékétől függ. Ez hipotétikus példákön számítható.

Pl. konkrét többretegű közeg sebességfüggvényét felvéve, az annak megfelelő útidőgörbéből átlagsebességet számítanak az útidőgörbék metszéspontja alapján. A felvett és számított átlagsebesség különbsége az átlagoló útidőgörbe közelítő voltából származó hiba. Ilyen számításokra utalnak *Gamburcev*, *Gurvics* és *Karajev* munkái [5, 6, 8].



4. ábra. Az útidőgörbék metszéspontja alapján számított átlagsebesség relatív hibája a $V = Az^{\frac{1}{n}}$ függvénnyel meghatározott fedőközeg esetén

Számításokat végeztünk $V = Az^{\frac{1}{n}}$ függvénnyel adott fedőközeg esetre, vagyis meghatároztuk azt a relatív hibát, amelyet akkor követünk el, ha a $V = Az^{\frac{1}{n}}$ függvénynek megfelelő közeg útidőgörbéjéből a metszéspont (b) alapján számítunk átlagsebességet.

A relatív hibára a

$$\frac{\Delta \bar{V}}{\bar{V}} = 1 - c \left(\frac{X}{H} \right)^{\frac{1}{n}}$$

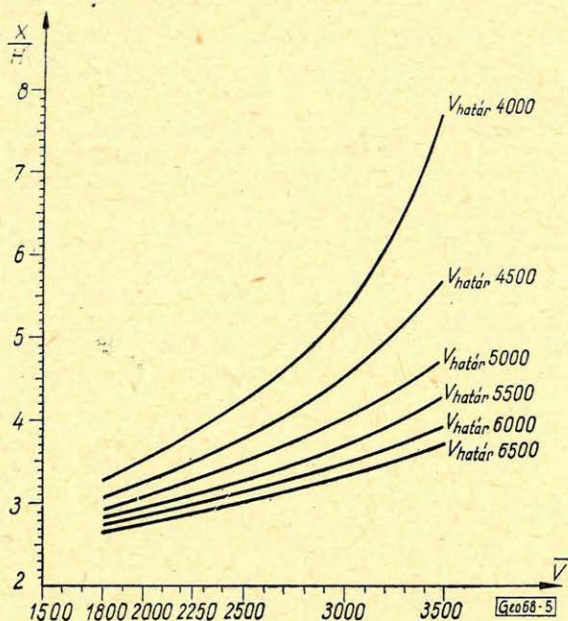
formulát kaptuk,

ahol $\Delta \bar{V}$ = a felvett és számított átlagsebesség különbsége, \bar{V} a felvett átlagsebesség, X a metszéspont abszcisszája, H a refraktáló réteghatár mélysége, c a 4. ábrán közölt kifejezés.

Tehát n és X/H függvényében a relatív eltérés számítható. n és X/H gyakorlatban előforduló értékeire a $\frac{\Delta \bar{V}}{\bar{V}}$ relatív hibát a 4. ábra grafikonja adja.

X/H kifejezhető a töréspontból számított átlagsebesség és a feküfelszín határsebességének függvényeként is (5. ábra).

Így a 4. és 5. ábrák grafikonjai alkalmasak arra is, hogy a metszéspontból számított és a $V = Az^{\frac{1}{n}}$ függvényel kifejezett közeg közelítő útidőgörbéjéből számított átlagsebességek eltérését előre megadja.



5. ábra. Nomogram az $\frac{X}{H}$ viszony meghatározására

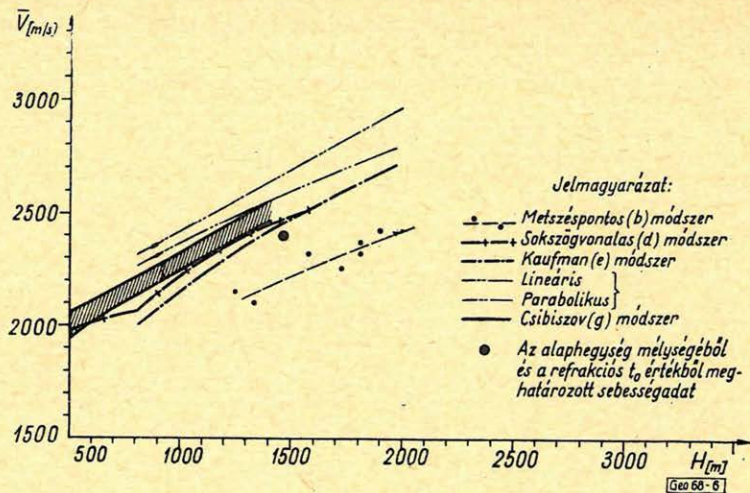
A szabályos hibákon kívül az eredményeket *véletlen jellegű* hibák is terhelik. A véletlen jellegű hibákat a számítás alapjául szolgáló adatok véletlen jellegű hibái határozzák meg.

A felsorolt hibák természetesen különböző mértékben kompenzálhatják egymást, ami ellenőrző adatok hiánya esetén még nehezebbé teszi annak eldöntését, hogy melyik módszer fog jobb eredményt nyújtani egy-egy területen.

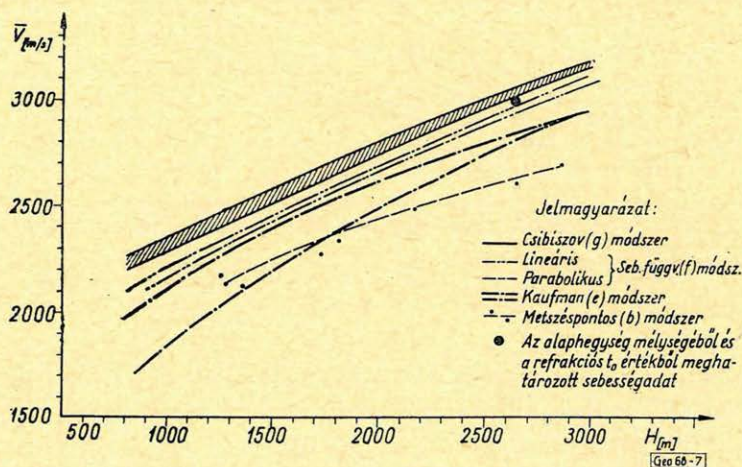
A kisalföldi és a hajdúszoboszlói területen számos összehasonlító vizsgálatot végeztünk.

A *kisalföldi* összehasonlító vizsgálatokat, mivel a területen szeizmokarotázis-mérések nem voltak, olyan területre összpontosítottuk, ahol legalább az alaphegység mélységéből és a refrakciós t_0 értékből az átlagsebesség meghatározható volt. Ezekhez viszonyíthattuk az útidőgörbékből nyert értékeket.

A 6. ábrán a MiR-2 vonal 184° rp.-ből lőtt útidőgörbe alapján számított átlagsebességfüggvényeket, a MiR-2 vonalra a metszéspontos eljárással kapott átlagsebességértékeket és a M-5/b mélyfúrásból számított átlagsebességértéket tüntettük fel. Hasonló módon meghatározott átlagsebességértéket tüntet fel a 7. ábra, amelynél szintén a MiR-2 vonalon található 552° rp.-ből lőtt útidőgörbét, valamint az M-4 mélyfúrásból számított átlagsebességértéket használ-



6. ábra. A Mir-2/184⁰⁰ → refrakciós útidőgörbéből különböző módszerekkel számított átlagsebesség függvények



7. ábra. A Mir-2/552⁰⁰ → refrakciós útidőgörbéből különböző módszerekkel számított átlagsebesség függvények

tuk fel. Mindkét ábrából kitűnik, hogy a különböző módszerekkel meghatározott sebességfüggvények széles sávban helyezkednek el.

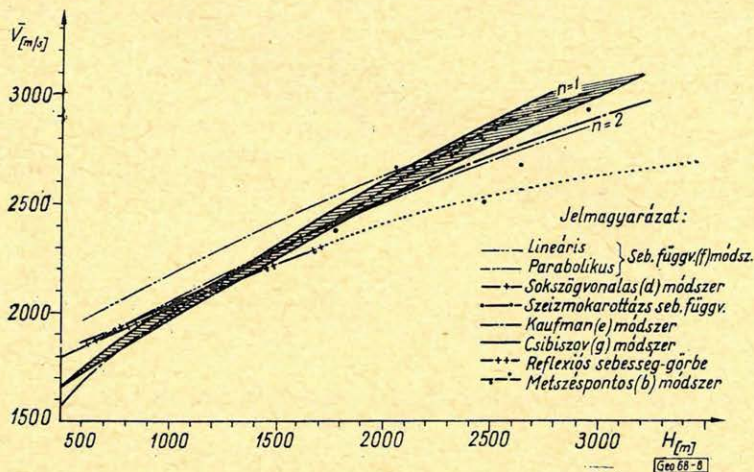
Ezt az eltérést elsősorban a módszerek eltérő volta okozza. Igazolja ezt pl. az is, hogy a 6. ábrán a (b) és (e) módszerrel meghatározott átlagsebesség tényleges relatív eltérése 1500 m-nél 12%, a 4. ábra grafikonjai alapján számítva pedig 10,5%.

A területre jellemző, hogy a (b) módszerrel meghatározott átlagsebesség-értékek általában kisebbek a más eljárással kapott eredményeknél.

A 6. ábra egy magasabb, 1500 m körüli mélységű területszakaszról, a 7. ábra pedig egy mélyebb, 2700 m mélységű területszakaszról közöl vizsgálatokat.

A 6. ábra alapján a következőket állapíthatjuk meg. Az alaphegység mélységénél a tényleges értékhez legközelebbi eredményt az (e) módszer, majd a (c) és (g) módszer, eltérőbbet az (f) és (b) módszer adta.

A mélyebb területen (7. ábra) az alaphegység mélységénél a legjobb eredményt a Csibiszov (g) és az (f) módszer adta. Kevésbé jó itt az (e) eljárás, amelynél kétféle közelítéssel is számoltunk. Az útidőgörbe alaphegységre vonatkozó szakaszát közvetlenül megelőző részt közelítve meg, kaptuk az alsó, egyben a közölt mélységintervallumban meredekebb görbét. Az útidőgörbe még előbbi szakaszát megközelítve kaptuk a magasabb értékeket adó, de laposabb görbét. Itt jól látható az (e) módszer azon sajátága, hogy a nyert átlagsebességfüggvény a terület sebesség- és mélységviszonyaitól függően csak egy rövidebb, vagy hosszabb szakaszra ad jó közelítést.



8. ábra. A BoR-11. vonalon a Bal-2. mélyfúrás közelében a refrakciós útidőgörbékől számított átlagsebesség függvények

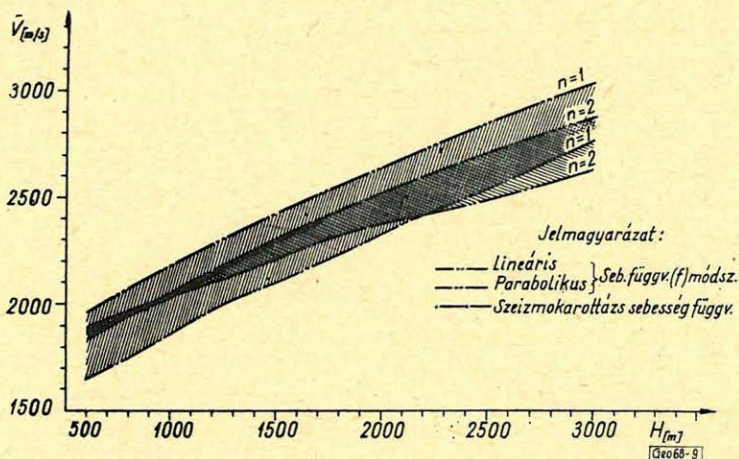
A Csibiszov (g) módszerrel meghatározott átlagsebesség-függvény sávok, amelyeket a vizsgált útidőgörbéket is magukba foglaló útidőgörbesávok alapján számítottunk, mind a magasabb, mind a mélyebb területen egyaránt jó közelítést adtak. Ennek alapján láttuk célszerűnek a Csibiszov módszer alkalmazását az egész kisalföldi területre. Ezt későbbi eredményeink igazolták is.

Hajdúszoboszló környékén a BoR-11 vonalon és a Bal-2 mélyfúrás közelében elhelyezkedő rp.-k útidőgörbéit vizsgáltuk meg. Ugyanabból a rp.-ból nyert útidőgörbéből végeztünk átlagsebességfüggvény-meghatározásokat a metszéspontos (b), a sokszögvonalas (d), a lineáris és parabolikus sebességfüggvényű (f), a Kaufman (e) és a Csibiszov (g) eljárások segítségével, a meghatározások eredményeit tünteti fel a 8. ábra. Összehasonlítás céljából az ábrában megtalálható a reflexiós adatokból készült $\bar{V} = \bar{V}(z)$ görbe, valamint a Bal-2 mélyfúrás karottázsgörbéje is. Így az ábráról nemcsak az egyes módszerek relatív hibája, hanem az abszolút hiba is leolvasható.

Látható, hogy a területre jellemző átlagsebességfüggvény legjobban a (d) módszerrel közelíthető meg, eredménygörbéje csaknem rajta fut a karottázsgörbén. A környékre eső több útidőgörbe burkolóiból a Csibiszov (g) módszerrel

készült átlagsebességfüggvények sávját fejezi ki a vonalkázott rész. Tulajdonképpen ez is az előző eljárás eredményeivel azonos értékű, hiszen a (d) módszer eredménygörbéje a sávban fekszik.

Az (e) módszer esetén a legjobb eredményt akkor kaptuk, ha a log-log koordináta-rendszerben ábrázolt mért útidőgörbe alaphegységről nyert beérkezéseinek közvetlenül megelőző szakaszát vettük figyelembe. Esetünkben az így alkalmazott eljárással nyert görbe a középső szakaszon közelíti meg legjobban a karottázás függvénygörbét.



9. ábra. Összehasonlító ábra (f) módszer alkalmazása esetén a mért útidőgörbe különböző közelítéseire

Vizsgálatokat végeztünk arra vonatkozóan, hogy milyen eltérést kaphatunk az (f) módszer esetén akkor, ha a mért útidőgörbét az $n = 1$, és $n = 2$ normál útidőgörbével különböző módon közelítjük meg (9. ábra). Miután a 9. ábra a karottázsgörbét is feltünteti, megállapítható, hogy realisabb eredményt ad az (f) módszer akkor, ha a mért útidőgörbe utolsó szakaszát illesztjük szorosan a normál útidőgörbére és nem törekszünk a teljes útidőgörbe átlagolására.

A 9. ábra egyben bizonyítja azt is, hogy egyazon módszer alkalmazásánál is a különböző módon végrehajtott közelítésből milyen nagy eltérések adódhatnak.

Ennek megfelelően a 8. ábra tartalmazza a legjobban közelítő eredménygörbéket, és látható, hogy a relatív eltérés nem több mint ± 100 m/s a többi módszerhez viszonyítva. A reflexiós $\bar{V} = \bar{V}(z)$ függvény 1500 m mélységig jól egyezik a többi eljárással. (A mélyebb részen a görbe hipotétikus, mert csak gyenge reflexiós beérkezésekre támaszkodik és ebben a mélységben a reflexiós sebességszámítás bizonytalan.)

A hajdúszoboszlói területen megállapítható, hogy a feltüntetett módszerekkel meghatározott átlagsebességfüggvény-görbék szórási sávja 200–250 m/s. Ebben a sávban foglal helyet a karottázsgörbe is, ami a felsorolt módszerek alkalmazhatóságát alátámasztja az adott területre. Az összehasonlító ábra alapján a legmegfelelőbb eljárás itt a Csibiszov (g) és a sokszögvonalas (d).

A vizsgálatok során leszűrhető tapasztalatok alapján elmondhatjuk, hogy az átlagsebességszámítás módszerének megválasztásánál a területi adottságokból kell kiindulni.

Az egyes módszerekről a következőket állapíthatjuk meg.

1. A metszéspontos (*b*) módszert tartja az irodalom a legkevésbé megbízhatónak. A sebességviszonyoktól függően amint láthattuk, bizonyos esetekben egészen jó eredményeket is adhat. Az eljárás előnye, hogy gyors és nem szükséges hozzá teljes útidőgörbe.

2. A (*d*) vagy sokszögvonallas eljárás mindenütt jó eredményt adott. Az eredmény annál jobb, minél több egyenes szakasszal közelítjük meg az útidőgörbét. Csak teljes útidőgörbe esetén használható.

3. Az (*e*) és (*f*) módszerek abban az esetben, ha nagyobb súllyal az útidőgörbék végső szakaszait vettük figyelembe, jó közelítő eredményt adtak, legalábbis egy bizonyos mélységintervallumon belül. Az (*f*) módszer előnyére írandó, hogy gyorsabb mint (*e*) és jobb közelítést ad a kisebb mélységeknél is. Mindkét módszer előnye, hogy teljes útidőgörbét nem igényel.

4. Legáltalánosabban jól alkalmazhatónak bizonyult a Csibiszov (*g*) módszer, amit annak tulajdonítunk, hogy legjobban képes a mért útidőgörbét teljes hosszában megközelíteni. Hátránya, hogy hosszadalmas számítást igényel és teljes útidőgörbét kíván. Ez utóbbi azonban az útidőgörbék sávbagyújtásával kiküszöbölhető.

5. A reflexiós módszerekkel történő összehasonlítás eredményeként megjegyezhető, hogy nagyobb mélységekben a reflexiós adatok hibája nő és mindig kisebb átlagsebességértékeket ad.

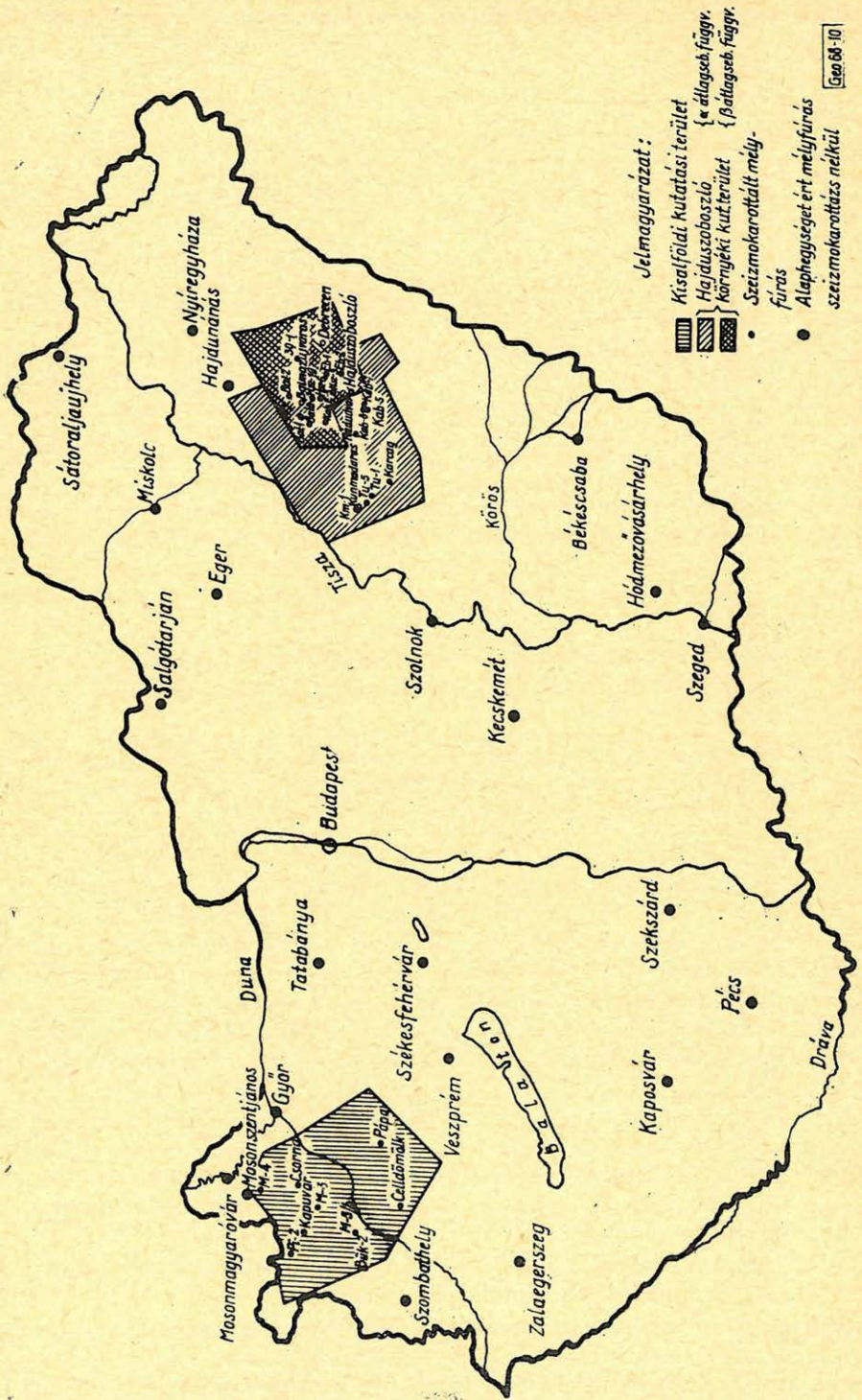
A Hajdúszoboszló környékén és a Kisalföld területén végzett refrakciós méréseken alapuló átlagsebességmeghatározások

Hajdúszoboszló és környékére vonatkozó átlagsebesség-függvénygörbék meghatározását fokozatos megközelítéssel végeztük el. A fokozatos közelítés első lépése volt, hogy területünket 15 közel egyenlő területszakaszra osztottuk fel. A területszakaszokon belül a vonalhálózat összes útidőgörbéin a metszéspont (*b*) módszerrel a feltételezett alaphegységig, az 5600 m/s sebességű réteghatárig, számítottunk \bar{V} értékeket. Azokon a helyeken, ahol az útidőgörbéből az üledékösszlet réteghatáiról nyert útidőgörbék metszéspontjai is meghatározhatók voltak, helyenként a 4000 m/s és az 5000 m/s réteghatárokra is meghatároztuk a \bar{V} -ot.

Ugyancsak az összes útidőgörbéből meghatároztuk a $\bar{v} = \bar{v}(z)$ függvényt a sokszögvonallas (*d*) módszerrel, valamint a szeizmokarottázs-mérések közelében a jellegzetesebb útidőgörbékéből az (*e*) eljárással. Számításaink eredményeit összehasonlítottuk a területen elhelyezkedő mélyfúrások szeizmokarottázs átlagsebesség-függvénygörbéjével.

A 10. ábra tünteti fel a területen elhelyezkedő azon mélyfúrásokat, ahol szeizmokarottázs-mérések történtek.

A kapott eredményeket összegezve nagyobb területrészek összevonásával és a karottázsadatok felhasználásával alakítottuk ki a fokozatos közelítés második lépéseként a betűjelzéssel ellátott területszakaszokat, ill. az ehhez tar-



10. ábra. A kisalföldi és Hajdúsaboszló környéki refrakciós kutatás területei.

tozó átlagsebesség-függvénygörbéket. Ezeket az eredménygörbéket mutatják a betűjelzéssel ellátott $\bar{v} = \bar{v}(z)$ görbék ($A, B, C, D, E_1, E_2, F, G$) (11. ábra), amelyek ± 50 m/s pontossággal fejezik ki a számított \bar{v} értékek átlagát. A számított pontok szórása tehát egy-egy ilyen területszakaszon belül elenyésző. A betűjelzéses görbék, mint ahogy a 11. ábra mutatja, két nagy csoportra oszthatók, és így az átlagsebességfüggvény szempontjából is két területrészre osztják a vizsgált területet (10. ábra).

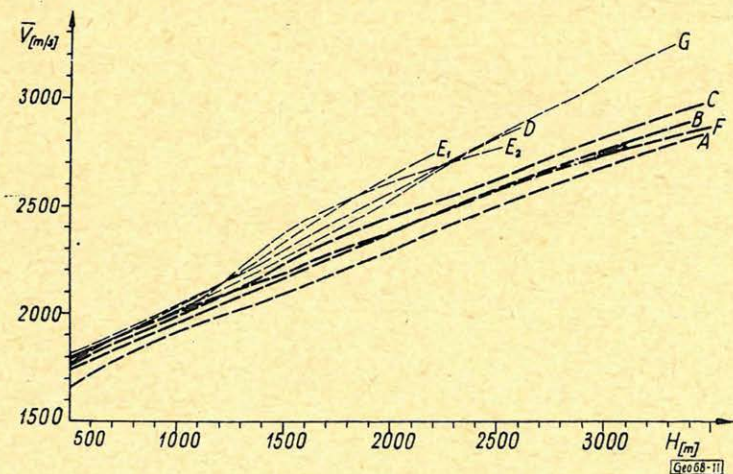
A görbék egyik csoportja 1200 m mélységtől a nagyobb \bar{v} értékek felé hajlik, amit β néven természetesen az E_1, E_2, G és D görbék átlagolásából nyertünk, másrészt az α görbe a B, C, F átlagsebességgörbék átlagolásával készült. Ezt tünteti fel a 12. ábra.

A két jellemző átlagsebességfüggvény $\pm 100 - 150$ m/s pontossággal foglalja egybe a részeredményeket.

A 12. ábrán feltüntettük a terület reflexiós méréseiből számított átlagsebességgörbét is. Látható, hogy ez a függvény 1300 m mélységig az egész területre megfelelő, 2000 m mélységig csak az α területrészre megfelelő, ezen túl pedig erősen eltér mind a karottázs, mind a refrakciós átlagsebességgörbétől.

A β -típusú \bar{v} görbe a hajdúszoboszlói szeizmikus maximum területéről kiindulóan a kelet felé terjeszkedő területrészre jellemző.

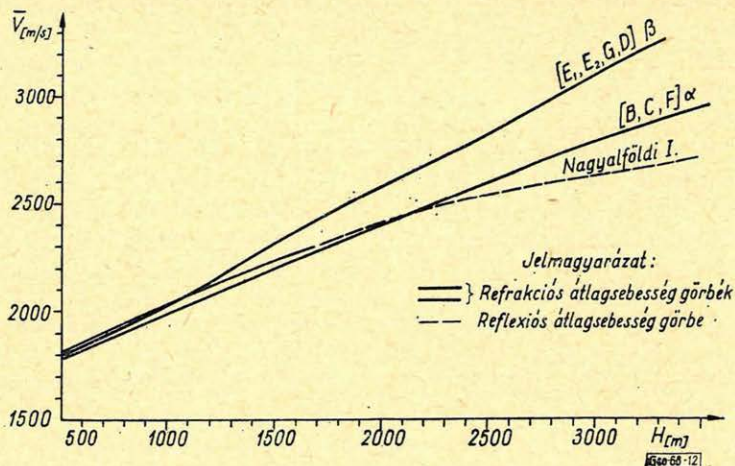
A hajdúszoboszlói szeizmikus maximum körülvevő nyugati területrészre az α -görbe jellemző. A kréta-flis itt kb. 1700–1800 m-nél kezdődik, ellentétben a keleti területrészsel, ahol 1200 m-ben már legtöbb helyen megtalálható. A flisösszlet mért térfogatsúlya 2,4–2,6, a felette elhelyezkedő pannonkorú rétegek és tufa 2,0–2,2 térfogatsúlyával szemben.



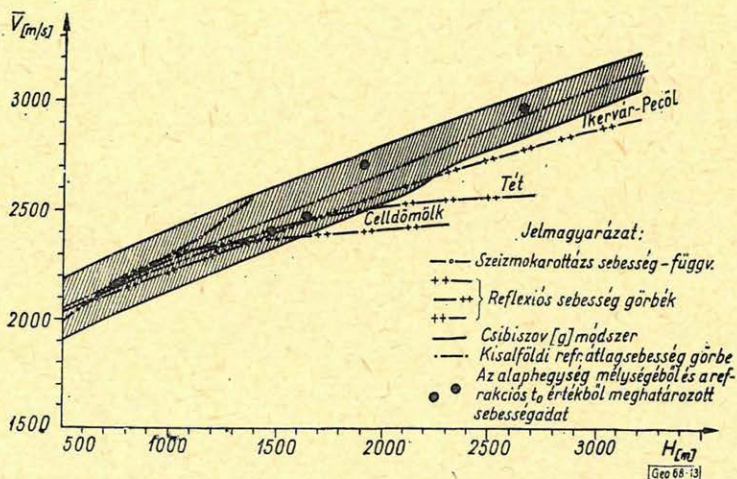
11. ábra. A Hajdúszoboszló környéki területen végzett átlagsebesség függvény-vizsgálatok részlet-eredményei

Ezzel magyarázható, hogy 1200–1300 m-ig egyaránt jó mind az α , mind a β , valamint a reflexiós \bar{v} görbe. Keleten a flis felszínhez közelebb eső helyzete miatt alakult ki a mélyebb szakaszában nagyobb \bar{v} értékeket mutató átlagsebességfüggvény-görbe.

A *kisalföldi* átlagsebességgörbe meghatározásánál egységesen minden útidő görbére kiterjedően a Csibiszov (g) módszert alkalmaztuk.



12. ábra. A Hajdúszoboszló környéki területen végzett átlagsebesség függvény-vizsgálatok eredményei



13. ábra. A kisalföldi területen végzett átlagsebesség-függvény vizsgálatok eredményei

Mivel a kisalföldi refrakciós mérések anyaga közel 400 útidőgörbéből áll, ezekből külön-külön átlagsebességet számítani hosszadalmas munka lenne, másrészt a Csibiszov-módszerhez teljes útidőgörbék szükségesek, így a 400-ból csak a teljes útidőgörbék lennének felhasználhatók.

A két problémát a következőképpen oldottuk meg. Az útidőgörbéket egy közös kezdőpontba toltuk össze a gyakorlatban oly módon, hogy pauszmilli-méterpapírra rajzoltuk át egy-egy vonal útidőgörbéit a megfelelő korrekciókkal ellátva. Az útidőgörbesereget aztán egymásra helyezve a teljes nyalábot olyan sávokra osztottuk, amelyeknek szélessége maximum 50 ms. Az egyes sávok burkolóiból, mint útidőgörbékől határoztuk meg az átlagsebesség-függvényeket.

A feltevés az volt, hogy az egy sávba eső útidőgörbéknek megfelelő sebességfüggvények a sáv burkolóinak megfelelő sebességfüggvénygörbék közé esnek. Az így kapott összes átlagsebességfüggvény-görbe a 13. ábra bevonalkázott sávjában helyezkedik el.

Látható, hogy a sáv 300 m és 2300 m között 300 m/s és 2300–4000 m között maximum 200 m/s széles.

Így a sebességfüggvény-sáv középvonalát nyugodtan elfogadhatjuk a kisalföldi terület (10. ábra) átlagsebességfüggvény-görbéjéül, mivel a maximális eltérés $\pm 100-150$ m/s között van. Vagyis a relatív hiba a szélsőértékekhez viszonyítva.

H, m	500	1000	1500	2000	2500	3000	4000
$\Delta \bar{v}/\bar{v} \%$ \pm	7,1	6,2	5,7	5,2	3,5	2,9	2,4

Összehasonlításul a 13. ábra feltünteti a M-3, M-4, M-5/b és Pi-2 mélyfúrásokból számított átlagsebességértékeket, a tétii, a celledömölki és az ikervár-pecöli reflexiós átlagsebességgörbéket, valamint a büki szeizmokarot-tázs átlagsebességgörbét.

Érdekes megjegyezni, hogy míg Hajdúszoboszló környékén a refrakciós útidőgörbék kezdeti szakasza alig tér el egymástól, addig a kisalföldi refrakciós útidőgörbék már a kezdeti szakaszban is eltérőek.

Már ez a tény is arra utal, hogy míg Hajdúszoboszló környékén a kisebb mélységeken a területen horizontális irányban nincs jelentős sebességváltozás, addig a Kisalföldön ez fennáll. Ezt alátámasztják a Csibiszov-módszerrel számított helyi sebességgörbék és ez olvasható le az átlagsebességfüggvény-görbékből is (12., 13. ábrák).

Következtetések

Kétségtelen, hogy a refrakciós útidőgörbékéből történő átlagsebesség-számítások közül célszerű mindig az útidőgörbék sajátosságainak legmegfelelőbb módszereket alkalmazni. Tény azonban, hogy Magyarországon az alföldi refrakciós méréseknél az üledékes összletből nyert refrakciós útidőgörbék általában folyamatosan görbültek, tehát a III/b. csoport feltételeivel megközelíthetők (1. ábra).

A Csibiszov-eljárás tehát egységesen alkalmazható lenne valószínűleg a többi refrakciós útidőgörbe további feldolgozásánál is. Az útidőgörbék sávba-gyűjtése más geológiai és szerkezeti következtetésekre is lehetőséget nyújt.

A Csibiszov-módszerrel nyerhető helyi sebesség-mélységfüggvény kifejezően jellemezheti az üledékes összlet sebességviszonyainak területi alakulását és így a medencéi nagyszerkezeti képét is. Lehetőséget nyújtanak ezenfelül az üledék összlet sebesség szerinti rayonirozására.

Az eredményeket a reflexiós mérésekkel kapott \bar{v} adatokkal, ill. ahol van, a karot-tázból számított függvénygörbékkel kiegészítve, szerkeszthető lenne egy magyarországi átlagsebesség-térkép. A sebességfüggvények általános ismer-

rete nemcsak a helyi szerkezetek vonatkozásában, hanem a szeizmikus mérések eredményeinek az országra kiterjedő pontosabb összehangolásában és a mélységek biztosabb megadásában vinne jelentős szerepet.

Befejezésül köszönetünket fejezzük ki az OKGT Szeizmikus Üzem vezetőségnek, hogy lehetővé tette ezeket a vizsgálatokat és az adatok közléséhez hozzájárult.

Továbbá köszönetünket fejezzük ki Dr. Szemerédy Pálné és Nagy Zoltánné geofizikus mérnököknek, akik a vizsgálatok egy részében résztvettek.

IRODALOM

1. *O. Ádám and E. Kálényi*: Determination of the approximate velocity-depth function from refraction travel-time curves. Acta Technica. T 43. F. 3-4 1963.
2. *A. I. Bogdanov*: Interpretácia (Teoria) Szeizmicseszkih godografov; Gosztoptyehizdat, Moszkva, 1960.
3. *T. I. Vavilova*: Resenyie obratnoj kinematyicseszkoj zadaci dlja szlucsaja naklonnovo grazyienta szkorosztyi uprugüh voln. Voproszű dinamicseszkoj voln, szbornyik IV., Izdatyelsztvo LGU, 1962.
4. *G. A. Gamburgcev*: Osznovű szeizmorazvedki. Gosztoptyehizdat, Moszkva, 1959.
5. *G. A. Gamburgcev, A. M. Jepinatyeva, I. P. Paszecsnyik, I. P. Koszmínszkaja, I. V. Karusz*: Korrelációs refrakciós módszer. Fordítás.
6. *I. I. Gurvics*: Szeizmicseszskaja razvedka. Gosztoptyehizdat, 1960.
7. *J. G. Hagedoorn*: Templates for fitting smooth velocity functions to seismic refraction and reflection data. Geophysical Prospecting, 1955. dec.
8. *I. A. Karajev*: Opregyelenyije szrednyih szkorosztyej po dannüm KMPV dlja nyekatorüh rajonov Zapadnoj Szibiri. Prikladnaja Geofizika, vűp. 27., Gosztoptyehizdat, Moszkva, 1960.
9. *T. T. Pogonyajlo*: Primenenyie metoda Sz. V. Csibiszova dlja opregyelenyija szkorosztnovo razreza nyekatorüh rajonah Zapadnoj Turkmenyii. Voproszű dinamicseszkoj teorii raszprosztranyenyija szeizmicseszkih voln, szbornyik IV., Zdatyelsztvo LGU, 1962.
10. *N. N. Puzűrjev*: Interpretácia dannüh szeizmorazvedki metodom otrazsennüh voln. Gosztoptyehizdat. Moszkva, 1959.