

Д. КИЛЬЦЕР:

ВОЗМОЖНОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ ПРОЙДЕННОГО ПРЕЛОМЛЕННЫМИ ВОЛНАМИ И ИНВЕРТНОГО СЛОЯ ПРИ ПОМОЩИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН.

Данные (наклон, характерная скорость) пройденного преломленными волнами и инвертного слоя с несогласным залеганием можно определить, если известны данные о наклонах и характерных скоростях слоев, залегающих над и под выделяемым слоем.

G Y. KILCZER:

POSSIBILITY OF THE DETECTION OF SHOT AND INVERSE STRATA BY MEANS OF SEISMIC REFRACTION MEASUREMENT

Data of discordant strata shot through and inverse (slope, characteristic velocity) may be determined when knowing the slope and characteristic velocity of the stratum below and above.

**ÁTLÓTT ÉS INVERZ RÉTEG KIMUTATÁSÁNAK LEHETŐSÉGE
SZEIZMIKUS REFRAKCIÓS MÉRÉSEL**

KILCZER GYULA

I. Legyen a felszíntől lefelé egymásra következő három közetrétegben a robbantási hullám terjedési sebessége v_1 , v , v_2 . Normális sebességeloszlás esetében $v_1 < v < v_2$. Bizonyos rétegvastagságoknál és sebességértékeknél előfordulhat, hogy a (v_1/v) határfelületről nem kapunk első beérkezéseket a szelvény két végén levő robbantópontok egyikéből sem; a (v/v_2) határfelületnek megfelelő töréspont a sebességdiagramon előbb jelentkezik, mint a (v_1/v) -nek megfelelő; más szóval a v sebesség általában nem mutatkozik. Ez az «átlövés» jelensége [1] [2] [3]. Ha a (v_1/v) és (v/v_2) határfelület egymással párhuzamos, akkor a v'_2 és v''_2 látszólagos sebességértékek csakis v_2 -től és a határfelületek közös γ dőlésszögétől függenek, a v jellemzésű réteget — az átlótt réteget — szeizmikus refrakciós méréssel nem lehet kimutatni.

Más a helyzet, ha a szóban levő két határfelület nem párhuzamos. E dolgozat célja a gyakorlatban előfordult eset alapján kimutatni, hogy ilyenkor az átlótt réteg dőlése és jellemző sebességértéke bizonyos esetben meghatározható, bár a sebességdiagramon semmi közvetlen jele nincs.

A kézirat 1955. február 22-én érkezett be.

Számításainkat a szokásos egyszerűsítő feltételekkel (a szelvény síkjára merőleges, sík terepfelszín és ugyanilyen sík határfelületek, homogen-izotróp rétegek, a geometriai optika törvényeinek érvényessége a szeizmikus hullámokra) végezzük.

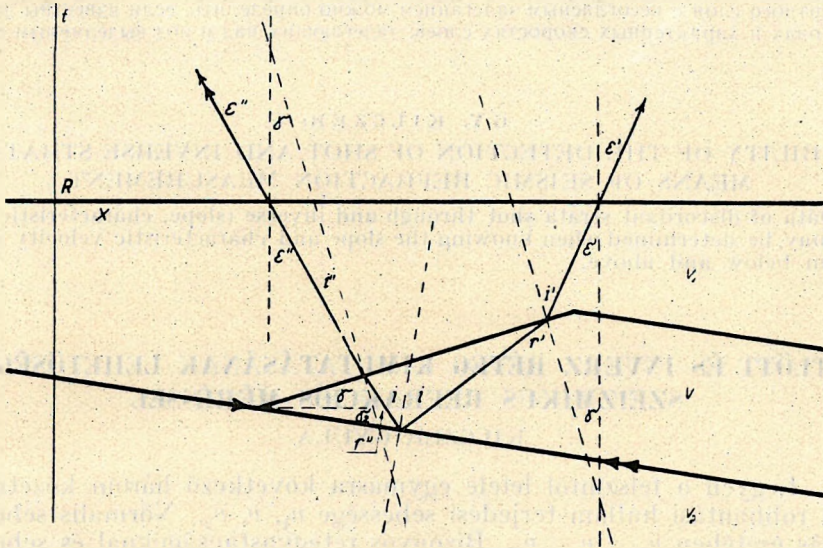
Az 1. rajz jelöléseit használva felírhatjuk a következő összefüggéseket:

$$i' = \varepsilon' + \gamma, \quad (1)$$

$$(90^\circ + r') = (90^\circ + i) + (\gamma - \gamma_2), \text{ ebből}$$

$$r' = i + (\gamma - \gamma_2),$$

i a (v/v_2) határfelülethez tartozó kritikus szög (a teljes visszaverődés határszöge), γ az ismeretlen dőlésszög, γ_2 a (v/v_2) határfelület dőlés-



1. ábra

szöge; a rajzon az R' robbantópont (x, t) koordináta-rendszerében negatív előjelű, de az összefüggés természetesen akkor is érvényes, ha $\gamma_2 > 0$. (1) és (2) a háromszög külső szögének tulajdonságából következik.

Snellius törvénye szerint

$$\frac{v_1}{v} = \frac{\sin(\varepsilon' + \gamma)}{\sin[i + (\gamma - \gamma_2)]} \quad \text{és} \quad \frac{v}{v_2} = \sin i. \quad (3) \quad (4)$$

(3) és (4) szorzata

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin i (\sin \varepsilon' \cos \gamma + \cos \varepsilon' \sin \gamma)}{\sin i \cos(\gamma - \gamma_2) + \cos i \sin(\gamma - \gamma_2)}$$

A jobboldali tört számlálóját és nevezőjét $\sin i$ -vel elosztva, ctg $i = C$ rövid jelöléssel

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \varepsilon' \cos \gamma + \cos \varepsilon' \sin \gamma}{\cos (\gamma - \gamma_2) + C \sin (\gamma - \gamma_2)}. \quad (5)$$

Hasonló módon

$$i'' = \varepsilon'' - \gamma \quad (1')$$

$$r'' = i - (\gamma - \gamma_2), \text{ mert } (90 + i) = (90 + r'') + (\gamma - \gamma_2); \quad (2')$$

$$\frac{v_1}{v} = \frac{\sin (\varepsilon'' - \gamma)}{\sin [i - (\gamma - \gamma_2)]} \text{ és } \frac{v}{v_2} = \sin i. \quad (3') \quad (4')$$

Végül

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \varepsilon'' \cos \gamma - \cos \varepsilon'' \sin \gamma}{\cos (\gamma - \gamma_2) - C \sin (\gamma - \gamma_2)}. \quad (5')$$

(5)-ből

$$v_1 \cos \gamma \cos \gamma_2 + v_1 \sin \gamma \sin \gamma_2 + C v \sin \gamma \cos \gamma_2 - C v_1 \cos \gamma \sin \gamma_2 = \\ = v_2 \sin \varepsilon' \cos \gamma + v_2 \cos \varepsilon' \sin \gamma.$$

Rendezve

$$\sin \gamma (v_1 \sin \gamma_2 + C v_1 \cos \gamma_2 - v_2 \cos \varepsilon') = \\ = \cos \gamma (-v_1 \cos \gamma_2 + C v_1 \sin \gamma_2 + v_2 \sin \varepsilon'). \quad (6)$$

Hasonlóképpen (5')-ből

$$\sin \gamma (v_1 \sin \gamma_2 - C v_1 \cos \gamma_2 + v_2 \cos \varepsilon'') = \\ = \cos \gamma (-v_1 \cos \gamma_2 - C v_1 \sin \gamma_2 + v_2 \sin \varepsilon''). \quad (6')$$

(6) és (6') hányadosa

$$\frac{v_1 \sin \gamma_2 + C v_1 \cos \gamma_2 - v_2 \cos \varepsilon'}{v_1 \sin \gamma_2 - C v_1 \cos \gamma_2 + v_2 \cos \varepsilon''} = \frac{-v_1 \cos \gamma_2 + C v_1 \sin \gamma_2 + v_2 \sin \varepsilon'}{-v_1 \cos \gamma_2 - C v_1 \sin \gamma_2 + v_2 \sin \varepsilon''}.$$

Ebből az egyenletből

$$C = \frac{-v_1 v_2 [\cos (\varepsilon' + \gamma_2) + \cos (\varepsilon'' - \gamma_2)] + v_2^2 \sin (\varepsilon' + \varepsilon'')}{v_1 v_2 [\sin (\varepsilon' + \gamma_2) + \sin (\varepsilon'' - \gamma_2)] - 2v_1^2}.$$

Másrészt (6)-ból és (6')-ből $\operatorname{tg} \gamma = T$ rövid jelöléssel

$$T v_1 \sin \gamma_2 + T C v_1 \cos \gamma_2 - T v_2 \cos \varepsilon' = \\ = -v_1 \cos \gamma_2 + \gamma_2 + C v_1 \sin \gamma_2 + v_2 \sin \varepsilon' \quad (7)$$

$$T v_1 \sin \gamma_2 - T C v_1 \cos \gamma_2 + T v_2 \cos \varepsilon'' = \\ = -v_1 \cos \gamma_2 - C v_1 \sin \gamma_2 + v_2 \sin \varepsilon''. \quad (7')$$

(7) és (7') összege

$$2Tv_1 \sin \gamma_2 - Tv_2 (\cos \varepsilon' - \cos \varepsilon'') \\ = -2v_1 \cos \gamma_2 + v_2 (\sin \varepsilon' + \sin \varepsilon'').$$

Ebből az egyenletből

$$T = \frac{v_2 (\sin \varepsilon' + \sin \varepsilon'') - 2v_1 \cos \gamma_2}{-v_2 (\cos \varepsilon' - \cos \varepsilon'') + 2v_1 \sin \gamma_2}$$

A numerikus számítás megkönnyítésére C és T kifejezéseit ismeretes goniometriai összefüggések felhasználásával átalakítva:

$$C = \frac{-\left(\frac{v_1}{v_2}\right) \cos\left(\frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2}\right) \cos\left(\frac{\varepsilon' - \varepsilon''}{2} + \gamma_2\right) + \sin\left(\frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2}\right) \cos\left(\frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2}\right)}{\left(\frac{v_1}{v_2}\right) \sin\left(\frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2}\right) \cos\left(\frac{\varepsilon' - \varepsilon''}{2} + \gamma_2\right) - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2}$$

$$T = \frac{\sin\left(\frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2}\right) \cos\left(\frac{\varepsilon' - \varepsilon''}{2}\right) - \left(\frac{v_1}{v_2}\right) \cos \gamma_2}{\sin\left(\frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2}\right) \sin\left(\frac{\varepsilon' - \varepsilon''}{2}\right) + \left(\frac{v_1}{v_2}\right) \sin \gamma_2}$$

A (v/v_2) határfelületről a v jellemzőjű rétegen áthaladó hullám emergenciaszögeit a látszólagos sebességértékekből

$$\sin \varepsilon' = \frac{v_1}{v_2'} \quad \text{és} \quad \sin \varepsilon'' = \frac{v_1}{v_2''}$$

képletekkel kiszámíthatjuk. Feltéve, hogy v_2 és γ_2 a szelvény más részéről ismeretes — a gyakorlatban ilyen eset fordult elő —, $T = \operatorname{tg} \gamma$, $C = \operatorname{ctg} i$ csupa ismert mennyiségből kiszámítható; akkor pedig az átlótt réteg ismeretlen dőlésszöge

$$\gamma = \operatorname{arc} \operatorname{tg} T$$

és az átlótt réteg ismeretlen jellemző sebessége

$$v = \frac{v_2}{\sqrt{1 + C^2}} \quad \text{vagy} \quad v = v_2 \sin(\operatorname{arc} \operatorname{ctg} C).$$

Ha az átlótt réteg fölött több ismert réteg van, akkor ε' -ből és ε'' -ből kiindulva Snellius törvényével kiszámítjuk az egymásra következő határfelületeken az i' és i'' szögeket; az utolsó ismeretes határfelületet tekintjük a felszínnek és az utolsó i' , és i'' szöget tekintjük ε' -és ε'' -nek; természetesen akkor γ_2 -t és az így vett adatokból meghatározott γ -t az utolsó ismeretes határfelülethez (mint előbbi számításainkban a felszín síkjához) viszonyítva mérjük.

Az átlőtt réteg mélységi adatait — úgy, mint általában a többi réteget — időellenőrzéssel, grafikusán kellő pontossággal meg lehet határozni.

Példa. Egyszerűség kedvéért válasszunk kerek számértékeket:

	értékek	log	log sin	log cos
v_1	2500 msec ⁻¹	3,397940		
v_3	4600 msec ⁻¹	3,662758		
$v'_2 = v''_3$	5000 msec ⁻¹	3,698970		
$\varepsilon' = \varepsilon''$	30°		9,698970 —10	9,937531 —10
γ_2	—15°		9,412996 —10	9,984944 —10

$$T = \frac{\sin 30^\circ \cos 0^\circ - \frac{2500}{4600} \cos 15^\circ}{\sin 30^\circ \sin 0^\circ - \frac{2500}{4600} \sin 15^\circ} = \frac{0,500000 - 0,524960}{-0,140662} =$$

$$= \frac{0,024960}{0,140662} = \operatorname{tg} \gamma \quad \gamma = 10^\circ 4'$$

$$C = \frac{-\frac{2500}{4600} \cos 30^\circ \cos 15^\circ + \sin 30^\circ \cos 30^\circ}{\frac{2500}{4600} \sin 30^\circ \cos 15^\circ - \frac{2500}{4600}}$$

$$= \frac{-0,454629 + 0,433013}{0,262480 - 0,295370} = \frac{0,021616}{0,032890} = \operatorname{ctg} i \quad i = 56^\circ 41'$$

$$v = 3840 \text{ msec}^{-1}$$

A példából látjuk, hogy a T és C kifejezéseiben szereplő szorzatok értékét 5–6 tizedes pontossággal kell meghatározni, mert különbségekből kapjuk meg az eredményeket. Példánk arra is figyelmeztet, hogy az összetartozó látszólagos sebességek számtani középértéke vagy a

$v = \frac{2v'_2 v''_2}{v'_2 + v''_2}$ képlettel számított érték a valódi sebességnek még tájékoztató értékét sem adja meg diszkordáns településnél; ezek a közelítő számítások csak párhuzamos határfelületekre alkalmazhatók. Amint látjuk, mindkét látszólagos sebességérték nagyobb lehet a valódi sebességnél; az ilyen is egyike a sok csapdának, amelybe a szeizmikus refrakciós észlelések kiértékelője beleeshet.

II. Legyen ismét a felszíntől lefelé egymásra következő három közetrétegben a robbantási hullám sebessége v_1, v, v_2 és most — az I. esettől eltérően — legyen $v < v_1 < v_2$. Ha a (v_1/v) és (v/v_2) határfelület egymással

párhuzamos, akkor a v_1' és v_2'' látszólagos sebességértékek csakis v_2 -től és a határfelületek közös γ dőlésszögétől függenek, a v jellemzőjü réteget — az „inverz» réteget — szeizmikus refrakciós méréssel általában nem tudjuk kimutatni [4] [5] [6]. Más a helyzet, ha a szóban lévő két határfelület nem párhuzamos. Ilyenkor az inverz réteg dőlése és jellemző sebessége bizonyos esetben (úgy mint az átlótt rétegé), meghatározható.

Könnyen igazolható, hogy e dolgozat I. részében felírt (1), (2), (3), (4) és (1'), (2'), (3'), (4') összefüggések most is érvényesek; mivel pedig az ezekre támaszkodó levezetés folyamán sehol sem hivatkoztunk arra, hogy $v_1 < v < v_2$, tehát a levezetéssel kapott eredményeink, a C és T kifejezések ettől függetlenek; tehát akkor is alkalmazhatjuk őket, ha $v < v_1 < v_2$. Így az inverz réteg adatait is kiszámíthatjuk, ha v_2 és γ ismeretesek. Ezt egy numerikus példán is megmutatjuk. Egyszerűség kedvéért ismét kerek értékeket választunk és a számolást mostan géppel végezzük:

	értékek	sin	cos
v_1	2500 msec ⁻¹		
v_2	4600 msec ⁻¹		
v_2'	3420 msec ⁻¹		
v_2''	6300 msec ⁻¹		
ϵ	47°	0,731354	0,681998
ϵ''	20,4°	0,348572	0,937282
$\frac{\epsilon' + \epsilon''}{2}$	33,7°	0,554844	0,831954
$\frac{\epsilon' - \epsilon''}{2}$	13,3°	0,230050	0,973179
$\frac{\epsilon' - \epsilon''}{2} + \gamma_3$	3,3°	—	0,998342
γ_3	-10°	-0,173648	0,984808

$$C = \frac{-\frac{2500}{4600} \cdot 0,831954 \cdot 0,998342 + 0,554844 \cdot 0,831954}{\frac{2500}{4600} \cdot 0,554844 \cdot 0,998342 - \left(\frac{2500}{4600}\right)^2} = \frac{-0,451399 + 0,461605}{0,301046 - 0,295369} = \frac{0,010206}{0,005677} = 1,797780$$

$$i = 29^\circ 10' \quad v = 4600 \cdot 0,4874 = 2240$$

$v = 2240 \text{ msec}^{-1}$ (a közelítő formulából 4430).

$$T = \frac{0,554844 \cdot 0,973179 - \frac{2500}{4600} \cdot 0,984808}{0,554844 \cdot 0,230050 - \frac{2500}{4600} \cdot 0,173648} =$$

$$= \frac{0,539963 - 0,535222}{0,127642 - 0,094374} = \frac{0,004741}{0,033268} = 0,142509$$

$$\gamma = 8^\circ$$

Az átlőtt és inverz rétegekkel foglalkozó irodalomban csak vízszintes, párhuzamos rétegeket szoktak tárgyalni és megállapítják, hogy kimutathatatlanok [4] [5] [6]. Ez így is van, de azzal az általánosítással, hogy a rétegeknek nem kell vízszinteseknek lenniök, csak párhuzamosoknak. Ezt a megállapítást C-re és T-re adott képleteink is magukban foglalják.

Ugyanis, ha $\gamma_2 = \gamma$

$$T = \operatorname{tg} \gamma = \frac{\sin \frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2} \cos \frac{\varepsilon' - \varepsilon''}{2} - \frac{v_1}{v_2} \cos \gamma}{\sin \frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2} \sin \frac{\varepsilon' - \varepsilon''}{2} + \frac{v_1}{v_2} \sin \gamma}$$

Azonban $\gamma_2 = \gamma$ miatt $i' = i''$ (l. a 2. rajzot), tehát

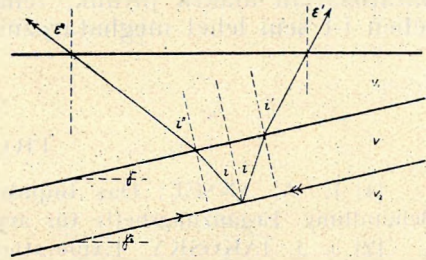
$$\varepsilon'' = i' + \gamma \quad \frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2} = i', \quad \frac{\varepsilon' - \varepsilon''}{2} = -\gamma$$

vagyis

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\sin i' \cos \gamma - \frac{v_1}{v_2} \cos \gamma}{-\sin i' \sin \gamma + \frac{v_1}{v_2} \sin \gamma}$$

$$\operatorname{tg} \gamma = -\frac{\cos \gamma \left(\sin i' - \frac{v_1}{v_2} \right)}{\sin \gamma \left(\sin i' - \frac{v_1}{v_2} \right)}$$

$$\operatorname{tg}^2 \gamma = \frac{\frac{v_1}{v_2} - \sin i'}{\frac{v_1}{v_2} - \sin i'}$$



2. ábra

De $\sin i_2 = \frac{v}{v_2}$ és $\frac{\sin i'}{\sin i_2} = \frac{v_1}{v}$;

egymással megszorozva

$$\sin i' = \frac{v_1}{v_2}, \text{ tehát}$$

$$\operatorname{tg}^2 \gamma = \frac{0}{0} \text{ határozatlan alakra jutunk.}$$

Hasonlóképpen, ha $\gamma_2 = \gamma$

$$C = \operatorname{ctg} i =$$

$$= \frac{-\frac{v_1}{v_2} \cos \frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2} \cos \left(\frac{\varepsilon' - \varepsilon''}{2} + \gamma \right) + \sin \frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2} \cos \frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2}}{\frac{v_1}{v_2} \sin \frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2} \cos \left(\frac{\varepsilon' - \varepsilon''}{2} + \gamma \right) - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2}$$

De mivel $i' = i''$, ismét

$$\frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2} = i', \quad \frac{\varepsilon' - \varepsilon''}{2} + \gamma = 0$$

$$\operatorname{ctg} i = \frac{-\frac{v_1}{v_2} \cos i' + \sin i' \cos i'}{\frac{v_1}{v_2} \sin i' - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2} = \frac{\cos i' \left(\sin i' - \frac{v_1}{v_2} \right)}{\frac{v_1}{v_2} \left(\sin i' - \frac{v_1}{v_2} \right)}$$

Mivel $\frac{v_1}{v_2} = \sin i'$,

$$\operatorname{ctg} i = \frac{0}{0}$$

határozatlan alakra jutunk, tehát párhuzamosan települt rétegek esetében i -t sem lehet meghatározni.

I R O D A L O M

- [1] E. A. ANSEL: Das Impulsfeld der praktischen Seismik in graphischer Behandlung. Ergänzungshefte für angewandte Geophysik 1931. (p. 134.).
- [2] J. J. JAKOSKY: Exploration Geophysics 1950 (p. 765.).
- [3] L. D. LEET: Practical Seismology and Seismic Prospecting 1938. (p. 145.).
- [4] SZOROKIN—URISZON—RJABINKIN—DELICKIJ: A kőolajkutatás geofizikai módszerei. 1953. (p. 323 «középső réteg kiesése»).
- [5] L. D. LEET: Practical Seismology and Seismic Prospecting 1938. (p. 155. «shadow zone»).
- [6] L. B. SLICHTER: The Theory of the Interpretation of Seismic Travel Time Curves in Horizontal Structures 1932. Physics (pp. 273—295).