A szeizmikus csatornahullámok alkalmazása a szénbányászatban

II. rész: Telephullám reflexiós mérések

BODOKY TAMÁS – CZILLER ESZTER* – TÁBORSZKY GYULA* – TÖRÖS ENDRE***

A dolgozat ismerteti a bányabeli szeizmikus telephullám reflexiós eljárást és a szakirodalom alapján áttekinti az eljárás mérési anyagainak számítógépes feldolgozási lehetőségeit, kiemelve azokat a fontosabb műveleteket, amelyek a felszíni szeizmikában nem ismertek. Gyakorlati példák segítségével bemutatja a bányabeli szeizmikus telephullám reflexiós kutatások hazai helyzetét és eddig elért eredményeit.

В работе изложен метод каналовых отраженных волн в шахтах. По научной литературе дается обзор о возможностях их машинной обработки, выделяя те наиболее важные операции, которые в наземной сейсмике неизвестны. С помощью практических примеров демонстрируется положение и результаты исследований методом отраженных каналовых волн в Венгрии.

The paper reviews the in-seam seismic reflection technique and sums up the published possibilities of its computerized processing emphasizing those significant procedures which are not known in the surface seismic reflection technique. With the help of field examples it presents the results and outlines the present level of in-seam seismics in Hungary.

Bevezetés

Dolgozatunk első felében foglalkoztunk a széntelepekben kialakuló szeizmikus csatornahullámok, az úgynevezett telephullámok elméletével és az *Evison (SH)* csatornahullámok fontosabb jellemzőivel. Vizsgáltuk a csatona diszkontinuitásainál fellépő jelenségeket és bemutattuk a diszkontinuitásokat harántoló Evison hullámok jellegváltozásaira épülő telephullám átvilágítást, mint a széntelepek fejtésre előkészített területeinek tektonikai ellenőrzését szolgáló bányabeli geofizikai eljárást.

Dolgozatunk második részében a telephullámok másik igen elterjedt alkalmazásával a bányabeli szeizmikus telephullám reflexiós eljárással kívánunk foglalkozni. A telephullám reflexiós eljárás a telepzavarokról visszaverődő csatornahullámok észlelésén és vizsgálatán alapszik, így mérése során a hullámforrás és az érzékelő ugyanabban a vágatban is elhelyezhető. Ez lehetővé teszi, hogy bányászatilag még feltáratlan teleprészek kutatására is alkalmazzák és az általa szolgáltatott információt nem csak a fejtések irányításában, hanem már a feltáró vágatok tervezésében is felhasználják. A telephullám reflexiós eljárás gazdasági jelentősége ezért sokkal nagyobb, a hazaiaknál kevésbé tektonizált szénkészletekkel rendelkező területeken, mint például Angliában, vagy az NSZK szénmedencéiben elsősorban ennek az eljárásnak az alkalmazása terjedt el.

A telephullámok visszaverődése telepzavaroknál

Csatlakozva a dolgozat első részének megfelelő fejezetéhez, tekintsük a telepet megszakító vető esetét. Közeghatárt a vetősík csak a telepvégeket lezáró fekű

* ELGI, Budapest
** Nógrádi Szénbányák

vagy fedő kőzeteknél, illetve egésztelepesnél nagyobb vető esetén a fekű és a fedő érintkezésénél jelent. Reflexiót természetesen csak közeghatárról várhatunk, így a reflektált energia aránya a csatornahullámok egyes összetevőinél z tengely menti amplitúdó eloszlásuktól függ, akárcsak az átvilágításnál a továbbhaladó energia aránya.

Az Evison hullámok alacsony frekvenciás összetevőinél a hullámenergia jelentős része a telepen kívül, kísérő inhomogén síkhullámként terjed és így vetőnél csak jelentéktelen része találkozik közeghatárral, azaz csak jelentéktelen része szenvedhet reflexiót. A magasfrekvenciás összetevők energiája azonban teljesen a telep belsejébe koncentrálódik és így – egésztelepes vetőt feltételezve – a vetőnél a teljes energia közeghatárba ütközik. Itt részben kilép a telepből, részben visszaverődik, de a visszavert energiahányad az adott frekvenciaösszetevő teljes energiájára vonatkozik. Ennek megfelelően a reflektált csatornahullám alacsonyfrekvenciás összetevőket nem, vagy alig fog tartalmazni, míg magasfrekvenciás összetevőkben gazdag lesz. A reflektált hullámok szemszögéből tehát a vető alulvágó szűrőként viselkedik.

A visszavert hullámenergia aránya egésztelepesnél kisebb vetők esetében függ a vetők elvetési magasságától is. Egésztelepesnél nagyobb vetők esetében a *vető szűrő* vágási frekvenciája és meredeksége természetesen szintén függ a vető méreteitől, itt azonban ennek nincsen olyan gyakorlati jelentősége, mint az átvilágításnál, mert más tényezők – például a vetőt kísérő tört zóna, vagy a vetősík dőlésszöge – a reflektált hullámok spektrumára sokkal nagyobb hatással lehetnek.

A visszavert telephullámok jellemzőinek, illetve viselkedésének számszerű tanulmányozására a numerikus modellezés a legáltalánosabban elterjedt módszer. Modellvizsgálatokat végeztek a kérdés vizsgálatára *Korn* & *Stöckl (1982)*, *Bodoky* & *Bodoky (1983)* és *Kerner* & *Dresen (1985)* időtartományban, valamint *Asten, Drake* & *Edwards (1984)* frekvenciatartományban. Legújabban *Buchanan (1986)* a kérdés analitikus úton történő megoldását javasolta.

Az egyéb telepzavarok – például telepkimosások, vulkáni telér áttörések stb. – is hasonló, alulvágó szűrő jelleggel reflektálják a telephullámokat. A reflektált telephullámok jellemzői ezekben az esetekben is legegyszerűbben numerikus modellezéssel határozhatók meg.

A telephullám reflexiós mérések elve

A telephullám reflexiós mérések elve lényegében nem különbözik a felszíni szeizmikus reflexiós mérések elvétől. Mérjük a reflektált jel terjedési idejét és ebből a terjedési sebességek ismeretében számíthatjuk a reflektor (pontosabban a virtuális hullámforrás) távolságát, illetve egyidejűleg az azonos hullámforrásból származó reflektált jel terjedési idejét, több különböző ponton is mérve, meghatározhatjuk a reflektor pontos helyzetét.

A felszíni reflexiós mérésekhez képest az egyetlen lényeges eltérést az alkalmazott szeizmikus jel diszperz volta jelenti. Emiatt a terjedési sebesség és a beérkezési idő fogalma nem definiálható olyan egyszerűen, mint a felszíni méréseknél. Ez azonban csak a mérések feldolgozásánál és kiértékelésénél jelent nehézséget, így csak ott térünk majd ki rá bővebben.

Telephullám méréseket először az NSZK-ban végeztek az *1960*-as évek végén még analóg mágnesszalagos műszerekkel *(Brentrup, 1970; Arnetzl, 1971)*, a módszer igazi fejlődésnek azonban csak a digitális technika bányabeli bevezetésével

indult *(Klar & Arnetzl, 1978)*, ugyanis a sújtólégbiztos digitális műszerek alkalmazása jelentősen megnövelte a mérések dinamika tartományát és lehetővé tette a mért anyagok közvetlen számítógépes feldolgozását.

A telephullám reflexiós mérések gyakorlati végrehajtása

A telephullám reflexiós mérésekre is igaz az, amit dolgozatunk első felében a telephullán átvilágítással kapcsolatban részletesen leírtunk, a gyakorlatban arra törekszünk, hogy csak az *Evison* hullámok alapmódusát regisztráljuk. Így, az *Evison* hullámoknak a *Krey* hullámoktól történő elválasztására két komponenses regisztrálást és a feldolgozás során csatorna forgatást alkalmazunk, az antiszimmetrikus módusok elkerülésére a telep középsíkjába helyezzük mind a hullámforrást, mind a rezgésérzékelő szondákat, a magasabb rendű szimmetrikus módusokat pedig frekvencia szerinti szűréssel küszöböljük ki.

A telephullám reflexiós terítési rendszerek elvileg is és gyakorlatilag is megegyeznek a felszíni szelvénymenti reflexiós mérések terítési sémáival. Leginkább itt is az egyirányú többszörös fedésű rendszerek váltak be.

A telephullám reflexiós mérések feldolgozása

A felszíni reflexiós szeizmikában legáltalánosabban az impulzus jellegű *P* hullámok alkalmazása terjedt el és ennek megfelelően fejlődött ki a szeizmikus reflexiós feldolgozás gyakorlata is. A telephullámok diszperz jellegüknél fogva azonban alapvetően eltérnek a felszíni szeizmika *P* hullámaitól és így, bár a telephullám reflexiós mérések terítési technikája ezt lehetővé tenné, a felszíni szeizmikus reflexiós feldolgozás közvetlenül mégsem alkalmazható rájuk.

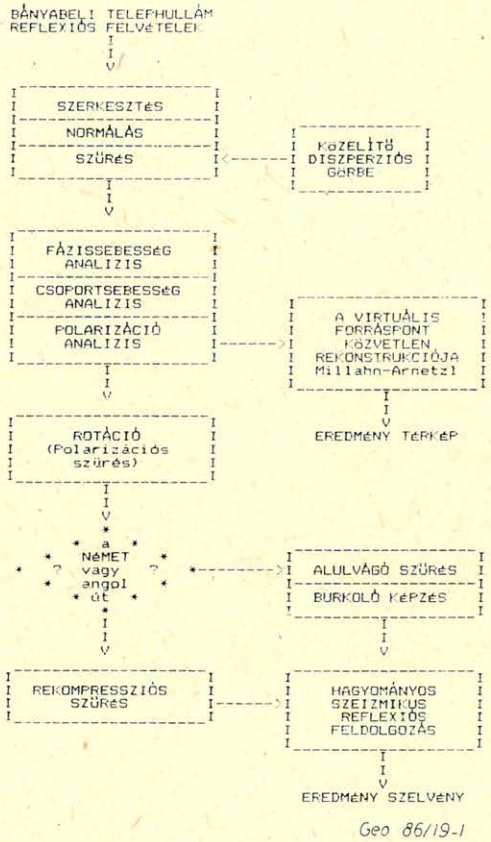
A megfelelő mérési metodikával kombinált telephullám feldolgozásnak az a célja, hogy a teljes telephullám bonyolult hullámképéből egyetlen összetevőt, az alapmódosulatú *Evison* hullámot válassza ki, ennek paramétereit határozza meg és a meghatározott paraméterek segítségével leegyszerűsített hullámképet használja a keresett földtani információk megismerésére.

A feldolgozás három fő fázisra bomlik, a felszíni szizmikus feldolgozásoknál is alkalmazott előkészítő, a telephullám analizáló és a fő feldolgozó fázisra. Az első két fázis az eddig publikált feldolgozó rendszerekben *(Mason, Buchanan & Booer, 1980; Buchanan, Davis, Jackson & Taylor, 1981; Millahn, 1980; Millahn & Arnetzl, 1979 és 1980)* többé-kevésbé megegyezik, a harmadiknak azonban több különböző változatát ismerjük. *1. ábránk* a telephullám reflexiós mérések ismert feldolgozási lehetőségeinek összefoglaló diagrammját mutatja be, részleteit a következőkben tárgyaljuk.

Előkészítő vagy előfeldolgozó fázis

A feldolgozás első lépése a felvételek normálása. Ennek során kiegyenlítjük a felvételeknek a hullámforrások véletlenszerű eltéréseiből adódó energia különbségeit és kiküszöböljük a szférikus divergencia következtében fellépő energia veszteséget. A normálások során a felvételek energiáját természetesen nem csatornánként, hanem a kétkomponenses regisztrálásnál összetartozó csatornapáronként kell vizsgálni ügyelve arra, hogy az egyes komponensek egymáshoz viszonyított energiáját meg ne változtassuk.

Második lépésként a kutatási terület mérésekből ismert vagy becsült paraméterei — a terjedési sebességek, sűrűségek és a telepvastagság — segítségével kiszámítjuk a terület közelítő diszperziós görbéit és a görbék alapján felülvágó szűréssel eltávolítjuk a magasabb módusokat. (A módusok átfedése miatt az első antiszimmetrikus módus teljesen nem távolítható el.)



1. ábra. A bányabeli telephullán reflexiós mérések számítógépes feldolgozási változatainak a szakirodalom alapján összeállítható összefoglaló diagrammja.

Рис. 1. Обобщенная схема машинной обработки данных наблюдений методом каналовых отраженных волн в шахтах, составленная по научной литературе.

Fig. 1. Flow-chart summarizing the different versions of in-seam seismic reflection processing published in the geophysical literature.

A telephullám analizáló fázis

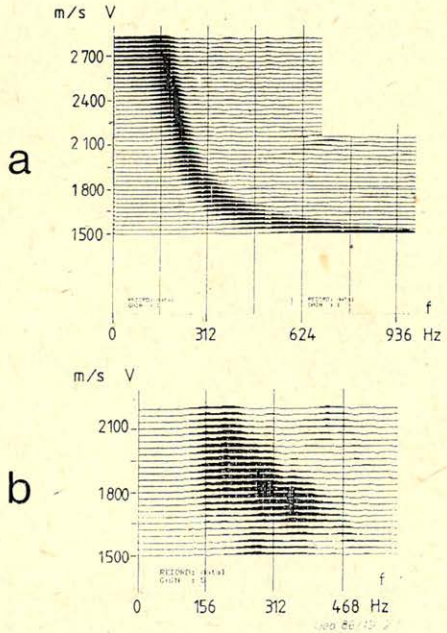
A telephullám analizáló fázis során határozzuk meg a terület pontos diszperziós görbéit és a reflexiós beérkezések virtuális forráspontjainak irányait. (Az utóbbira a *Krey* hullámokat eltávolító csatorna forgatáshoz van szükségünk, mert a reflexiós méréseknél ezek az adatok nem állnak a mérési geometriából úgy rendelkezésünkre, mint az átvilágításnál.)

a) *Diszperzió analízis*

A diszperzió analízist a legeredményesebben egy lehetőleg zavartalan telepben, külön erre a célra mért átvilágításos felvételen lehet elvégezni. Reflexiós méréseinket ezért, ha mód van rá, mindig ki kell egy-két átvilágításos felvétellel egészíteni.

A telephullám feldolgozás céljaira a legalkalmasabb diszperzió vizsgálat *McMechan* és *Yedlin (1981)* eljárása. Ez az eljárás kettős hullámtér transzformációt hajt végre a szeizmikus adatokon. Az első egy többcsatornás adattömböt feltételező síkhullám dekompozíciós eljárás — az úgynevezett *slant stack* —, a második pedig a transzformált adattömb soronkénti Fourier transzformációja, vagyis az $f(x, t)$ — ahol x a terítés mentén mért távolságot, t pedig a beérkezési időt jelenti — kiinduló szeizmikus adattömböt, általában egy szűrt és forgatott átvilágításos felvételt, először a $\tau - p$ síkba — ahol τ a tengelymetszeti időt, p pedig a fázissebesség reciprokát jelenti — transzformáljuk, majd innen az $\omega - p$ síkba, ahol ω a körfrekvenciát jelenti.

Bebizonyítható, hogy a transzformált függvénynek maximuma van azoknál az (ω, p) pontoknál, ahol a közeg diszperziójára jellemző karakterisztikus egyenlet teljesül, ezért ha az eredmény mátrixot a $c - f$ fázissebesség-frekvencia síkon ábrázoljuk, akkor az adattömb maximum helyei valósággal kirajzolják a vizsgált telephullámok diszperziós görbéit. Az eljárást *2. ábránk* illusztrálja.



2. ábra. A McMechan- és Yedlin-féle fázissebesség-vizsgálat alkalmazása szintetikus (a.) és valódi (b.) telephullám szeizmogramra.

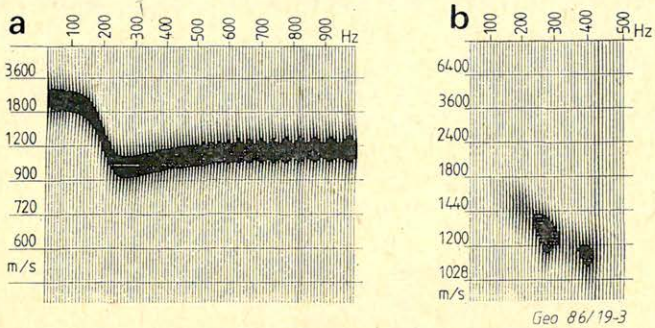
Рис. 2. Применение анализа фазовых скоростей по Mc Mechan и Yedlin на синтетическую (а) и на наблюденную (в) сейсмограмму каналовых волн.

Fig. 2. Phase velocity analysis (described by McMechan & Yedlin) applied on a synthetic Evison wave record (a.) and on a real in-seam seismogram (b.)

b) *Csoportsebesség analízis*

A csoportsebesség vizsgálatoknál ismét jó minőségű, szűrt, forgatott, átvilágításos felvételekből érdemes kiindulni.

A művelet során a kiválasztott szeizmikus csatornát igen keskeny sávszélességű (*1 Hz*) sávszűrő sorozattal szűrjük majd a szűrt csatornákon *Hilbert* transzformációval áttérünk a burkolókra. A művelet eredménye egy mátrix a frekvencia-beérkezési idő síkban. A hullámút hosszának ismeretében a beérkezési idő tengelyt átskálázhatjuk terjedési sebesség tengellyé, ekkor a mátrix maximumhelyei a keresett csoportsebesség görbét jelölik ki. Az eljárás alapötlete *Dziewonskitól* és szerzőtársaitól származik (*Dziewonski, Bloch* & *Landisman, 1969*), telephullám reflexiós mérések feldolgozásánál először *Buchanan* alkalmazta (*Buchanan* & *al, 1981*). A csoportsebesség fent leírt vizsgálatára *3. ábránk* mutat példát.



3. ábra. A Dziewonski, Bloch- és Landisman-féle csoportsebesség vizsgálat alkalmazása szintetikus (a.) és valódi (b.) telephullám szeizmogramra.

Рис. 3. Применение анализа групповых скоростей по Dziewonski, Bloch и Landisman на синтетическую (а) и на наблюденную (в) сейсмограмму каналовых волн.

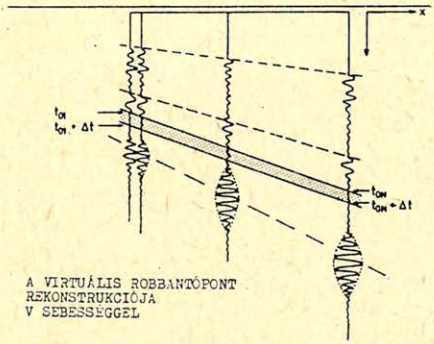
Fig. 3. Group velocity analysis (described by Dziewonski, Bloch & Landisman) applied on a synthetic Evison wave record (a.) and on a real in-seam seismogram (b.).

Millahn és Arnetzl (*Millahn* & *al, 1980*) erre a feladatra más megoldást javasolnak. Eljárásuk lényegileg egy leegyszerűsített *slant stack*, egy az origón átmenő és adott látszólagos sebességnek megfelelő ablakban integrálják egy szeizmogram csatornáinak burkolóját. Ha az ablaknak megfelelő látszólagos sebességet a lehetséges csoportsebességek tartományán végighaladva változtatják, akkor eredményképpen egy olyan amplitúdó-csoportsebesség görbét kapnak, amelyen a fontosabb hullámösszetevők csoportsebességei azonosíthatók. Sávszűrt szeizmogramokat használva bemenő adatokként az eljárás még a csoportsebességek frekvenciafüggésére is szolgáltat némi információt, ennek ellenére legnagyobb hátránya éppen ennek az információnak az elvesztése vagy hiányos volta. *4. ábránk* erre az úgynevezett *MAP*-eljárásra mutat példát.

c) *Polarizáció analízis*

A polarizáció analízis során egy mérőhely x és y – a telep síkjába eső – komponenseit mint a részecskemozgás hodográfjának komponenseit fogjuk fel. A hodográfra megfelelő hosszúságú, egymást részben átfedő időkapukban ellipszist

igyekszünk illeszteni. Az ellipszis tengelyarányai a polarizáltság fokát, tengelyirányai pedig a hullámterjedés irányát, illetve a hullám típusát jelölik ki *(Millahn & al, 1979; Millahn, 1980)*. *5. ábránk* az eljárást egy példán keresztül mutatja be.

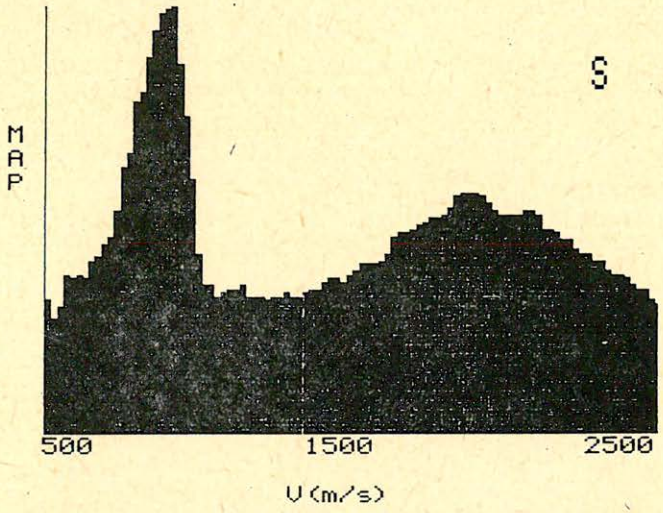


$t_{0i} = R_i / V$ az i-edik geofonra

$$MAP(v) = \sum_{i=1}^{N} \sum_{t=t_{0i}}^{t_{0i}+\Delta t} \text{BURKOLÓ}\ (t)$$

geofonok ablak

a



b

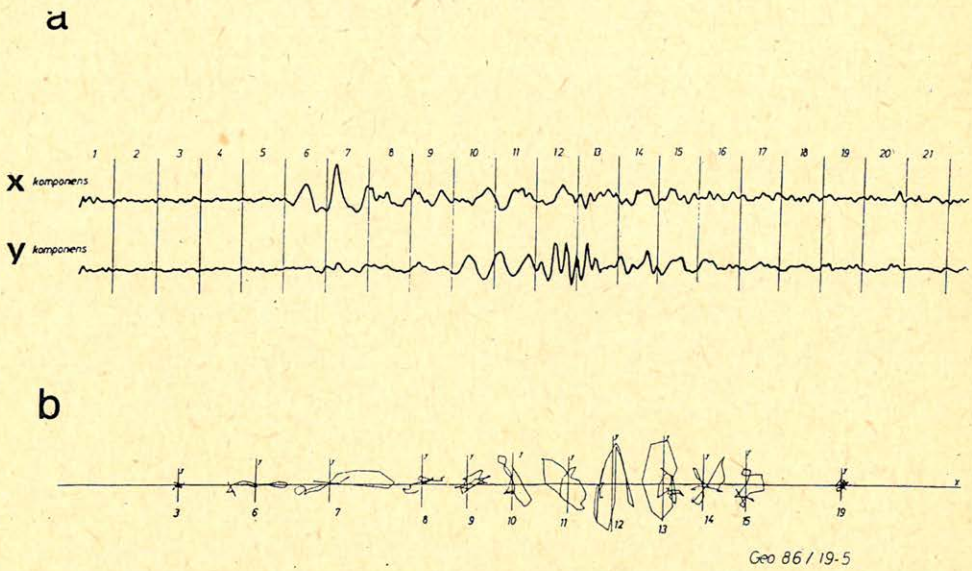
Geo 86/19-4

4. ábra. A Millahn- és Arnetzl-féle „MAP" sebességanalízis elvi sémája (Millahn & al. nyomán) és egy szélessávú telephullám felvételen kapott eredménye.

Рис. 4. Принципиальная схема анализа скоростей «MAP» по Millahn и Arnetzl и полученный результат на широкополосной сейсмограмме каналовых волн.

Fig. 4. The theoretical scheme of a group velocity analysis suggested by Millahn & Arnetzl (after Millahn & Arnetzl) and one of its results got on an in-seam seismogram.

A polarizáció analízis matematikai lényege az egy időablakba tartozó adatok – (x, y) pontok – eloszlását jellemző kovariancia mátrix saját értékeinek és sajátvektorainak meghatározása. A sajátértékek az ellipszis tengelyarányát, a sajátvektorok az ellipszis tengelyirányait adják meg.



5. ábra. A Millahn-féle polarizáció analízis egy szeizmikus telephullám mérés két komponenses csatornájára alkalmazva; a. a két komponenses csatorna, b. a belőle számított hodográfok.

Рис. 5. Поляризационный анализ по Millahn применяя на каналы двухкомпонентных наблюдений каналовых волн: *а)* двухкомпонентные сейсмические каналы, *в)* годографы вычисленные из них.

Fig. 5. Polarization analysis (described by Millahn) applied on a two-component in-seam seismic trace pair (a.); (b.) the hodographs.

A sajátérték analízis során egy, a t tengely mentén futó időablakban keressük azt a φ szöget, amellyel elfordítva az x és y tengelyeket a hodográf pontjaira az elforgatott koordináta-rendszerben igaz, hogy

$$a = \sum_i x_i^2 = \min \qquad (\textit{Evison hullámra}),$$

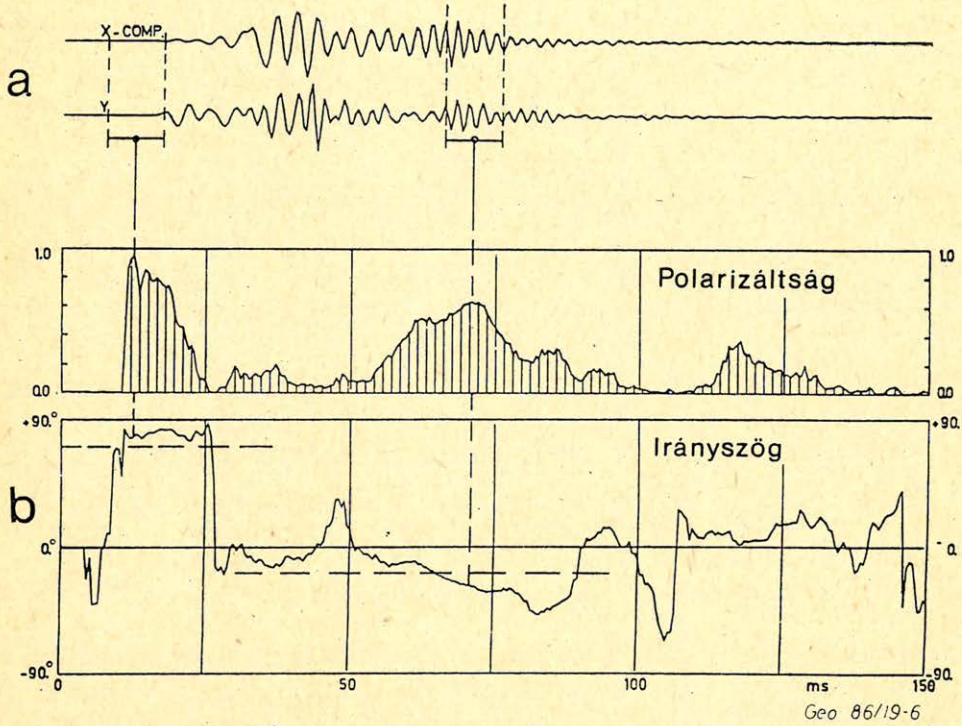
illetve

$$b = \sum_i y_i^2 = \min \qquad (\textit{P hullámra}).$$

Ekkor a

$$\left|\frac{a-b}{a+b}\right| = P$$

mennyiséget a polarizáltság fokának, vagy egyszerűen polarizáltságnak hívjuk. *6. ábránk* egy csatornapár φ és P függvényeit mutatja be.



6. ábra. Két komponenses csatornapár (a.) és polarizáltság (P), illetve irányszög (φ) függvényeik (b.) (Millahn & al nyomán).

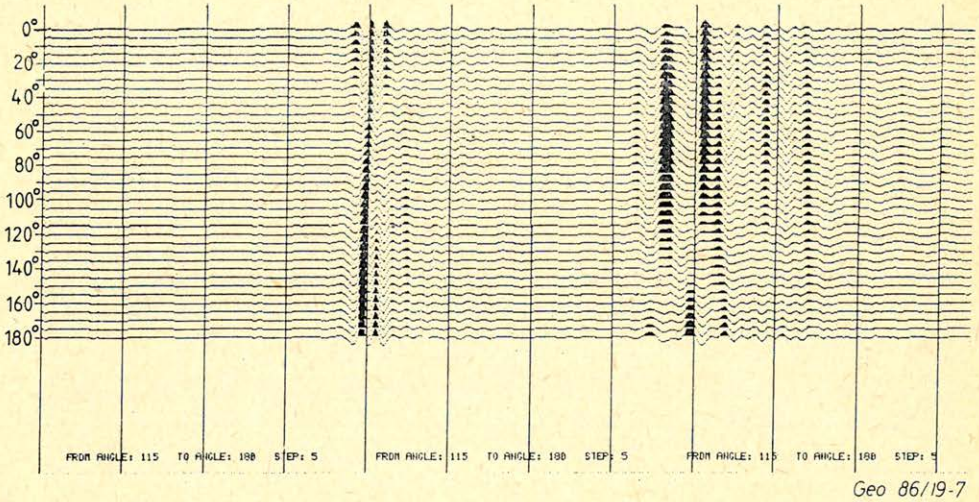
Рис. 6. Функции *а)* поляризации (P) и *в)* угла направления (A) двухкомпонентных каналов по Millahn & al.

Fig. 6. A two-component in-seam seismic trace pair (a.) and its angle (φ) and rectilinearity (P) functions (b.) (after Millahn & Arnetzl).

Ha egy beérkezésről tudjuk, hogy milyen hullámtípusba tartozik – ez sok esetben van így –, akkor a φ függvény meghatározását egyszerűbben is elvégezhetjük próbálgatásos alapon. Ilyenkor $0°$-tól $180°$-ig $\Delta\varphi$ lépésekkel haladva minden $n\Delta\varphi$ szögre végrehajtjuk a forgatást és az eredményként kapott forgatott csatorna sorozatból szemre, vagy valamely matematikai kritérium alapján kiválasztjuk azt a szöget, amelynél a vizsgált beérkezés maximális amplitúdóval jelentkezik. *7. ábránk* erre az úgynevezett *rotációs scan*-re mutat be példát.

d) *Polarizációs szűrés – rotáció*

Bár nem analizáló jellegű műveletek, a rotáció és a hozzá kapcsolódó polarizációs szűrés is a telephullámanalízis fázisába tartoznak. A rotáció célja – mint már ezt említettük is –, hogy a hullámösszetevők világos szétválaszthatóságáért a csatornákat a hullámterjedés irányának megfelelően, vagyis az egyik komponenst a valódi, vagy a virtuális hullámforrás irányába míg, a másikat erre merőlegesen állítsa be.



7. ábra. Az irányszögfüggvény meghatározása „rotációs scan"-nel.

Рис. 7. Определение функции угла направления с помощью ротационного скена.

Fig. 7. Determination of the angle (φ) function by "rotation scan".

A polarizációs szűrés célja, hogy a jól polarizált jeleket kiemelje a polarizálatlan jelekhez képest. Végrehajtása egyszerűen a csatornáknak a P függvénnyel való súlyozását jelenti.

A felsorolt vizsgálatokkal a telephullám analízis fázisa teljesnek tekinthető, végrehajtása esetén a főfeldolgozó fázisnak olyan anyagot ad tovább, amelynek csatornáin már csak az ismert paraméterű *Evison* hullámok alapmódusa jelenik meg jelként. A továbbiakban ezért a két komponens helyett mérőhelyenként már csak egy csatornával kell dolgozunk.

A főfeldolgozó fázis

A főfeldolgozó fázis során a zajoknak minősülő hullámösszetevőktől megtisztított hullámképből a paraméterek ismeretében a keresett földtani információt kell megkapjuk. Erre több lehetőség is kínálkozik.

A legegyszerűbb lehetőséget, a telephullám vizsgálatokból nyert paraméterek közvetlen felhasználását *Millahn* és *Arnetzl* javasolták *(Millahn & al, 1979)*. Eljárásuk hibája, hogy egyedi szeizmogrammokkal dolgoznak és így a szeizmikában annyira bevált adattöbbszörözés – *stack* – jel-zaj viszony javító hatásáról le kell mondjanak. A telephullám feldolgozás *Buchanan* által leírt *„angol" (Buchanan, 1979)* és a *Klinge* és társai által ismertetett *német (Klinge, Krey, Ordowsky & Reimers, 1979)* útjai arra törekszenek, bár más-más módon, hogy a diszperzió megszüntetésével a felszíni szeizmikus adatfeldolgozó programrendszerek számára megfelelővé tegyék felvételeiket és így a feldolgozást ezekkel lehessen folytatni, illetve befejezni.

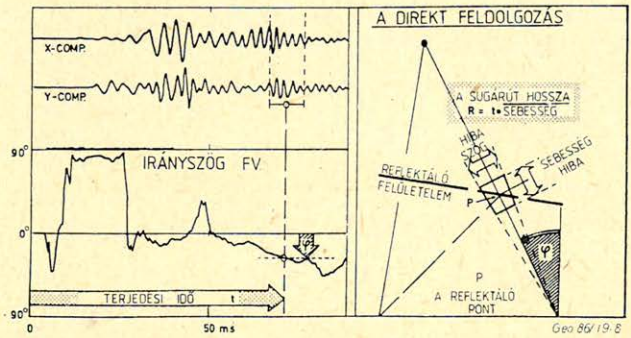
a) *A közvetlen – Millahn – Arnetzl féle – eljárás*

A polarizáció vizsgálatokból ismerjük az egyes beérkezések beérkezési irányát, a beérkezési időkből és a terjedési sebességből pedig számíthatjuk a befu-

tott út hosszát. Így minden egyes beérkezésnél rendelkezésünkre áll a virtuális hullámforrás iránya és távolsága, vagyis a pontos helye, aminek az ismeretében a terítési geometria segítségével meghatározható a reflektáló felületelem helye és iránya azaz méréseink földtani célja.

Finomítható az eljárás a beérkezési irány, a beérkezési idő és a terjedési sebesség valószínű hibáinak figyelembe vételével. Ekkor a reflektor helyét egy szintvonalas valószínűség eloszlással írhatjuk le. A különböző mérőpontokban észlelt beérkezések eloszlásai összegezhetők és így a teljes mérés eredménye is szintvonalas valószínűség eloszlásként áll elő.

Az eljárás elvét a szerzők nyomán *8. ábránk* mutatja be. Így nyert eredménytérképeket *Millahn* és *Arnetzl* közölnek *(Millahn & al, 1980)*.



8. ábra. A Millahn- és Arnetzl-féle közvetlen feldolgozás elve (Millahn & al nyomán).

Рис. 8. Принцип непосредственной обработки по Millahn и Arnetzl.

Fig. 8. The scheme of the direct reconstruction of shotpoint image described by Millahn & Arnetz[1] (after Millahn & Arnetzl).

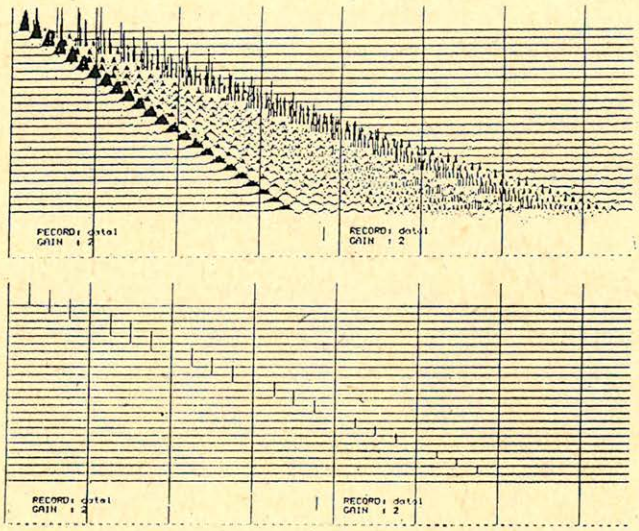
b) *Az angol-eljárás*

Az angol-eljárás lényege, hogy az előző fázisban előkészített felvételekre egy diszperziót megszüntető úgynevezett rekompressziós szűrést alkalmaz.

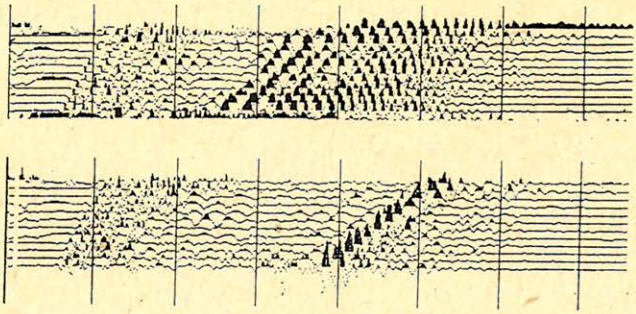
A rekompressziós szűrést frekvenciatartományban hajtják végre *(Booer, Chambers&Mason, 1977)*. A szűrés arra épül, hogy míg impuzusszerű jelnél az $\omega(k) = ck$ összefüggésben — ahol ω a körfrekvenciát, k a hullámszámot és c a fázissebességet jelenti — a c konstans, addig diszperz jelnél egy a diszperziós görbe által meghatározott $c(k)$ függvény. Egy szeizmikus csatorna frekvencia (ω) spektrumából a fenti összefüggésnek megfelelő behelyettesítéssel kapható meg a csatorna hullámszám (k) spektruma. Impulzusszerű jelnél az áttérés a spektrum alakján nem változtat, csak a független változó tengelyét skálázza át egy konstans (c) szorzóval. Diszperzjel esetén az áttérés a spektrum alakját is megváltoztatja. A csatorna hullámszám spektrumáról egy tetszőleges — impulzusszerű jelnek megfelelő — konstans c segítségével térünk vissza a frekvencia spektrumra, majd magára a csatornára.

A rekompressziós szűrés hatását *9. ábránk* mutatja be. A rekompressziós szűrés után a felvételek már ugyanúgy kezelhetők, mint a felszíni reflexiós szeizmikus

felvételek. A további feldolgozás során az angol út általában a *migration before stack* műveleti sorrendet követi *(Buchanan, 1979; Mason & al, 1980; Buchanan & al, 1981)*.



a



Geo 86/19-9

b

9. ábra. A Booer-, Chambers- és Mason-féle rekompressziós szűrés hatása szintetikus (a.) és valód telephullám (b.) felvételen.

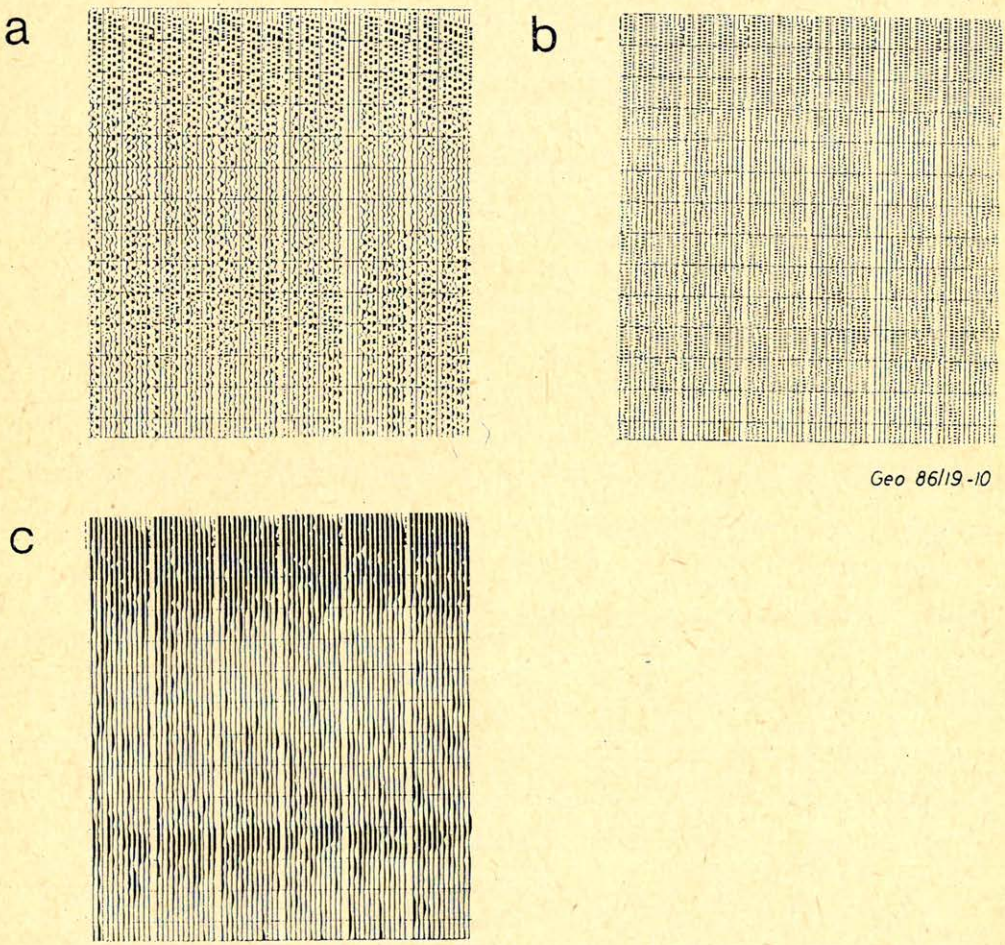
Рис. 9. Результаты рекомпрессионной фильтрации Booer, Chambers и Mason на синтетическую (а) и на наблюденную (б) сейсмограмму каналовых волн.

Fig. 9. The effect of the recompression filter (described by Booer, Chambers & Mason) on a synthetic Evison wave record (a.) and on a real in-seam seismogram.

Megjegyezzük még, hogy a rekompressziós szűrésnek időtartománybeli megoldása is ismert *(Marschall & Schott, 1981)*.

c) *A német-eljárás*

A német út azt tűzte ki célul, hogy a telephullám reflexiós méréseket kizárólag a hagyományos felszíni szeizmikus reflexiós feldolgozás eszközeivel dolgozza fel. Annak ismeretében, hogy a reflektált energia főként csak a telephullám



10. ábra. Telephullám felvételek átalakítása a „német út" szerint. Az eredeti felvételek (a.), a felvételek alulvágó szűrés után (b.) és a szűrt felvételek burkoló képzés után.

Рис. 10. Преобразование сейсмограмм каналовых волн «по немецкому способу». Исходные сейсмограммы (а), после фильтрации нижних частот (в), после проведения огибающей кривой (с).

Fig. 10. Processing of in-seam seismic records on the "german" way; the original records (a.), the records after low-cut filtering (b.) , the filtered records after the computation of envelopes (c.).

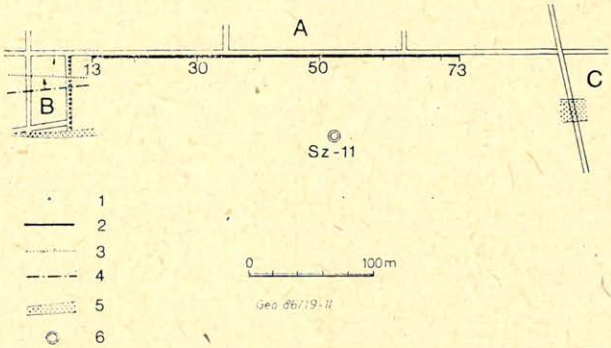
magasfrekvenciás összetevőiből áll, a főfeldolgozó fázis első lépéseként alulvágó szűréssel eltávolítják a felvételekből azokat a frekvenciákat, amelyek alacsonyabbak az Airy-fázis frekvenciáinál. A szűrés eredményeként a diszperzív jelalak alacsonyfrekvenciás eleje eltűnik, csak az Airy frekvenciák magasfrekvenciás csomagja marad meg, ezért a szűrt felvételeken végrehajtott burkoló képzéssel gyakorlatilag impulzusszerű jelekhez jutnak. Az így nyert szeizmogramok már a szokásos módon kezelhetők. *10. ábránk* egy telephullám-felvétel átalakítását mutatja be.

Az *angol* és a *német* útat összehasonlítva meg kell említeni, hogy a német út igen alacsonyfrekvenciás jeleket, vagyis korlátozott felbontóképességű szizmogrammokat eredményez, ezzel szemben annyira érzéketlen a paraméter meghatározások hibáira, hogy ismert területen a telephullám analízis fázisa el is hagyható. Az angol út dekompressziós szűrése jobb felbontóképességet biztosít ugyan, de nagyon érzékeny a diszperzió analízis pontatlanságára.

Gyakorlati példák

A hazai telephullámmérések megindításakor a szakirodalomból ismert összes eljárás bevezetésére és kipróbálására törekedtünk. A mérési tevékenység rutinná válásával együtt azonban egyre szigorodott a gyors eredményszolgáltatás követelménye és ez mindinkább egyértelművé tette a felszíni szeizmikus feldolgozás nagy programm választékára és évtizedes tapasztalatára építő német út előnyeit. Így a következőkben a telephullám reflexiós módszer gyakorlati alkalmazását bemutató példáinknál ezt a feldolgozást használtuk.

11. ábránk egy mérés helyszínrajzát mutatja be. A mérés feladata egy, a magasabb szintekről már ismert vető helyzetének kimutatása, illetve annak megvizsgálása volt, hogy a *B* és *C* jelű vágatokban megfogott andezit telérek be-



11. ábra. Első mérési példánk helyszínrajza. (1: robbantópont; 2: a mérés helye; 3:1 m-nél kisebb vető; 4:1 és 2 m közötti vető; 5: andezit áttörés; 6: kutatófúrás)

Рис. 11. Схема наблюдения первого примера. (1: пункт взрыва, 2: место приема, 3: тектоническое нарушение амплитудой менше 1 м, 4: тектоническое нарушение амплитудой 1–2 м, 5: прорыв андезита, 6: разведочная буровая скважина).

Fig. 11. Location map of the first field example; 1: shotpoint, 2: receiver spread, 3: fault (throw is less than 1 m), 4: fault (throw is graeter than 1 m but ess than 2 m), 5: andezite dike, 6: borehole.

nyúlnak-e a mérési területre. Kérdéses volt még az *Sz – 11* jelű fúrásnak a vetőhöz viszonyított helyzete is.

A méréseket az *A* vágatban *5* m-es szondatávolsággal, *6*-szoros fedésű, kétirányú, külsőlövéses rendszerben végeztük, az offset mindkét irányban *27,5* m volt. Átvilágításra a *B* vágatból nyílott lehetőségünk, erre alapoztuk a sebesség analízist.

A mérési anyagok feldolgozását a német séma szerint időszelvény szintig végeztük el, *12. ábránk* mutatja be az eredményként kapott szelvényt. A szelvényen a vető határozott beérkezéssel jelentkezik, a vető előtti szelvényszakasz a szelvény elejétől eltekintve tiszta, így elmondhatjuk, hogy az andezit telérek valószínűleg nem nyúlnak be a lemért területre. Kivételt csak a szelvény *25 – 30* karószámú szakasza képez, ahol a *B* vágatból ismert telér folytatásában egy rövid beérkezés jelentkezik, ami feltehetően egy pillér szerű andezit áttörést jelez. A vető helyének kijelölésével a szelvény a fúrással kapcsolatos kérdést is egyértelműen megválaszolja. A szelvény alapján szerkesztett eredménytérképet a *13. ábra* mutatja be.

A következő példa helyszínrajza a *14. ábrán* látható. A vágattal, amelyben a mérés folyt, a bánya egy új tektonikai blokkot nyitott meg, a mérő vágat az ismert határvető mentén futott. A mérés feladata a következő párhuzamos nagyvető távolságának és irányának meghatározása volt.

A mérést *3,2 m*-es szondaközzel, 6-szoros fedésű egyirányú külsőlövéses rendszerben hajtottuk végre. Az offset *8* m volt.

A területen a *B* jelű vágatból lehetőség nyílott átvilágító mérések végzésére is, így a feldolgozás teljes ciklusát végre lehetett hajtani. *15. ábránk* egycsatornás csoportsebesség vizsgálatokat mutat be különböző forrásponti távolságú csatornák sorozatára. A vizsgálat érdekessége, hogy nem csak a csoportsebesség görbére, hanem a magasfrekvenciák elnyelődésének távolságfüggésére is információt szolgáltat és így fontos támpontot ad a szűréshatárok megválasztására egy egyébként nem vizsgált szempont szerint is.

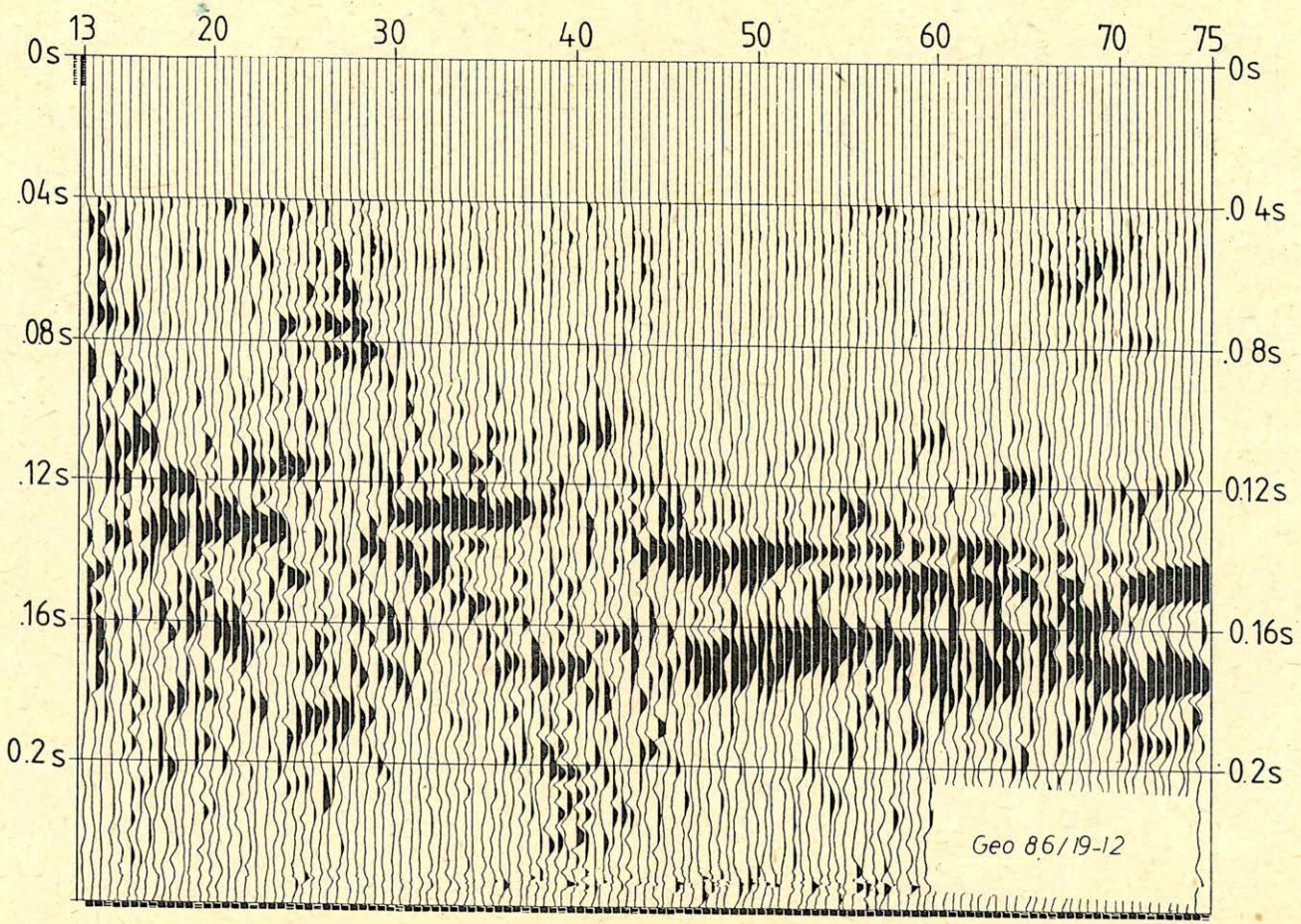
A feldolgozás eredményét *16. ábránk* mutatja. A szelvényen két határozottan felismerhető reflexiós beérkezés jelentkezik. A szelvény elején a kb. *150* ms-nál jelentkező első beérkezés erős amplitúdója jelentősebb elvetési magasságra utal, ezen a szakaszon így a mögötte levő vető alig vehető ki takarása miatt. A szelvény *125*-ös pontjától az első beérkezés amplitúdójának csökkenése az elvetési magasság csökkenését jelzi, amit az is valószínűvé tesz, hogy mögötte kb. *260* ms körül egyre határozottabban jelentkezik a valószínű határvetőre utaló második beérkezés.

17. ábránk a mérés eredményeinek értelmezését mutatja a mérések óta végzett vágathajtások eredményeivel.

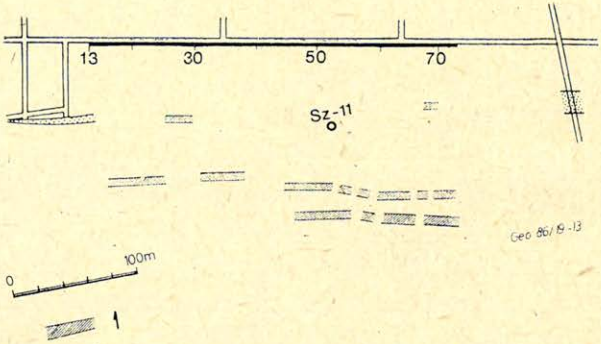
Összefoglalás és következtetések

Dolgozatunk két részében a szeizmikus telephullám-kutatásokról kívántunk összefoglaló képet adni úgy, hogy közben bemutattuk a telephullám-kutatások hazai helyzetét és eredményeit is. Reméljük, hogy gyakorlati példáink meggyőzően bizonyítják a geofizika ezen fiatal ágának jelentőségét.

Végezetül köszönjük a Nógrádi Szénbányáknak és a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetnek, hogy együttműködésükkel és közös támogatásukkal lehetővé tették az előzőekben bemutatott eredmények megszületését.



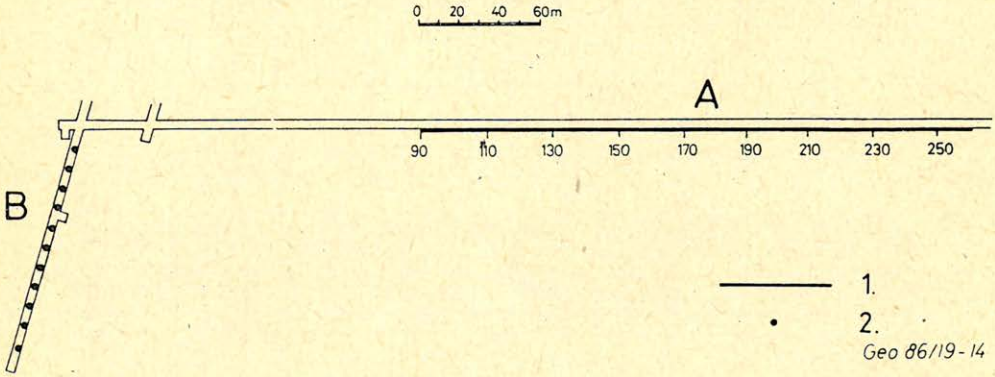
12. ábra. Első mérési példánk időszelvénye.



13. ábra. Első mérési példánk eredménytérképe. (1: reflektáló felület)

Рис. 13. Карта результатов первого примера (1: поверхность отражения).

Fig. 13. The result of the first example; 1: reflecting interface.



14. ábra. Második mérési példánk helyszínrajza. (1: a mérés helye; 2: robbantópont)

Рис. 14. Схема наблюдения второго примера (1: место наблюдения, 2: пункт взрыва).

Fig. 14. Location map of the second field example; 1: receiver spread, 2: shotpoint.

IRODALOM

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

Asten, M. V., Drake, L. A. & Edwards, S. A., 1984, In-seam seismic Love wave scattering modeled by finite-element method, Geophys. Prosp. 32, 649–661.

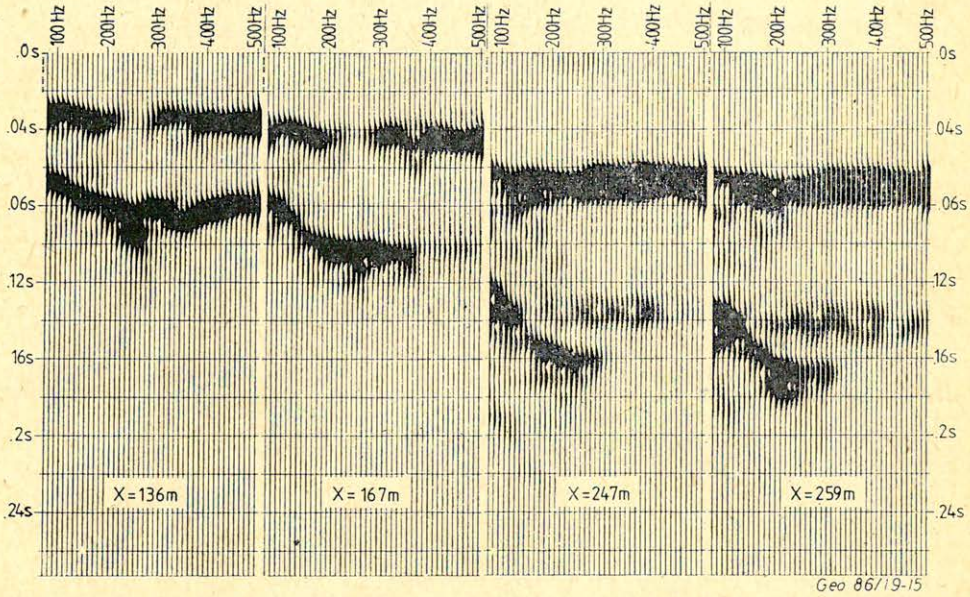
Bodoky, A. & Bodoky, T., 1983, Preliminary results of numerical modelling of seam waves, Geophys. Transactions 29, 129–140.

Booer, A. K., Chambers, J. & Mason, I. M., 1977, Fast Numerical Algorithm for the Recompression of Dispersed Time Signals, Electronic Letters 13, 453–455.

Brentrup, F. K., 1970, Seismische Vorfelderkundung zur Ortung tektonischer Störungen in Steinkohlenbergbau, Glückauf 106, 933–938.

Buchanan, D. J., 1979, The Location of Faults by Underground Seismology, Colliery Guardians 227, 419–427.

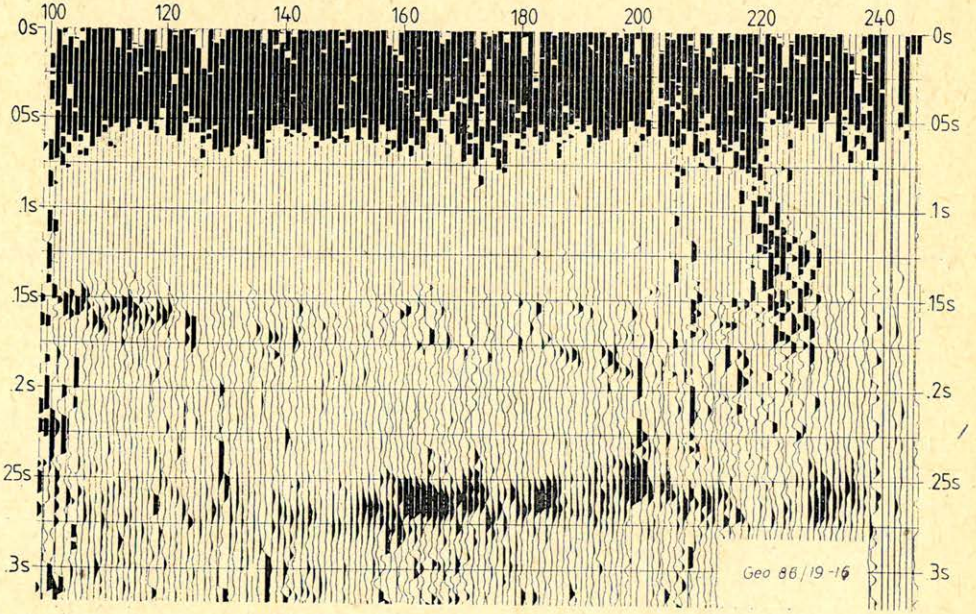
Buchanan, D. J., Davis, R., Jackson, P. J. & Taylor P. M., 1981, Fault Location by Channel Wave Seismology in United Kingdom Coal-Mines, Geophysics 46, 994–1002.



15. ábra. Csoportsebesség vizsgálatok a második példa anyagán.

Рис. 15. Анализ групповых скоростей на материалах второго примера.

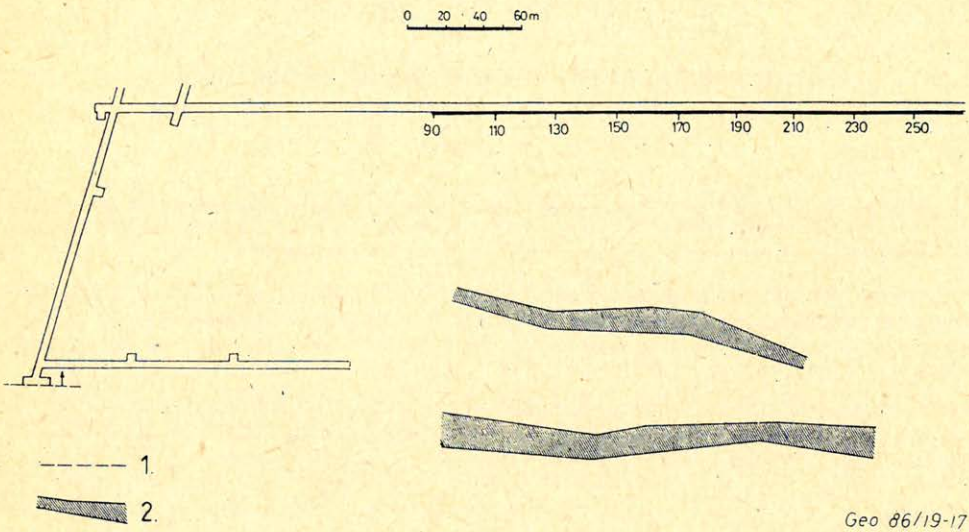
Fig. 15. Group velocity analysis on the records of the second field example.



16. ábra. Második mérési példánk időszelvénye.

Рис. 16. Временный разрез второго примера.

Fig. 16. The time section of the second field example.



17. ábra. Második mérési példánk eredménytérképe. (1: bányászatilag feltárt határvető; 2: reflektáló felület)

Рис. 17. Карта результатов второго примера (1: граничное тектоническое нарушение выявленное при проходках; 2.: поверхность отражения).

Fig. 17. The result of the second example; 2: reflecting interface, 1: boundary fault found after the measurements.

Buchanan, D. J., 1986, The Scattering of SH-Channel Waves by a Fault in a Coal Seam. Geophys Prosp. 34, 343 – 365.

Dziewonski, A., Bloch, L. & Landisman, M., 1969, A Technique for the Analysis of Transient Seismic Signals, Bull. of the Seismological Soc. of America 59, 427 – 444.

Kerner, C. & Dresen, L., 1985, The influence of dirt bands and faults on the propagation of Love seam waves, Journal of Geophys. 57, 77 – 89.

Klar, J. & Arnetzl, H., 1978, A New Firedamp-Proof Instrument for In-Seam Seismics in Coal Mining, 40th EAEG Meeting, Dublin.

Klinge, U. J., Krey, Th., Ordowsky, N. & Reimers, L., 1979, Digital In-Seam Reflection Surveys and their Interpretation by Classical Data Processes Only, 41th EAEG Meeting, Hamburg

Korn, M. & 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.

Marschall, R. & Schott, W., 1981, Treatment of Dispersive Wavetrains, 43th EAEG Meeting, Venezia

Mason, I. M., Buchanan, D. J. & Booer, A. K., 1980, Channel Wave Mapping of Coal Seams in the United Kingdom, Geophysics 45, 1131 – 1143.

Mcmechan, G. A. & Yedlin, M. J., 1981, Analysis of Dispersive Waves by Wave Field Transformation, Geophysics 46, 869 – 874.

Millahn, K. O., 1980. Flötzwellenseismik – Stand und Entwicklung, Prakla-Seismos Report 2 + 3/80, 19 – 30, Hannover

Millahn. K. O. & Arnetzl, H., 1979, Analysis of Digital In-Seam Reflection and Transmission Surveys Using Two Components, 41th EAEG Meeting, Hamburg

Millahn, K. O. & Arnetzl, H., 1980, Some Aspects of Two-Component In-Seam Seismology, Festschrift Theodor Krey, Prakla-Seismos GMBH, Hannover