

A szeizmikus csatornahullámok alkalmazása a szénbányászatban

I. rész: Telephullám átvilágító mérések

BODOKY TAMÁS* – HERMANN LÁSZLÓ* – DIANISKA LÁSZLÓ* – TÖRÖS ENDRE*

A cikk röviden összefoglalja a széntelegeken kialakuló szeizmikus csatornahullámok elméletét és tulajdonságait. Erre alapozva leírja a bányabeli telephullám átvilágítások alapelvét, mérési módszereit és bemutatja egy az ELGI-ben kidolgozott feldolgozási eljárását. A telephullám átvilágítások gyakorlati alkalmazását – eredményeinek értelmezését – három mérés végrehajtásának, feldolgozásának és eredményeinek rövid ismertetésével illusztrálja.

В статье кратко излагаются теория и свойства применяемых в угольной промышленности каналовых сейсмических волн. Основываясь на этом, описаны основные принципы просвечивания шахт каналowymi волнами, методы их измерения, а также приёмы обработки разработанных в ЭЛГИ. Практическое применение просвечивания каналowymi волнами и полученные результаты кратко иллюстрируются на примере трех измерений и результатов их интерпретации.

The paper shortly summarizes the theory and the features of the in-seam seismic waves propagating in coalseams. On this basis it describes the measurement process and the fundamental principles of the in-seam transmission method and it presents a processing procedure developed in the ELGI. The practical application of the transmission method, the interpretation of the results are illustrated by describing the completion, the processing and the interpretation of three measurements.

Bevezetés

Az 1973-as olajár robbanás előtt az olcsó olaj konkurenciája, utána a szén iránt hirtelen megnőtt kereslet, a szénbányászatot fokozott gépesítésre kényszerítette, mert a gépesített frontfejtések jelentősen javíthatják a bányászat gazdaságosságát, növelhetik termelékenységét. A gépek beszerelése azonban egy gépesített frontfejtés üzembe helyezése során tetemes befektetést kíván, ami csak akkor térül meg, ha a fejtés viszonylag hosszú ideig működhet teljes kapacitással. Egy fejtés hosszú kifutásának feltétele viszont a fejtésre kijelölt teleprész kellő geológiai zavartalansága. Más szóval tehát a bányászat gazdaságosságát csak a telepek kellő geológiai megkutatottsága biztosíthatja.

A gépesítés során a geológiai zavarok felderítésére a korábban alkalmazott lehetőségek, mint például a fúrással, illetve vágathajtással történő kutatás, már elégtelennek bizonyultak, gyorsabb, nagyobb hatótávolságú és főleg olcsóbb módszerekre volt szükség. Ilyet csak a geofizika tudott kínálni, a bányászati igényre válaszként kialakított módszerei közül különösen a szeizmikus csatornahullámokon alapuló telephullám szeizmika mutatkozott eredményesnek.

Előként *Evison* ismerte fel (*Evison 1955*), hogy a szeizmikus hullámok terjedési sebességei a szénben általában lényegesen alacsonyabbak, mint a beágyazó

* ELGI, Budapest.

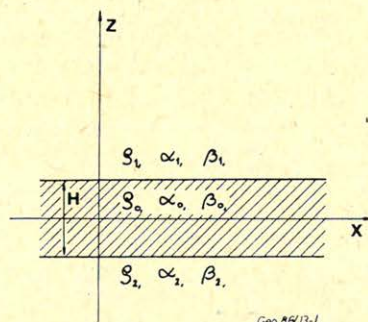
kőzetekben, így a széntelepek szeizmikus hullámvezetőként viselkednek, bennük vezetett csatornahullámok, úgynevezett telephullámok alakulnak ki.

A telephullámok gyakorlati alkalmazhatóságának felismerése és a telephullám szeizmika megalapozása *Krey* nevéhez fűződik (*Krey 1962, 1963*). Felismerésének lényege, hogy a széntelepek geológiai zavarai – vetők, kivékonyodások, elmeddülések stb. – megváltoztatják a telepeknek mint hullámvezetőknél a paramétereit és ezért a telepzavarok részben visszaverik a hullámvezetőben terjedő csatornahullámokat, részben, ha a telep nem szakad meg teljesen, jelleget megváltoztatva engedik tovább őket. Így a reflektált telephullámok megjelenéséből, vagy a direkt hullámok jellegének megváltozásából a telep geológiai zavaraira, illetve ezek hiányából a telep zavartalanságára következtethetünk.

A két lehetőségnek megfelelően a telephullám szeizmikának két eljárása, a reflektált telephullámokat megfigyelő reflexiós eljárás és a direkt telephullámok megváltozásait analizáló telephullám átvilágítás alakult ki. Cikkünk első részében a másodikként említett telephullám átvilágítás elméleti alapjaival, gyakorlati végrehajtásával és eredményeinek számítógépes feldolgozásával fogunk foglalkozni.

A telephullámok

Vizsgáljuk meg a rugalmas hullámok terjedését egy olyan párhuzamos síkokkal határolt közegben, amely két homogén féltér közé van ágyazva. A réteg vastagságát jelölje H ; benne, illetve a beágyazó közegben a longitudinális és transzverzális rugalmas hullámok terjedési sebessége legyen $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$, illetve $\beta_0, \beta_1, \beta_2$. Koordináta-rendszerünk x és y tengelye a réteg középsíkjában fekszen, míg a z tengely erre merőleges legyen, így háromréteges közegmodellünk paramétereit kizárólag a z koordináta függvényei (*1. ábra*).



Geo 86/13-1

1. ábra. A széntelep modellje

Рис. 1. Модель угольной толщи

Fig. 1. The model of the coal seam

Tekintsük most azokat a síkhullámokat, amelyeknek terjedési iránya az $x-z$ síkba esik, ezekre felírható a deformálható testek mechanikájából jól ismert hullámegyenlet a következő alakban

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial z} \right) + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial z} \right) \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial z} \right) + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial z} \right) \quad (3)$$

ahol ρ a sűrűség

λ és μ a feszültség-deformáció kapcsolatot jellemző Lamé-féle állandók

t az idő

és u, v és w az \vec{s} elmozdulás vektor x, y és z irányú komponensei.

A hullámegyenlet fenti alakja az y szerinti deriváltak eltűnéséből adódik, ami a modell jellegének és a koordináta-rendszer megválasztásának következménye de nem jelent semmilyen megszorítást.

Látható, hogy a hullámegyenlet valójában két egymástól független hullámmozgást ír le. A másodrendű parciális differenciálegyenlet rendszert alkotó (1) és (3) az egymáshoz csatolt longitudinális (P), illetve a réteghatárookra merőlegesen polarizált transzverzális (SV) hullámok, míg a (2) az előbbiektől független és a réteghatárokkal párhuzamosan polarizált transzverzális (SH) hullámok mozgását adja meg.

Ha a modell paramétereit pontosítva kikötjük, hogy a közbezárt rétegben a szeizmikus hullámok terjedési sebességei alacsonyabbak mint a beágyazó közegben, vagyis legyen

$$\alpha_1 > \alpha_0 < \alpha_2$$

és

$$\beta_1 > \beta_0 < \beta_2$$

akkor a közbezárt réteg hullámvezetőként viselkedik és mind a $P-SV$, mind az SH hullámoknak lesznek benne terjedő vezetett, csatornahullám változatai. Ezeket a felületi hullámokéra emlékeztető jellegük miatt korábban diszperz *Rayleigh*, illetve diszperz *Love* hullámoknak hívták, tekintve azonban, hogy ezek a kétségtelenül pontatlan elnevezések sok vitát váltottak ki, újabban *Mason* javaslatára (*Edwards, Asten és Drake, 1985*) a szakirodalom inkább *Krey* és *Evison* hullámokként említi őket.

Mindkét hullámtípust sokan és sokféle módon vizsgálták. *Krey* hullámokkal kapcsolatos elméleti vizsgálatot *Krey (1963)*, fizikai modellen végzett tanulmányokat *Dresen* és *Freystätter (1976)*, *Freistätter* és *Dresen (1977, 1978)*, *Dresen, Kerner* és *Kühbach (1985)*, tér-időtartományban végzett numerikus modellvizsgálatokat *Guu (1975)* és *Su (1976)*, frekvenciatartományban végzett numerikus modellvizsgálatokat *Edwards et al (1985)* közölték.

Evison hullámokkal kapcsolatos elméleti vizsgálatokat *Krey* (1963), *Buchanan* (1978), *Arnetzl, Knecht és Krey* (1981), *Buchanan, Jackson és Davis* (1983), *Dobróka és Ormos* (1983), *Vigh* (1984), *Dobróka* (1984), és *Räder, Schott, Dresen és Rüter* (1985) írnak le. Ugyancsak az *Evison* hullámokkal kapcsolatban közöl matematikai modellvizsgálatokat *Korn és Stöckl* (1982), *Bodoky és Bodoky* (1983) és *Kerner és Dresen* (1985) tér-időtartományban, valamint *Asten, Drake és Edwards* (1984) frekvenciatartományban.

A különböző elméleti és modellvizsgálatokból az derült ki, hogy gyakorlati célokra a matematikailag és fizikailag is egyszerűbb *Evison* hullámok felelnek meg jobban. Ezt támasztotta alá az a mérési tapasztalat is, hogy a szentelepekben észlelhető domináns csatornahullám energia az *SH* típusnak felel meg és *P-SV* típusnak megfelelő energiát általában egyáltalán nem lehet kimutatni (*Jackon, 1985*). Ezért a továbbiakban csak az *Evison* hullámok vizsgálatára szorítkozunk.

A hullámvezető rétegben az *Evison*-hullámnak kétféle terjedési módja lehetséges. Ha a hullámnak az *x* tengely (vagyis a réteghatárok) mentén mérhető fázissebessége $c >$ nagyobb, mint a transzverzális hullámok terjedési sebessége a beágyazó közegek valamelyikében (vagyis a hullám a réteghatárra a kritikusknál kisebb *i* szögben esik be), azaz

$$\frac{\beta_0}{\sin i} = c > \min [\beta_1, \beta_2]$$

akkor a vezetett hullám veszteséges, nyílt módon terjed, energiája fokozatosan kilép a hullámvezetőből. Ennél számunkra sokkal fontosabb a veszteségmentes, zárt terjedési mód, amikor a

$$\beta_0 < c < \min [\beta_1, \beta_2]$$

egyenlőtlenség áll fenn (vagyis a hullám kritikuson túli beesési szöggel érkezik a réteghatárra).

A vezetett hullámok diszperz hullámok, a zárt terjedésű *Evison* hullám diszperziós relációja hasonló módon vezethető le, mint a felületi hullámoké (*Ewing, Jardetzky és Press 1957, Krey 1963, Ormos 1985*). A (2) egyenletből kiindulva és figyelembe véve, hogy a réteghatárokon a *v* elmozdulás és a *p* feszültség komponens folytonos kell legyen, a következő összefüggéshez jutunk

$$\operatorname{tg}(k\gamma_0 H - n\pi) = \frac{\mu_0\gamma_0(\mu_1\gamma_1 + \mu_2\gamma_2)}{\mu_0^2\gamma_0^2 - \mu_1\gamma_1\mu_2\gamma_2} \quad (4)$$

ahol $k = \frac{2\pi f}{c}$, *k* = a hullámszám

f = a frekvencia

n = 0, 1, 2, ...

és

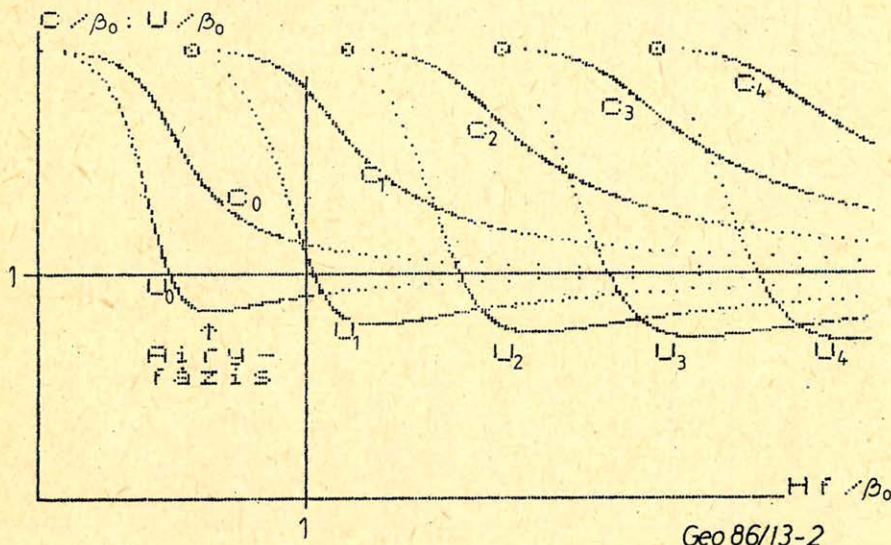
$$\gamma_0^2 = \frac{c^2}{\beta_0^2} - 1; \quad \gamma_1^2 = 1 - \frac{c^2}{\beta_1^2}; \quad \gamma_2^2 = 1 - \frac{c^2}{\beta_2^2}.$$

A diszperziós reláció minden lehetséges fázissebesség értékhez egy diszkrét frekvenciasorozatot rendel, az alapharmónikust, vagy ahogy a csatornahullámoknál hívjuk, az alapmódust és a magasabb módusokat.

A diszperz hullámokat fázissebességük mellett még tényleges terjedési sebességük, a csoportsebesség is jellemzi. Az U csoportsebesség a (4) diszperziós reláció eredményeként adódó $c(f)$ függvényből a következő összefüggéssel számítható

$$U = c + k \left(\frac{dc}{dk} \right). \quad (5)$$

A gyakorlatban az úgynevezett diszperziós görbéken a fázis- és a csoportsebesség görbét együtt szokás ábrázolni (2. ábra).



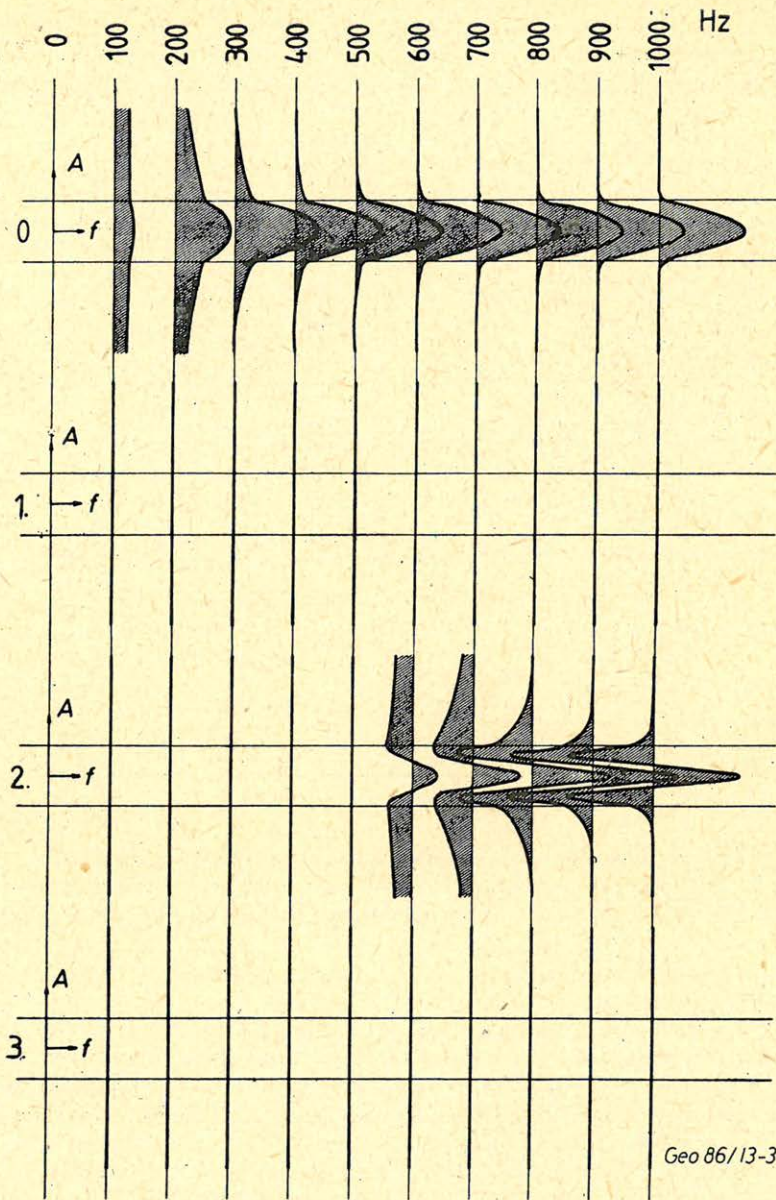
2. ábra. Az Evison hullám diszperziós görbéi szimmetrikus modell esetén

Рис. 2. Дисперсионные кривые волн Эвисона в случае симметричной модели

Fig. 2. The dispersion curves of the Evison wave in the case of symmetrical model

A diszperziós reláció levezetése során meghatározható az *Evison* hullámok egyes frekvenciaösszetevőinek amplitúdóeloszlása a z -tengely mentén. Ha ezt kiegészítjük a hullámforrás egy feltételezett spektrumával – rendszerint fehér spektrummal – akkor az egyes módusok amplitúdó spektrumát is számíthatjuk a z -tengely mentén. 3. ábránk az alap módust és az első három felharmónikus z -tengely menti amplitúdóeloszlását mutatja be a frekvencia függvényében egy, az x - y síkra szimmetrikus felépítésű modell esetén ($\beta_0 = 1000$ m/s, $\beta_1 = \beta_2 = 2000$ m/s, $\rho_0 = 1,5$ g/cm³ és $\rho_1 = \rho_2 = 2,5$ g/cm³).

Az ábrán látható, hogy a zárt terjedésű vezetett hullámok energiája valójában nem korlátozódik szigorúan a csatornára, hanem különösen az alacsony frekvenciás összetevőknél jelentős része inhomogén síkhullámok formájában a hullámvezetőkön kívül terjed, akárcsak a felületi *Love*-hullámoknál. Feltűnő még a páratlan sorszámú felharmónikusok hiánya. Ennek magyarázata, hogy az *Evison*-hullámok módusai egy, az x - y síkra szimmetrikus és egy, erre a síkra antiszimmetrikus csoportra oszlanak, az elsőbe az alap- és a páros felharmónikus módusok míg a másodikba a páratlan felharmónikus módusok tartoznak. A 3. ábrán a modell szimmetriája miatt – a hullámforrást is a szimmetria síkban levőnek tételeztük fel – az antiszimmetrikus csoport tagjai nem jelennek meg.



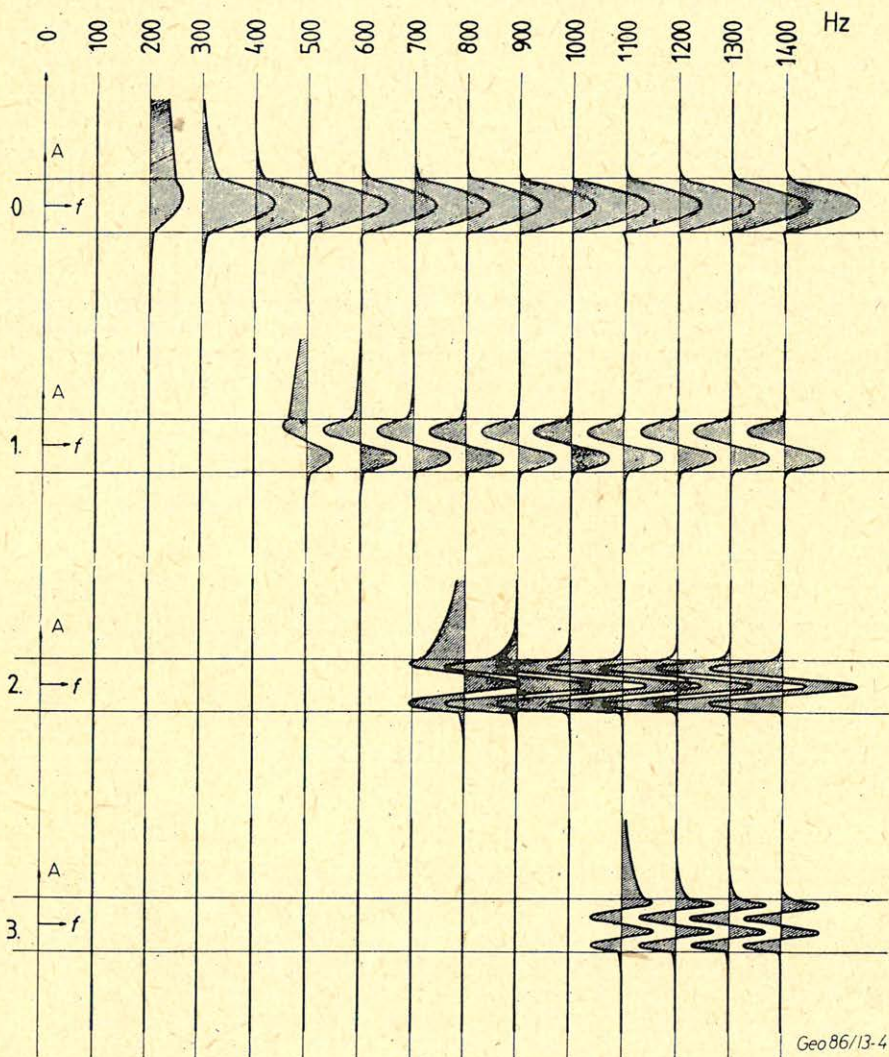
Geo 86/13-3

3. ábra. Az Evison hullám első négy módusának z tengely menti amplitúdóeloszlása szimmetrikus modell esetén

Рис. 3. Распределение амплитуд в направлении оси Z для первых четырех гармоник волн Эвисона в случае симметричной модели

Fig. 3. The amplitude distribution of the first four modes of the Evison wave as a function of z in the case of asymmetrical model

A 4. ábra erősen aszimmetrikus paraméterekkel rendelkező csatorna esetén ($\beta_0 = 900$ m/s, $\beta_1 = 1700$ m/s, $\beta_2 = 2800$ m/s, $\rho_0 = 1,3$ g/m³, $\rho_1 = 2,6$ g/cm³ és $\rho_2 = 2,8$ g/cm³) ismétli meg 3. ábra amplitúdóeloszlásait.



Geo 86/13-4

4. ábra. Az Evison hullám első négy módusának z tengely menti amplitúdóeloszlása erősen aszimmetrikus modell esetén

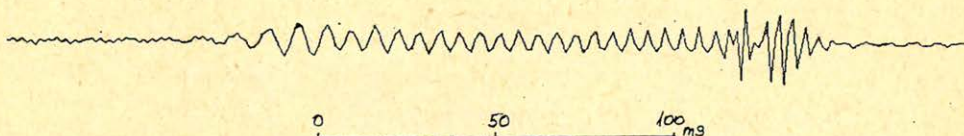
Рис. 4. Распределение амплитуд в направлении оси Z для первых четырёх гармоник волн Эвисона в случае сильно асимметричной модели

Fig. 4. The amplitude distribution of the first four modes of the Evison wave as a function of z in the case of highly asymmetrical model

Látható, hogy a modell aszimmetriája miatt itt már a szimmetrikus csoport tagjainak szimmetriája is megszűnik és megjelennek az antiszimmetrikus módusok is.

A 3. és 4. ábrát összehasonlítva megállapítható, hogy a frekvencia növekedésével az *Evison* hullám energiája egyre inkább a hullámvezető belsejébe koncentrálódik és ezzel párhuzamosan az aszimmetrikus modelnél is egyre csökken az amplitúdóeloszlás aszimmetriája. Van mindkét esetben egy alsó határfrekvencia, amelytől felfelé a hullámenergiát gyakorlatilag teljesen a hullámvezetőbe koncentrálnak és szimmetrikus, illetve a páratlan módusoknál antiszimmetrikus amplitúdóeloszlásúnak tekinthetjük. Ez a határfrekvencia a 2. ábra diszperziós görbéinek kitüntetett pontjaira – a fázissebesség görbe inflexióis, illetve a csoportsebesség görbe minimum pontjára – esik és szeizmológiai analógiára *Airy* fázisnak hívjuk.

A hullámvezető adott pontjain az amplitúdóeloszlásból az *Evison* hullámok amplitúdó spektruma, a diszperziós görbékéből pedig a fázis spektruma rekonstruálható. Így a diszperziós reláció segítségével az *Evison* hullámok időbeli hullámformáját is számíthatjuk, 5. ábránk ilyen szintetikus hullámalakot mutat be. Az ábrán jól látható, hogy a leglassabban terjedő frekvenciaösszetevő – a hullámalak végén jelentkező *Airy* fázis – kiugró energiával jelentkezik. Az ábrával kapcsolatban meg kell jegyezzük, hogy számításánál nem vettük figyelembe a hullámabszorpciót, ennek az *Evison* hullámra gyakorolt hatásával *Buchanan* (1978), *Arnetzl et al* (1981), *Dobróka et al* (1983), *Dobróka* (1984) és *Vigh* (1984) foglalkoztak.



Geo 86/13-5

5. ábra. Az *Evison* hullám alakja a diszperziós görbék alapján számítva a forrástól 100 H távolságban – H a telepvastagság. (Scholtz P. munkája)

Рис. 5. Форма волны Эвисона вычисленная по дисперсионным кривым для расстояния 100H от источника, где H – мощность толщи (работа Шолца П.)

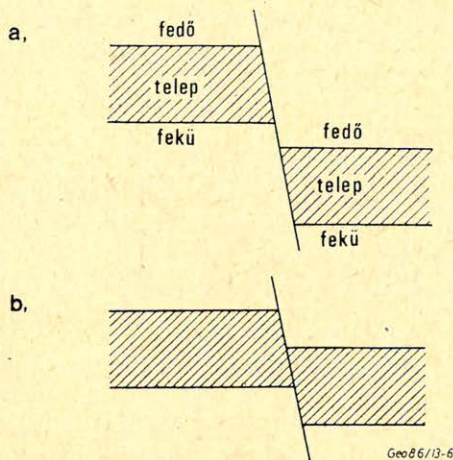
Fig. 5. The shape of the *Evison* wave computed from the dispersion curves at a distance of 100H from the source. H represents the thickness of the seam (After Scholtz P.)

A telephullámok viselkedése a telepzavarok környezetében

Az előzőekben összefoglaltuk, hogy hogyan viselkednek a telephullámok ideális hullámvezetőnek tekinthető telepekben. Mi történik azonban, ha a telepben valamilyen zavar lép fel? Tekintsük például azt a leggyakoribb esetet, amikor a telepet egy vető szakítja meg.

A vető a z tengely mentén különböző pontokon különböző módokon jelenik meg (6. ábra),

- a teleptől távol eső részeken, ahol a vetősík mentén fedő érintkezik fedővel, illetve fekü feküvel, a vetősík nem jelent közegetárt,
- közegetártként jelentkeznek a vetősík vizsont, ahol a telep érintkezik a fedővel, illetve a feküvel, vagy ott, ahol a fedő és a fekü egymással találkozik,
- végül az egésztelepesnél kisebb vetők nem jelentenek közegetárt ott, ahol a telep önmagával érintkezik.



6. ábra. A vető modellje

Рис. 6. Модель сброса

Fig. 6. The fault model

Az *Evison* hullámok különböző frekvenciaösszetevői így a z tengely menti amplitúdó eloszlásuktól függően különbözőképpen jutnak át egy vetőn. Ha a vető egésztelepesnél nagyobb, akkor az elvetett teleprészbe vezetett hullámok formájában belépni csak a telepen kívül az inhomogén síkhullámokban terjedő hullámenergia képes. Ez azt jelenti, hogy a vető mögött tovább terjedő telep-hullám már csak azokat az alacsony frekvenciás összetevőket tartalmazza, amelyek megfelelő energiájú inhomogén kísérő hullámmal rendelkeztek a vető előtt. A telepen belülré koncentrálódó magasfrekvenciás összetevők energiája a vetőnél részben kiszóródik a külső kőzetekbe, részben visszaverődik a vetősíkról. Így a vető felülvágó szűrőként viselkedik.

A „vető – szűrő” vágási frekvenciája és meredeksége az elvetés magasságától függ. Mennél kisebb a vető elvetési magassága, annál több olyan frekvenciaösszetevő van ugyanis, amely az elvetett teleprész távolságában még rendelkezik energiával. Végül ha a vető egésztelepesnél kisebb, akkor a teljesen a telepre koncentrálódott magasfrekvenciás hullámenergia egy része is átjut az elvetett teleprészbe.

A vetők szűrőkarakterisztikáját természetesen a vetők egyéb jellemzői is befolyásolják – pl. a vető dőlésszöge vagy a vetőt kísérő tört zóna stb. – éppen ezért a szűrőkarakterisztikát analitikus úton történő vizsgálat helyett fizikai vagy numerikus modellezéssel célszerű meghatározni. A kérdés modellvizsgálata-

tával többen is foglalkoztak (Korn et al 1982, Bodoky et al 1983, Kerner et al 1985), de tényleges szűrőkarakterisztikákat eddig egyedül Asten et al (1984) közöltek.

Az elmondottak illusztrálására két modell példát mutatunk be (7. ábra). A két, azonosparaméterekkel számított példa egyetlen eltérését a forrás és az érzékelő közé iktatott vető eltérő elvetési magassága ($2/7$ és 1 telepvastagság) adja. Az ábrán a vető mögött észlelt jelalakok és spektrumaik láthatók. Hasonló példát tényleges mérési anyagból Bodoky, Cziller és Tőrös (1983) publikáltak.

Az egyéb telepzavarok – pl. telep kimosások, vulkáni telér áttörések stb. – is hasonló felülvágó szűrő jelleggel jelentkeznek. Karakterisztikáik szintén modellszámítással határozhatók meg.

A telephullám átvilágítások elve

A szételepekben vezetett csatornahullámok viselkedésének ismeretében a telephullám átvilágító mérések elve már magától adódik. Két, ugyanabban a telepben kihajtott vágat között regisztráljuk a telephullámok direkt beérkezéseit, vizsgáljuk spektrumaikat, igyekszünk meghatározni a két vágat között elterülő teleprész szűrőkarakterisztikáját és ebből következtetünk a regisztrált hullámok által harántolt telepzavarok léteire, illetve méretére.

A gyakorlatban a kutatási terület és a hullámforrás pontos paramétereinek hiányában általában nem ismerjük előre a várható telephullámspektrumot és így az egyes beérkezések „szűrtségét” sem tudjuk becsülni. Ezért, ha mód van rá, egy biztosan zavartalan telepszakaszon áthaladó csatornahullám spektrumát tekintjük viszonyítási alapnak és ehhez hasonlítjuk a többi hullámukat mentén mért eredményeket.

A regisztrált telephullámnak azonban sem az alakja, sem a spektruma nem ad információt arra nézve, hogy terjedése során a hullám hol haladt át a telepzavarokon. A harántolt telepzavarok pontos helyének kijelöléséhez a vizsgált teleprészt a lehető legtöbb egymást keresztező sugárúttal kell lefedni és, ha a nyitott bányatérsegek geometriája ezt lehetővé teszi, akkor a különböző sugárutak mentén mért spektrum torzulások visszavetítésével – az úgynevezett „back-projection” eljárással – a telepzavarok pontos helye jól körülhatárolható (Bodoky et al 1983 b, Cziller et al Bodoky 1984).

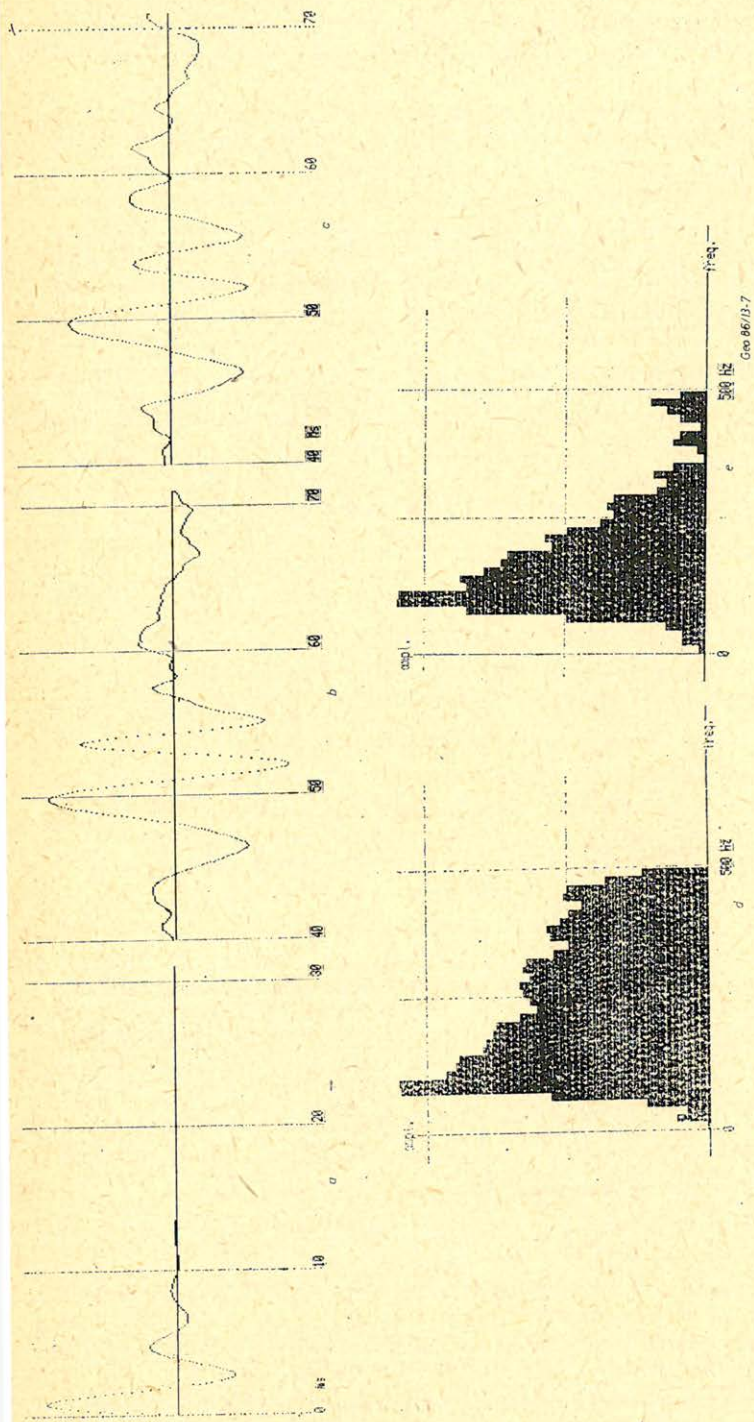
Telephullám átvilágító méréseket először Brentrup (1971) és Arnetzl (1970), majd Millahn (1980) írtak le.

A telephullám átvilágítások gyakorlati végrehajtása

A telephullám átvilágítások során arra törekszünk, hogy csak az Evison hullámok alapl módusait regisztráljuk, mert a magasabb módusok, illetve a Krey hullámok esetleges megjelenése a regisztrált hullámképben rendkívül megnehezíti az eredmények értelmezését.

A magasabb módusok regisztrálását a megfelelő felülvágó szűrő – ez digitális módszereknél a mintavétel megválasztásából automatikusan adódik – és megfelelő mérési geometria alkalmazásával kerülhetjük el.

A 2. ábra diszperziós görbéiből látható, hogy a második felharmónikus módus jóval az alapl módus Airy frekvenciái fölött kezdődik, így ez a módus az összes nála magasabb felharmónikkal együtt eltávolítható felülvágó szűréssel az alapl módus károsítása nélkül. Egyedül az első felharmónikus módust nem tudjuk



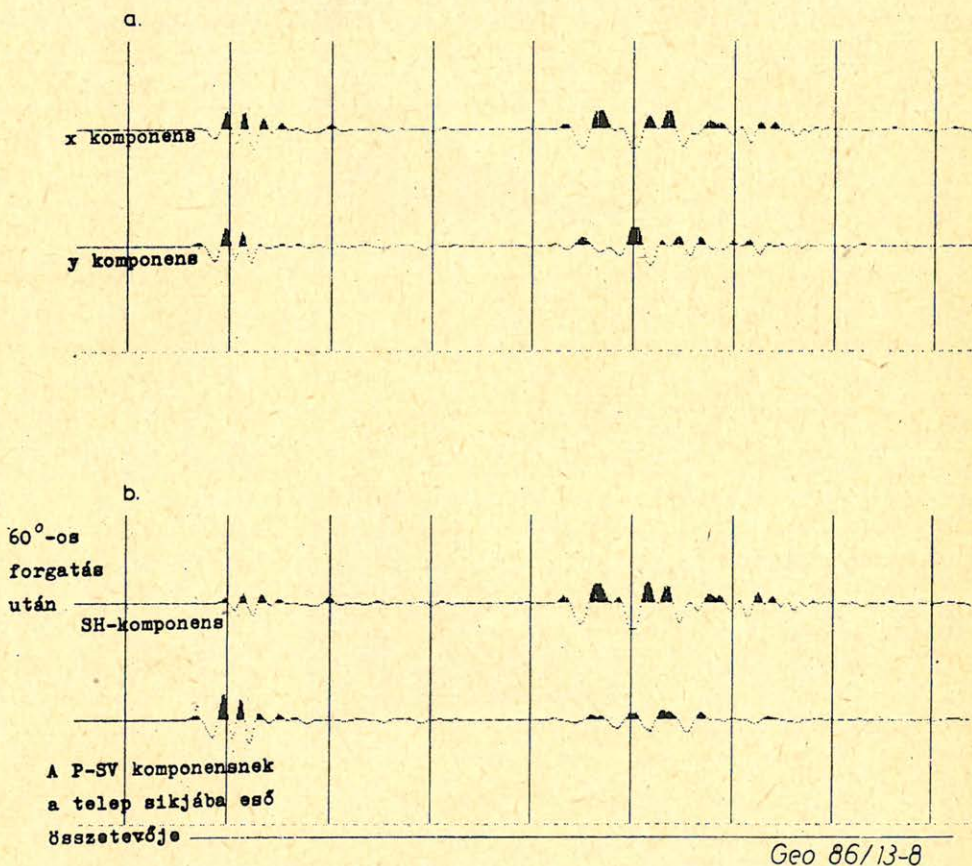
7. ábra. A vető jelalakra gyakorolt hatása — modell példa *a*) az induló jelalak; *b*) a jelalak 25 H távolságban a forrástól egy 2/7 H elvetési magasságú vető harántolása után; *c*) ugyanaz egy 1 H elvetési magasságú vető után; *d* és *e* pedig *a* b és *c* jelalakoknak az induló jel spektrumára normált spektrumai

Рис. 7. Влияние сброса на форму сигнала — пример модели (*a* — начальная форма сигнала; *b* — форма сигнала на расстоянии 25H от источника после прохождения сброса с высотой 2/7H; *c* — то же самое, после прохождения сброса с высотой 1H; *d* и *e* — для показанных в *a* и *b* форм сигналов нормированные спектры по спектру начального сигнала)

Fig. 7. The effect of the fault for the wave form. A model example. (*a*) initial wave form; *b*) waveshape at 25H distance from the source, having penetrated a fault of 2/7 H throw; *c*) the same having penetrated a fault of 1H throw; *d*) and *e*) are the spectra of the wave forms *b*) and *c*) normalized by the spectrum of the initial wave)

frekvencia szerinti szűréssel teljesen eltávolítani. Ez a módus azonban az antiszimmetrikus csoportba tartozik (3. és 4. ábra) így a telep középsíkjába helyezett hullámforrással gerjesztése, illetve az ugyanígy pozícionált érzékelővel észlelése elkerülhető.

A *Krey* hullámok eltávolítására a *Krey* és az *Evison* hullámok polarizációja közti különbséget használhatjuk ki. Ha érzékelőinknek elég határozott iránykarakterisztikája van és a maximális érzékenység irányát az *Evison* hullámok polarizációjának megfelelően állítjuk be, akkor ezeket teljes érzékenységgel, míg a rájuk merőlegesen polarizált *Krey* hullámokat egyáltalán nem észleljük. A gyakorlatban azonban nem tájolhatjuk érzékelőinket minden egyes forráspontra megfelelően át. Ezért kettő, a szételep síkjába irányított, egymásra merőleges és rögzített tájolású geofont használunk minden egyes mérőponton. A mérés geometriájának ismeretében ezekből a feldolgozás során előállíthatjuk a kívánt irányítottságú csatornát (8. ábra).



8. ábra. A csatornaforgatás hatása (a) a mért csatornapár; b) a robbantópont irányába beforgatott csatornapár)

Рис. 8. Влияние поробота каналов (а — измеряемая каналовая пара; в — каналовая пара повернутая в сторону взрывного пункта)

Fig. 8. The effect of the channel rotation (a) the measured pair of channels b) pair of channels rotated to the direction of the source)

A telephullám átvilágítások feldolgozása

A telephullám átvilágítások kézi feldolgozását *Bodoky et al (1983b)*, illetve *Cziller et al (1984)* írták le, az utóbbi számos így feldolgozott mérési eredményt is bemutat. Bár a kézi feldolgozással szerzett tapasztalatok, a kézi munka korláta határozottan jelezték ennek szükségességét, a szakirodalom a feladatra számítógépes megoldást nem közölt. A következőkben ezért az ELGI-ben kidolgozott eljárásunkat mutatjuk be (*Bodoky, Hermann és Dianiska, 1985*).

A mérések eredményeként nagyszámú szeizmikus felvétel áll rendelkezésünkre, amely a vizsgálandó teleprezst egymást keresztező sugárút hálózattal többszörösen fedi. A különböző észlelési távolságok – sugárút hosszak – miatt azonban intenzitásukat tekintve igen különbözőek az egyes csatornák és így közvetlen összehasonlításuktól nem sok várható. Az intenzitásbeli különbségek eltüntetésére nem használhatjuk a reflexiós szeizmikában gyakran alkalmazott normálást sem, mert esetleg éppen a telepzavarok okozta különbségeket küszöböljük ki velük.

Így a mért *Evison* hullámok spektrumát a legegyszerűbben úgy vizsgálhatjuk, ha önmagával hasonlítjuk össze, ekkor a különböző sugárút hosszak mentén mért intenzitás különbségek nem játszanak szerepet. A telepzavarok felülvégő jellegére tekintettel egy magasfrekvenciás – esetleg már szűrt – sáv energiáját vetjük össze egy alacsonyfrekvenciás átengedett sáv energiájával, ezt számszerűen a következő képlet fogalmazza meg

$$T_{i,k}(f_1, f_2, f_3, f_4) = \frac{\int_{f_3}^{f_4} A^2(f)df}{\int_{f_1}^{f_2} A^2(f)df} \quad (6)$$

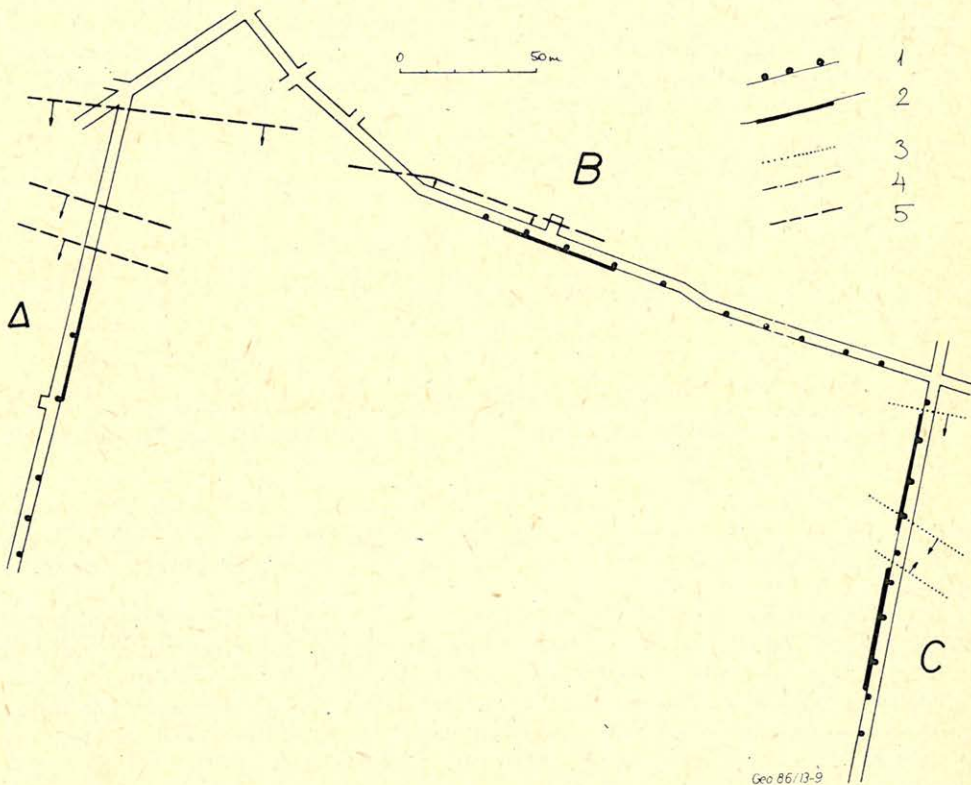
ahol $T_{i,k}(f_1, f_2, f_3, f_4)$ az i -dik hullámforrástól a k -edik érzékelőig vezető út mentén mért relatív átvilágíthatóság az $f_1 - f_2$ alacsonyfrekvenciás és az $f_3 - f_4$ magasfrekvenciás sávra vonatkoztatva.

A korábbiakból következik, hogy egy adott frekvenciasáv párra a legmagasabb relatív átvilágíthatósági érték a zavartalan telepen való áthaladáskor kapható és hogy mennél nagyobb méretű a harántolt telepzavar annál kisebbé válik ez az érték.

A gyakorlatban az alsó frekvenciasávot 80–120 Hz között szoktuk megválasztani, ez az a legalacsonyabb sáv aminek a szokásos 1,5–3 m vastag telepek esetén még értelme van. A felső sávot különböző módokon lehet megválasztani. Az *Airy* frekvenciákat is tartalmazó sávot használva például igen érzékeny, minden kis zavart kijelző átvilágíthatósági mércét kell kapjunk. Mennél alacsonyabbra választjuk a felső sávot, mércénk annál érzéketlenebbé válik és egyre nagyobb zavarok kijelzésére képes csak. Így, ha az átvilágíthatósági vizsgálatot egy felső sáv helyett egy több sávból álló sorozattal végezzük, akkor a harántolt zavarnak nem csak a létéről szerzünk tudomást, hanem méreteit is becsülni tudjuk a modellszámításokra támaszkodva.

Az egy adott sáv párra történő átvilágíthatósági értékek kiszámítása után a vizsgált teleprezsen áthaladó hullámotak mindegyikéhez egy átvilágíthatósági érték tartozik, ezeket segítségével az átvilágíthatósági térkép a következőképpen szerkeszthető meg:

- a vizsgált terület helyszínrajzát egy ráccsal fedjük le, a ráctávolság megválasztásánál figyelembe véve az alkalmazott hullámhosszakat,
- az egyes sugárutak mentén az egy ráctávolságnál kisebb távolságra fekvő rácspontokba beírjuk a sugárút átvilágíthatósági értékét,
- ha egy rácspontra az ott kereszteződő sugárutak több különböző értéket adnak, akkor ezek közül a rácspontba a legnagyobb érték kerül (ugyanis ha az egyik sugárút mentén a pont jól átvilágítható, akkor a másik mentén észlelt árnyékoló nem helyezkedhet el itt),
- az átvilágíthatósági értékek beírása után egy ismert zavartalan terület átvilágíthatóságát 100%-nak tekintve százalékos formára alakítjuk a térképet (ezzel részben összehasonlíthatóvá tesszük a különböző térképeket, részben kiküszöböljük az abszorpció hatását anélkül, hogy értékét meg kellene határoznunk).



9. ábra. Bányabeli telephullám átvilágítás helyszínrajza (1. robbantópont; 2. terítés; 3. 1 m-nél kisebb vető; 4. 1 és 2 m közötti vető; 5. 2 m-nél nagyobb vető) – I. példa

Рис. 9. Схематический план шахты просвечиваемой каналовыми волнами (1 – взрывной пункт; 2 – расстановка; 3 – сброс высотой меньше 1-го м; 4 – высота сброса 1–2 м; 5 – высота сброса более 2-х метров – пример I-й

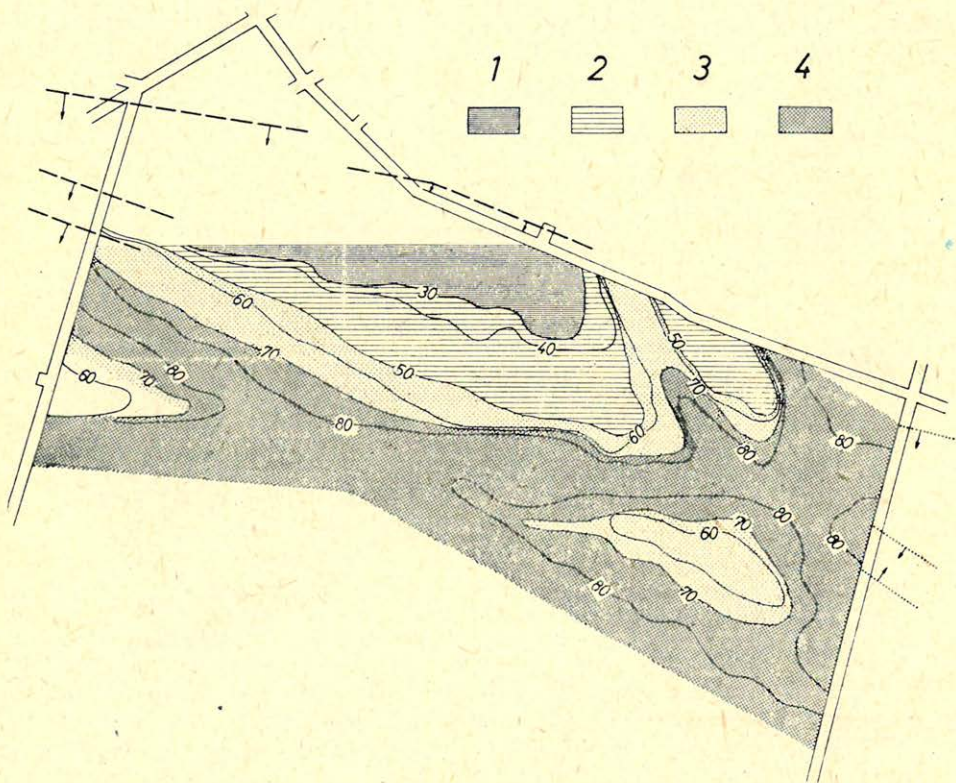
Fig. 9. The location map of an in seam wave transmission measurement. (1. shot point, 2. spread, 3. fault smaller than 1m. 4. fault smaller than 2m; 5. fault greater than 2m). Example I.

Az átvilágíthatósági térképek szerkesztésénél meg kell jegyezzük még, hogy a „lyukacsosság” vagyis az üres területek elkerüléséért a ráctávolság kiválasztásánál a mérési paramétereket, tehát a forráspont és érzékelő távolságokat is figyelembe kell venni. A ritka forráspont és észlelési pont eloszlással mért térképek így természetesen kisebb felbontásúak lesznek.

A telephullám átvilágításról elmondottak illusztrálására a következőkben három, ezzel a módszerrel végzett bányabeli mérést mutatunk be.

Gyakorlati eredmények

Első példánk helyszínrajzát a 9. ábra mutatja be. A B jelű összekötő vágatból, amely egy nagy elvetési magasságú vető mentén futott, két egymással párhuzamos előkészítő vágatot (A és C jelű vágatok) hajtottak egymástól körülbelül



10. ábra. Airy frekvenciákra számított relatív átvilágíthatósági térkép (320–380/80–140 Hz); (1. átvilágíthatatlan zóna; 2. rosszul átvilágítható átmeneti zóna; 3. jól átvilágítható átmeneti zóna; 4. átvilágítható zóna)

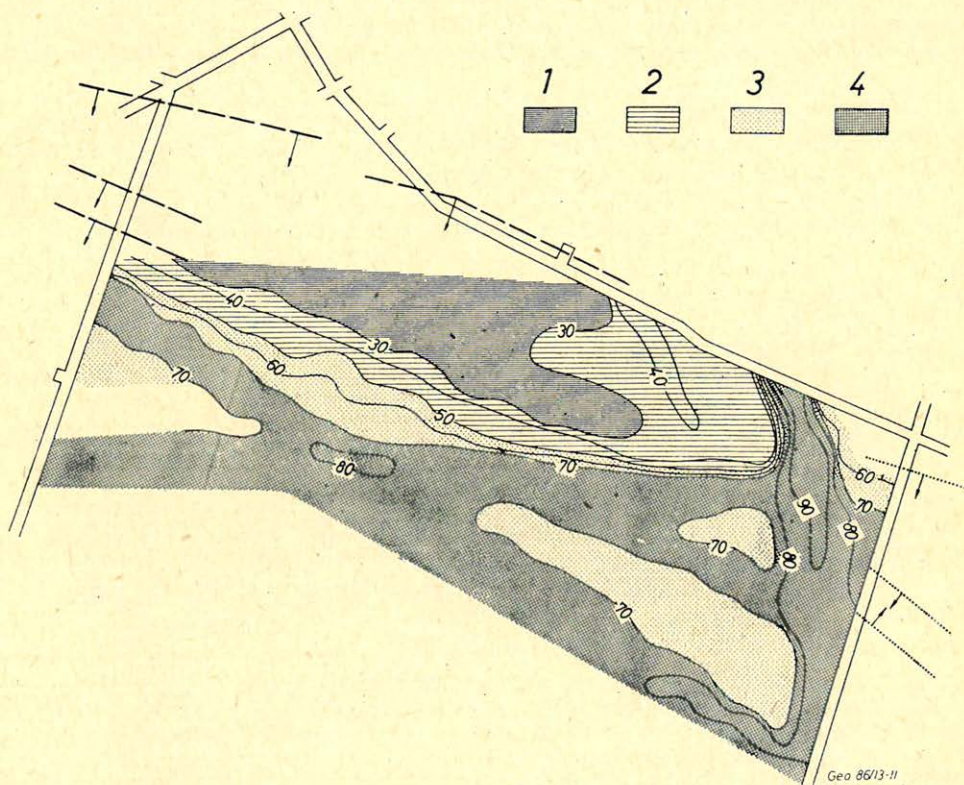
Рис. 10. Карта относительного просвечивания рассчитанная для частот Айри (320–380/80–140Гц);

(1 – непросвечиваемая зона; 2 – плохо просвечиваемая переходная зона; 3 – хорошо просвечиваемая переходная зона; 4 – зона просвечивания)

Fig. 10. Relative transmissionability map (320–380/80–140 Hz); (1. non transmissionable zone; 2. weakly transmissionable transitional zone; 3. well transmissionable transitional zone; 4. transmissionable zone)

300 m távolságban. Az *A* vágat mintegy 50 m-es előrehaladás után egy 2,5 m, majd nem sokkal később egy 3 m elvetési magasságú vetőt harántolt. Tekintve hogy a vetőket a *C* vágatban nem találták meg, felmerült a kérdés, hogy mi történt velük. Két lehetőség látszott valószínűnek:

- a vetők iránya megfelel a területre jellemző fő tektonikai irányynak, amely a *B* összekötő vágat irányával azonos, de a vetők megszűnnek még a *C* vágat előtt,
- a vetők iránya eltér a területre jellemző fő tektonikai iránytól és a vetők átlósan átvágják az egész előkészítés alatt álló fejtési területet.



11. ábra. Airy alatti frekvenciákra számított relatív átvilágíthatósági térkép (260 – 320/80 – 140 Hz) (1. átvilágíthatatlan zóna; 2. rosszul átvilágítható átmeneti zóna; 3. jól átvilágítható átmeneti zóna; 4. átvilágítható zóna)

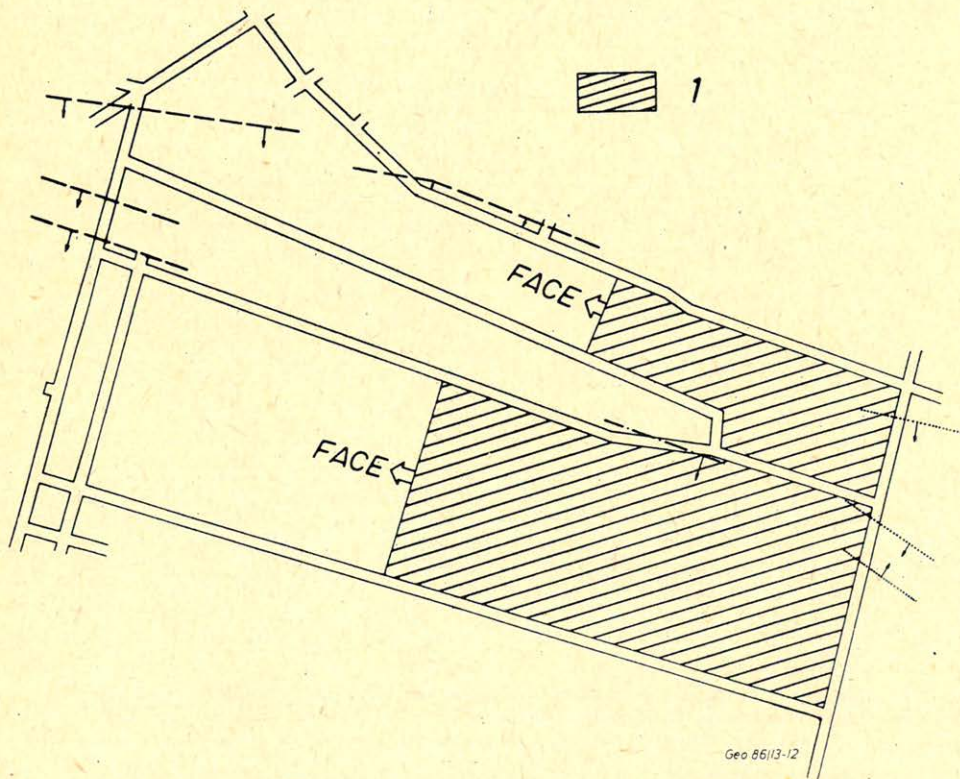
Рис. 11. Карта относительного просвечивания рассчитанная для частот меньших частоты Аири (260 – 320/80 – 140Гц) (1 – непросвечиваемая зона; 2 – плохо просвечиваемая переходная зона; 3 – хорошо просвечиваемая переходная зона; 4 – зона просвечивания)

Fig. 11. Relative transmissionability map calculated for sub-Airy-frequencies. (260 – 320/80 – 140 Hz) (1. nontransmissionable zone; 2. weakly transmissionable transitional zone; 3. transmissionable transitional zone; 4. transmissionable zone)

A szeizmikus mérések feladata volt, hogy a választ megadja. A nyitott vágatok geometriája és a feladat jellege miatt a mérésekhez a telephullám átvilágítás módszerét választottuk. A mérés során alkalmazott kb 25 robbantópontot (fekete pontok) és a négy terítést, (vastag vonalak), amelyek mentén a beérkező hullámképet regisztráltuk, feltüntettük a helyszínrajzon (9. ábra).

A mérések eredményeképpen elkészültek a terület átvilágíthatósági térképei. 10. ábránk az Airy frekvenciákra számított térképet mutatja be. Az átvilágíthatósági térkép egyértelmű választ ad a vetők irányával kapcsolatos kérdésre és kijelöli a vetők megszűnésének helyét is, hiszen az átvilágíthatatlan zóna párhuzamosan fut a B vágattal és rajta túl az A és C vágatok között zavartalan telepre utaló jó átvilágíthatóság jellemzi a képet.

A térkép sorozatnak egy alacsonyabb frekvenciákra számított tagja a 11. ábrán látható. Az átvilágíthatatlan rész gyakorlatilag azonos helyen jelentkezik itt is. Ebből megállapítható, hogy a vetők majdnem teljes hosszukban megőrzik nagy elvetési magasságukat majd elég hirtelen szűnnek meg. A terület későbbi lefejtése a mérés eredményeit teljes mértékben igazolta (12. ábra).



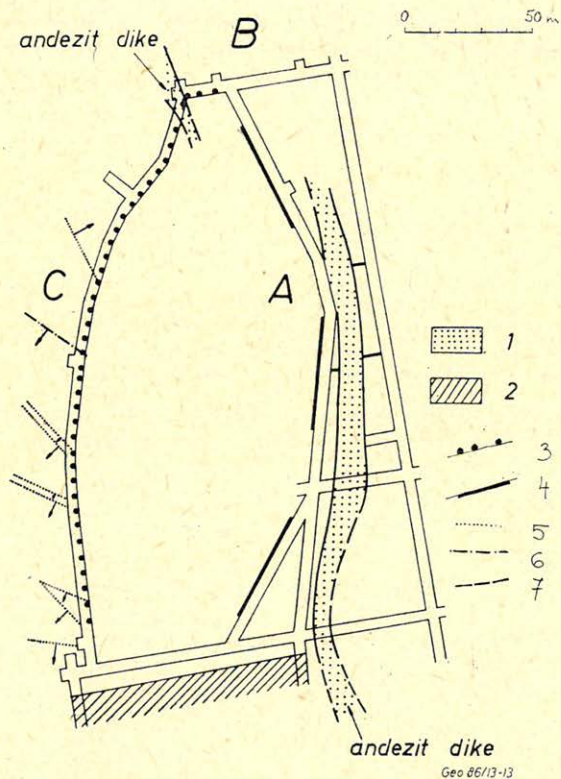
12. ábra. A fejtési eredmények (I. példa); (1. lefejtett terület)

Рис. 12. Результаты разработки (пример I); (1 – место выработки)

Fig. 12. Working results (Example I.); (1. worked off area)

Második példánkat olyan helyről választottuk, ahol a bányászati problémát elsősorban a telepet áttörő andezit telérek jelentették. A 13. ábrán bemutatott mérési területen egy szabálytalan alakú mezőt készítettek elő fejtésre. Az *A* jelű vágat külső oldalán vágatokból és fúrásokból már ismert volt az ábrán is látható andezit telér, a *B* és *C* jelű vágatok összekötésénél váratlanul egy újabb telér jelentkezett, amely a lefejtendő részbe is benyúlt. A szeizmikus mérések feladata ezért itt az volt, hogy határozza meg, hogy a kérdéses andezit telér milyen mélyen nyúlik be az előkészített területbe.

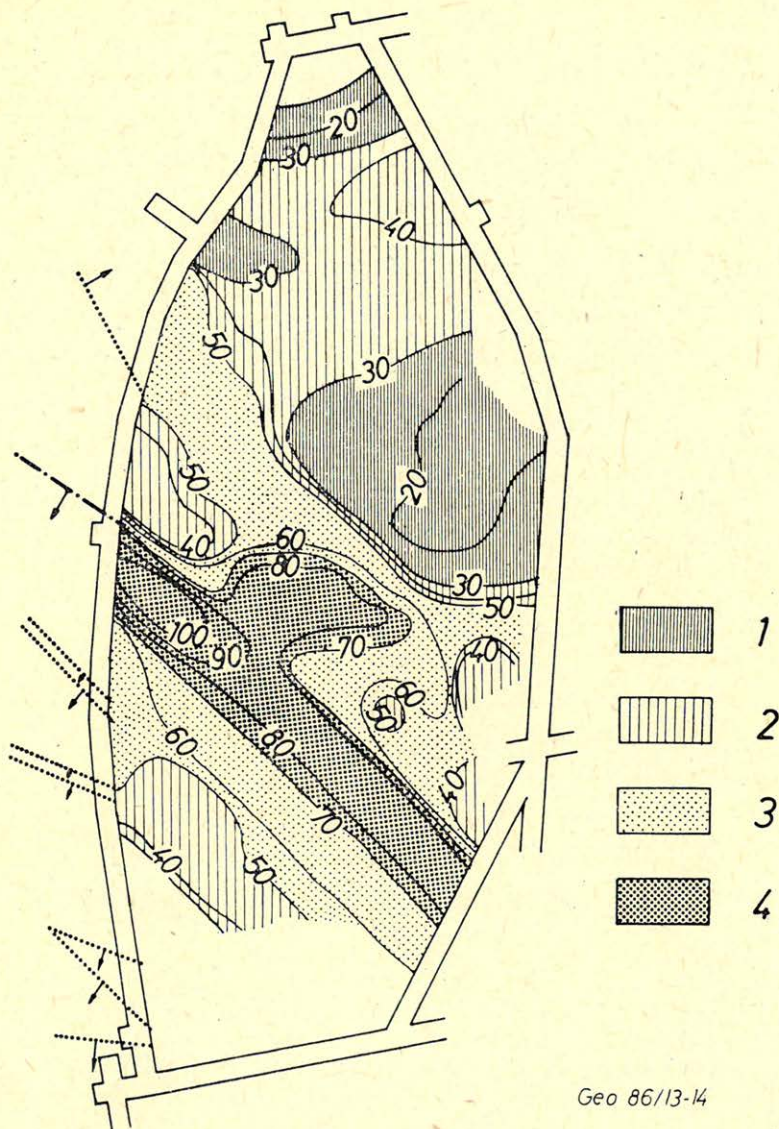
A vizsgálandó teleprész teljesen körbe vevő nyitott vágatok itt is kínálták a lehetőséget a telephullám átvilágítás alkalmazására. Terítéseinket az *A* vágatban, hullámforrásként szolgáló robbantópontjaikat a *B* vágatban telepítettük, ily módon egy egyirányú átvilágítást készítve elő (13. ábra).



13. ábra. Bányabeli telephullám átvilágítás helyszínrajza (1. andezit áttörés; 2. lefejtett terület 3. robbantópont; 4. terítés; 5. 1 m-nél kisebb vető; 6. 1 és 2 m közötti vető; 7. 2-m-nél nagyobb vető) – II. példa

Рис. 13. Схематический план шахты просвечиваемой каналовыми волнами. (1 – пробоина андезита; 2 – место выработки; 3 – пункт взрыва; 4 – расстановка; 5 – сброс высотой меньше 1-го метра; 6 высота сброса 1–2 м; 7 – высота сброса более 2-х метров) – пример II-й

Fig. 13. Location map of in-seam wave transmission. (1. andezite dike; 2. worked off area; 3. shot point; 4. spread; 5. fault smaller than 1m; 6. fault between 1m and 2m; 7. fault greater than 2m Example II.

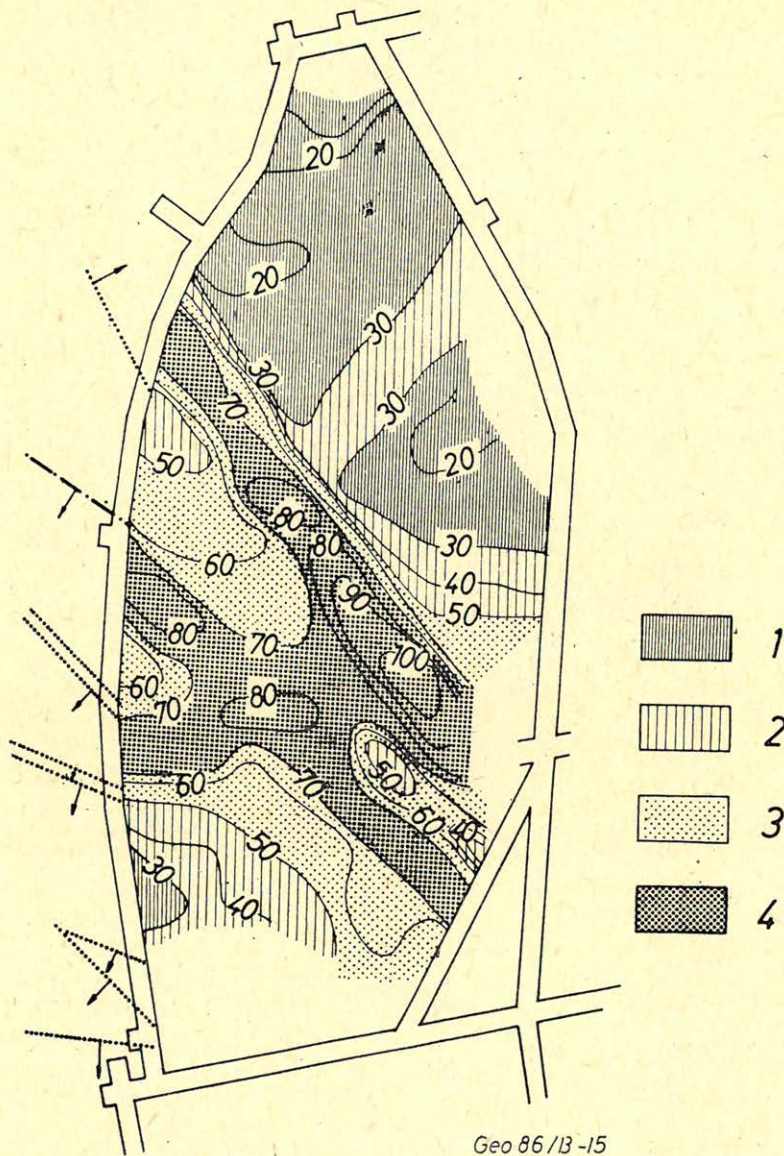


Geo 86/13-14

14. ábra. Airy frekvenciákra számított relatív átvilágíthatósági térkép (320–380/80–140 Hz) (1. átvilágíthatatlan zóna; 2. rosszul átvilágítható átmeneti zóna; 3. jól átvilágítható átmeneti zóna; 4. átvilágítható zóna)

Рис. 14. Карта относительного просвечивания рассчитанная для частот Айри (320–380/80–140 Гц). (1 – непросвечиваемая зона; 2 плохо просвечиваемая переходная зона; 3 – хорошо просвечиваемая переходная зона; 4 – зона просвечивания)

Fig. 14. Relative transmissionability map calculated for Airy frequencies (320–380/80–140 Hz) (1. non-transmissionable zone; 2. weakly transmissionable transition zone; 3. well transmissionable transition zone; 4. transmissionable zone)

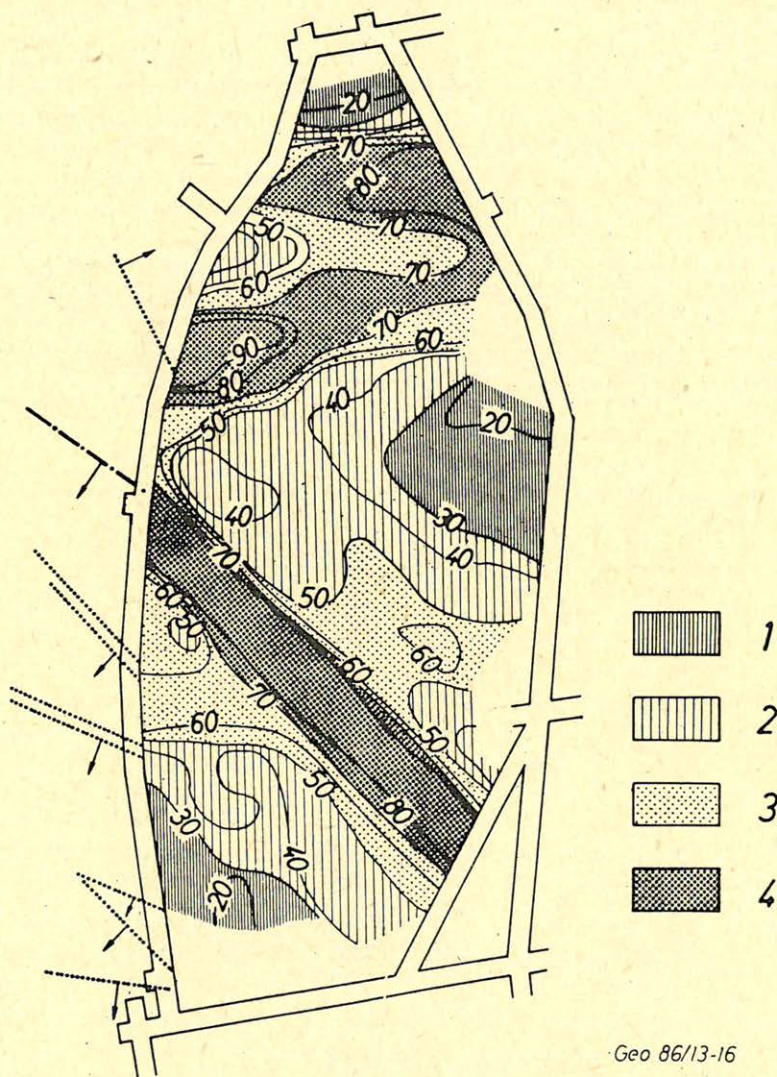


15. ábra. Airy alatti frekvenciákra számított relatív átvilágíthatósági térkép (260 – 320/80 – 140 Hz) (1. átvilágíthatatlan zóna; 2. rosszul átvilágítható átmeneti zóna; 3. jól átvilágítható átmeneti zóna; 4. átvilágítható zóna)

Рис. 15. Карта относительного просвечивания рассчитанная для частот меньших частоты Аири (260 – 320/80 – 140Гц). (1 – непросвечиваемая зона; 2 – плохо просвечиваемая переходная зона; 3 – хорошо просвечиваемая переходная зона; 4 – зона просвечивания)

Fig. 15. Relative transmissionability map calculated for frequencies lower than Airy frequencies (260 – 320/80 – 140 Hz) (1. non-transmissionable zone; 2. weakly transmissionable transition zone; 3. well transmissionable transition zone; 4. transmissionable zone)

14. és 15. ábrák mutatja be a terület átvilágíthatósági térképeit az Airy frekvenciákra, illetve egy ennél alacsonyabb sávra (260–320 Hz) számítva. Mindkét eredménytérkép erős árnyék zónát jelez a B vágattól majdnem a vizsgált teleprész közepéig. Az árnyék zóna az egyirányú átvilágítás következményeként



16. ábra. Airy feletti frekvenciákra számított relatív átvilágíthatósági térkép (380–440/80–140 Hz) 1. átvilágíthatatlan zóna; 2. rosszul átvilágítható átmeneti zóna; 3. jól átvilágítható átmeneti zóna; 4. átvilágítható zóna)

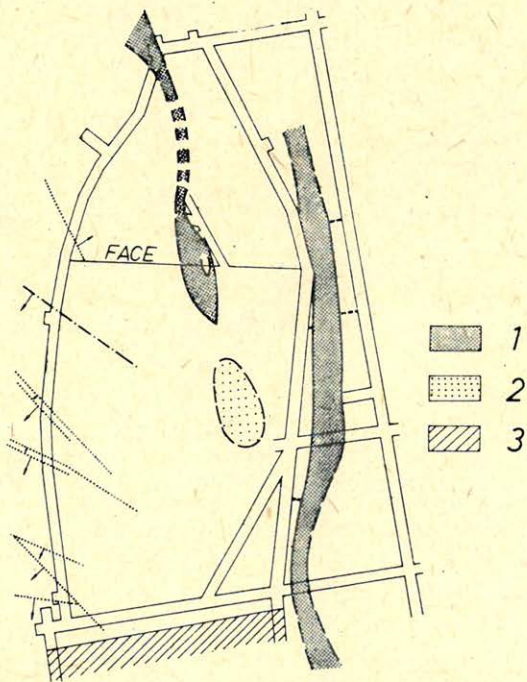
Рис. 16. Карта относительного просвечивания рассчитанная для частот больших частот Аири (380–440/80–140). (1 – непросвечиваемая зона; 2 – плохо просвечиваемая переходная зона; 3 – хорошо просвечиваемая переходная зона; 4 – зона просвечивания)

Fig. 16. Relative transmissionability map calculated for frequencies higher than Airy frequencies (380–440/80–140 Hz); (1. non-transmissionable zone; 2. weakly transmissionable zone; 3. well transmissionable transition zone; 4. transmissionable zone)

nem jelöli pontosan ki az andezit telér helyét, hanem az egész zavart teleprészt fedi. Az *Airy* frekvenciákra számított térképen (14. ábra) az árnyék zónán túli rész sem zavartalan, az átvilágíthatósági értékek alacsonyak. Az átvilágíthatóságnak ezt a csökkenését a *C* vágatból ismert kisebb vetők hatásával magyaráztuk, ezt a magyarázatot ezen a helyen igazolta az alacsonyabb frekvenciák felé javuló átvilágíthatóság.

A mérések meglepetését az *Airy* frekvenciáknál magasabb sávra (380–440 Hz) számított átvilágíthatósági térkép szolgáltatta (16. ábra). Ezen ugyanis a *B* vágattól induló masszív árnyék zóna közepe átvilágíthatónak bizonyult. A váratlan jelenség magyarázatát csak a terület lefejtése után tudtuk megadni.

A fejtés során ott, ahol ezt az átvilágíthatósági térképek árnyék zónája jelezte, megtalálták az andezit telért (17. ábra), ennek azonban csak a „fej”-szerűen kiszélesedő vége törte át teljesen a telepet, a középső „nyak” csak alulról megemelte és belepréselte a fedőbe anélkül, hogy átszakította volna. Így a nyaki részen egy aszimmetrikus felépítés alakult ki, ami az első antiszimmetrikus módus felerősödését eredményezte. Az árnyék zónán túli teleprészen a fejtés igazolta a prognózist, itt egyetlen helyen észleltek csak andezitet a feküben, ez azonban nem hatolt be a telepbe és így fejtési problémát nem okozott.



Geo 86/13-17

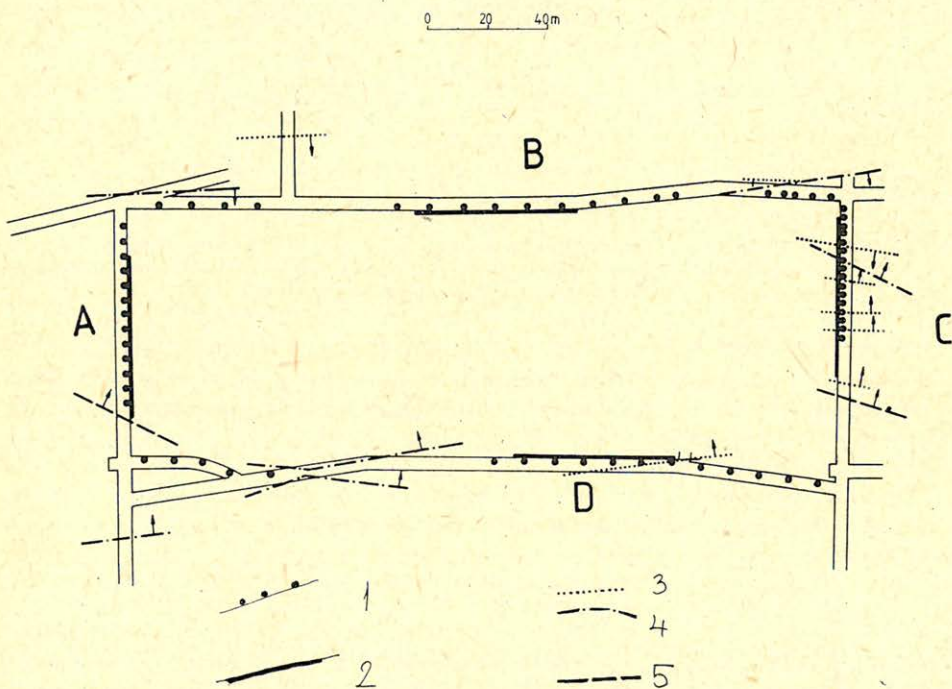
17. ábra. A fejtési eredmények (II. példa); (1. andezit áttörés; 2. andezit a feküben föltte égett szénnel; 3. lefejtett terület)

Рис. 17. Результаты разработок (пример II); (1 – пробойна андезита; 2 – сгораемый уголь над подошвой андезита; 3 – место выработки)

Fig. 17. Working results (Example II.); (1. andesite dike; 2. andesite in the base buried by burnt coal; 3. worked off area)

Harmadik példánk szintén egy fejtésre előkészített terület átvilágításának eredményeit mutatja be. A 18. ábra helyszínrajzán látható fejtési mező átvilágítását nem valamilyen geológiai ok tette szükségessé, hanem a korábbi kedvező tapasztalatok alapján rutinná vált a bányavállalatnál minden induló fejtés előzetes geofizikai ellenőrzése. A mind a négy oldalról elvégzett átvilágítás eredményeként készült térképsorozatzból két átvilágíthatósági térképet mutatunk be. A 19. ábrán az Airy frekvenciákra (320–380 Hz), a 20. ábrán pedig egy alacsonyabb frekvencia sávra (260–320 Hz) számított térkép látható.

Az Airy frekvenciákhoz tartozó térkép (19. ábra) két, a mező hosszirányban futó párhuzamos vetőt jelez. Ezek egyike, egy 6,3 m elvetési magasságú vető a C vágatból ismert volt; az eredménytérkép az A vágat felé az elvetési magasság fokozatos csökkenését, majd a vető megszűnését jelzi. A második vető vágatokból nem ismert, erős árnyék zónája a B vágat mentén látható.

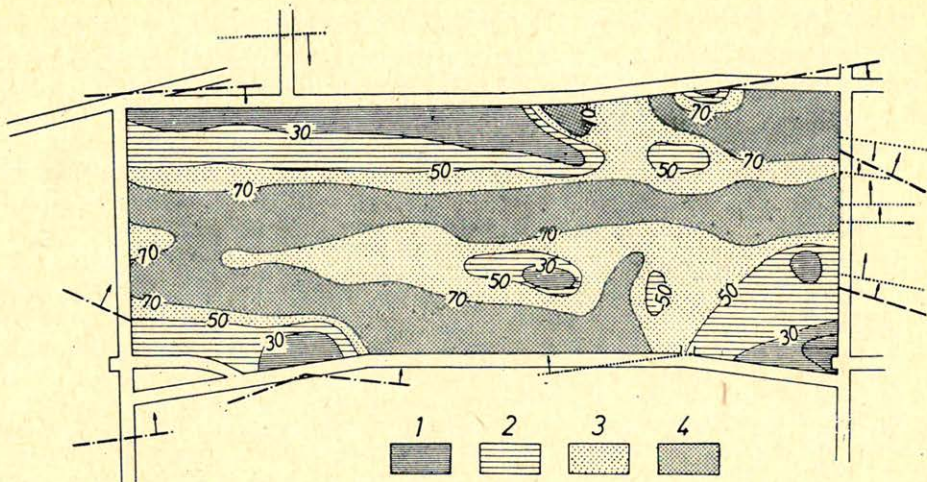


Geo 86/13-18

18. ábra. Bányabeli telephullám átvilágítás helyszínrajza (1. robbantópont; 2. terítés; 3. 1 m-nél kisebb vető; 4. 1 és 2 m közötti vető; 5. 2 m-nél nagyobb vető) – III. példa

Рис. 18. Схематический план шахты просвечиваемой каналовыми волнами (1 – пункт взрыва; 2 – расстановка; 3 – сброс высотой меньше 1-го метра; 4 – высота сброса 1–2 м; 5 – сброс в высотой более 5-и метров) – пример III-й

Fig. 18. Location map of in-seam transmission in coal mine. (1. shot point; 2. spread; 3. fault smaller than 1m; 4. fault greater than 1m but smaller than 2m; 5. fault greater than 2m) Example III.



Geo 86/13-19

19. ábra. Airy frekvenciákra számított relatív átvilágíthatósági térkép (320–380/80–140 Hz) (1. átvilágíthatatlan zóna; 2. rosszul átvilágítható átmeneti zóna; 3. jól átvilágítható átmeneti zóna; 4. átvilágítható zóna)

Рис. 19. Карта относительного просвечивания рассчитанная для частот Айри (320–380/80–140Гц). (1 – непросвечиваемая зона; 2 – плохо просвечиваемая переходная зона; 3 – хорошо просвечиваемая переходная зона; 4 – зона просвечивания)

Fig. 19. Relative transmissionability map calculated for Airy frequencies (320–380/80–140 Hz) (1. nontransmissionable zone; 2. weakly transmissionable transition zone; 3. well transmissionable transition zone; 4. transmissionable zone)

Az alacsonyabb frekvenciához tartozó térképen (20. ábra) az első vető képe elmosódik, jelezve, hogy ez a vizsgált telepreszen belül a *C* vágattól eltávolodva gyorsan záródik és csak kis elvetési magassággal folytatódik. A második vető árnyék zónája azonban ezen a térképen is igen határozott, ami jelentős elvetési magasságra utal.

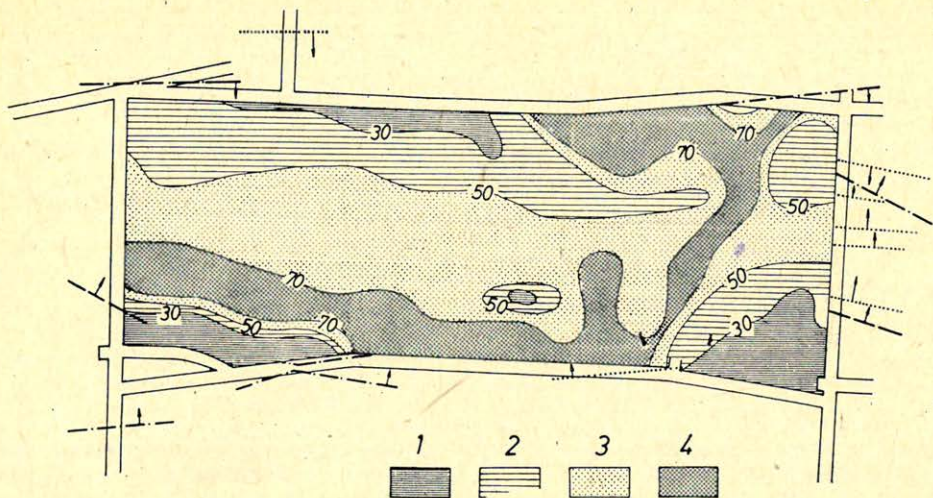
21. ábránk az átvilágíthatósági térképek értelmezését mutatja be, lefejtési képet nem adhatunk, mert a mérési eredmények alapján a bányauzem a terület visszahagyása mellett döntött.

Összefoglalás

A telephullám átvilágítás – bár a szakirodalom alig említi – a bányabeli geofizikának egy, a hazai szénbányáink kedvezőtlen földtani és bányászati viszonyai között is igen eredményesen használható eljárása. Alkalmas rá, hogy a fejtésre előkészített telepreszek tektonikai zavartalanságát ellenőrizzük és így megelőzzük vele a fejtések során bekövetkező meglepetéseket. Az eljárás mérési módszertanát, feldolgozási és értelmezési módjait a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben fejlesztettük ki, a gyakorlatban is alkalmazott rutin méréssé az eljárás a Nógrádi Szénbányák segítségével vált, a Nógrádi Szénbányák és a Geofizikai Intézet együttműködésében.

IRODALOM

Arnetzl, H., 1971.: Seismische Messungen untertage, Tagungsbericht „Mensch und Maschine im Bergbau“ der Gesellschaft Deutscher Metalhütten- und Bergleute, 133–141.

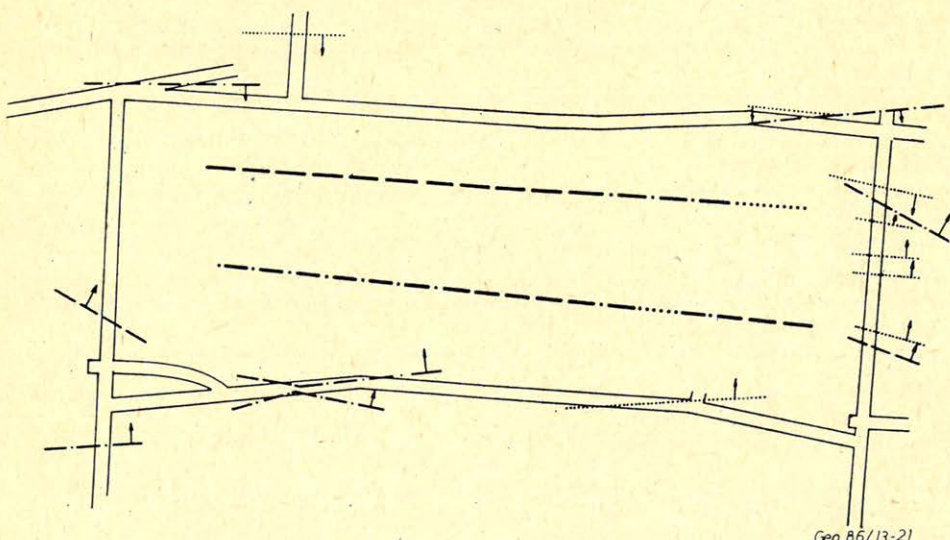


Geo 86/13-20

20. ábra. Airy alatti frekvenciákra számított relatív átvilágíthatósági térkép (260–320/80–140 Hz) (1. átvilágíthatatlan zóna; 2. rosszul átvilágítható átmeneti zóna; 3. jól átvilágítható átmeneti zóna; 4. átvilágítható zóna)

Рис. 20. Карта относительного просвечивания рассчитанная для частот меньших частот Аири (260–320/80–140Гц) (1 – непросвечиваемая зона; 2 – плохо просвечиваемая переходная зона; 3 – хорошо просвечиваемая переходная зона; 4 – зона просвечивания)

Fig. 20. Relative transmissionable map calculated for sub-Airy frequencies (260–320/80–140 Hz) (1. non transmissionable zone; 2. weakly transmissionable zone; 3. well transmissionable zone; 4. transmissionable zone)



Geo 86/13-21

21. ábra. A mérési eredmények értelmezése (III. példa)

Рис. 21. Интерпретация полученных результатов (пример III-й)

Fig. 21. The interpretation of the results (Example III.)

- Arnetzl., H., Knecht, M. and Krey, T.*, 1981.: Theoretical and Practical Aspects of Absorption in the Application of In-Seam-Seismic Coal Exploration, Preprint of the presented at the 51st Annual International Meeting of the Society of Exploration Geophysicists, Los Angeles.
- Asten, M. V., Drake, L. A. and Edwards, S. A.*, 1984.: In-seam seismic Love wave scattering modeled by finite-element method, *Geophys. Prosp.* 32, 649 – 661.
- Bodoky, A. and Bodoky, T.*, 1983.: Preliminary results of numerical modelling of seam waves, *Geophys. Transactions* 29, 129 – 140.
- Bodoky, T., Cziller, E. and Törös, E.*, 1983.: Practical applications and preliminary interpretation techniques of in-seam seismology, *Geophys. Transactions* 29, 141 – 154.
- Bodoky, T., Hermann, L. and Dianiska, L.*, 1985.: Processing of in-seam seismic transmission measurements, paper read at the 47th Meeting of the European Association of Exploration Geophysicists, Budapest.
- Cziller, E. és Bodoky, T.*, 1984.: Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet tektonikai telephullám mérésének rövid összefoglalása, *Veszprémi Akadémiai Bizottság Értesítő* 1984. III., 33 – 48.
- Brentrup, F. K.*, 1970.: Seismische Vorfelderkundung zur Ortung Tektonischer Störungen im Steinkohlenbergbau, *Glückauf* 106, 933 – 938.
- Buchanan, D. J.*, 1978.: The Propagation of Attenuated SH-Channel Waves, *Geophys. Prosp.* 26, 16 – 28.
- Buchanan, D. J., Jackson, P. J. and Davis, R.*, 1983.: Attenuation and Anisotropy in Coal Seams, *Geophysics* 48, 133 – 147.
- Dobroka, M.*, 1984.: Love seam-waves in an inhomogeneous 3-layered medium, *Geophys. Transactions* 30, 237 – 251.
- Dobroka, M. and Ormos, T.*, 1983.: Absorption-Dispersion Relations for Love Channel Waves, *Geophys. Transactions* 29, 117 – 127.
- Dresen, L. and Freistätter, S.*, 1976.: Rayleigh Channel Waves for the In-Seam Seismic Detection of Discontinuities, *Journal of Geophys.* 42, 111 – 129.
- Dresen, L., Kerner, C. and Kühbach, B.*, 1985.: The Influence of an Asymmetry in the Sequence Rock/Coal/Rock on the Propagation of Rayleigh Seam Waves, *Geophys. Prosp.* 33, 519 – 539.
- Edwards, S. A., Astin, M. V. and Drake, L. A.*, 1985.: P – SV wave scattering by coal seam inhomogeneities, *Geophysics* 50, 214 – 223.
- Evison, F. F.*, 1955.: A Coal Seam as a Guide for Seismic Energy, *Nature* 176, 1224 – 1225.
- Ewing, W. M., Jardetzky, W. S. and Press, F.*, 1957.: *Elastic Waves in Layered Media*, McGraw-Hill, New York.
- Freistätter, S. and Dresen, L.*, 1977.: Ausbreitung von Rayleigh-Kanalwellen in Steinkohlenflötzen – Modellseismische Untersuchungen, *Journal of Geophys.* 43, 807 – 828.
- Freistätter, S. and Dresen, L.*, 1978.: The Influence of Oblique-Dipping Discontinuities on the Use of Rayleigh Channel Waves for the In-Seam Seismic Reflection Method, *Geophys. Prosp.* 26, 1 – 15.
- Guu, J. Y.*, 1975.: Studies of seismic guided waves: the continuity of coal seams, Ph. D. thesis, Colorado School of Mines.
- Jackson, P.*, 1985.: Horizontal seismic in coal seams: its use by the U. K. coal industry, *First Break* 3, No. 11, 15 – 24.
- Kerner, C. and Dresen, L.*, 1985.: The influence of dirt bands and gaults on the propagation of Love seam waves, *Journal of Geophys.* 57, 77 – 89.
- Korn, M. and Stöckl, H.*, 1982.: Reflection and transmission of Love channel waves at coal seam discontinuities computed with a finite difference method, *Journal of Geophys.* 50, 171 – 176.
- Krey, T.*, 1962.: Reflexionseismische Verfahren zur Ermittlung von Verwerfungen und Störungen in Lagerstätten und Schichten unter Tage, *Deutsches Patentamt, Auslegungsschrift* Nr. 1 174 519 Zusatz Nr. 1 184 099.
- Krey, T.*, 1963.: Channel Waves as a Tool of Applied Geophysics in Coal Mining, *Geophysics* 28, 701 – 714.
- Millahn, K. O.*, 1980.: Flötzwellenseismik – Stand und Entwicklung, *Prakla-Seismos Report* 2+3/80, 19 – 30, Hannover.
- Ormos, T.*, 1985.: Csatorna hullámok kialakulása a borsodi szénmedencében, *Nehézipari Műszaki Egyetem – egyetemi doktori értekezés*, Miskolc.
- Räder, D., Schott, W., Dresen, L. and Rüter, H.*, 1985.: Calculation of Dispersion Curves and Amplitude-Depth Distributions of Love Channel Waves in Horizontally-Layered Media, *Geophys. Prosp.* 33, 800 – 816.
- Su, F. C.*, 1976.: Seismic effects of faulting in coal seams: numerical modelling, Ph. D. thesis, Colorado School of Mines.
- Vigh, D.*, 1984.: Love-típusú telephullámok a Kelvin-Voigt modell alapján, *Magyar Geofizika* 25, 71 – 80.