

Kis offsetű VSP mérések feldolgozása

GÖNCZ GÁBOR*—KÉSMÁRKY ISTVÁN*—VÉGES ISTVÁN*

A dolgozatban ismertetjük a Geofizikai Kutató Vállalatnál alkalmazott VSP feldolgozás célkitűzéseit, fontosabb lépéseit. Az egyes feldolgozási módszerek hatásosságát hazai VSP szelvényekkel illusztráljuk.

В статье описываются способы и основные этапы обработки ВСП в Геофизическом разведочном предприятии. Эффективность способов обработки иллюстрируется на примерах проведенных в Венгрии ВСП

This paper describes the aims and the most important steps of VSP processing applied at the Geophysical Exploration Company. The feasibility and efficiency of the methods are illustrated on VSP sections measured in Hungary.

Bevezetés

A VSP mérések során egy mélyfúrásban különböző mélységben elhelyezett geofonnal észleljük a szeizmikus hullámteret. A gerjesztés rendszerint a felszínen történik. Ellentétben a hagyományos, felszíni reflexiós mérésekkel — ahol a geofonok is a felszínen vannak és így csak a felfelé haladó reflexiókat észlelik — a VSP mérésnél a teljes hullámteret regisztráljuk, azonban „vertikális terítéssel”. A vertikális szelvényen követni tudjuk a lefelé haladó, direkt hullámot és az általa keltett le- és felfelé haladó további hullámkomponenseket is. Vizsgálhatjuk a lefelé haladó direkt hullám változásait a terjedés során, a reflexiók kialakulását a reflektáló felülethez közeledve, a többszörös hullámok keletkezését és „sorsát” terjedésük során. Információt kaphatunk a közege jellemző reflexivitás függvényéről. Becsülhetjük a hullámok csillapodását okozó fizikai paramétereket, meghatározhatjuk a P és esetleg az S típusú hullámok sebességét.

Ezen túlmenően a VSP szelvények lehetőséget adnak arra, hogy a kvantitatív kapcsolatot teremtünk a karotázis szelvények és a mélyfúrás közelében mért, felszíni reflexiós időszelvények között

Ezeket az ígéretesen hangzó eredményeket azonban csak hosszadalmas és igényes adatfeldolgozással lehet elérni. A nyers VSP adatokon ugyanis a reflexiók és a többszörösök a direkt hullámhoz képest sokkal gyengébbek. A nyers adatokat koherens és véletlen zajok terhelik. Az időzítési hibák, a jelalak változása a gerjesztés során, a jel közelfelszíni többszöröződése, esetleg intenzíven jelentkező csőhullámok stb. mind zavarják a kiértékelhetőséget.

Az adatfeldolgozás során nem alkalmazunk különleges, csak a VSP feldolgozáshoz használatos műveleteket. A feldolgozási eljárások jól ismertek a felszíni szeizmikus mérések feldolgozásából, azonban némelyiket módosítani kell a VSP mérések jellegzetességeinek megfelelően.

Ebben a dolgozatban olyan feldolgozási lépéseket foglalunk össze, amelyek célkitűzése egyelőre korlátozott (cél a kinematikai kiértékelhetőség) és alkalmazkodik a GKV által végzett VSP mérési módszerhez. Jelenleg csak kis offsetű VSP méréseket végzünk, robbantásos gerjesztést alkalmazunk és a hullámtér vertikális komponensét regisztráljuk csupán. A feldolgozásunk ehhez alkalmaz-

* Geofizikai Kutató Vállalat, Budapest.

kodik. A feldolgozás során felhasználjuk a szondageofonon kívül a mélyfúrás és a robbantólyuk közelében, egy közel 60 m mély lyukban elhelyezett ún. monitor geofon és a robbantóponti felidő geofon adatait is. Mivel a robbantópont(ok) és a mélyfúrás távolsága (offset) a kutatott mélységekhez képest kicsi, elsősorban a mélyfúrás környezetét vizsgáljuk a közel vertikálisan lefelé és felfelé haladó hullámokkal.

Reméljük, hogy a dolgozat felkelti a szeizmikus adatfeldolgozásban, de a kiértékelésben dolgozó kollégák érdeklődését is. A VSP feldolgozásról számos publikáció jelent már meg angol nyelven, melyek közül több széleskörűen tárgyalja a témát ([1], [2], [3]). Idéznénk itt még egy gondolatot *M. W. Lee* és *A. Balch* közös cikkéből [2], melyet fontosnak tartunk:

„A VSP feldolgozási módszerek ismerete érdekes és értékes lehet azok számára is akik elsősorban a kiértékeléssel foglalkoznak. A jó kiértékeléshez ugyanis szükséges a feldolgozás hatásainak valamilyen fokú ismerete is. A legjobb feldolgozást „értelmező feldolgozásnak” nevezhetnénk ezért. Feldolgozunk egy keveset majd értelmezzük, aztán ismét feldolgozunk és értelmezzük, mindaddig, amíg a kívánt kiértékelési eredményt elérjük.”

A feldolgozásunk célkitűzése

A jelenlegi feldolgozásunk célja az, hogy a nyers VSP adatokat a geometriai szeizmika szemszögéből – azaz kinematikailag – jól kiértékelhetővé tegyük. Ezt azonban úgy akarjuk megvalósítani, hogy csak a legfontosabb hullámkomponensekre koncentrálunk és azok relatív amplitúdóviszonyait lehetőség szerint meg kívánjuk tartani.

Meg akarjuk őrizni a feldolgozás során a jelek teljes spektrális tartalmát és a hullámterjedés során bekövetkező jelalakváltozásokat is addig a pontig, amíg ez hasznos lehet.

Nagyon fontos feldolgozási cél a lefelé haladó, direkt hullám menetidőgörbéjének minél pontosabb meghatározása. Fontos a felfelé haladó egyszeres reflexiók meghatározása, kiemelése, hiszen ezeket tudjuk összehasonlítani a közelben mért időszelvények reflexióival. Ezek a feldolgozási célkitűzések szerénynek tűnhetnek, azonban a VSP adatok felhasználásának még csak a kezdetén tartunk.

Mivel a VSP adatok kútról-kútra különböznek a változó gerjesztési feltételek, a mélyfúrások különböző kiépítettsége miatt, minden VSP mérés feldolgozása eltérő.

Az alábbiakban a tipikusnak mondható feldolgozási lépések sorozatát ismertetjük. Az egyes feldolgozási lépések hatását hazai VSP mérések feldolgozási eredményeivel illusztráljuk.

A feldolgozást a GEOMAX programrendszerrel végezzük. Felhasználjuk ennek során a vásárolt programokat és néhány új, a VSP feldolgozás céljaira kifejlesztett programot is, melyek a GKV Fejlesztési Osztályán készültek. Az egyes feldolgozási módszerek ismertetésénél kitérünk a velük kapcsolatos megfontolásokra és esetleges problémákra is.

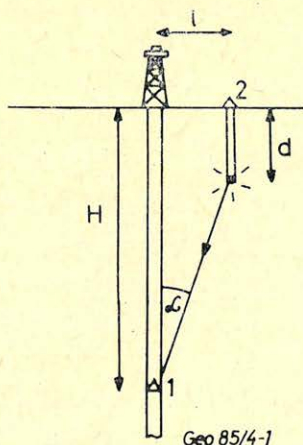
Előfeldolgozás

Az 1 inch-es mágnesszalagra regisztrált terepi felvételeket először demultiplikáljuk erősítés függvény alkalmazása nélkül. Itt tehát megőrizzük az eredeti amplitúdókat. A feldolgozás végig lebegőpontos számábrázolással történik.

A mérési jegyzőkönyv alapján már itt mód van arra, hogy hibás felvételeket kihagyjunk. Ezután a teljes mérési anyagról nagy léptékű, jó felbontású kijátszást készítünk. Ennek az a célja, hogy a felvételek minőségét ellenőrizzük, kiválasszuk az esetleges ismétlésekből a további feldolgozásra alkalmas felvételeket, meghatározzuk az időzítési hibákat, stb. A csatornákat ezután ellátjuk a mérési paramétereket leíró és az adatmozgatáshoz szükséges fejlécekkel. A demultiplikat, teljes mérési anyagról archív mágnesszalagot is készítünk.

Időkorrekciók

A felszíni reflexiós méréseknél robbantóponti és geofonponti statikus korrekciót kell végezni, hogy a később meghatározandó reflexiós beérkezési időből el-távolítsuk a mérés technika (változó robbantóponti mélységek) és a felszíni dombor-zati viszonyok hatását. A robbantásos gerjesztéssel történő VSP méréseknél is szükség van időkorrekcióra.



1. ábra. VSP mérés sémája

Рис. 1. Схема наблюдений ВСП

Fig. 1. Scheme of a VSP measurement

Az ideális VSP mérés az lenne, ha a gerjesztések a mélyfúrás szájánál a fel-színen történének. Valójában attól l távolságra és d mélységben történnek, ahogy azt az 1. ábra mutatja. Ez módosítja a direkt hullám beérkezési idejét a H mélységben levő 1. szondageofonon. Az a tény, hogy a robbantás d mélységben történik, a beérkezési időt csökkenti. Az l offset miatt pedig a direkt hullám nem vertikális irányban halad lefelé, ami a beérkezési időt növeli.

Ezeket a hatásokat úgy távolítjuk el közelítőleg, hogy először minden csa-tornára olyan statikus időtolást hajtunk végre, mely a direkt hullámot vertiká-lisba transzformálja. Ennek nagysága:

$$\Delta T = T_d \cdot (1 - \cos \alpha),$$

ahol:

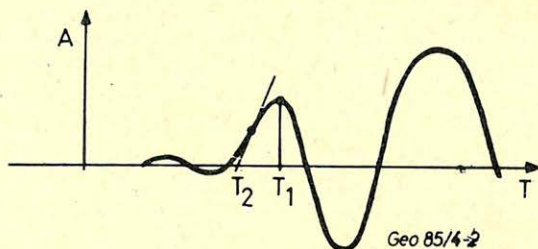
$$\cos \alpha = \frac{H - d}{\sqrt{(H - d)^2 + l^2}} \quad (1)$$

és T_d a csatornán a direkt hullám eredeti első beérkezési ideje. Ezután a csatornákat a 2. geofonból meghatározott robbantóponti felidőkkel a felszínre korrigáljuk. Ezekkel az időtolásokkal megfelelő közelítéssel vertikálisba és felszínre transzformáltuk a direkt hullámot a számunkra érdekes kutatási mélységekben, azaz ahol H/d , ill. H/l már nagyobb 10-nél. A felszínhez közeledve tapasztalataink szerint a szondageofon egyébként is egyre zajosabbá válik és ezért a feldolgozásból általában elhagyjuk a felszín közelében mért csatornákat.

A fent említett időtolások a direkt hullámra megfelelőek. Mi történik alkalmazásukkor a sokkal bonyolultabb utat befutott reflexiókkal és többszörösökkel? A felidő korrekció ezekre is szükséges, s ezt el is végeztük. Az (1) időtolás nagysága azonban csak a direkt hullámra vonatkozik. A reflexiókra és a többszörösökre sokkal bonyolultabb és időtől függő korrekciót kéne végezni. Az (1) időtolás jóllehet nem pontos ezekre a hullámokra, de megfelelő irányú ezekre is. A mélység növekedésével az elkövetett hiba kis offset esetén gyorsan lecsökken 1 msec alá és ezért nem foglalkozunk bonyolultabb időkorrekciókkal.

Az első beérkezési idők meghatározása, időtranszformációk

Az első beérkezési idő meghatározására az *N. Ricker* által javasolt módszert [4] alkalmazzuk. A módszert a 2. ábrán szemléltetjük. Először vizuálisan meghatározzuk az első jelentős szélsőérték idejét (T_1). Ezt az időértéket aztán egy program pontosítja, úgy hogy meghatározza a szélsőérték előtti inflexiós pontba húzott érintő és az időtengely metszési pontjához tartozó T_2 időértéket 1/8 msec pontossággal.



2. ábra. Az első beérkezés idejének meghatározása

Рис. 2. Определение времени первого вступления

Fig. 2. Determination the time of the first break

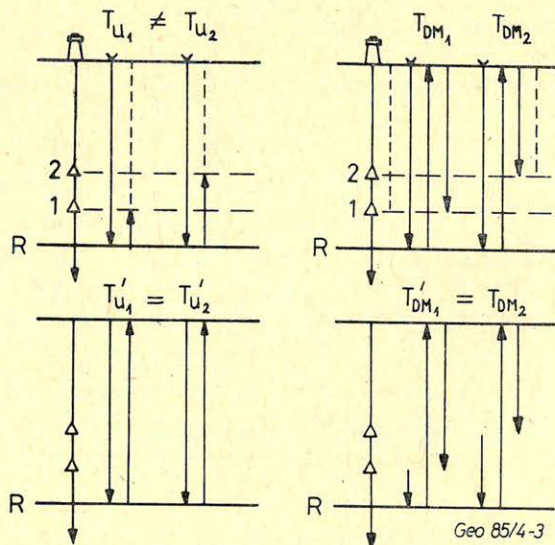
Ezt a módszert használjuk az időkorrekciókhoz szükséges felidők és a direkt hullám eredeti beérkezési időinek (T_d) meghatározására is.

A korrigált első beérkezési időből egyszerűen számítható az átlagsebesség a mélység függvényében. Ugyancsak ezekből az időértékekből képezhetők a szeizmikus hullámok áthaladási idői is akár a mélységbeli mintavételi távolságnak (pl. $\Delta z = 10$ m) megfelelő szakaszonként. Az áthaladási időkből pedig becsülhetők a közeg intervallumsebességei [5]. Az első beérkezési időket a feldolgozás további lépéseiben is felhasználjuk még.

Ha a különböző mélységekben észlelt VSP csatornákat az egyes csatornákon meghatározott első beérkezési idővel késleltetjük (statikus időtolás) akkor sík, horizontális rétegződés és kis offset esetén az így kapott csatornákon az összes

felfelé haladó hullám olyan időnél helyezkedik el – függetlenül attól, hogy milyen mélységben mértük a csatornát – mintha a geofont a felszínen helyeztük volna el. Ilyen időtranszformáció után a VSP szelvényen látható reflexiók ugyanolyan kétszeres vertikális időnél találhatók, mint a közeli, felszíni reflexiós időszelvényeken. Az így transzformált VSP szelvény használható majd a korrelációra.

Ha pedig minden VSP csatornát a hozzátartozó első beérkezési idővel siettetünk, akkor a lefelé haladó felszíni többszörös hullámok tolódnak ahhoz a kétszeres, vertikális időhöz, amelynél keletkeztek, függetlenül attól, hogy milyen mélységben mértük a csatornát. Ilyen transzformáció után korrelálhatjuk a felszíni többszörösöket a VSP szelvény egyszerű reflexióval és a közeli, felszíni reflexiós szelvényeken esetleg látható megfelelő többszörösökkel. Ezt a kétfajta időtranszformációt kívánjuk szemléltetni a 3. ábrával. Az egyszerűség kedvéért az 1 és 2 geofonhelyezethez tartozó különböző hullámutakat egymás mellé rajzoltuk, szétválasztva a le- és felfelé befutott távolságokat (vastag vonalak). A szaggatott vonalak az időtolással a hullámutakból elvett (siettetés) és hozzáadott (késleltetés) szakaszokat jelölik. T_{u1} , T_{u2} , T'_{u1} , és T'_{u2} -vel jelöltük az 1 és 2 geofonhoz tartozó reflexiós beérkezési időket a transzformáció előtt és után. A megfelelő T_{DM} -kel a lefelé haladó felszíni többszörös beérkezési idejét jelöltük.



3. ábra. Időtranszformációk

Рис. 3. Временные преобразования

Fig. 3. Time transformations

Az ábra alsó részén látható, hogy a transzformáció után a hullámutak és a megfelelő futásidők a geofonhelyezettől függetlenné válnak. Az ilyen időtranszformációk után kapott VSP szelvényeken a felfelé, illetve lefelé haladó hullámok idői már nem függenek a „vertikális terítéstől”, hanem csak a közegtől és előnyösen használhatók a kiértékeléskor. Az időtranszformációkat a továbbiakban többször alkalmazzuk, mint ez a későbbi ábrákon látható.

A feldolgozás és az értelmezés során feltételezzük, hogy a mérés végig azonos robbantási jelalakkal történik. Ez a feltétel biztosítaná a lefelé és felfelé haladó hullámok optimális korrelálhatóságát. Sajnos, különösen robbantásos gerjesztés esetén a jelalakok azonossága sohasem érhető el. A jelalakok megváltozása különösen a robbantólyuk váltásoknál szembevetendő. Az azonos lyukból végzett robbantásoknál pedig a „lyuk kifáradás” jelensége okoz szisztematikus jelalakkiváltozást.

A robbantási jelalakok közti különbségek eltávolítására a lyukgeofonnal együtt, de a robbantópont közelében felvett ún. monitor geofon regisztrátum ismeretében van lehetőség. A monitor geofont általában a mélyfúrás mellett a robbantólyuk közelében mélyített (kb. 60 m) lyuk talpán helyezük el és a lefelé induló jelalakot kívánjuk vele regisztrálni. A mérés során ez a geofon végig ezen a helyen marad és ezért jelalakjai egymástól főleg a robbantási jelalak eltérései miatt különböznek.

A 4. ábra felső részén a Kismarja 30 mélyfúrásban végzett VSP mérés monitor geofon csatornáit láthatjuk. A mérés ezen szakaszán három robbantólyukat használtunk. A jelalakon jól láthatók a lyukváltások helyei és az azonos lyukból történt gerjesztéseknél a jelalak szisztematikus változása. Az ábra alsó részén a megfelelő lyukgeofon csatornákat – azaz a VSP szelvényt láthatjuk a gömbi szóródás közelítő korrigálása után. A robbantási jelalak változásának hatását jól láthatjuk a lefelé haladó direkt hullámon, de a többi hullámokon is. A kijátaszások konstans erősítéssel készültek (vízszintes tengely mélység, függőleges az idő).

A monitorgeofon csatornákat a következő módon használjuk fel a jelalak különbségek eltávolítására. Először meghatározzuk a monitor csatornákon a jelalakot tartalmazó időablakokat. Az időablakok szélein különböző σ paraméterű Gauss görbének megfelelő csillapítást is alkalmazunk.

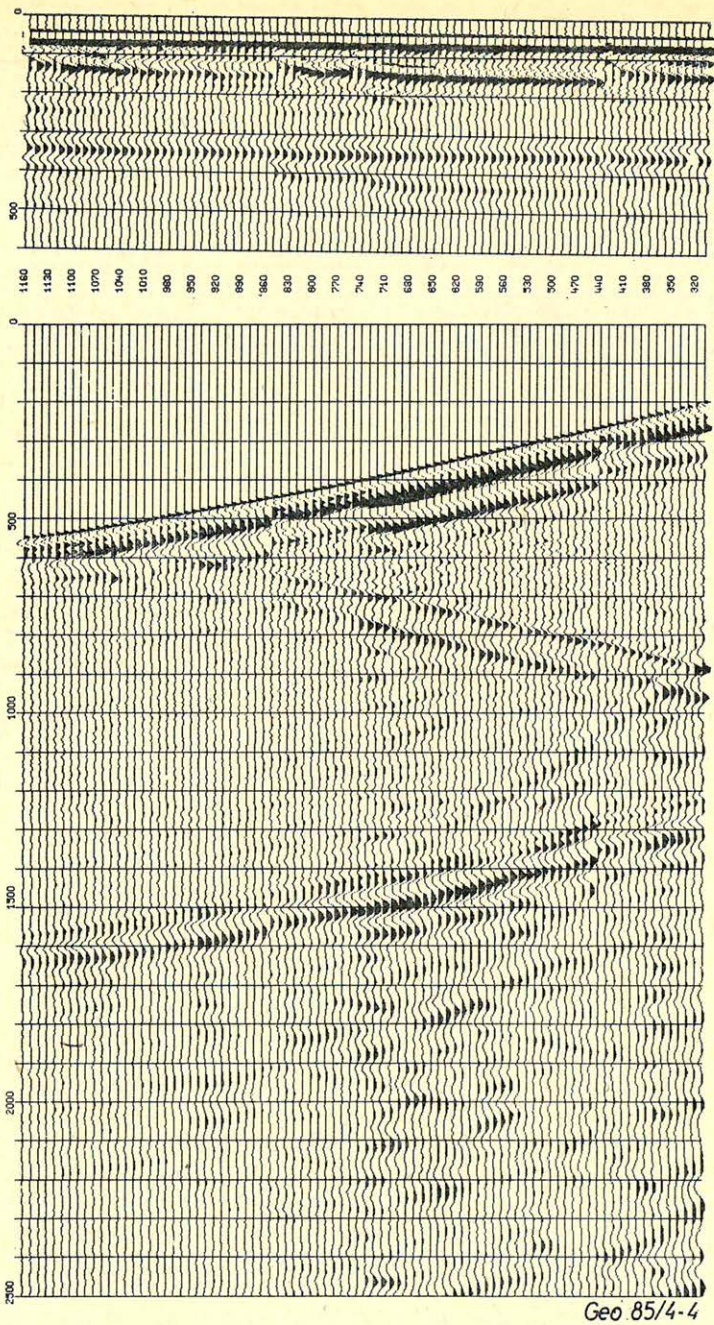
Az így kapott jelalakok közül kiválasztunk egy $m_0(t)$ referencia jelalakot és olyan konvolúciós szűrőt tervezünk, mely képes egy másik adott $m_i(t)$ monitor jelalakot a referencia jellel átalakítani. Ez az alábbi, F átviteli függvényű, determinisztikus szűrővel érhető el (a frekvencia változó jelölését mellőzve):

$$F_i = \frac{M_i \cdot M_0^*}{M_i \cdot M_i^* + \lambda},$$

ahol M_0 a referencia jel Fourier transzformáltja, M_i az i -edik monitor jelalak Fourier transzformáltja (* a komplex konjugált képzést jelenti), λ pedig konstans „fehér zaj” tag, amely stabilizálja a kimenetet.

Megjegyezzük; hogy itt a jelalakok ismerete miatt nem kell sem ezek minimum fázisúságát, sem a reflexivitás függvény „fehér” spektrumát feltételeznünk. A determinisztikus szűrő alkalmazását is éppen ez a többletinformáció teszi lehetővé. A kapott F_i átviteli függvényű szűrőket alkalmazzuk az $m_i(t)$ monitor csatornákra és a nekik megfelelő, velük egyszerre észlelt lyukgeofon csatornákra is.

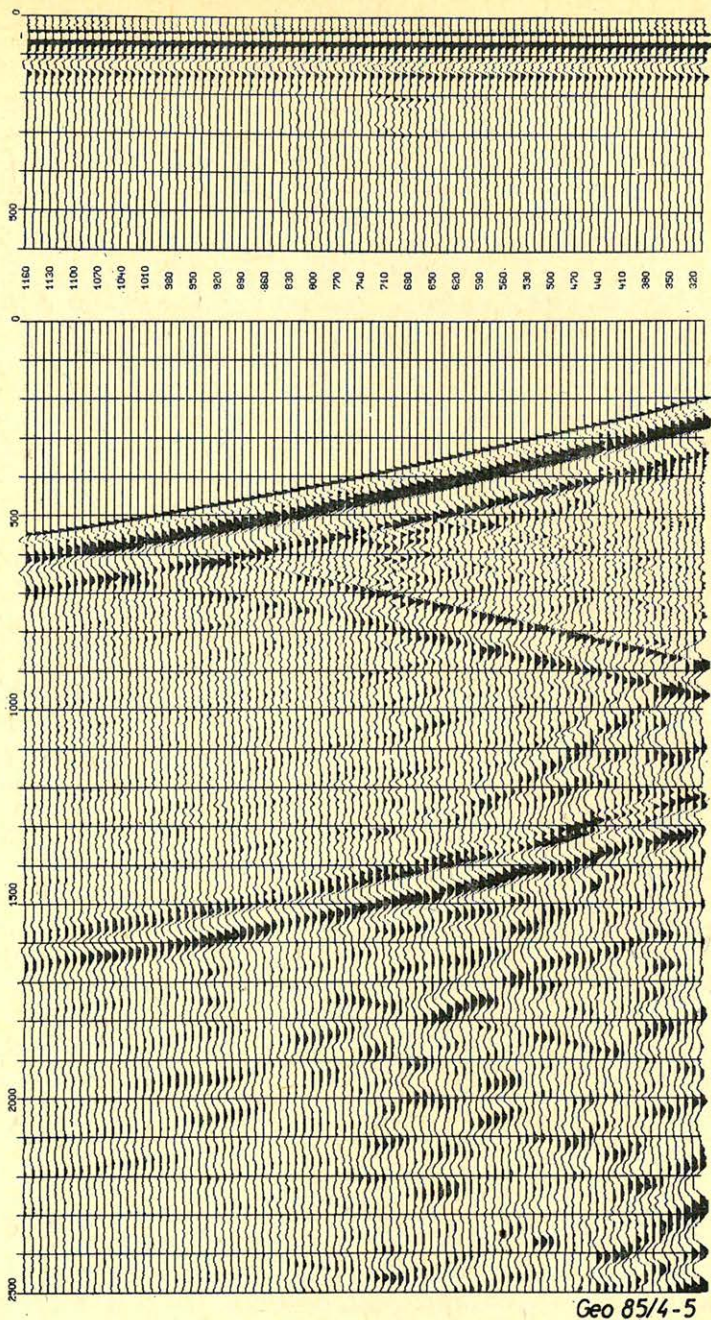
Az 5. ábrán a 4. ábra csatornáit mutatjuk be a jelalak szűrés után. A művelet hatásossága szembevetendő, ha összehasonlítjuk a 4. és 5. ábra felső részén látható monitor csatorna szakaszokat. A művelet előnyös hatása a szűrt VSP szelvényen is jól látszik. A jelalakszűrést optimumszűrő alkalmazásával is megpróbáltuk és a kétféle eredmény között nem tapasztaltunk lényeges eltérést.



4. ábra. Kismarja 30 VSP mérés adatai jelalakszűrés előtt

Рис. 4. Данные ВСП Кишмарья 30 на входе корректирующего фильтра

Fig. 4. Kismarja 30 VSP data before waveshaping



Geo 85/4-5

5. ábra. Kismarja 30 VSP mérés adatai jelalakszűrés után

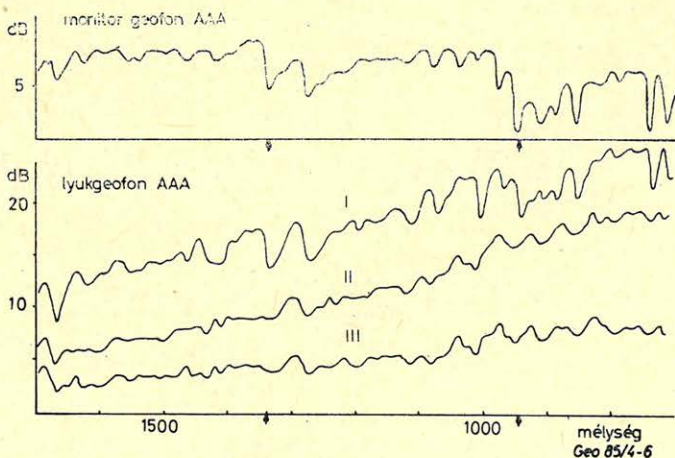
Рис. 5. Данные ВСП Кишмарья 30 на выходе корректирующего фильтра

Fig. 5. Kismarja 30 VSP data after waveshaping

A VSP szelvényeken a hasznos jelek amplitúdói nagy dinamik tartományban (80 – 90 dB) változnak, függnek a lyukgeofon mélységétől és egy mélységnél az időtől. Hasznos jelnek tekintjük elsősorban a direkt hullámot, az egyszeres reflexiókat és esetleg az első felszíni többszörösöket. Ha csak azt a célt tűzzük ki, hogy láthatóvá tegyük ezeket a hullámokat egy kijátszáson, a jelek amplitúdóit módosítanunk kell megfelelő feldolgozással.

A nyers VSP szelvényen az amplitúdó változások részben a geológiai viszonyokkal függnek össze (reflexiós, transzmissziós hatások, abszorpció stb.), ezek hasznos információt hordoznak, részben a méréstechnika okozza ezeket. Ez utóbbiakat kívánatos eltávolítani.

Ha a gerjesztés iránykarakterisztikája nem körszimmetrikus, akkor ez a különböző mélységben észlelt jeleken amplitúdó változást okoz, melynek nincs köze a talajhoz. Körszimmetrikus gerjesztés esetén is, mivel a hullámtér vertikális összetevőjét regisztráljuk, az amplitúdó arányos lesz $\sin \alpha$ -val, ahol $\alpha = \arctg H/l$ (H a geofon mélysége, l az offset). Ez a hatás szintén nem függ a közegtől. E két hatás azonban a kis offset esetén nem jelentős, egyelőre elhanyagoltuk őket.



6. ábra. Átlag abszolút amplitúdó változása a Szeghalom 15 VSP szelvényen

Рис. 6. Изменение средних абсолютных амплитуд на профиле ВСП Сергалом 15

Fig. 6. Variations of the average absolute amplitude on the Szeghalom 15 VSP section

A különböző energiájú gerjesztések szintén olyan amplitúdóváltozásokat okoznak, amit jó eltávolítani. Ezt az amplitúdó ingadozást már a mérés során igyekeznek csökkenteni (azonos robbantólyuk, azonos töltetnagyság). Az ilyen eredetű amplitúdóváltozásokat a jelalakszűrés is hatásosan csillapítja. Ezt illusztrálja a 6. ábra. Az I. és II. görbe a direkt hullám átlag abszolút amplitúdóit jelenti dB-ben kifejezve jelalakszűrés előtt és utána a mélység függvényében. A nyilak a robbantópont váltásoknak felelnek meg. Az ábra felső részén a monitor jelalakok átlag abszolút amplitúdóinak változását láthatjuk a lövésszám függvényében. A jelalakszűrés csillapította az amplitúdó ingadozást.

A hasznos jelek amplitúdó csökkenését leginkább a jól ismert gömbi szóródás okozza. Ez szintén elég kevésbé függ csak a közegetől, a frekvenciától független és csak a hullámok által megtett út hosszától függ. Ahhoz, hogy valamilyen „valódi amplitúdójú” VSP szelvényt kapjunk, ezt a hatást kompenzálni kell. Ezt az amplitúdó szabályozást a reflexiók mérések feldolgozásánál is elvégezzük. Az amplitúdó visszaállításához felhasználhatjuk a vízszintes réteges közegekre érvényes, gömbi szóródást kiegyenlítő formulát [6]:

$$G(T) = \frac{V_{rms}^2(T) \cdot T}{V_1},$$

ahol T a hullám egyszeres futásideje
 V_1 a legfelső réteg sebessége

$$V_{rms}^2(T) = \frac{\sum t_i v_i^2}{T},$$

ahol t_i az i . rétegben az áthaladási idő
 v_i az i . réteg intervallumsebessége.

Ez az erősítésfüggvény a direkt hullám beérkezési idői alapján meghatározott rétegmodell segítségével kiszámítható és alkalmazható. A probléma azonban az, hogy a képletben az egyszeres futásidő szerepel. A különböző mélységekben felvett VSP csatornákon azonban azonos T időnél az egyik csatornán a direkt hullám, a másikon esetleg reflexió vagy többszörös beérkezés helyezkedhet el. Ezek közül csak a direkt hullám futott egyszeres utat, a többi nem. Ezért ez a formula csak a direkt hullám amplitúdószabályozására megfelelő közvetlenül

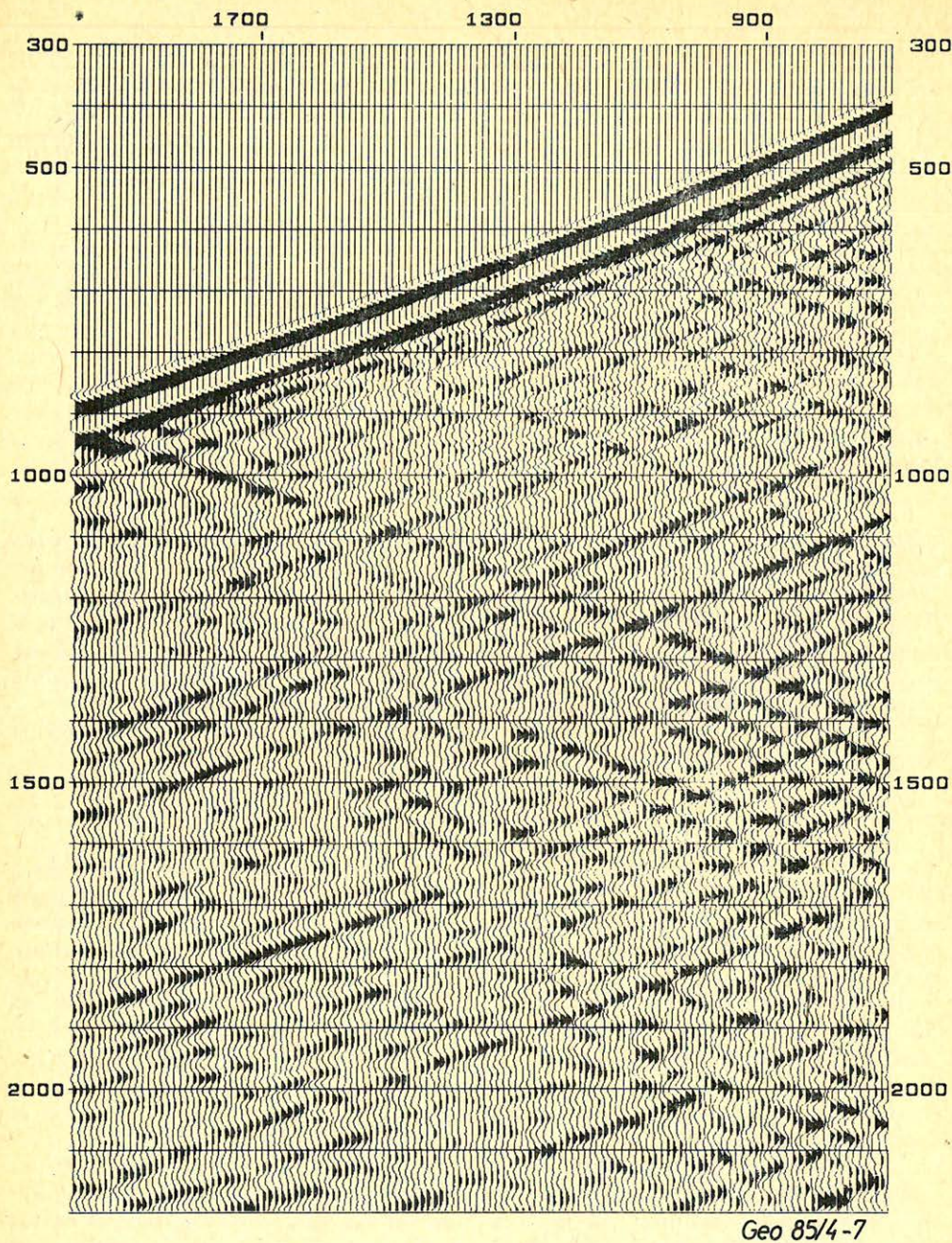
A gyakorlatban azt a módszert alkalmazzuk, hogy az előző formula helyett az alábbi erősítésfüggvényt használjuk:

$$E(T) = A \cdot T^n,$$

ahol T a VSP csatorna időváltozója, A és n pedig tapasztalati konstansok. Az n konstans úgy határozzuk meg, hogy az $E(T)$ függvény inverze jól illeszkedjen a direkt hullám amplitúdó csökkenéséhez. A 6. ábrán a III. görbe a direkt hullám amplitúdó menetét mutatja a jelalakszűrés és az $E(T)$ erősítés alkalmazása után. Ezt az ábrát a Szeghalom 15 mélyfúrás VSP adataiból készítettük. Az e fajta erősítésfüggvény alkalmazása után a VSP szelvényt közelítőleg olyanakként tekinthetjük, mintha síkhullám forrást alkalmaztunk volna. A szelvényen látható relatív amplitúdóviszonyok már csak a közegetől és a hullámok típusától függenek.

Hullámkomponensek szétválasztása kétváltozós szűréssel

A VSP szelvényeken a lefelé és felfelé haladó hullámok bonyolult interferenciás képét látjuk. Mindkét hullámtér hasznos információkat hordoz a közegekről. A felfelé haladó hullámok (főleg az egyszeres reflexiók) különösen fontosak mivel ezek azonosíthatók az időszelvények reflexióival. Ezek azonban általában sokkal gyengébbek, mint a lefelé haladó direkt hullám és többszörösei. Szükség van ezért olyan eljárásra, mely a kétféle irányban haladó hullámokat szétválasztja lehetőleg torzítás nélkül. Ugyancsak szükséges egyes VSP szelvényeken az egyszerű, egycsatornás sávszűréssel el nem távolítható csőhullám és esetleg a nyíró



7. ábra. Szeghalom 15 VSP szelvény jelalakszűrés és erősítés után

Рис. 7. Данные ВСП Сегхалом 15 после корректирующей фильтрации и усиления

Fig. 7. Szeghalom 15 VSP section after waveshaping and gain recovery

és váltóhullámok eltávolítása. Ezek a hullámtípusok a P hullámoktól eltérő látszólagos sebességgel jelentkeznek.

Ha a különböző hullámtípusokat szelektíven, torzítás nélkül szét tudjuk választani – azaz jel/zaj arányukat meg tudjuk növelni – ez lehetővé teszi, hogy pontosan követhessük ezeket a keletkezési helyükig. Ez a lépés ezért igen fontos a VSP feldolgozásban.

A különböző látszólagos sebességű hullámok szétválasztására kétváltozós szűrést alkalmazunk frekvenciatartományban. Elkészítjük a kétváltozós szűrő átviteli függvényét, majd ezzel szorozzuk a VSP szelvény kétváltozós ($f-k_z$) Fourier transzfórmáltját, s az eredményt visszatranszfórmáljuk az eredeti $t-z$ koordináta rendszerbe. Ezt a szűrést egyenlőre azonban csak a teljes lefelé és a teljes felfelé haladó hullámtér szétválasztására használjuk úgy, hogy az eredeti VSP szelvény kétváltozós spektrumának az egyik, majd a másik felét engedjük át. Ilyenkor az áteresztett hullámok nem torzulnak ha teljesül a helyes mintavételezés. A kétváltozós spektrum szűkebb tartományainak áteresztésekor keverőhatást észlelünk. (*Rieber mixing* lásd [1]).

A kétfajta hullámtér teljes szétválasztását a Szeghalom 15 fúrásban mért VSP szelvényen mutatjuk be. A 7. ábra a teljes hullámteret mutatja jelalakszűrés és az erősítés függvény alkalmazása után. A 8. ábra bal oldalán a szétválasztott lefelé haladó, jobb oldalán pedig a felfelé haladó hullámok láthatók.

A 9. ábrán ugyanezek a hullámterek láthatók a kétszeres vertikális időre transzfórmálva (a fentebb említett időtranszfórmációkkal).

A 10. ábrán a Kismarja 30 VSP szelvény kétváltozós spektrumát mutatjuk be a szétválasztás előtt és után. A sötétebb rész a nagyobb energiának felel meg az ábrán, melyeken a vízszintes tengely a térbeli frekvencia, a függőleges az időbeli frekvencia.

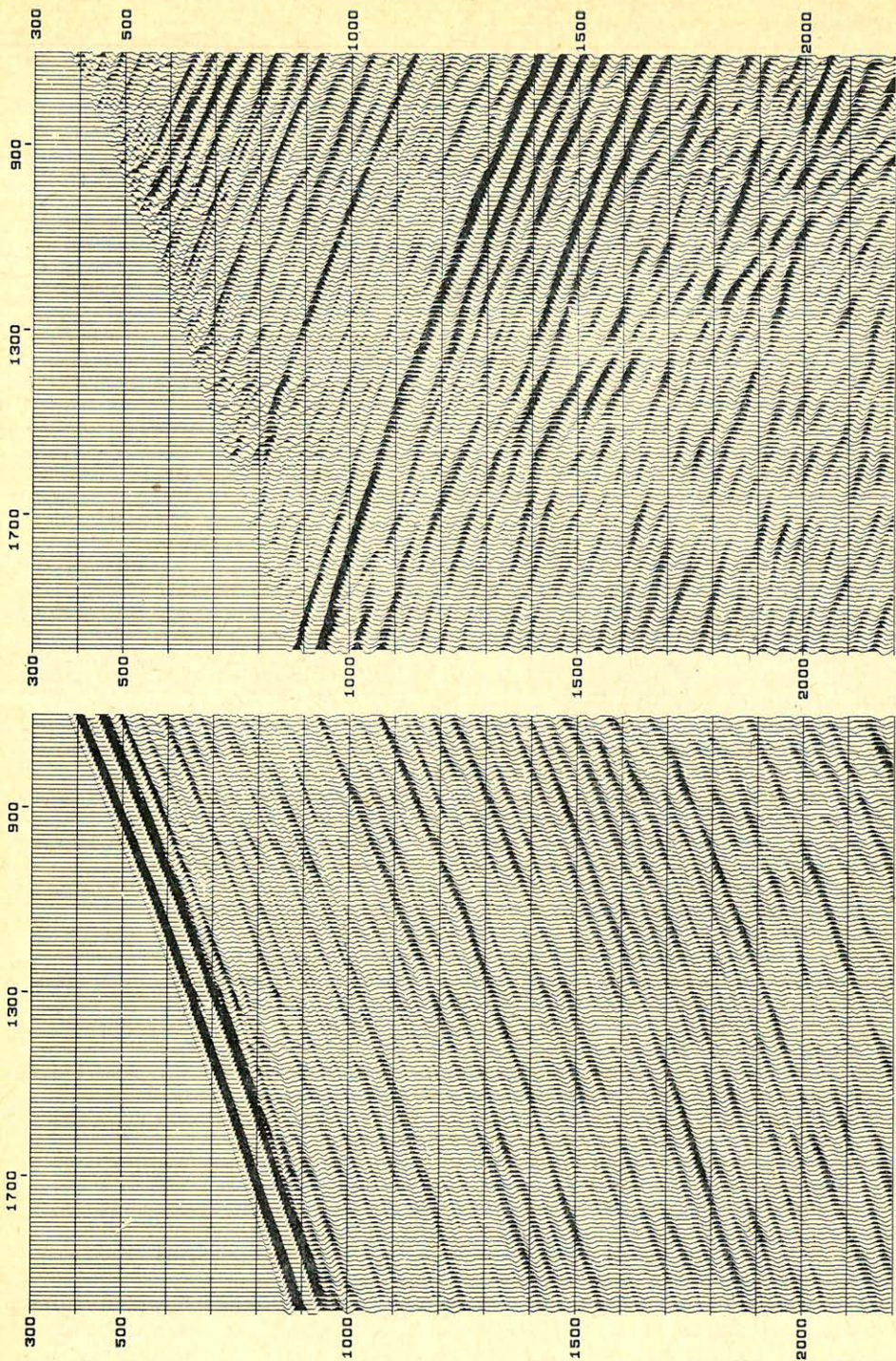
Kísérleteket végeztünk a torzításmentes irányszűrés elvégzésére az ún. medián szűrővel is [1]. A szűrő hatását egy szintetikus VSP szelvényen mutatjuk be. A 11. ábra egy 5 réteges közeg modell szintetikus VSP szelvénye. A 12. ábrán láthatjuk a szétválasztott le és felfelé haladó hullámokat. Figyelmet érdemel a felfelé haladó hullámok éles elvégződése keletkezési helyeiken.

Dekonvolúció a lefelé haladó hullámtér alapján

A lefelé haladó hullámok torzításmentes szétválasztása után a direkt hullámról nagyon jó becslésünk van. Ez a hullám jóval nagyobb energiájú, mint a többi hullám a VSP szelvényen, s a felszíni szelvények reflexióinál is erősebb. Ismerjük tehát a lefelé haladó jelalakot! Ez a jelalak azonban sokszor bonyolult, aminek legfőbb oka a felső zavart, laza rétegekben keletkező, a direkt hullámot rövid időtolással követő lefelé haladó reflexióinak interferenciája a direkt hullámmal és egymással. A jelalak ezért sokszor „túl hosszú”. A réteghatárok ezt a bonyolult és hosszú jelalakot reflektálják, transzmittálják.

A direkt hullám ezenkívül a nagyobb mélységekben fokozatosan elveszíti a magasfrekvenciás összetevőit az abszorpció miatt. A 13. ábrán egy 720 és 1990 m mélyen ugyanazon fúrásban észlelt direkt hullám amplitúdóspektrumát látjuk, ennek illusztrálására.

Ezek a jelenségek zavarják a kinematikai kiértékelést. Csökkentésükre spike dekonvolúciót alkalmazunk, mint a jelalakszűrés speciális változatát, ahol a kívánt kimenet Dirac δ impulzus. A lefelé haladó direkt hullám jelalakjait a jel-

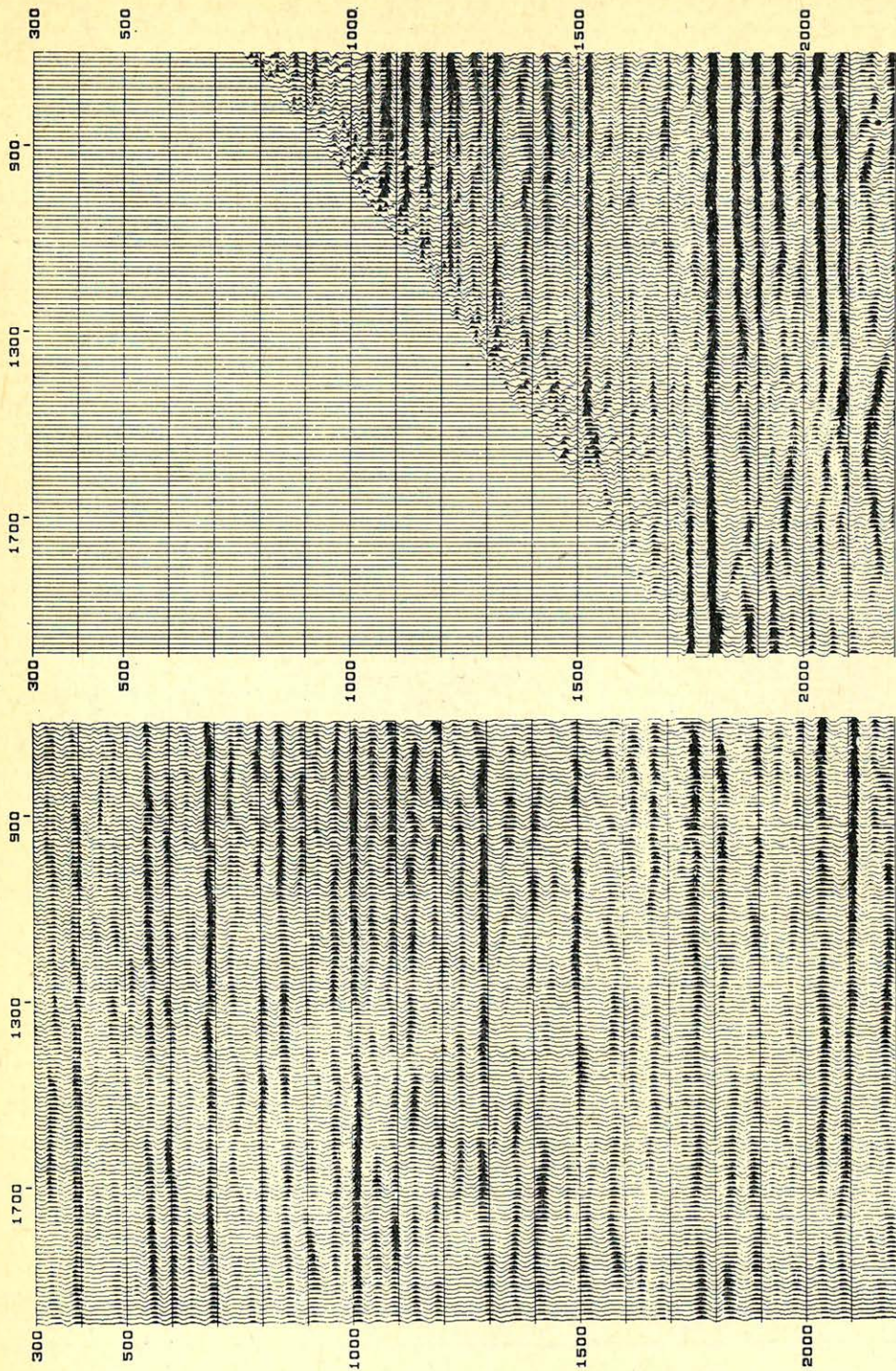


Geo 85/4-8

8. ábra. A lefelé és felfelé haladó hullámok szétválasztása a Szeghalom 15 VSP szelvényen

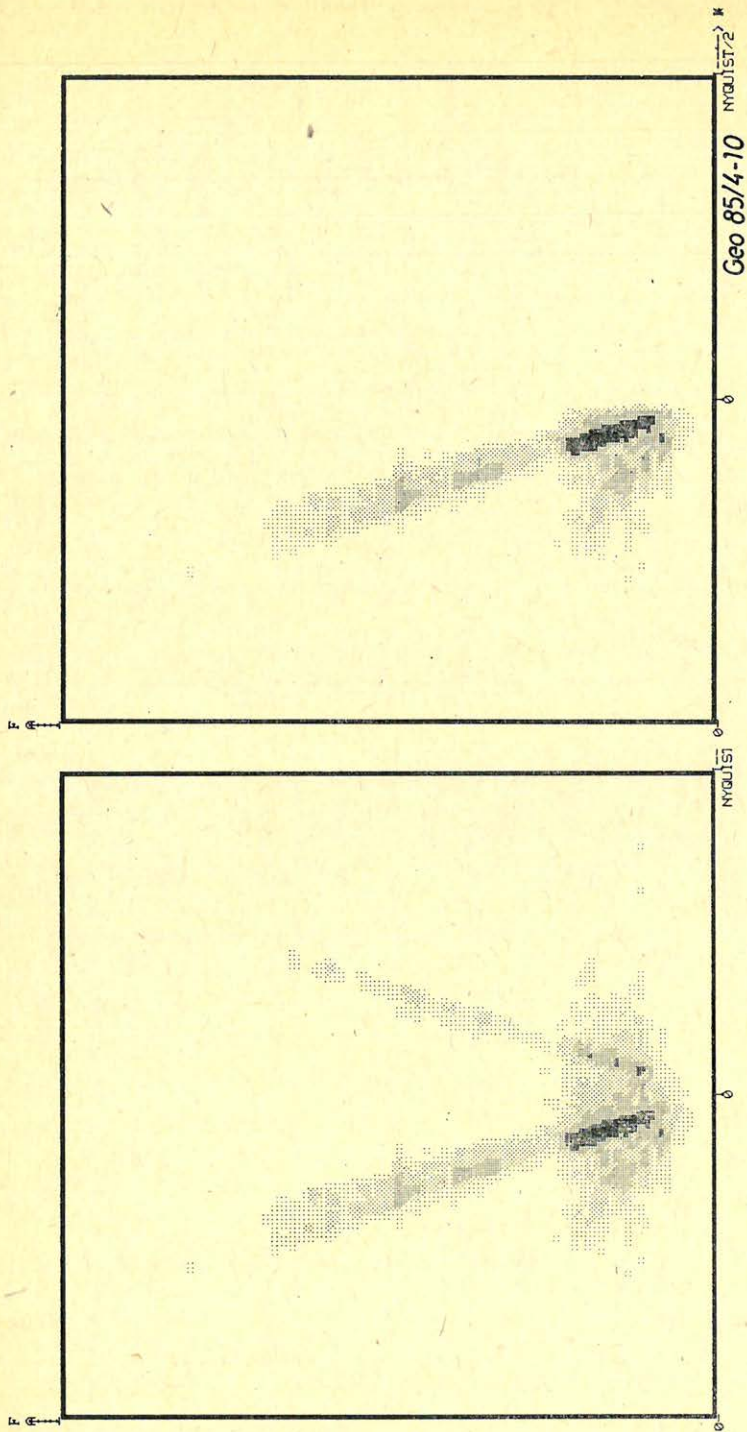
Рис. 8. Разделение падающих и отражённых волн полученных ВСП Сегхалом 15

Fig. 8. Separation of up- and downgoing wavefield on Szeghalom 15 VSP section



Geo 85/4-9

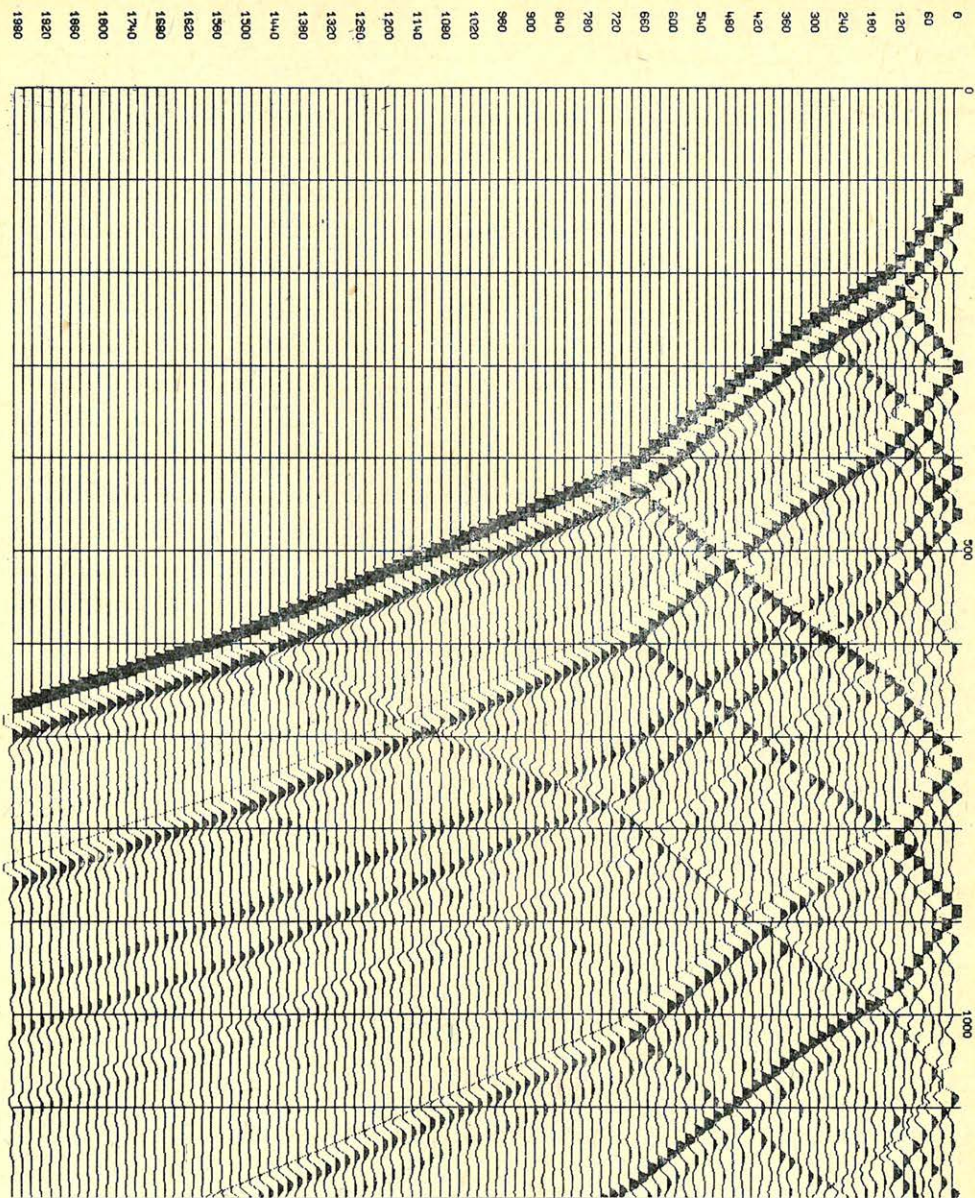
9. ábra. A 8. ábrán látható hullámok időtranszformáció után
 Рис. 9. Волновая картина рис. 8. после временного преобразования
 Fig. 9. Wavefields of Fig. 8. after time transformation



10. ábra. Kismarja 30 VSP szelvény kétváltozós amplitúdó spektruma

Рис. 10. Двухмерный амплитудный спектр ВСП Кишмарья 30

Fig. 10. Two variable amplitude spectrum of Kismarja 30 VSP section

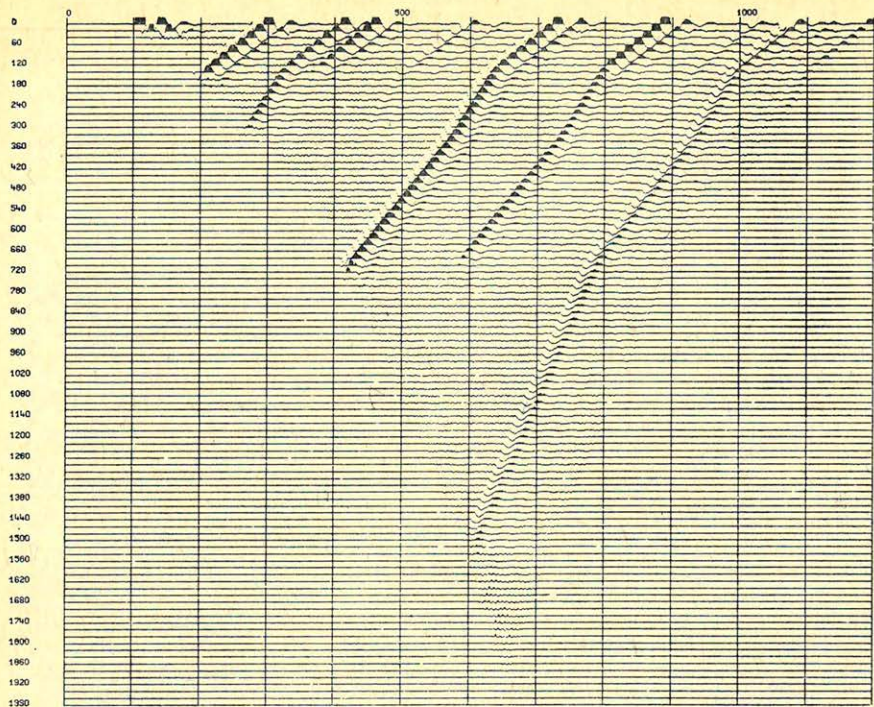


Geo 85/4-11

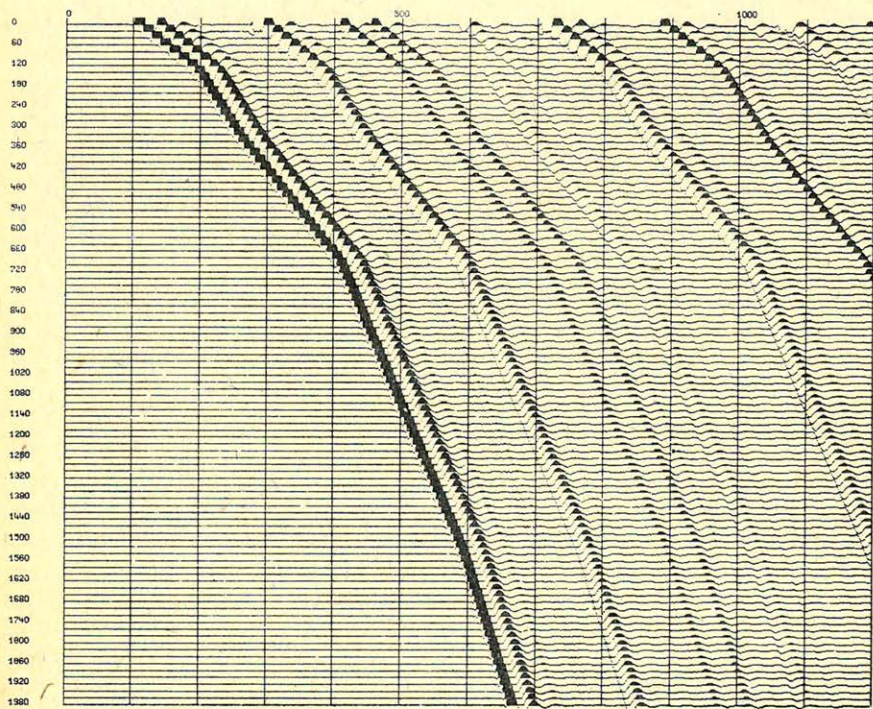
11. ábra. Szintetikus VSP szelvény, teljes hullámtér

Рис. 11. Синтетический профиль ВСП, полное волновое поле

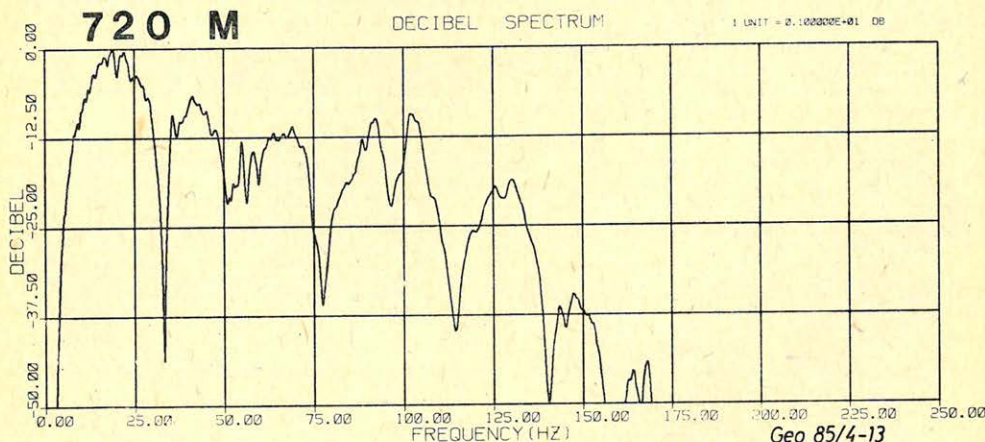
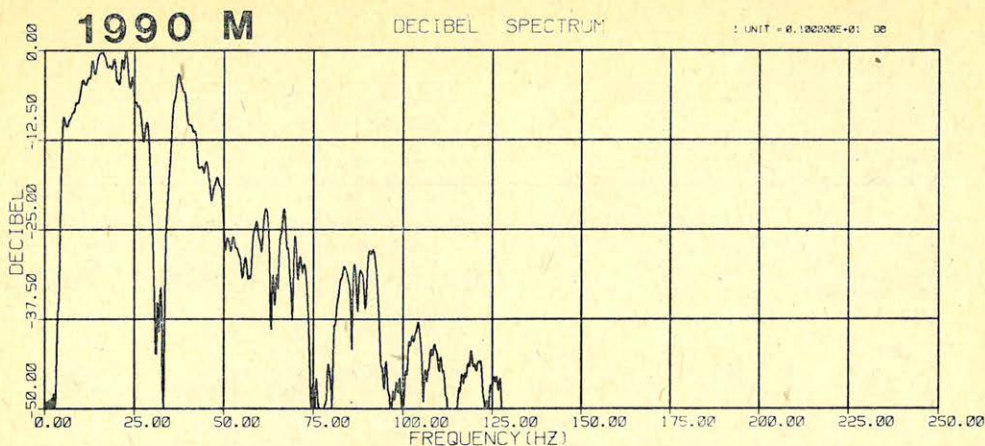
Fig. 11. Synthetic VSP section, total wavefield



Geo 85/4-12



12. ábra. A szintetikus VSP szelvény szétválasztott hullámterei
 Рис. 12. Расчлененные волновые поля синтетического профиля ВСП
 Fig. 12. Separated wavefields of the synthetic VSP section

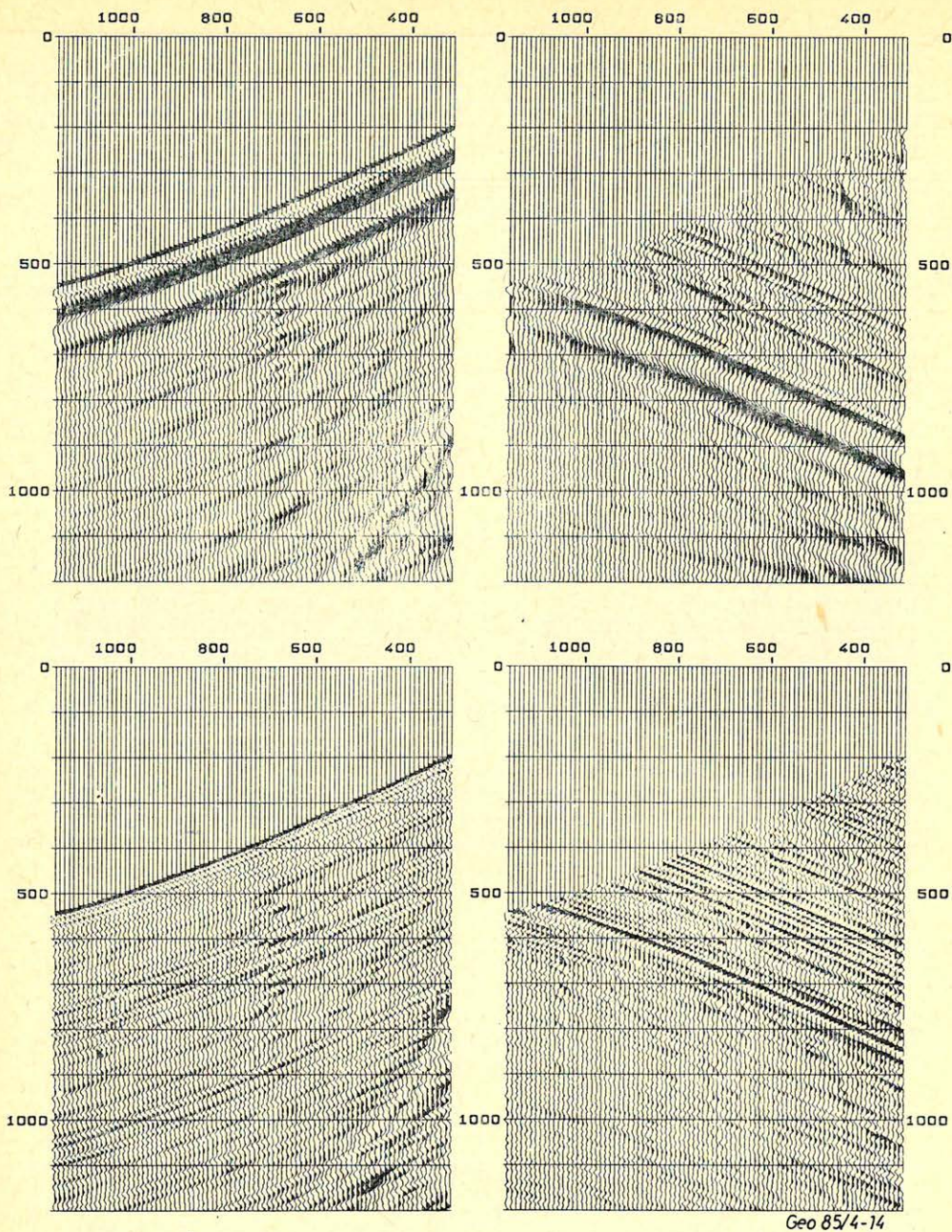


13. ábra. Direkt hullám amplitúdóspektruma különböző mélységeken
 Рус. 13. Амплитудный спектр прямой волны на различных глубинах
 Fig. 13. Amplitude spectrums of the direct wave in different depths

alakszűrésnél ismertetett időablakkal emeljük ki a szétválasztott lefelé haladó hullámtérből. Az így kapott $d_i(t)$ jelalakból az alábbi F_i átviteli függvényű szűrőket számítjuk:

$$F_i = \frac{M_i}{M_i \cdot M_i + \lambda}$$

ahol a jelölések egyeznek a már korábban használt jelölésekkel. Az F_i szűrőkkel ezután szűrjük a megfelelő lefelé és felfelé haladó hullámokat tartalmazó, már szétválasztott csatornákat. Ez az eszköz hatásosan „kifehéríti” a VSP csatornákat. A szűrők előnyös tulajdonsága, hogy a csonkítási, λ és egyéb paraméterek aktuális értékei nem befolyásolják kritikusan a kimenet minőségét.



14. ábra. A szétválasztott hullámterek dekonvolúció előtt és után (Kismarja 30 VSP)

Рис. 14. Расчленённое волновое поле перед и после деконволюции (ВСП Кишмарья 30)

Fig. 14. Separated wavefields before and after deconvolution (Kismarja 30)

Azért előnyös a lefelé haladó hullámtérből tervezni a dekonvolúciós operátort, mert mint említettük ennek energiája, jel/zaj aránya jóval nagyobb, mint a felszínen mért reflexióké, amelyekből szintén dekonvolúciós operátort szokás tervezni.

A dekonvolúció hatásosságát a 14. ábrával szemléltetjük. Az ábra bal oldalán a lefelé haladó hullámtér látható dekonvolúció előtt (fenn) és után (lenn). A jobb oldalon az ugyanezen mélységekben meghatározott felfelé haladó hullámok láthatók a művelet előtt és után. Jól látható a felbontóképesség növekedése.

A VSP adatokból számított dekonvolúciós operátorok a közeli reflexiós szelvények feldolgozásához is előnyösen alkalmazhatók [1], javíthatják a reflexiók korrelálhatóságát a kétfajta szelvényen.

Vertikális összegzések

A hullámtér szétválasztása és esetleg dekonvolúciója után a felfelé haladó hullámokat (egyszeres reflexiók és felfelé haladó többszörösök) a már említett időtranszformációval (késeletetés) „kiegyenesíthetjük”, fázisba hozhatjuk mint a 9. ábrán is látható. A reflexiók az ilyen szelvényeken sok csatornán (esetleg 100-nál is többön) jól követhetők. Kézenfekvő ötlet, hogy az ilyen csatornák vertikális összegzésével a reflexiókat jól ki lehet emelni. Az összegzés azért nevezhető vertikálisnak, mert itt ugyanazoknak a reflexióknak a különböző mélységekben meghatározott változatait összegezzük.

A reflexiók jel/zaj arányát növelhetjük vertikális súlyozott vagy súlyozatlan keveréssel vagy az ún. kumulatív összegzéssel. Ez utóbbinál az összegzéssel a nagyobb mélységektől indulunk felfelé és egy adott mélységben az összegcsatorna az összes mélyebben mért csatorna összegeként keletkezik. Az összeget leosztjuk az adott időnél az összegzésben részt vett csatornák számával, ami változik a mélységgel.

Az ilyen összegzéssel a felszín felé haladva a reflexiók akár 100-szoros stackingjét is megvalósíthatjuk, ami igen nagy jel/zaj arány növekedést eredményezhet. A felszínen így a reflexióknak igen jó becslését kaphatjuk. Ezt a reflexiókat tartalmazó csatornát szokás egyeztetni a felszíni időszelvény mélyfúráshoz közeli csatornáival.

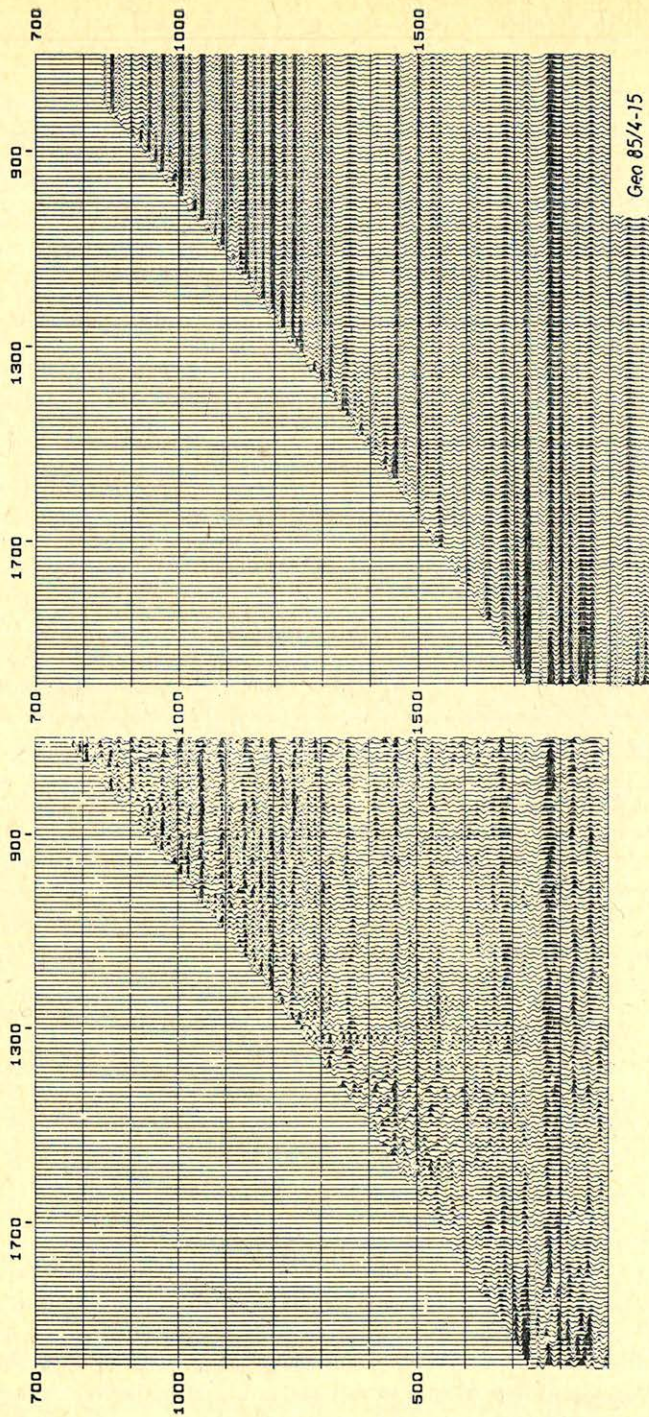
A vertikális összegzésnél feltettük, hogy a közeg vízszintesen rétegzett és az időtranszformáció helyesen fázisba hozta a reflexiókat.

A vertikális összegzések természetesen lecsökkentik a vertikális felbontóképességet, hiszen a felfelé haladó hullámok valamilyen keverése történik. Ezt a veszteséget azonban kárpótolja a jel/zaj arány növekedés s ennél a műveletnél ez volt a cél.

A 15. ábrán a dekonvolvált felfelé haladó hullámteret látjuk a vertikális kumulatív összegzés előtt és után a Szeghalom 15 VSP mérés anyagából.

VSP reflexiók illesztése időszelvényekhez

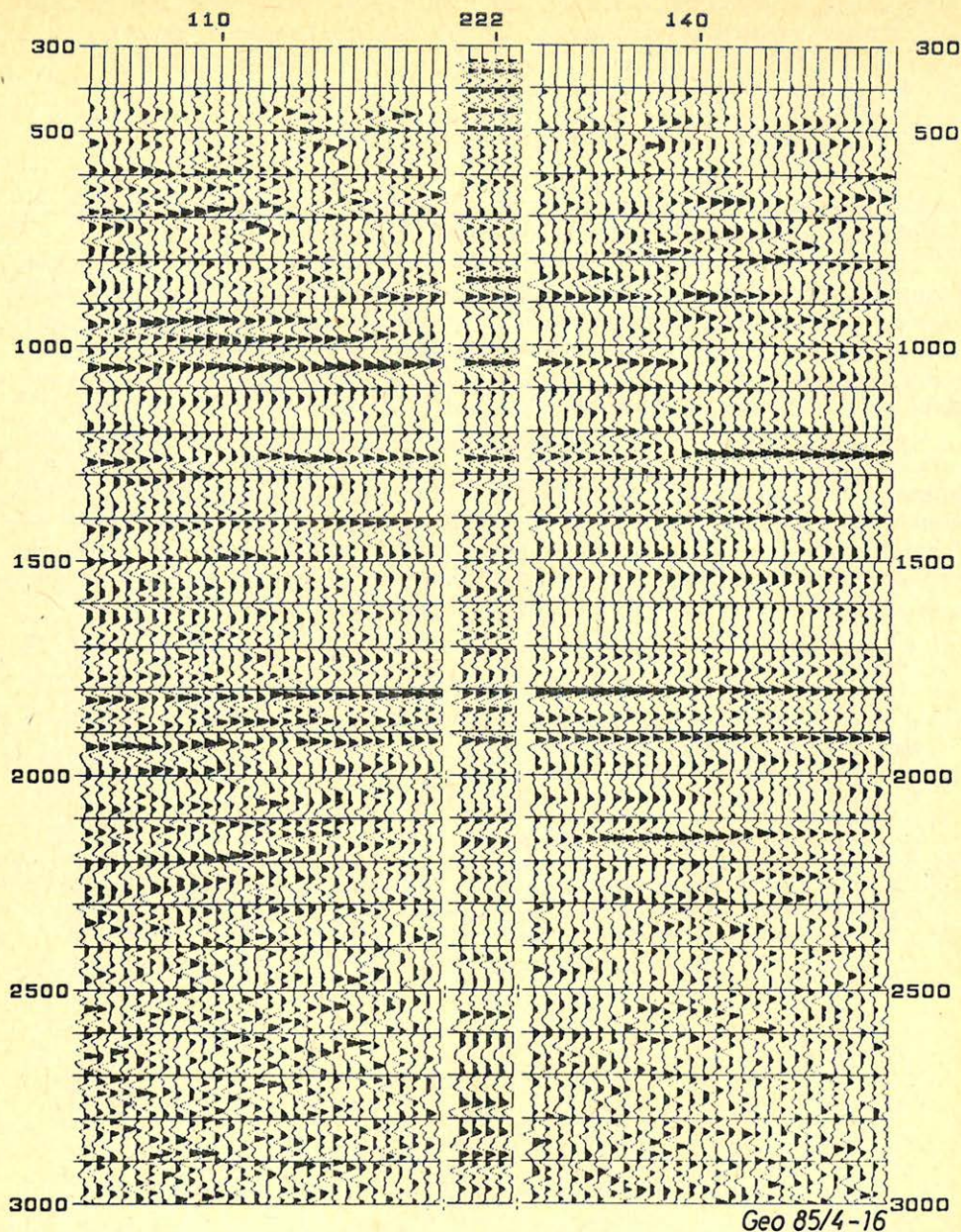
Végezetül bemutatunk egy példát a VSP adatokból az előbb említett vertikális összegzéssel kapott „reflexiós csatorna” és a mélyfúrás közelében mért időszelvény egyeztetésére. Az Endrőd É – 5 mélyfúrásban mért VSP adatokat az említett műveletekkel (dekonvolúció nélkül) feldolgoztuk. A kapott VSP összegcsatornát néhányszor megismételve és elvégezve rajta a dátumsíkra való korrekciót, beleillesztettük a közeli (60 m) ENG – 42 időszelvény megfelelő helyére



15. ábra. Felfelé haladó hullámter kumulatív összegzés előtt és után (Szeghalom 15 VSP)

Рис. 15. Волновое поле распространяющихся вверх волн до и после кумулятивного суммирования (Сергалом 15 ВСП)

Fig. 15. Upgoing wavefield before and after cumulative summation



16. ábra. Az ENG-42 időszelvény és az Endrőd É-5 mélyfúrásban mért VSP reflexióinak illesztése

Рис. 16. Увязка отражений временного разреза ENG-42 и ВСП в скважине Эндрёд Е-5

Fig. 16. Matching the VSP reflections measured in borehole Endrőd É-5 to time section ENG-42

(a mélyfúrás koordinátájához). A 16. ábrán mutatjuk be az időszelvény részletet a VSP „reflexiós csatornával” együtt. A VSP csatorna nagyon jó egyezést mutat az időszelvény fő reflexióival. A teljes VSP szelvény segítségével pedig a kiértékelő követheti ezeket a reflexiókat a keletkezési mélységükig.

Összefoglalás

A kis offsetű VSP mérések nagyon sok hasznos információt tartalmaznak a mélyfúrás környezetének geológiai viszonyairól.

Ezek közül közvetlenül felhasználható a pontos, szeizmikus átlagsebesség függvény. Segítségét nyújt a VSP hullámtér analízálása a felszíni szeizmikus szelvények kiértékeléséhez a reflexiók azonosításában. A dolgozatban ismertetett feldolgozás ezekre irányul és legfontosabb műveletei a jelalakszűrés, a hullámterek szétválasztása és a dekonvolúció. Gondos feldolgozással azonban ezen elsődleges információn túl is sokféle kutatási célra alkalmas a VSP mérés.

Az ismertetett feldolgozási lépéseket rutinszerűen el lehet általában végezni minden VSP szelvényen és így kialakítható egy, az időszelvények készítéséhez hasonló VSP szelvény szolgáltatás. A VSP szelvényekben rejlő további információk megszerzése és felhasználása azonban azt igényli, hogy konkrét kutatási feladat érdekében és együttesen dolgozzuk fel a VSP, a karotázs és felszíni szeizmikus adatokat. Konkrét feladatok kitűzése új igényeket támaszt a VSP feldolgozással szemben és segítheti magasabb színvonalának kialakítását.

IRODALOM

- [1] *B. A. Hardage*: 1983, Vertical Seismic Profiling, Part A: Principles, Handbook of Geophysical Exploration, Section I, Vol 14. A.
- [2] *M. W. Lee; A. H. Balch*: 1983, Computer processing of vertical seismic profile data: Geophysics, V. 48. p. 272 – 287.
- [3] *P. Kennett; et. al*: 1980, Vertical Seismic Profiles: their applications in exploration geophysics: Geophysical Prospecting, V. 28, p. 676 – 699.
- [4] *N. H. Ricker*, 1977: Transient Waves in visco-elastic media, Elsevier Co.
- [5] *Vermes Mátyás*, 1984: Intervallumsebesség függvény számítása függőleges szeizmikus szelvényezés (VSP) adataiból, Magyar Geofizika, megjelenőben)
- [6] *P. Newman*, 1973: Divergence Effects in a layered earth, Geophysics, V. 38. p. 481 – 488.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Радлер Б.</i> Вертикальное Сейсмическое Профилирование ВСП	41
<i>Гёнци Г. – Радлер Б.</i> Основы метода Вертикального Сейсмического Профилирования (ВСП)	43
<i>Мод Г. – Радлер Б. – Тот Й.</i> Методика наблюдений ВСП	54
<i>Гёнци Г. – Кешмарки И. Вегеш И.</i> Обработка данных ВСП при малых расстояния между устьем скважины и ПВ	66

CONTENTS

<i>Rádlér B.:</i> Vertical Seismic Profiling	41
<i>Göncz G. – Rádlér B.:</i> Principles of the Vertical Seismic Profiling	43
<i>Mód G. – Rádlér B. – Tóth J.:</i> VSP Field procedures	54
<i>Göncz G. – Késmárky I. – Véges I.:</i> Processing of short offset VSP data	66

Főszerkesztő: Zelei András

Szerkesztő bizottság: Deres János, Kilényi Éva, Meskó Attila, Rádlér Béla, Verő József

Szerkesztőség címe: 1368 Budapest VI., Anker köz 1. félemelet 17. Postafiók 240.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Каннар Т.:</i> Вскрытие пласта современными способами и их характеристика.	97
<i>Кишиш Б.:</i> Количественная каротажная интерпретация и её логика основанная а плот – технике (Кроссплот).	106
Новости в обществе в Венгерских геофизиков	117

CONTENTS

<i>Kánnár T.:</i> Up-to-date perforation and its features	97
<i>Kiss B.:</i> Well logging interpretation and its logic based on cross-plot technique	106
News about the Association	117

Főszerkesztő: Zelei András

Szerkesztő bizottság: Deres János, Kilényi Éva, Meskó Attila, Rádlér Béla, Verő József

Szerkesztőség címe: 1368 Budapest VI., Anker köz 1. félelemet 17. Postafiók 240.