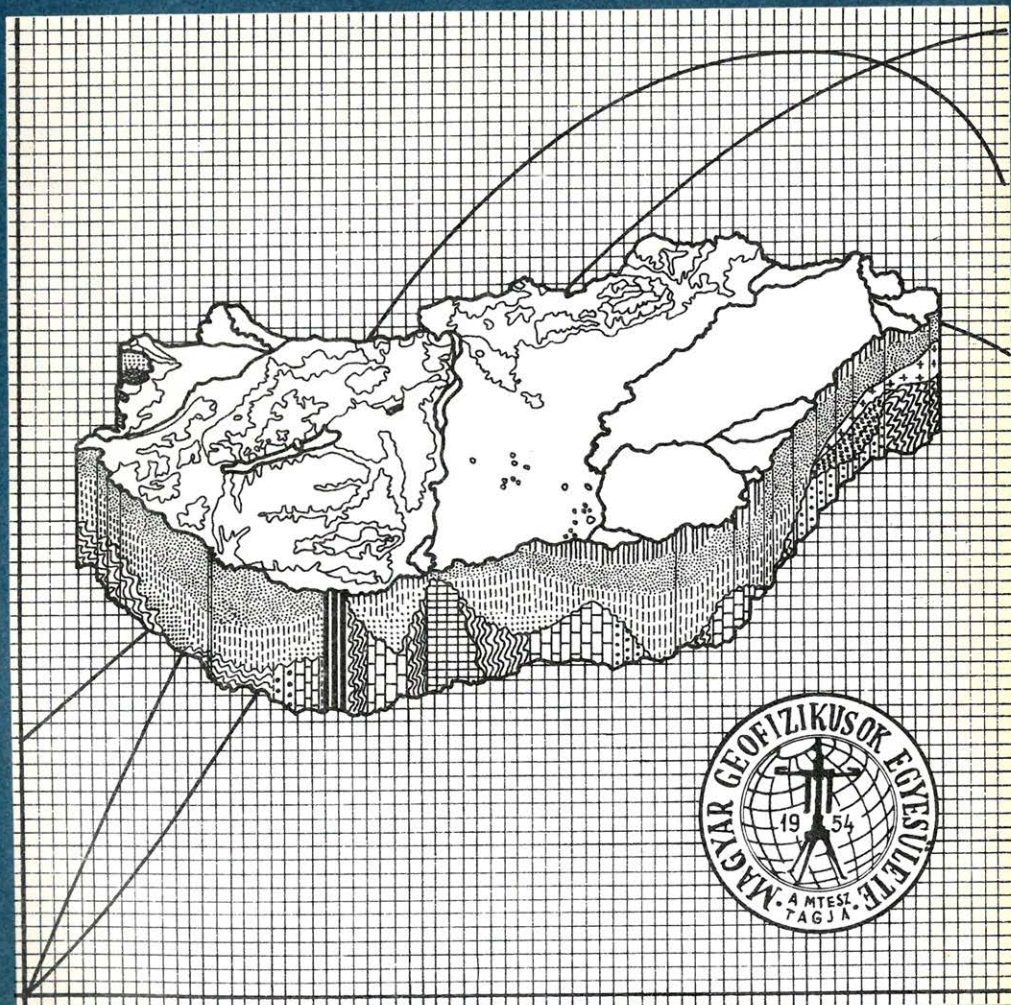


MAGYAR

GEOFIZIKA

Geoblog
2



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA
BUDAPEST, 1985. XXVI. ÉVFOLYAM, 2. SZÁM

TARTALOMJEGYZÉK

<i>Rádlér Béla</i> : Vertikális szeizmikus szelvényezés VSP	41
<i>Göncz Gábor – Rádlér Béla</i> : A vertikális szeizmikus szelvényezés (VSP) alapjai	43
<i>Mód Gábor – Rádlér Béla – Tóth János</i> : A VSP mérés	54
<i>Göncz Gábor – Késmárky István – Véges István</i> : Kis offsetű VSP mérések feldolgozása	66

MAGYAR GEOFIZIKA

A szerkesztésért felelős: Zelei András

A szerkesztőség címe: 1368 Budapest VI., Anker köz 1. Telefon: 429-754

Kiadja: a Delta Szaklapkiadó és Műszaki Szolgáltató Leányvállalat 1442. Budapest VII., Garay u. 5.

Telefon: 415-583, 215-440

Felelős kiadó: Faklen Pál igazgató

85.330. Állami Nyomda, Budapest – Felelős vezető: Mihalek Sándor igazgató

Terjeszti a MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

Egyesületi tagoknak tagdíj ellenében

Megjelenik évente hatszor

Vertikális Szeizmikus Szelvényezés VSP

RÁDLER BÉLA*

Bevezetés

A hazai szeizmikus szakirodalom első ízben itt a Magyar Geofizika hasábjain közöl dolgozatokat a mélyfúrásokban végzett vertikális szeizmikus szelvényezésről.

A nemzetközi irodalomban már régóta ismert a módszer. Hasonlóan sok más, a tudomány és a technika történetében nagy előrelépésnek számító újdon-sághoz, a VSP-nek is voltak előzményei. A módszer létrehozójának mégis Galperint és munkatársait tekintik. 1971 ben megjelent könyvében [1] első ízben adott részletes, kellően megalapozott és előremutató leírást a fúrólukban vég-zett szeizmikus szelvényezés módszeréről, a regisztrált hullámok eredetéről, és a kiértékelésben való felhasználásukról.

A módszert az orosz szeizmikus szaknyelvben használt szavak kezdőbetűi-nek megfelelően VSP nek hevezte el. Három évvel később a könyvet angolra is lefordították. Az angol fordításban sem okozott gondot a kezdőbetűk megőrzése, mert ezek a szavak nemzetköziek. A módszer ezután így is terjedt el, mind a keleti, mind a nyugati szakirodalomban. A magyar szaknyelvben is használatos ugyan a profil főnév, igei alakja azonban nem, vagy igen ritkán (profilozás, profil-készítés stb.). Furcsán, idegenül hangzik. Célszerűbbnek látszik, ha megőrizzük a számunkra kellemesebb szelvényezés vagy szelvénykészítés szavakat még ak-kor is, ha elveszítjük a kezdőbetűk nyújtotta előnyt. Az erőltetett magyarítás előnye csekély, hátránya, hogy nehezíti a nemzetközi megértést, fordításban zavarokat okozhat, állandóan kezelni kell. Így az ugyancsak külföldről változat-lanul átvett RNP, CDP mellett a VSP is megférhet.

A hazai olvasó számára furcsának tűnhet, miért csak most kerül sor az első hazai munkák publikálására, amikor a VSP már több, mint egy évtizede ismert. Nem, vagy aligha találunk még egy olyan hasznos szeizmikus eljárást, melynek bevezetésével ennyi ideig vártunk volna.

Erre a kérdésre nincs is egyértelmű válasz. B. A. Hardage 1983 ban kiadott könyvének [2] bevezetőjében erről a következőket írja: „A vertikális szeizmikus szelvényezés iránt tanúsított komoly érdeklődés hosszú ideig tartó hiánya a Nyugati féltekén nem egykönnyen magyarázható vagy igazolható. Szerencsére a 70-es évek végén néhány nem szovjet geofizikus hirdetni kezdte a vertikális szeizmikus szelvényezés nyomatékosan növekvő szükségességét.” Megállapítja továbbá, hogy ma már a nyugati országokban a VSP iránti érdeklődés nagysága legalább oly mértékben felfokozódott, mint az a Szovjetunióban volt a fejlesztés kezdeti időszakában.

A 70-es évek elején a hazai szeizmikát teljes mértékben lekötötte a digitális technikára való átállás, az új számítógépes feldolgozás kínálózó lehetőségeinek minél alaposabb kihasználása.

* Geofizikai Kutató Vállalat, Budapest.

Tudtunk ugyan a VSP megjelenéséről, kezünkbe került Galperin alapvető munkája is, sőt később kétoldalú együttműködés keretében több geofizikusunk járt az NDK-ban, ahol egyre több VSP mérést végeztek. A szakmai közvéleményben azonban az a kép alakult ki, hogy a VSP tulajdonképpen egy szellemes szeizmokarotázs, ahol a későbbi beérkezéseket is regisztrálják, s ezeket esetenként a hullámtér jobb megértéséhez próbálják felhasználni. Tényleges és gyakorlati hasznosságot is bizonyítani tudó mérési eredményt nem láttunk ebben az időszakban.

Az új eljárás új típusú, lyukfalhoz szorítható szondákat igényelt és igen lassúnak tűnt. A szokvány szeizmokarotázs mérési időigényét többszörösen meghaladta, pedig gyakran az egyszerű szeizmokarotázs mérések megszervezése sem volt konfliktusmentes.

A VSP azonban utat tört magának a szakirodalomban, bebizonyítva gyakorlati hasznosságát is. Ezután már idehaza is világossá vált, hogy a szakma új ága fogyasztható termést kínál.

A mérési előkészületeket 1980-ban kezdtük. Az első hazai VSP kísérleti mérést 1982-ben végeztük Tarnabodon, lyukfalhoz szorítható szondával. A mérés célja elsősorban nem a teljes lyukmenti VSP kép előállítása volt, hanem csupán a jelgerjesztő és a felvételező rendszer próbája. Miután itt meggyőződünk arról, hogy jelgerjesztési elképzeléseink jók (lásd a további dolgozatokban) fogtunk hozzá a rendszeres VSP mérések kivitelezéséhez. Mások tapasztalatainak birtokában sikerült elkerülnünk az alapvető hullámkép előállításának nehézségeit, de hazai adottságaink miatt a nemzetközi piacon kapható lyukszondák nem tették lehetővé a kellő lyukmélység elérését az igen magas hőmérséklet miatt.

Itt a Magyar Geofizika e számában ismertetjük a hazai VSP mérések eredményeit. Hogy a csak magyar szakirodalomból tájékozódó olvasó számára is érthetőek legyenek a közölt dolgozatok, a VSP mérések elvi alapjait önálló cikkben elkülönítjük.

IRODALOM

- [1] Galperin: Vertikalnoje Szeizmicseszkoje Profilirovanije Nedra Kiadó 1971, Moszkva.
- [2] B. A. Hardage: Vertical Seismic Profiling. Handbook of Geophysical Exploration. Section I. Volume 14/A. Kiadó: Geophysical Press London – Amsterdam 1983.

A vertikális szeizmikus szelvényezés (VSP) alapjai

GÖNCZ GÁBOR*—RÁDLER BÉLA*

E dolgozat célja, hogy az olvasó számára lehetővé tegye a VSP alapjainak rövid és gyors áttekintését, segítséget nyújtson a témában itt és a későbbiekben közzétett cikkek könnyebb megértéséhez, megkímélje az érdeklődőt attól, hogy a téma alapjainak elsajátításához szükséges ismereteket, a ma már eléggé szerteágazó, idegen nyelvű szakirodalomból válogassa össze.

Цель данной статьи — предоставить читателю возможность познакомиться с кратким обзором ВСП, оказать ему помощь в более доступном понимании рассматриваемой темы как в этой статье, так и в последующих статьях.

The aim of this paper is to provide a quick and easy-to read review on the fundamentals of the VSP measurements for understanding of the papers published in this issue and other papers appearing on the topic. It is intended to save the reader from hunting of the necessary knowledge from several dozens of publications written in various languages.

Szeizmokarotázs és VSP

A szeizmikával egyidős az a törekvés, hogy a föld felszínén nyert mérési anyagból minél nagyobb pontossággal határozzák meg a mélységszelvények elkészítéséhez szükséges sebességet. A sebességmeghatározás pontossága a módszerek fejlődésével állandóan nőtt. A mai sebességvizsgálatok eredményeit a mélységtranszformáció készítésén túl is felhasználjuk részben a modern időszelvény és transzformáltjainak elkészítéséhez, (migrált időszelvény stb.) részben a szeizmikus szelvények földtani értelmezéséhez (réteg, intervallum sebességek stb.)

A felszíni szeizmikus méréseket kisebb-nagyobb mértékben különböző zajok torzítják, de a sebességek kellő pontosságú meghatározását még sok tényező nehezíti (korrekciók pontatlansága, közelítések hiperbolával, bonyolult szerkezeti felépítés, dőlés stb.).

Kiváló és igen ritka eredménynek számít ma is, ha a felszíni mérésből nyert átlagsebesség mélység függvény 2%-os pontossággal közelíti meg a tényleges függvényt, mely utóbbinak a szeizmokarotázsból nyert függvényt tekintjük. Ily módon mind a mai napig a mélyfúrásokban végzett sebességmérések mint bázisadatok nélkülözhetetlenek.

A szeizmokarotázs mérés napjaink megszokott rutintevékenysége. Leginkább béléscsővezetetlen fúrólyukban végezzük, hogy elkerüljük a csőszerkezet által keltett zavaró hullámokat.

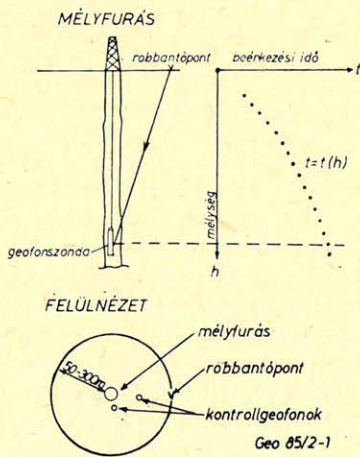
A rutin szeizmokarotázs méréseknél a geofonsondát, néhány a későbbiekben kizárólag ellenőrzés céljára szolgáló felvétel elkészítése mellett a lyuk talpára engedjük. Az ellenőrző felvételeket 500 vagy 1000 méterenként készítjük. E felvételek ellenőrző szerepe abból áll, hogy időadatainknak egyezniük kell a felfelé haladó szonda azonos mélységű helyzetében kapott beérkezési időkkal. A tényleges mérési sorozat első felvételét a lyuk talpánál levő szondaállásban kezdjük.

Ennek elkészítése után a szondát egy lépésközzel (általában 25, 30 vagy 50, esetleg 100 méter) feljebb húzzuk és ismét felvételt készítünk. A felvétel készítését egészen a lyukszáj közeléig folytatjuk. A gyakorlatban 500 méternél sekélyebb mélységben ritkán mérünk, mert itt a beérkezési időket még gyakran torzítják a lyukfej-szerelvényekről származó zavarok. A földtani szempontból érde-

* Geofizikai Kutató Vállalat, Budapest.

kesebb szakaszokat sűrűbben, a kevésbé érdekeseket ritkábban mintavételezzük. (25 m, ill. 50 – 100 m). A felvételek készítéséhez szükséges jelgerjesztést robbantó lyukakban végezzük.

A szeizmocarotázs mérés sematikus rajza az 1. ábrán látható. Az ábra a mélyfúrás áthaladó vertikális metszetet és a mélyfúrás felszíni felülnézetét, az ábra jobb oldala pedig a fúrólyukhoz illesztett regisztrált beérkezési időt mutatja a mélység függvényében. A gyakorlati kivitelezés során az elvi, egyetlen robbantólyuk helyett természetesen robbantólyukkifáradás miatt többet mélyítünk a mélyfúrás környezetében (20 – 30 db).



1. ábra. Szeizmocarotázs mérés sematikus képe

Рис. 1. Схема сейсмокаротажа

Fig. 1. Scheme of velocity survey

A szeizmocarotázs mérések szerves tartozékai még a kontrollgeofonok, melyeket általában a lyuk körül a felszínen helyezünk el. A kontrollgeofonok feladata, részben az azonos robbantólyukból keltett impulzusok alakjának, részben pedig a segítségükkel regisztrált beérkezési időknél a figyelése.

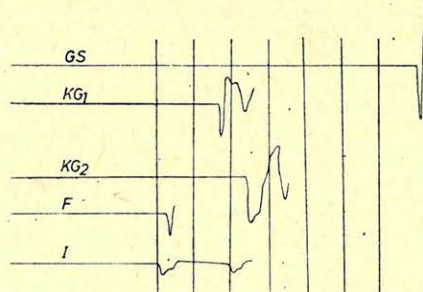
Mind az impulzusok alakjának, mind pedig az első beérkezési időknél a változása a robbantólyuk kifáradására utal. Ilyenkor a jel általában alacsonyabb frekvenciás lesz, az idő pedig késik. A kontrollgeofonok beérkezési időinek változása ellenőrzi még a robbantás technikai paramétereit is. A felvételeket általában a rutinméréseknél használt terepi szeizmikus berendezésekkel készítjük. Természetesen ilyenkor csak néhány csatorna működik, mégpedig: a lyukgeofon és a két-három kontrollgeofon csatornája. Néha a lyukgeofon csatornáját egyidejűleg különböző erősítéssel több csatornán párhuzamosan regisztráljuk. Ennek különösen akkor van jelentősége, ha különböző zajok, zavarok miatt éles első beérkezéseket nehezen tudunk regisztrálni és/vagy, (de ez már kissé át is vezet a VSP-hez) látni akarjuk a beérkezett első jel alakját is.

A szokványos jól sikerült szeizmocarotázs felvételen tehát általában a lyukgeofon csatornáján egy zajmentes nyugalmi nyomvonal látható, mely a beérkezési időpillanatban hirtelen „megszakad”, pontosabban inntől kezdve nagy amplitúdóval oszcillál.

A 2. ábrán egy hagyományos szeizmocarotázs felvétel látható. A különböző mélységben levő geofon beérkezési idősora a mélység függvényében adja a szeizmocarotázs idő, mélység diagramját (1. ábra jobb oldal), melyből az átlagsebesség mélység és az intervallum sebesség-mélység függvények készíthetők.

A fenti leírás természetesen sematikus csak a szeizmokarotázs mérések főbb mozzanatait tartalmazza. Ma már teljesen kézenfekvőnek tűnik az a kérdés, hogy a hagyományos szeizmokarotázs-mérésnél miért hagyjuk abba a regisztrálást az első beérkezési idők elérése után? Miért nem vizsgálunk meg összefüggő rendszerben hosszabb időtartományt, hogy a különféle utakon terjedő hullámokat rendre felfogjuk és tanulmányozzuk.

Nos, ilyen kísérletet a szeizmika múltjában többen végeztek. Azt is sikerült megállapítaniuk, hogy az első beérkezések utáni tartományban a többszörös reflexiók is kimutathatók, stb. A fúróluk környezetének reális közege azonban nem engedelmeskedett azoknak a technikai fogásoknak, amelyek a rutin szeizmokarotázs mérések során kialakultak. A regisztrátumok zavarosak, zajosak és értelmezhetetlenek voltak.



2. ábra. Tipikus szeizmokarotázs felvétel

Рис. 2. Типичная запись сейсмкаротажка.

Fig. 2. Typical velocity survey record

GS - geofonsonda
 KG1 - kontrollgeofonok
 KG2 -
 F - feladó
 I - időjel

Geo 85/2-2

Ki kellett dolgozni lépésről-lépésre a hullámgerjesztés, a lyukfal-geofon csatolás, a felvételezés stb., megfelelő módszerét, hasonlóan ahhoz, ahogy a mai felszíni felvételezési technológia kialakult.

Az eredmény pedig új és sokatígérő. Minden szerző tartózkodik attól, hogy a VSP-t a szeizmokarotázs továbbfejlesztett változatának tekintse. Nem indokolatlanul, mert eredményei bár magasabb szinten, nagyobb pontossággal magukban foglalják a szeizmokarotázs eredményeit is, de azzal, hogy a vizsgált közegben keletkező és tovaterjedő hullámok természetének sajátosságait tárja fel, inkább nevezhető „felszín alatti szeizmikának”, mint bármiféle szeizmokarotázsnak.

A következőkben csak a lyukközeli ún. kis offsetű VSP méréseket ismertetjük, részben helyszűke miatt, főként pedig amiatt, hogy eddig csak ilyen méréseket végeztünk.

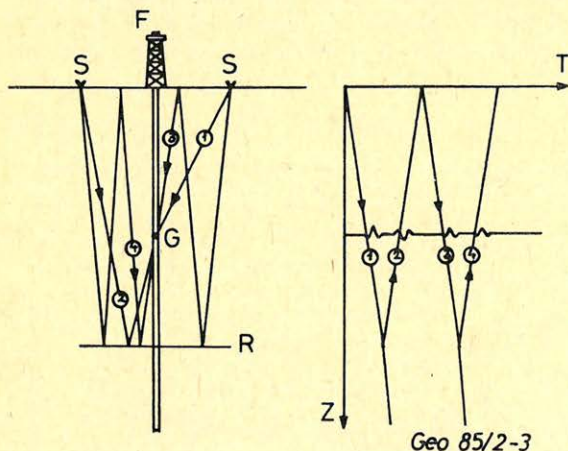
A VSP-nél (de a szeizmokarotázsnál is) a felszíni mérésektől eltérően vertikális terítésben mérünk, de mivel általában csak egy geofonunk van (a Szovjetunióban már többszörös lyukszondát is kifejlesztettek) a teljes VSP felvételt lépésről lépésre csatornánként készítjük el, majd az egyedi felvételekből rakjuk össze a teljes VSP képet.

A VSP-nél a teljes hullámtér felvételezésére törekszünk, ezért a szonda lépésköze, felszíni fogalmak szerint a geofonköz, sokkal sűrűbb, mint a szeizmokarotázs mérésnél. (5–20 m).

A VSP vertikális terítésben egyaránt észleljük a lefelé és a felfelé terjedő hullámokat. Emiatt természetesen a teljes VSP felvételen olyan hullámokat is

láthatunk, amelyek a közeg felszínét nem érik el, hanem a mélység irányában eltávoznak. A 3. ábra a VSP hullámterjedés alapsémáját mutatja.

Az ábra bal oldalán különböző hullámokat ábrázoltunk a jobb oldalon pedig a menetidőgörbét rajzoltuk meg. A mélyfúrásban (F) elhelyezett geofon (G) észleli a felszínen (S) keltett lefelé haladó, direkt hullámokat (1), majd az általa az (R) reflektáló felületen keltett egyszeres reflektált hullámot (2) és a lefelé és felfelé haladó többszörös hullámokat is. Itt csupán az első felszíni többszörösöket (3 és 4) tüntettük fel és csupán egy reflektáló felületet vettünk fel.



3. ábra. Sugárutak és menetidőgörbék VSP mérésnél

Рис. 3. Траектории лучей и годографы наблюдений ВСП

Fig. 3. VSP raypaths and event pattern

Ha az FS távolság kicsi (kis offsetű VSP), akkor a mélyfúrás közvetlen környezetét kutatjuk, hiszen a hullámok a mélyfúrás közelében haladtak. A hullámok azonban a reflexiós felszíni mérésekhez hasonló utat futnak be.

A vertikális terítésnek köszönhetően a geofonokat most a reflektorokhoz közelebb helyezük el és így olyan reflexiókat észlelünk, melyek keletkezési helyüktől rövid utat tettek meg, így több információt hordozhatnak a reflektáló felületről. A felbontóképesség tehát nagyobb lesz, mint a felszíni méréseknél. A vertikális terítés másik nagy előnye az, hogy a különböző mélységekben mért VSP csatornákon a lefelé és felfelé haladó hullámkomponensek az ellenkező irányú futásidő különbségek miatt ellenkező látszólagos sebességgel jelennek meg, elkülöníthetők (lásd a 3. ábra jobb oldalát). Ezzel egyedülálló lehetőségünk nyílik arra, hogy bepillantassunk a föld mélyében lezajló hullámterjedés bonyolult mechanizmusába. Ez pedig jelentős segítséget adhat a felszíni, reflexiós szelvények kiértékeléséhez.

A VSP szelvényen az egyes hullámkomponenseket korrelálva meghatározhatjuk a reflexiókat és a többszörösöket, majd ezeket azonosíthatjuk a mélyfúrás közelében mért felszíni reflexiós szelvényen talált beérkezésekkel.

A VSP szelvények kinematikai kiértékeléséből meghatározhatjuk az egyes reflektáló felületek dőlésszögét, töréseket azonosíthatunk. Felismerhetjük a nyíró hullámok jelenlétét és az azok által keltett reflexiókat. A VSP szelvények mélyebb analizésével felderíthetők a belső többszöröződésnek, esetleg litológiai effektusok mutathatók ki, szénhidrogének jelenléte valószínűsíthető és a mélyfúrás továbbmélyítésével kapcsolatos adatokat is nyerhetünk.

A VSP mérésekből természetesen megkapjuk az átlagsebesség függvényt is pontosabban, mint a szeizmokarotázis mérésből. A nagyobb, illetve változó

offsettel végzett mérésekkel a mélyfúrás tágabb környezetének akusztikus jellemzőit is kutathatjuk. Így meghatározható esetleg szénhidrogén tároló horizontális kiterjedése, vetők stb.

A VSP mérés alapelemei

Röviden áttekintjük a VSP mérés összetevőit, csak a leglényegesebb szempontokat figyelembe véve. Azokat a jellemzőket emeljük ki, amelyek a jó minőségű VSP szelvények készítéséhez fontosak.

A mélyfúrás

A VSP mérés szempontjából nem mindegy, hogy milyen állapotú mélyfúrásban végezzük a mérést. Mivel a kőzetekben terjedő hullámokat akarjuk regisztrálni, szükséges, hogy jó mechanikai csatolás legyen a geofonokat tartalmazó szonda és a kőzetek között. Az irodalom [1.] szerint legjobb a VSP méréseket egyszer béléscsővezetett és már cementezett lyukban végezni. A béléscső és a jó minőségű cementezés jó csatolást biztosít.

A mélyfúrás VSP mérésre történő kiválasztásánál további szempont olyan fúrás kijelölése, melyben egyéb és minél többfajta karotázis mérést is végeznek és amelyhez közel felszíni reflexiós szeizmikus szelvényt is mértek.

A gerjesztés

Mivel a VSP szelvényeket a közelben mért reflexiós időszelvényekkel kívánjuk elsősorban összevetni, célszerű lenne azonos gerjesztést alkalmazni a kétfajta mérésnél. Ezt azonban nem mindig valósíthatjuk meg egyszerűen. A VSP mérés a gerjesztéssel szemben speciális követelményeket is támaszt. Az itt alkalmazandó gerjesztésnek mindenekelőtt olyannak kell lennie, mely igen sokszor közel azonos jelalakot tud kelteni. Erre azért van szükség, mert egy gerjesztéskor a geofon egy bizonyos mélységben áll, azaz egy szintet mérünk meg. A megfelelő mélységbeli mintavételezéshez pedig egy mélyebb fúrásnál többszáz gerjesztést kell végeznünk. Ha a gerjesztett jelalakok eltérőek, akkor a különböző mélységben felvett VSP csatornák emiatt térnek el egymástól és nem a különböző hullámterjedésből adódó hatások miatt, amire tulajdonképpen kíváncsiak vagyunk. A gerjesztést a felszín közelében végezzük, és a cél az, hogy minél mélyebbre, minél szélesebb frekvenciatartományon jelet küldjünk.

A VSP szelvények kiértékelhetősége (a hullámok csatornáról-csatornára való követhetősége) azt kívánja tehát, hogy a gerjesztés amennyire lehetséges azonos jeleket keltsen.

A nyugati vállalatok leginkább air-gun forrást használnak. Lehetséges azonban vibroszeiz vagy robbanásos gerjesztés is. A GKV által kifejlesztett és alkalmazott robbantásos jelgerjesztési módszert külön cikkben ismertetjük.

A megfelelő és jól reprodukálható jelet adó gerjesztéssel sokat kísérleteznek. Az air-gun és vibroszeiz forrás alkalmazásakor a jelalakot a gerjesztés helyén a talaj fokozatos tömörödése változtathatja meg. VSP jelgerjesztéshez használnak tengeri air-gun-t szárazföldön, speciális mérésekhez horizontális vibrátorokat, sőt tűzérsegi aknavetőt is megfelelően átalakítva. [1, 2.]

A geofon szonda

A tipikus VSP szonda 3 m hosszú, átmérője 10 cm és tömege 100 kg. A mélyfúrásban a szondának igen nagy nyomást és esetleg 200 °C vagy még ennél nagyobb hőmérsékletet is el kell viselnie.

A vállalatnál jelenleg csak vertikális komponenszt regisztráló szondát használunk. A VSP szondákkal szemben támasztott lényegesebb követelményeket az alábbiakban foglaljuk össze.

A szonda lehetőleg kis átmérőjű és a végein áramvonalasan kiképzett legyen. Ez azért lényeges, mert a mélyfúrásban levő folyadékoszlopban haladó, iszap-hullám minden olyan helyről (magáról a szondáról is) visszaverődik, ahol a folyadékoszlop átmérője hirtelen jelentősen megváltozik. Az iszap-hullám és reflexiói a VSP mérésnél koherens zajként szerepelnek.

A szondának üzembiztosan működő kitérítéssel kell rendelkeznie, ami biztosítja a csúszásmentes, szilárd kitérítést, a jó mechanikai csatlakozást a geofon és a lyukfal között. A csatlakozási rezonanciák csökkentése érdekében a szondának minél rövidebbnek és könnyebbnek kell lennie, ugyanakkor elegendően súlyosnak kell lennie ahhoz, hogy üzembiztosan leereszthessük nagy iszapsűrűség esetén is nagy mélységbe. Célszerű, ha a szonda mindhárom irányú hullám összetevőt regisztrálni tudja a geofonok térbeli pozíciójával együtt.

Jó lenne, ha a felvétel előtt (pl. egy mechanikus berendezéssel) ellenőrizni lehetne a szondageofon-talaj csatlakozását. Célszerű lenne a jeleket már a szondában digitalizálni és így továbbítani a karotázis kábelén. Ezek a követelmények egyszerűen általában nem teljesülnek egyetlen jelenlegi szondánál sem, azonban szempontokat adhatnak a szondák tervezéséhez vagy beszerzéséhez.

A VSP szondába beépített geofon(ok) magas hőmérsékletnek vannak kitéve. Ha a VSP felvételekből közefizikai paramétereket is akarnak becsülni, ismerni kell a geofonok átviteli tulajdonságainak hőmérséklettől való függését is.

A kábel

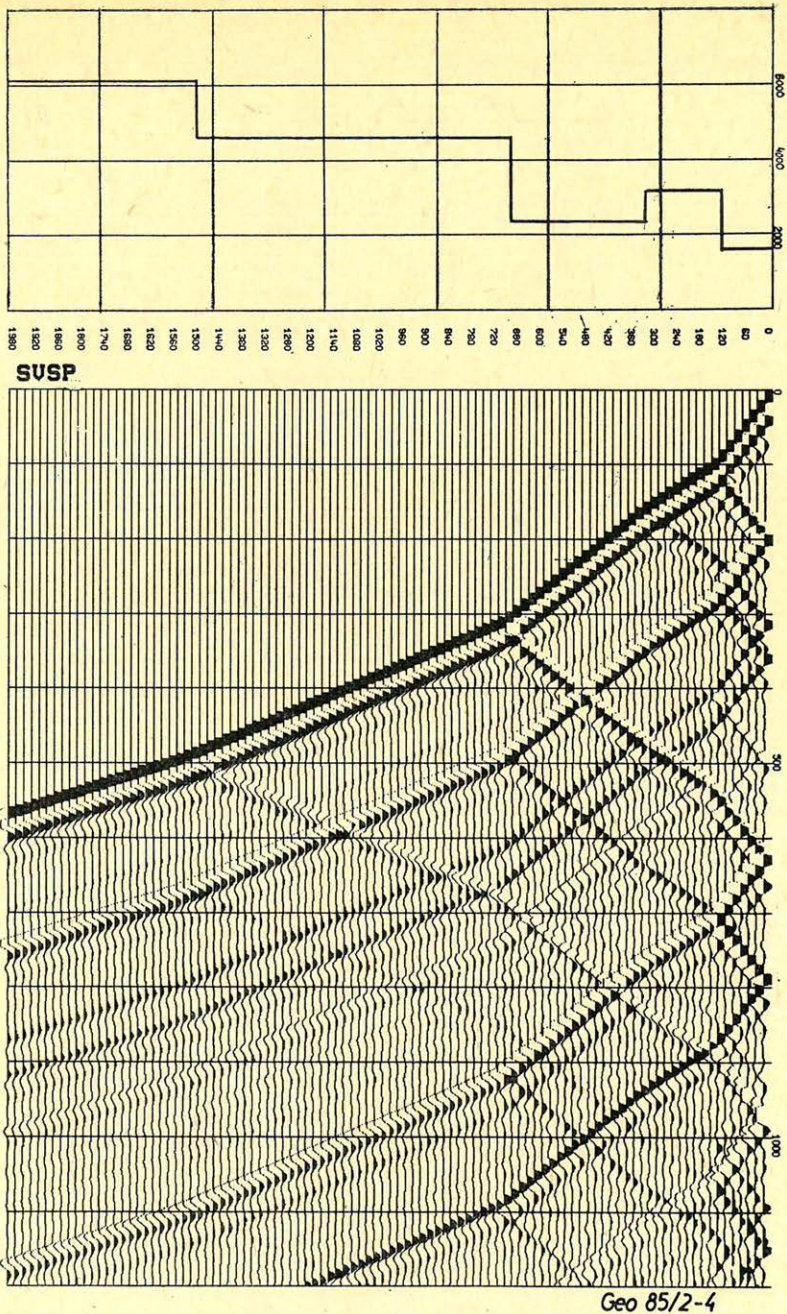
A VSP mérésekhez az általában használt karotázis kábelek megfelelőek. A kábel analóg csatornáinak száma, azonban korlátozza a mérési paraméterek számát. A jövőben valószínűleg kifejlesztik a mélybeli digitalizálást végző VSP szondákat és az adatokat digitálisan juttatják majd a felszínre. Ezáltal a független paraméterek száma növelhető és zajoktól szabadulunk meg.

A szeizmikus műszer

A VSP mérésnél regisztrálni kívánjuk az első beérkezést, az általa keltett jóval gyengébb egyszeres reflexiókat, majd az ezek felszíni és réteghatárok közötti többszöröződéséből származó általában már igen gyenge hullámokat is. Észlelést végzünk a forráshoz képest 2–5 km mélységtől a közelfelszínig. Regisztráljuk általában a forráshoz közel elhelyezett (monitor) geofonon a lefelé induló jelalakot is.

Ezek az igények azt jelentik, hogy olyan műszerre van szükség, melyben a konstans előerősítés és a dinamikus erősítésszabályozás lehetővé teszi, hogy nagy dinamika tartományban (90–100 dB), elegendő felbontóképességgel, túlcsondulás nélkül rögzítsük a szeizmikus jeleket. A korszerű digitális, szeizmikus műszerek, melyeket a felszíni méréseknél is használunk, általában megfelelőek.

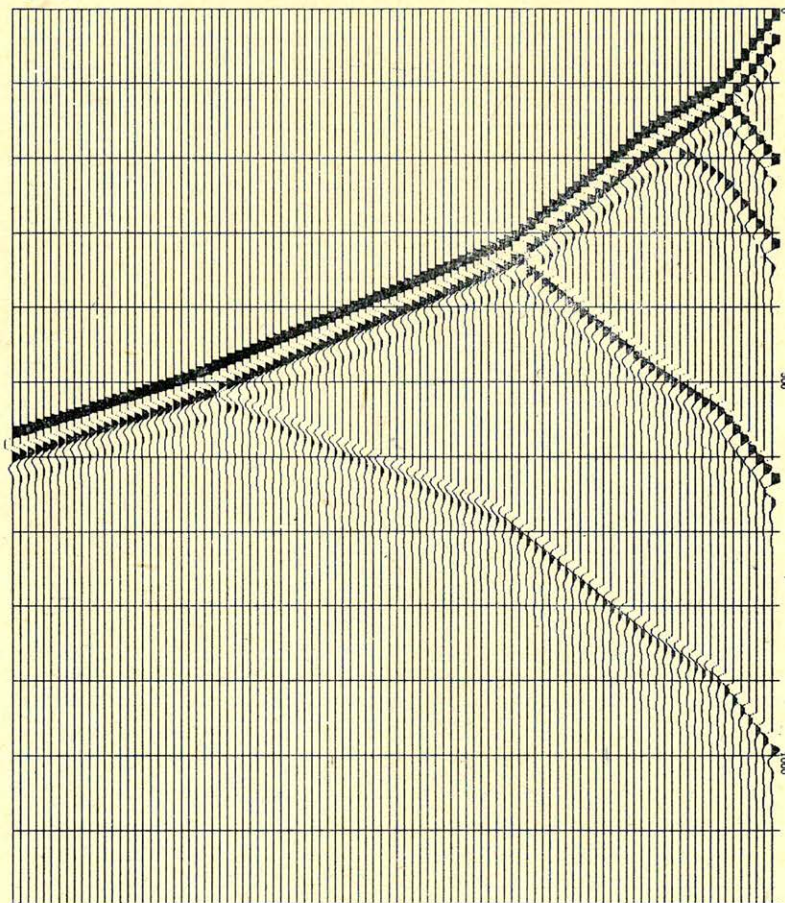
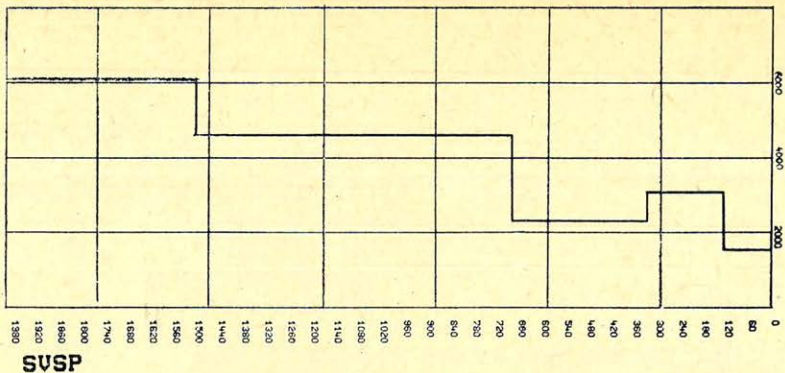
Nagyon lényeges mérés-technikai paraméter a helyes mintavételi távolság. A 2 msec időbeli mintavétel általában megfelelő, de finomabb analízishez, pl. a csillapítási együttható becsüléséhez nem elegendő. A mélységbeli mintavételi távolságot úgy kell megválasztani, hogy teljesüljön a $\Delta z \leq V_{\min}/2 f_{\max}$, ahol V_{\min} a minimális terjedési sebesség és f_{\max} a legmagasabb hasznos jelfrekvencia. Jelenleg 10 m mintavételi távolságot alkalmazunk.



4. ábra. Szintetikus VSP szelvény, teljes hullámter

Рис. 4. Синтетический профиль ВСП, полное волновое поле

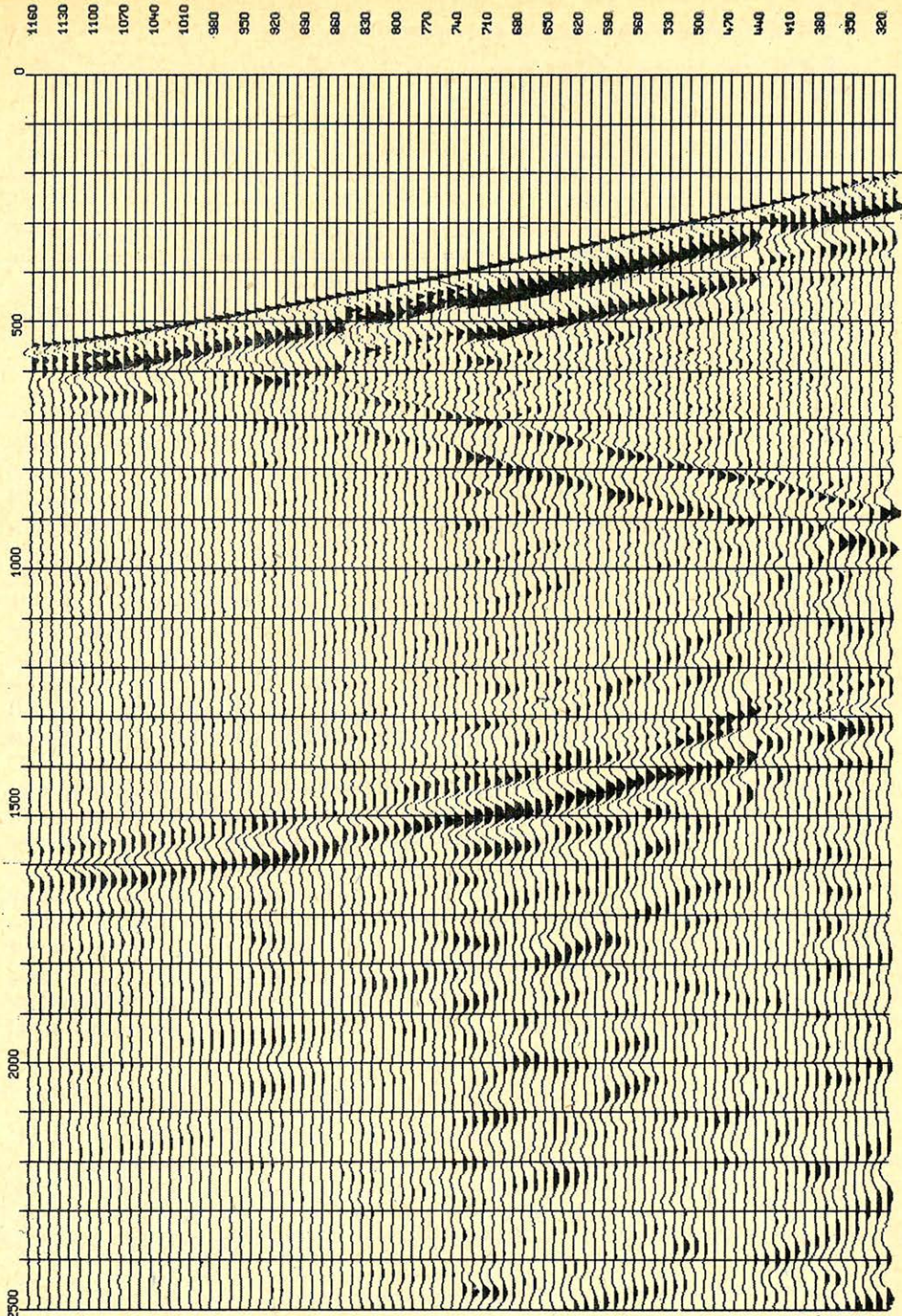
Fig. 4. Synthetic VSP, total wavefield



Geo 85/2-5

5. ábra. Szintetikus VSP szelvény, direkt hullám és egyszeres reflexiói
 Рис. 5. Синтетический профиль ВСП, прямая волна и однократные отражения
 Fig. 5. Synthetic VSP, direct wave and reflections

6. ábra. Nyers VSP szelvény, erősítésszabályozás után
 Рис. 6. Исходный профиль ВСП после регулировки усиления
 Fig. 6. Raw VSP data, after gain recovery



Geo 85/2-6

A VSP szelvények kinematikai és dinamikai jellemzői

A VSP szelvények kinematikai és részben dinamikai jellegzetességeit egy szintetikus szelvényen mutatjuk be.

A szintetikus VSP szelvény készítéséhez a *D. Wyatt* által publikált algoritmust használtuk [3]. Az algoritmusban feltesszük, hogy a réteghatárok vízszintesek és a gerjesztés lefelé haladó síkhullám volt. Az így kapott szintetikus VSP szelvény összevethető egy valódi VSP szelvényvel, amelyen már kompenzáltuk a robbantásos gerjesztéskor fellépő gömbi szóródás hatását. A szintetikus VSP szelvényt a *4. ábrán* mutatjuk be. A szelvény készítésekor csak *5* réteget vettünk fel s a jelalak *40* Hz csúcsfrekvenciájú Ricker wavelet volt. A rétegekben a sűrűséget itt konstansnak vettük, csak a sebesség változott. Az ábrán a függőleges tengelyen az egyszeres futási idő (*100* msec csikozással) a vízszintes tengelyen pedig a mélység látható (balfelé növekszik). A kijátszást konstans erősítéssel készítettük.

Az ábrán jól láthatók a transzmissziós veszteségektől kissé gyengülő lefelé haladó direkt hullám, ellenkező dőléssel pedig a reflexiók együtthatóknak megfelelő polaritású felfelé induló egyszeres reflexiók. Láthatók továbbá a réteghatárokon keletkező le és felfelé haladó többszörös hullámok. Az ábra magáért beszél, s igen jól nyomozhatók rajta az egyes hullámkomponensek keletkezési helyüktől a felszínig a bonyolult interferenciák ellenére. Ez a szintetikus VSP szelvény koherens zajt nem tartalmaz (csőhullám) és véletlen zajt sem. Az ábrából szemléletes, hogy a le- és felfelé haladó hullámok eltérő látszólagos sebességük alapján jól szétválaszthatók. Ezen kívül az egyes hullámkomponensek polaritás és amplitúdó viszonyai jól tükrözik a reflexiók és transzmissziók hatását.

Az *5. ábrán* az ugyanerre a rétegmodellre vonatkozó lényegesebb hullámokat látjuk: a lefelé haladó direkt hullámot és az általa keltett egyszeres reflektált hullámokat. Egy valódi VSP szelvényen e hullámok felismerése és analízálása a leglényegesebb. Ezek segítségével a közegről már sokat megtudhatunk.

A *4. ábrán* látható teljes hullámkép a legfontosabb hullámok felismerését segíti és nehezíti is egyszerre, hiszen sok interferenciát tartalmaz. A rétegmodellben elég nagy sebességváltozásokat vettünk fel (az illusztráció kedvéért) s így a reflexiók együtthatók elég nagyok voltak. A valóságban általában sokkal gyengébbek a reflexiók és a többszörösök a direkt hullámhoz képest. A *6. ábrán* egy hazai VSP szelvényt látunk, konstans erősítéssel kijátszva a gömbi szóródás közelítő kiegyenlítése után. A VSP szelvényekre általában jellemző, hogy a direkt hullám igen nagy energiájú az azt követő hullámokhoz képest. Az is jellemző, hogy legerősebbek a felszíni többszörösök. Az ábrából érzékelhető, milyen sokrétű adatfeldolgozásra van szükség, hogy az ilyen nyers VSP szelvényekből hasznos és sokféle információhoz jussunk.

A VSP adatok feldolgozásának néhány szempontja

A *6. ábrán*, melyen egy gyakorlatilag teljesen nyers VSP szelvényt látunk, összevetve az *5. ábra* ideális szintetikus VSP szelvényével, megfogalmazhatunk néhány szempontot, feladatot a VSP feldolgozás számára. Mivel minden VSP mérés más és más problémákat vet fel, itt most csak az általánosabb problémákról szólunk. A VSP feldolgozás részleteivel egy e számban közölt másik cikkben foglalkozunk részletesebben.

A nyers VSP szelvényen a direkt hullám túlságosan nagy energiájú a konstans erősítéssel kijátszott szelvényen – ami a relatív amplitúdóviszonyok érzékeltetése miatt célszerű – a reflexiókhoz és többszörösökhöz képest. A feldolgo-

zással a relatív amplitúdó viszonyok megőrzése mellett ezt a problémát is kezelni kell.

Másik probléma, hogy a robbantólyuk váltásánál változik a jelalak. Ezenkívül a lefelé haladó hullám túl hosszú és bonyolult alakú a közel felszíni interferenciák miatt. Ez zavarja a kiértékelést, csökkenti a felbontóképességet.

Több VSP szelvényen láthatók véletlen (szondacsúszás) és szisztematikusan zajok (hálózati zaj, csőhullámok stb.). Ezeket is célszerű a feldolgozás során kiküszöbölni vagy legalább csillapítani.

A VSP szelvények sokszor csak igen fáradságos, aprólékos feldolgozás után adnak olyan eredményeket, melyek hathatósan támogatják a felszíni szelvények kiértékelését.

A VSP szelvények felhasználásáról

Végezetül megemlítünk néhány felhasználási területet, jöhet a VSP szelvényeink felhasználásának még csak a kezdetén állunk. A VSP mérések egyik legfontosabb eredménye a pontos futásidő-mélységfüggvény meghatározása. Ebből kiszámíthatjuk az átlagsebességet, valamint becsülhetjük az intervallumsebességeket is. A kapott sebességfüggvények felhasználhatók a felszíni szelvények feldolgozásánál és a karotázs szelvények szeizmikus időléptékbe való transzformációjához.

A VSP szelvények segítségével a közeli időszelvényeken látható reflexiók beérkezéseket azonosíthatjuk és követhetjük keletkezési helyükig. Elkülöníthetjük az esetleg még az időszelvényeken megmaradt többszörös beérkezéseket.

A lefelé és a felfelé haladó hullámok adott mélységintervallumban mutatkozó futásidő-különbségéből becsülhető a reflektáló felület dőlésszöge. A lefelé haladó hullám becsléseit felhasználhatjuk a felszíni szelvények dekonvolúciós operátorának tervezéséhez.

Mélységintervallumonként becsülhetjük a szeizmikus hullámok csillapodását okozó közetfizikai paramétereket.

Vizsgálható a belső többszörösképződés mechanizmusa és ennek hatása a hullámterjedésre. A mélyfúrás közelében levő törések a hullámok kinematikai vizsgálata alapján meghatározhatók.

Vizsgálhatjuk a mélységszakaszok átviteli függvényeinek becsléseit. Ilyen vékonyréteg analízisről számolt be A. Balch [4]. Becsléseket adhatunk a mélyfúrás cementezésének minőségéről, valamint a mélyfúrás talpa alatt várható szeizmikus reflektáló felületekről. Ez utóbbi a mélyfúrás továbbmélyítéséhez adhat szempontokat.

A VSP mérések felhasználása igen sokrétű és egyre újabb és újabb eredmények látnak napvilágot a szakirodalomban.

Jelenlegi feldolgozásunk elsősorban arra irányul, hogy kinematikailag jól kiértékelhető VSP szelvényeket állítsunk elő.

A fentebb említett felhasználási lehetőségekhez a geológiai, a mélyfúrási és a felszíni szeizmikus adatok együttes felhasználása és értelmezése a célszerű.

IRODALOM

- [1] B. A. Hardage, 1983: Vertical Seismic Profiling Part A: Principles. Geophysical Press.
- [2] Vertical Seismic Profiling. Part B: Advanced Concepts. 1984. Geophysical Press.
- [3] K. D. Wyatt, 1981: Synthetic Vertical Seismic Profile. Geophysical Press.
- [4] A. Balch, M. W. Lee, J. J. Miller and R. T. Ryder, 1981: Seismic amplitude anomalies associated with thick First Loo sandstone lenses, eastern Powder River basin, Wyoming. Geophysics, V. 46. p. 1519 - 1527.

A VSP mérés

MÓD GÁBOR*—RÁDLER BÉLA*—TÓTH JÁNOS*

A dolgozatban a Geofizikai Kutató Vállalatnál alkalmazott VSP mérések kivitelezésének főbb vonásait ismertetjük

В статье описываются основные черты полевых работ и методики ВСП применяемых в Геофизическом предприятии

The basic field procedures of VSP used in Geophysical Exploration Co. are described.

A vertikális szelvényen a hullámképet, hasonlóan a szeizmokarotázshoz, a geofonsonda minden egyes mélységhelyzetében külön-külön rögzítjük. Ez a hullámkeltés sokszoros megismétlését jelenti. Így a teljes VSP felvételezés ideje rögzített geofonsonda távolság mellett a fúrólyuk mélységétől függ.

A szükséges és általában szokásos, 100 mérési pont/km sűrűségű szelvényezés több napig is eltarthat. Emiatt a VSP-hez időkímélő technológiát kellett kialakítani. Lényege: az új hullámkeltéshez szükséges idő ne legyen több, mint a geofonsonda új mérési pontba állításához és rögzítéséhez, valamint a felvételezés ellenőrzéséhez szükséges idő.

Hullámkeltés

A szeizmokarotázis méréseknél alkalmazott mérési technológiával sikeres VSP felvételt készíteni általában nem lehet. Ez egyértelműen kitűnik a VSP szakirodalomból. A korábbinál sokkal nagyobb gondot kell fordítani mind a hullámkeltés, mind a szondarögzítés és felvételezés részleteire.

A VSP-hez szükséges hullámkeltéssel szemben támasztott főbb követelmények az alábbiak:

1. A gerjesztett jel sokszorosán ismételhető legyen anélkül, hogy a jel alakja jelentősen megváltozna.

2. A jelalak legyen minél rövidebb és egyszerűbb (magas frekvenciájú, ghostmentes, zajmentes).

3. A jelnek legyen elegendő energiája a teljes terjedési úton.

4. Minél kevesebb felszíni zavarhullám keletkezzék.

A megvalósítás során két különböző típusú jelgerjesztés jöhetett szóba, egyik a felszíni (air-gun) vibroseis, másik a hagyományos, robbantásos gerjesztés.

A felszíni rezgéskeltési eljárásoknál fő probléma a kellő energia hiánya. A megoldás több berendezés szinkron üzemeltetése, ill. vertikális összegzés útján lehetséges. Ezeknél az eljárásoknál előkészületi idő ugyan gyakorlatilag nem lép fel, viszont a felvételezés időtartama, a több részfelvétel elkészítése és összegzése (vibroszeiznél ezenkívül a betáplált jel hossza) miatt jelentősen megnövekedhet. A felszíni gerjesztőforrások előnye, hogy szellemreflexiókat (ghost) nem keltenek, hátránya, hogy a lyukrobbantásnál több felszíni zavarhullámot gerjesztenek.

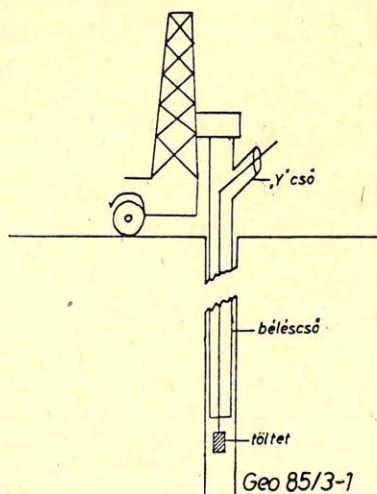
* Geofizikai Kutató Vállalat, Budapest,

Figyelembe véve azt, hogy a vállalat szeizmikus csoportjainál jelenleg üzemelő vibrátorok és air-gun berendezések a hordozó járművek konstrukciója miatt elfogadható sebességű országúti közlekedésre alkalmatlanok és az ország egymástól távoli területein kell szelvényezést végezni, a megfelelő robbantásos hullámkeltési eljárás kialakítása mellett döntöttünk.

A robbantásos jelgerjesztés kialakításához, szóbeli közlések alapján, a Német Demokratikus Köztársaságban kialakított ún. ipszilon csöves megoldást választottuk. A részleteket saját elképzeléseink szerint alakítottuk ki.

Az alábbiakban röviden összefoglaljuk az eljárás működését.

Először a szokásos módon a szükséges robbantási mélységnél 1–2 m-rel mélyebb lyukat fúrunk a kijelölt robbantóponton. Ezt követően a lyukat a kívánt robbantási mélységig béléscsővezük. A béléscsőoszlop felső részét a fúróberendezés emelő-öblítő rendszeréhez egy deformált Y alakú cső (az „Y-cső”) segítségével csatlakoztatjuk (1. ábra). A lyukat kiöblítés után tiszta vízzel töltjük fel.



1. ábra. Jelgerjesztés Y csővel

Рис. 1. Возбуждение в колонке Y

Fig. 1. Wave generation using Y tube

A robbanóanyagnak a béléscsőbe helyezésére az Y-cső harmadik, sapkával elzárható nyílása szolgál. A töltet a kívánt robbantási mélységet leúsztatással éri el.

Letöltés után a béléscsővet — vigyázva arra, hogy a robbanótöltet helyzetét ne változtassuk meg — a fúróberendezés emelőműve segítségével 2 m-rel megemeljük.

A töltet elrobbantása, a lövezeték kihúzása után a béléscsővet haladéktalanul visszaengedjük eredeti helyzetébe és a lyukat alaposan kiöblítjük. Ezután a lyuk újratölthető, a folyamat megismételhető.

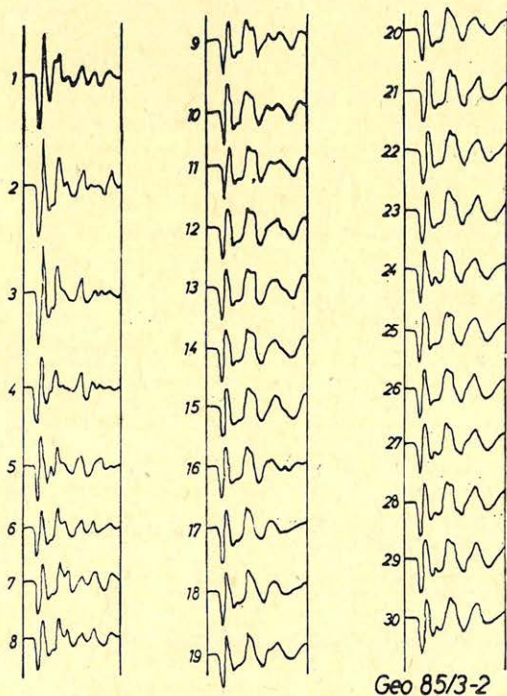
Kritikus a töltet tényleges mélységének megállapítása, ellenőrzése, mivel ha a töltet a béléscsőben elakad, és azt a béléscsővel együtt megemeljük, a robbanás a béléscsőben, vagy ahhoz túl közel történhet. A béléscső megsérülése, a közvetlen anyagi káron túl, új lyuk fúrását teszi szükségessé, növelve a szelvényezés időtartamát. Ez a kockázat a töltények fajsúlyának megfelelő növelésével, gondos leúsztatásával minimálisra csökkenthető. Ellenőrzésként a lövezetéket mélységjelzésekkel látjuk el.

A töltények választás szerint 0,1, 0,25, ill. 0,5 kg robbanóanyagot tartalmazhatnak, két végükön ledugózott, vasdarabokkal nehezített PVC-csőbe töltve.

A gyors robbantásos jelgerjesztés mechanizmusa tehát készen van. Feltételezhető volt, hogy az Y csővel kellően lezárt folyadékkel feltöltött, nagy roncsolást nem végző kis töltetsúlyok stabil, jól ismétlődő szeizmikus jelet adnak.

Az eljárás első geofizikai ellenőrzését a kísérleti szelvényezésre kijelölt Tarnabod – 1 fúrás térségében végeztük.

A kísérlet helyén a felszíntől mintegy 60 m mélységig szinte agyagmentes, homokos – kavicsos összlet helyezkedett el a talajtakaró alatt.



2. ábra. A hullámkép alakulása a robbantópontról 15 m-re telepített felszíni geofonon, 30 felvételen

Рис. 2. Изменение формы волны на записях поверхностного сейсмоприёмника расположенного в 15-ти метрах от взрывной скважины. 30 взрывов.

Fig. 2. Variation of source waveform recorded at the ground surface with 15 m shot-hole distance, 30 records

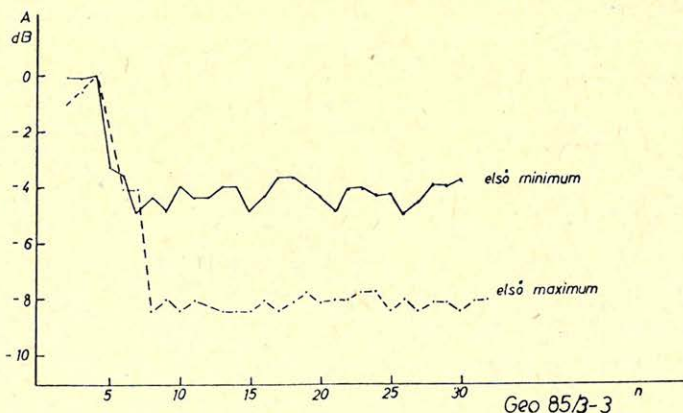
A 24 m mélyre fúrt lyukakba 21 m mélyre töltöttük a robbanóanyagot. A direkt hullám tanulmányozására egy geofont helyeztünk el a robbantólyuk szájától 15 m-re. A zavarhullámképet a robbantólyuktól 200 – 310 m távolságban telepített szóló 10 H-zes geofonokból álló 12 csatornás, 10 m geonközű terítés-sel vizsgáltuk. A felvételezések terpei szűrőket (elteltekintve a 2 ms mintavételezés miatt szükséges 124 Hz felülvágó szűrőtől) nem alkalmaztunk.

Két mérési sorozatot végeztünk a két lyukból. Az elsőben 30 db 0,25 kg-os töltetet, majd ezt követően a másodikban 0,5 kg-os tölteteket robbantottunk el.

A 0,25 kg-os töltetknél a robbantólukhoz közeli geofonon a robbantás utáni 0,2 s-ig észlelt jeleket a 2. ábra mutatja. A geofonon észlelhető jelek alakja összetett. Első részét – kb. az első maximum utáni 0-átmenetig – főként a direkt hullám alkotja, majd bonyolult hullámkép lép fel.

A direkt hullám formája az első 5–6 robbantás után stabilizálódott. Az ezt követő hullámoknál a stabilizálódás ennél valamivel lassabban történik, kb. a 10. felvételig figyelhetők meg jelek változások. A stabilizálódás a direkt és az azt követő hullámoknál egyaránt a magasabb frekvenciák szemmel látható csökkenésével jár együtt.

A direkt hullám amplitúdója az első 5–6 felvétel során nagymértékben csökkent (3. ábra). Az első minimumnál ez a csökkenés 4–4,5 dB, az ezt követő maximumnál kb. 8 dB. Ezután szisztematikus változás nem ismerhető fel. A jelek alakja stabilizálódott.



3. ábra. Amplitúdó változások a lövésszám függvényében a 2. ábra felszíni geofonján
 Рис. 3. Изменение амплитуды на записях поверхностного приёмника рисунка 2.

Fig. 3. Amplitude variations versus shot number from fig. 2

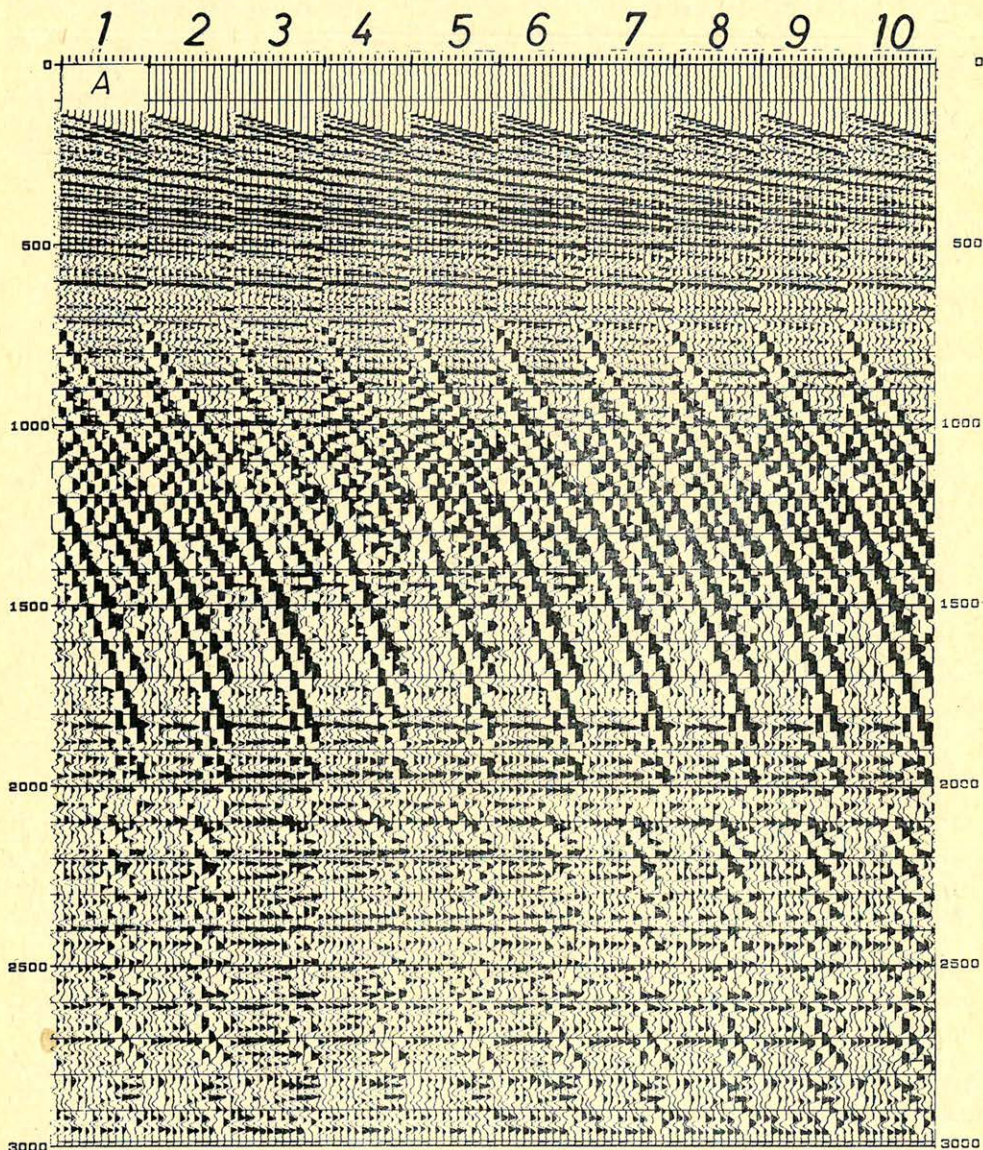
A zavarhullámok vizsgálatára készített 12 csatornás terítésen ugyancsak felismerhető a magasabb frekvenciás összetevők fokozatos gyengülése (4. ábra). Ezeken a felvételeken a 210 m/s – 330 m/s tartományba eső látszólagos sebességű zavarhullámok energiája, a velük azonos időintervallumban belépő reflexiókhoz képest, a lövésszám előrehaladtával lassan növekszik.

A robbantóponttól 240 m távolságra levő csatorna első és 28. felvételéből származó 200–800 ms közötti ablakainak normalizált spektrumait mutatjuk be az 5. ábrán. A 200–800 ms időablak elsősorban első beérkezést és reflexió-szerű beérkezéseket tartalmaz. 800–1500 ms között a felszíni zavarhullámok dominálnak. A stabilizálódott felvételek az első felvételeknél gazdagabbak alacsony frekvenciában. Különösen jellemző ez a zavarhullámos időtartományra.

A 0,5 kg-os töltetknél a helyzet hasonló. Ezeken az eleve több alacsony frekvenciát tartalmazó felvételeken a jelek stabilizálódása gyorsabb.

A kísérletet utóbb nagyobb agyagtartalmú területen megismételtük (Duna-keszi térsége). Hasonló gerjesztési paraméterek mellett gyorsabb (0,25 kg töltetnél 2–3 lövés utáni) stabilizálódást észleltünk.

1981 óta már számos mélyfúrásban végeztünk mérést e robbantásos eljárás alkalmazásával. Néhány esetben 80–100 felvételt is sikerült egy robbantólyukból készíteni, aránylag stabil jelforma mellett. Erre példa a 6. ábrán található. Itt a jelformát felvevő vertikális monitor geofon a 21 m mélységű robbantólyuktól 10 m-re fúrt, másik 60 m mély lyukban helyezkedik el.



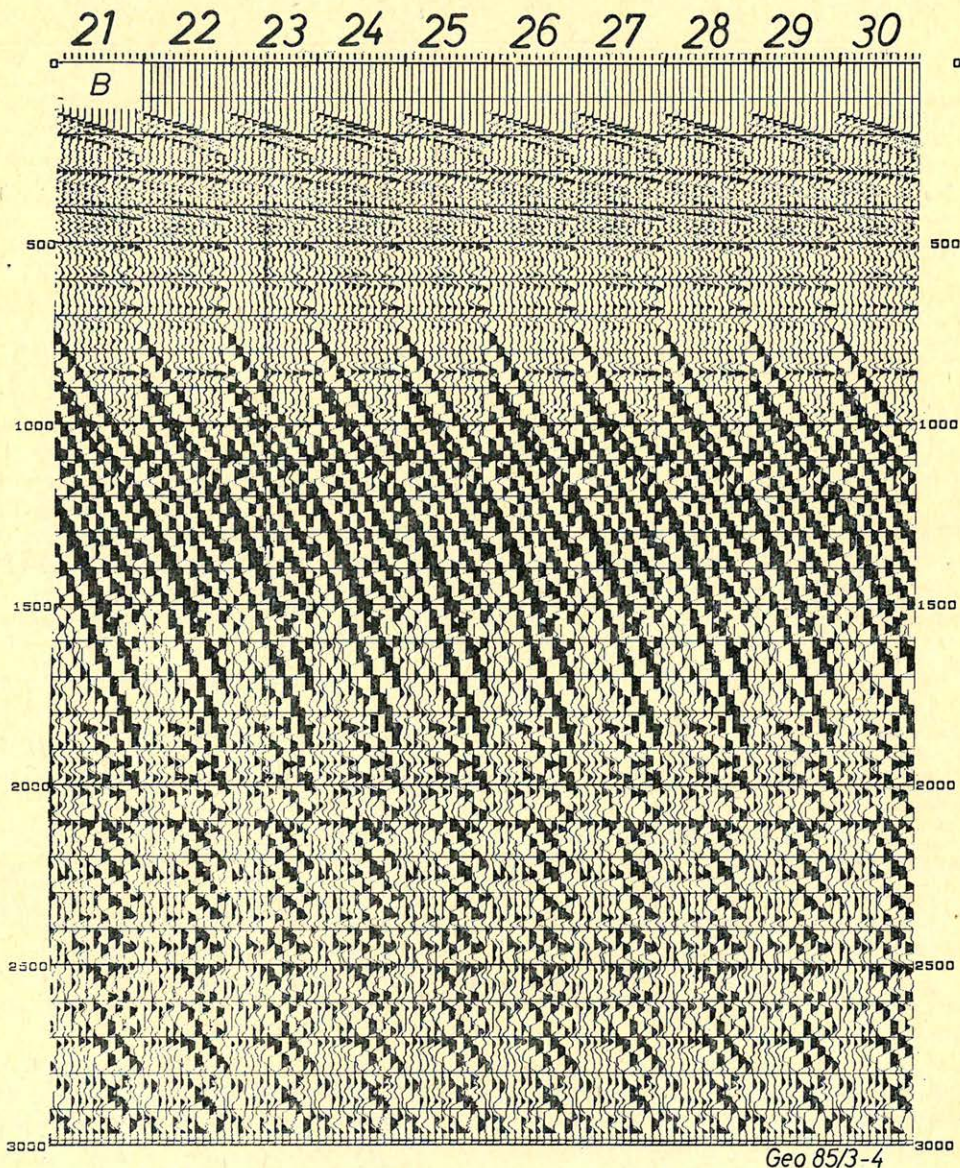
4. ábra. A zavarhullám felvétel sorozat

Рис. 4. Серия записей волн-помех.

Fig. 4. Series of surface wave records

Ez az eljárás – eddigi tapasztalatunk szerint – különösen nehéz fúrható-ságú területektől eltekintve – a VSP igényeit geofizikai és gyorsasági szempontból egyaránt kielégíti.

A két lövés között szükséges előkészületi idő (lyuk tisztítása, töltet elhelyezése, béléscső felemelése) begyakorlott munkabrigád esetén 2,5–3 perc, ami



A. 1–10. felvétel, B. 21–30. felvétel

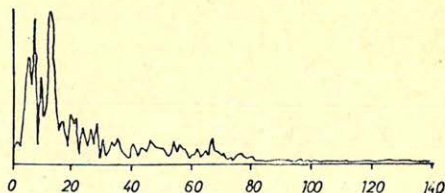
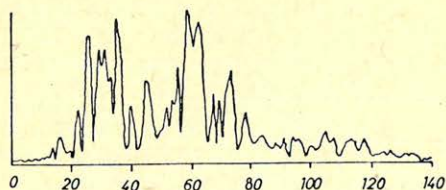
A – запись 1–10 B – запись 21–30

A. 1–10. records, B. 21–30. records

1. felvétel

200 - 800 ms

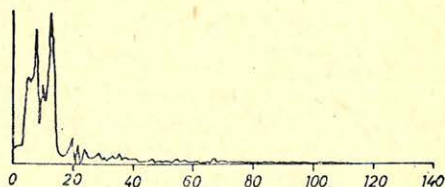
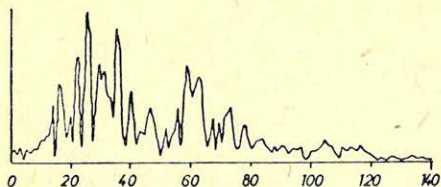
800 - 1500 ms



28. felvétel

200 - 800 ms

800 - 1500 ms



Geo 85/3-5

5. ábra. Az $x = 240$ m robbantóponti távolságú csatorna normalizált amplitúdó spektruma az 1. és a 28. felvételnél, a 200–800 és 800–1500 ms időablakokban

Рис. 5. Нормированный амплитудный спектр записей 1. и 28. в окнах 200–800 и 800–1500 мс при расстоянии взрыв-канал 240 м

Fig. 5. Normalized amplitude spectra from records 1. and 28. in time windows 200–800 and 800–1500 ms offset 240 m

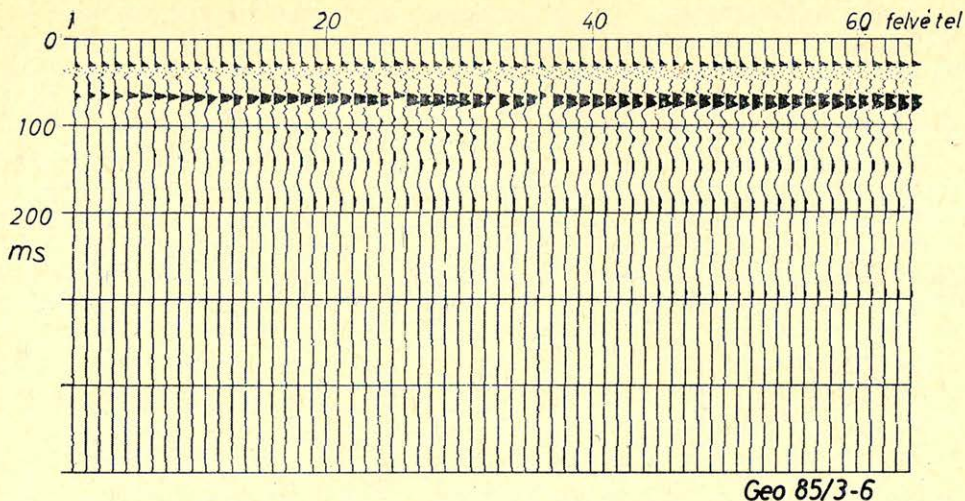
általában rövidebb a geofonsonda új mérési pontba húzásához szükséges időnél.

A robbantási mélység megfelelő megválasztásával a mélyfúrásban elhelyezett geofonsondára jutó jel energiája, formája szabályozható. Megfelelő robbantási mélység megválasztásával elérhető, hogy a szellemreflexió (ghost) a direkt hullám követő fázisával konstruktív interferenciába lépjen, ami a legegyszerűbb hullámformát eredményezi.

A 7. ábrán a Demjén K–438 fúrásban 1000 m mélyen elhelyezett geofonsondán észlelhető hullámkép első szakaszát ábrázoltuk, különböző robbantási mélység mellett.

Az energia keltéséhez szükséges töltetet az adott szeizmológiai viszonyok és mérési geometria mellett a geofonsonda érzékenysége alulról, az alkalmazott robbantási technológiánk felülről korlátozza. A bemutatott eljárással 0,25 kg minden eddigi szelvényezésünknel megfelelőnek bizonyult.

Az Endrőd – É – 5 kút robbantásos szelvényezése után kísérletet tettünk a kút 2450–2200 m közötti szakaszának air-gun jelgerjesztéssel történő szelvényezésére. Az előzetes feldolgozási állapotú szelvényszakaszok állandó erősítésű kiértékelései a 8. ábrán találhatók. Az air-gun szelvényénél alkalmazott erősítés a



6. ábra. Monitorgeofonon észlelhető hullámkép változásai a felvételszám növekedésével. Az első beérkezés jelalakja alig változik. Az ezt követő nagy energiájú beérkezéseknél (60–80 ms között) a változás jelentősebb. Ez a hullám kisebb terjedési sebessége miatt kevésbé zavaró.

Рис. 6. Изменение формы волны в зависимости от числа взрывов, на записи контрольного сейсмоприёмника опущенного в мелкую скважину

Fig. 6. Variation of waveform recorded at the monitor geophone with increasing shot number

robbantásos szelvényénél mintegy 20 dB-el kisebb. Ugyanitt a robbantásos szelvényezés a leírt módszer szerint történt.

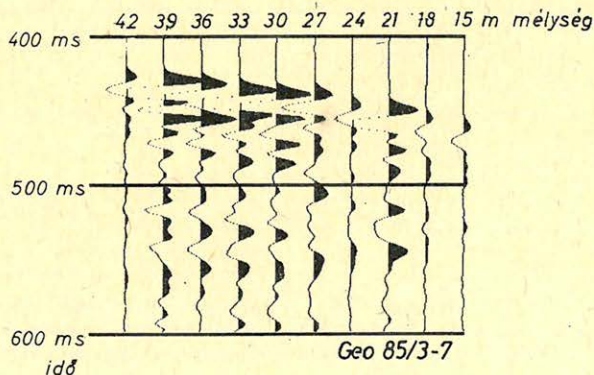
A két változatnál a hullámkép kissé eltérő. A robbantásos szelvényen felismerhető gyenge reflexió az air-gun szelvényen kevésbé látható. Az air-gun szelvény 4 air-gun szinkron üzemeltetésével 36×-os vertikális összegzéssel készült. A 75 cu. inch űrtartalmú puskával, 1500 PSI kamranyomással készített felvételek a robbantással készített felvételeknél átlagosan mintegy 20 dB-lel kisebb energiájúak. Ugyanakkor ilyen ütésszám mellett a felvételezési periódus mintegy 6 percre nőtt, ami a mérés jelentős elhúzódsásával járt.

Geofonszonda, kábel

Jó minőségű felvételek készítésének feltétele a geofonszonda és a geológiai formáció közötti megfelelő csatolás. Ennek biztosítására a geofonszondába falhozszorító szerkezetet építenek. Ez lehet a felszínről irányítható elektromechanikus vagy hidraulikus működtetésű autonomszonda, vagy olyan mechanikus impulzus (rántás) hatására bekapcsolódó szerkezet, melyet csak a szonda mélyfúrásból történt kihúzása után lehet újra kikapcsolni. Az utóbbiak egyszerűbbek, kevesebb a meghibásodás lehetősége, felhasználásuk viszont kevésbé kényelmes, pl. a mérési pontok utólagos pótlása több munkával jár.

A felszínről a kábelen át a geofonra jutó zavaró hullámok („kábelhullámok”) a kábel lazítása után csökkenthetők. A falhozszorító szerkezetnek olyan mértékben kell a geofonszondát a lyukfalra zárnia, hogy a szonda megcsúszása még néhány méternyi kábel lazítás esetén se következhesen be (a szonda csúszás a felvételeken jellegzetes zajt okoz).

A geofonszonda megfelelő lyukfalhoz rögzítéséhez a szonda súly 2–3-szorosának megfelelő erő kifejtésére alkalmas szerkezet szükséges. Az átlagosnál nagyobb mechanikus és termikus igénybevételnek megfelelni képes szondák 50–100 kg súlyúak. A nagy súly miatt a kereskedelmi forgalomban megvásárolható szondák (felszínről irányítható) falhozszorító szerkezete általában nem elég erős a szondák megfelelő rögzítésére.



7. ábra. Az 1000 m mélységben levő geofonszondán észlelt jelalak változások a robbantási mélység függvényében

Рис. 7. Изменение формы волны в зависимости от глубины взрыва на скважинном зонде на глубине 1000 м

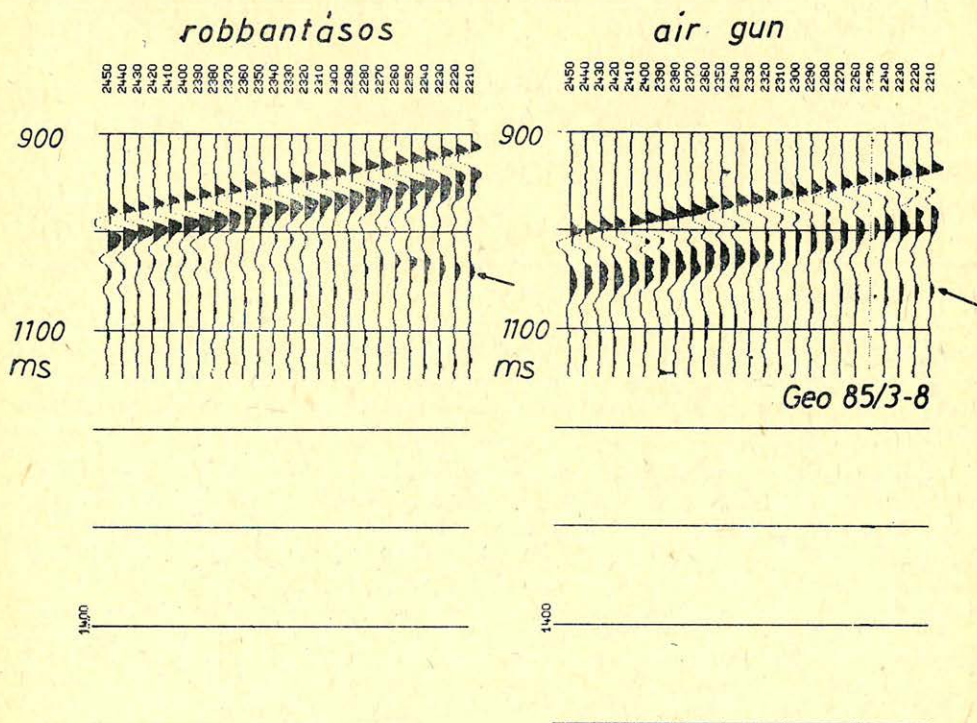
Fig. 7. Variation of waveform recorded by the borehole geophone at a depth of 1000 m with source depth

A falhozszorító szerkezet által kifejlesztett szorító erő a konstrukció által meghatározott mértékben függ a lyukátmérőtől. A GKV által használt közel 100 kg-os geofonszonda esetén pl. 1250 mm lyukátmérőnél 700 N, 300 mm lyukátmérőnél 250 N szorítóerőt mértünk.

A kábel 0,5–1 m-nél nagyobb mértékű lazítására tett kísérleteinknél igen gyakran észleltük a geofon csúszást. Ezért méréseinket minimális (0,2–0,3 m-es) lazítással végeztük, ami a kábelhullámok kiküszöbölése szempontjából nem optimális.

A megfelelő érzékenységet a szondában elhelyezett több geofon összekapcsolásával vagy/és előerősítővel biztosítják. Az előerősítő – a karotázs kábelre illesztés mellett – az erősítés változtatásával lehetővé teszi az érzékenység módosítását.

A geofonsondának – mint egésznek – fontos paramétere a maximális tűzemi nyomás és hőmérséklet. Ezek szabják meg a velük szelvényezhető mélységet. Közülük a hőmérséklet tűnik kritikusabbnak a szondában elhelyezett mechanikus szerkezet elemeinek eltérő hőtágulása, az egyes szigetelések eltérő hőmérséklettűrése miatt. Eddigi szonda meghibásodásainkat túlnyomórészt a magas hőmérséklet okozta.



8. ábra. Robbantásos és air gun VSP szelvényrészlet összehasonlítása

Рис. 8. Сопоставление фрагмента ВСП при возбуждении взрывом и поверхностным источником

Fig. 8. Comparison of the same VSP sequence recorded with explosive and air gun

A geofonsondát a szeizmikus műszerre csatlakoztató karotázs kábel

- szállítja a vezérléshez szükséges feszültséget a falhozrögzítő szerkezet számára,
- tápfeszültséggel látja el a geofonsondába szerelt előerősítőt,
- felszínre továbbítja a geofonok által felvett jeleket.

Bármelyik funkció (pl. érszakadás miatti) megszűnése a geofonsonda működésképtelenségét eredményezi. A vezérlő és tápfeszültségek, valamint a geofonokból származó jelek igen különböző szintje miatt az erek szigetelésével szemben támasztott követelmények nagyok.

A VSP minőségét a szelvényezett fúrás szerkezete alapvetően befolyásolja, mivel

- meghatározza a geofonsonda és a geológiai formáció közötti akusztikus csatolást,
- a gerjesztés során keltett hasznos és haszontalan hullámok a mélyfúrás-ban, ill. annak egyes szerkezeti elemeiben további rezgéhullámokat gerjeszhetnek.

A mérés szempontjából legelőnyösebbek az egyszer beléscsövezett, teljes hosszukban egyenletes minőségű, jó cementpalásttal ellátott mélyfúrások. Így a geofonsonda csatolása a beléscsőhöz minden mérési ponton egyenletesen jó és a geológiai formáció – beléscső csatolás is jó. A tényleges helyzet azonban ettől általában eltérő. A fúrások a szelvényezés idején rendszerint már több, egymásban koncentrikusan elhelyezett beléscsőoszlopból állnak, és az egyes oszlopok közötti tér általában nincs teljes hosszában cementezve. A geofonsonda és a belső beléscsőoszlop akusztikus csatolása egyenletes és jó, viszont az oszlopok hosszabb-rövidebb szakaszokon egymástól, illetve a környező kőzettől függetlenek, tehát a geofonsonda csatolása a geológiai formációhoz nem, vagy csak helyenként megfelelő. Az ilyen szakaszokon olyan zavaró hullámok válhatnak uralkodóvá, melyek a feldolgozás során gyakran nem csillapíthatók megfelelő mértékben.

Beléscsővezetlen fúrásokban a tényleges lyukátmérő változásai következtében a geofonsonda-geológiai formáció csatolás pontonként különböző lehet. A geofonsonda helyzete egyes esetekben a vertikálistól jelentősebb mértékben eltérhet, ami érzékenységsökkenést, torzítás növekedést eredményezhet. A beléscsővezetés hiánya a mérés kockázatát is növeli (beszakadás).

Összefoglalva: VSP-hez beléscsővezett, a teljes mérési tatományban végig jól cementezett fúrás szükséges. Ez általában azt jelenti, hogy – mivel a fúrások beléscsővezése rendszerint több ütemben, különböző átmérőjű beléscsővekkel történik, és az utóbb elhelyezett beléscsőveket általában már nem cementezik a felszínig – a szelvényezést több részletben célszerű elvégezni, majd a nyert anyagot később, a feldolgozás folyamán kell egy szelvényvé összedolgozni.

Szeizmikus műszer

A szeizmikus műszerrel szemben alapvető követelmény – a felszíni szeizmikához hasonlóan – az, hogy a szeizmikus hullámokat minél kisebb torzítással rögzítse. Ehhez a műszer dinamikartományja széles frekvenciasávon mintegy 90–100 dB kell legyen. A jelenlegi azonnali lebegőpontos szabályozású digitális jelrögzítésű műszerek ezeket az igényeket kielégítik.

A mélyfúrásban levő geofonon tapasztalataink szerint az esetek túlnyomó részében nem lép fel olyan zaj, ami a felvevő műszer szűrőivel hatásosan csillapítható. Bizonyos mértékig kivétel az alól az elektromos hálózathoz származó 50 Hz-es zaj. Ennek kiszűrése a széleskörűen használt lyukszűrő helyett célszerűbb kompenzálásos eljárást alkalmazni, kisebb spektrumtorzító hatása miatt. A többi zaj felvételét lehetőség szerint a zajforrás kiiktatásával kell megelőzni.

A szelvényezés offsetje (a mélyfúrás és a jelgerjesztési pont távolsága) befolyásolja a mélyfúrásban észlelhető hullámképet – a geofonszondára jutó hullámok körét, beérkezési idejüket, energiájukat. Direkt hullámokon alapuló közvetlen sebességinformációk szerzésére csak (a mérési pont mélységéhez mérten) kiss offsetek esetén van lehetőség.

Eddigi méréseinket kis (50–80 m) offsettel végeztük. Az ilyen mérés fő sajátosságai:

- a felső néhány száz métertől kezdve a lyuk talpáig első beérkezésként direkt hullámok észlelhetők,
- (közel horizontális réteghatárokat feltételezve) a direkt, reflektáló hullámok és többszörösök egyaránt közel vertikális úton haladnak.
- a direkt és reflektált hullámok időben jól szétválaszthatók, a felfelé és lefelé haladó hullámok interferenciázónája viszonylag rövid.
- a mélyfúrásban intenzív zavaró hullámok (cső- és kábelhullám, iszapban terjedő hullámok stb.) alakulhatnak ki.

A robbantólyuk mellett, attól 10 m-re fúrt, általában 60 m mély lyukba geofont telepítünk („monitor geofon”). Az ezen a geofonon megfigyelhető első beérkezés a robbantási körülmények változásairól ad már a mérés ideje alatt információt. A jelalak két lövés között történő durva megváltozása, vagy az első beérkezési idő nagyobb változása gerjesztési problémákra, ismétlés (esetleg új lyuk fúrása utáni ismétlés) szükségességére utal. A monitor geofonon észlelt hullámkép a későbbiekben a feldolgozásnál is fontos szerepet játszik.

Részben a mérési eredmények felszínre történő korrigálásának elősegítésére, részben ellenőrzési célokkal geofonokat helyezünk el a felszínen is, a mélyfúrás, a robbantólyuk és a monitorgeofont tartalmazó lyuk szájánál.

A szelvényezendő szakasz hosszával együtt a mérési pontok távolsága alapján véve meghatározza a mélyfúrás szelvényezéséhez szükséges felvételek számát.

A szelvényezéshez szükséges idő lényegében arányos a felvételszámmal. Ebből következik, hogy a mérési pontok távolságát csak a geofizikai szempontok által megkövetelt határig célszerű csökkenteni.

A mérési pontköz meghatározásánál figyelembe veendő főbb geofizikai szempontok:

- az adatokból számítandó sebességfüggvény kívánt pontossága, részletessége,
- a szelvényben fellépő különböző fajta hullámok megfelelő térbeli mintavételezésének biztosítása.

Az első szelvényezéseket 20 m mérési pontközzel végeztük, majd 10 m-re térünk át, mivel a feldolgozás a térbeli mintavételezés további javítását igényelte.

A felvázolt eljárással eddig közel 20 fúrás szelvényezésére tettünk kísérletet. Ennek mintegy 60%-a tekinthető sikeresnek. A többi próbálkozás közül egy a gerjesztés problémái, a többi lyukgeofon és karotázs kábel – vagy csörlő problémák miatt végződött eredménytelenül.

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 közegre jellemző reflexivitás függvényről. 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 ismeretjük. 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.

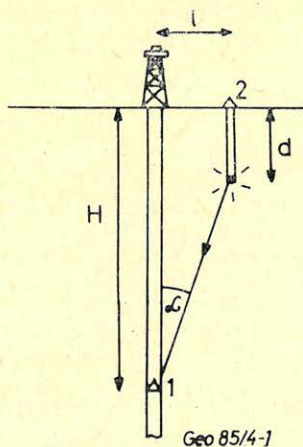
Előfeldolgozás

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 méréstechnika (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:

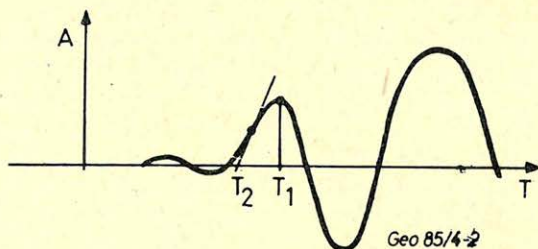
$$\cos \alpha = \frac{H - d}{\sqrt{(H - d)^2 + l^2}} \quad (1)$$

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

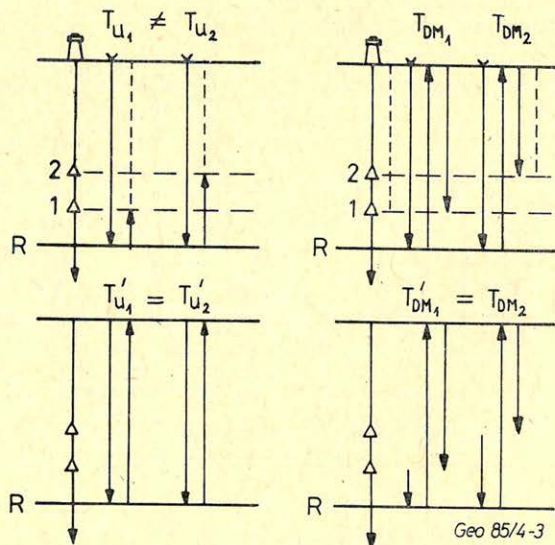
Ezt a módszert használjuk az időkorrekciókhoz szükséges felidők és a direkt hullám eredeti beérkezési időinek (T_d) meghatározására is.

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 tolnak 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 egyszeres 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 szembetűnő. 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.

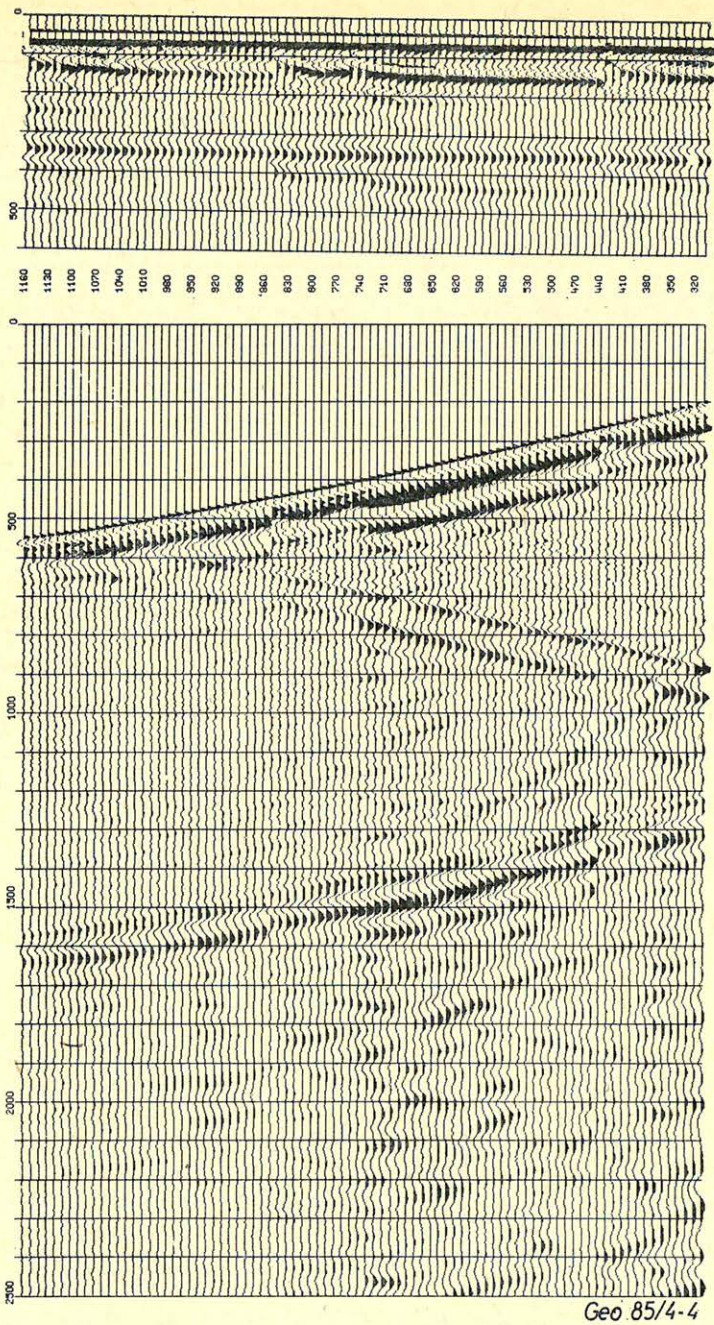
Az így kapott jelalakok közül kiválasztunk egy $m_0(t)$ referencia jelalakot és olyan konvolúciós szűrőt tervezünk, mely képes egy másik adott $m_i(t)$ monitor jelalakot a referencia jellé átalakítani. Ez az alábbi, F átviteli függvényű, determinisztikus szűrővel érhető el (a frekvencia változó jelölését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

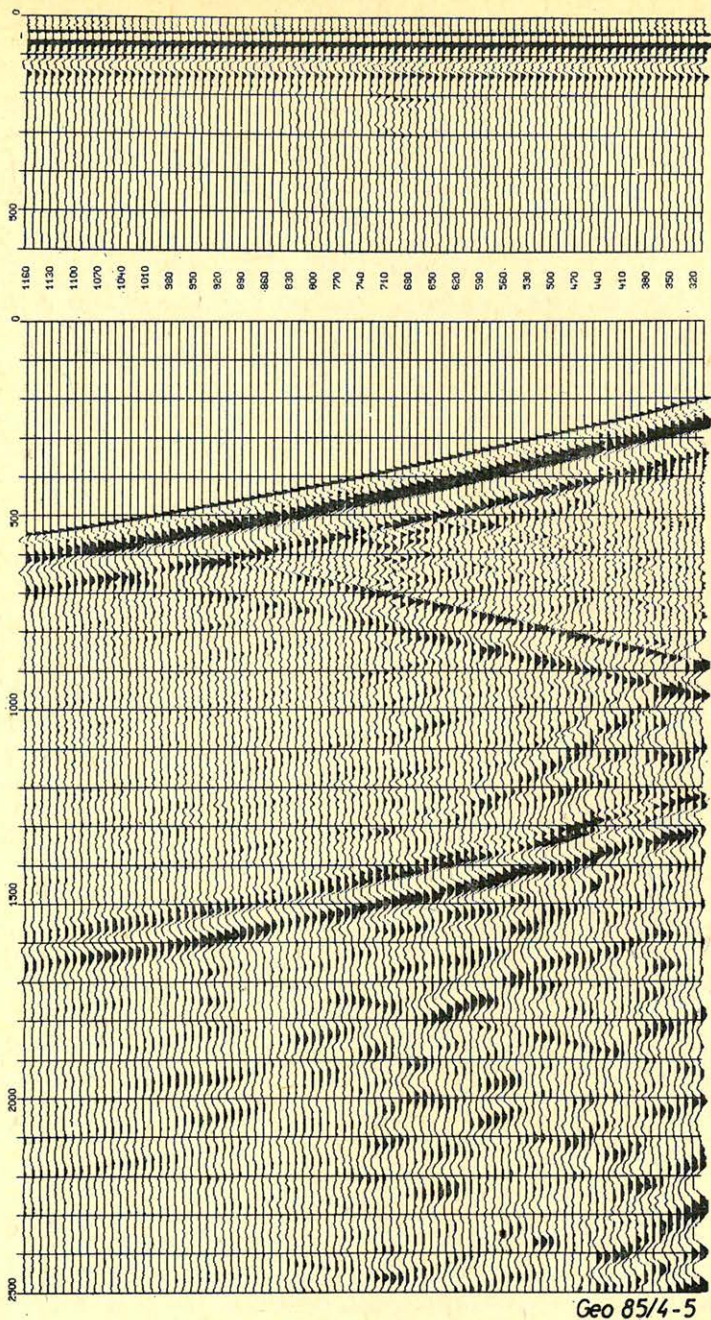


Geo 85/4-4

4. ábra. Kishmarja 30 VSP mérés adatai jelalakszűrés előtt

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

Fig. 4. Kishmarja 30 VSP data before waveshaping



5. ábra. Kismarja 30 VSP mérés adatai jelalakszűrés után

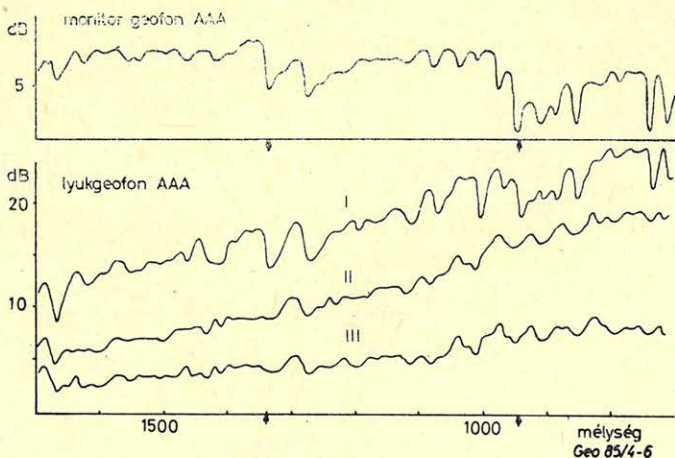
Рис. 5. Данные ВСП Кишмарья 30 на выходе корректирующего фильтра

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 közegtől, 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

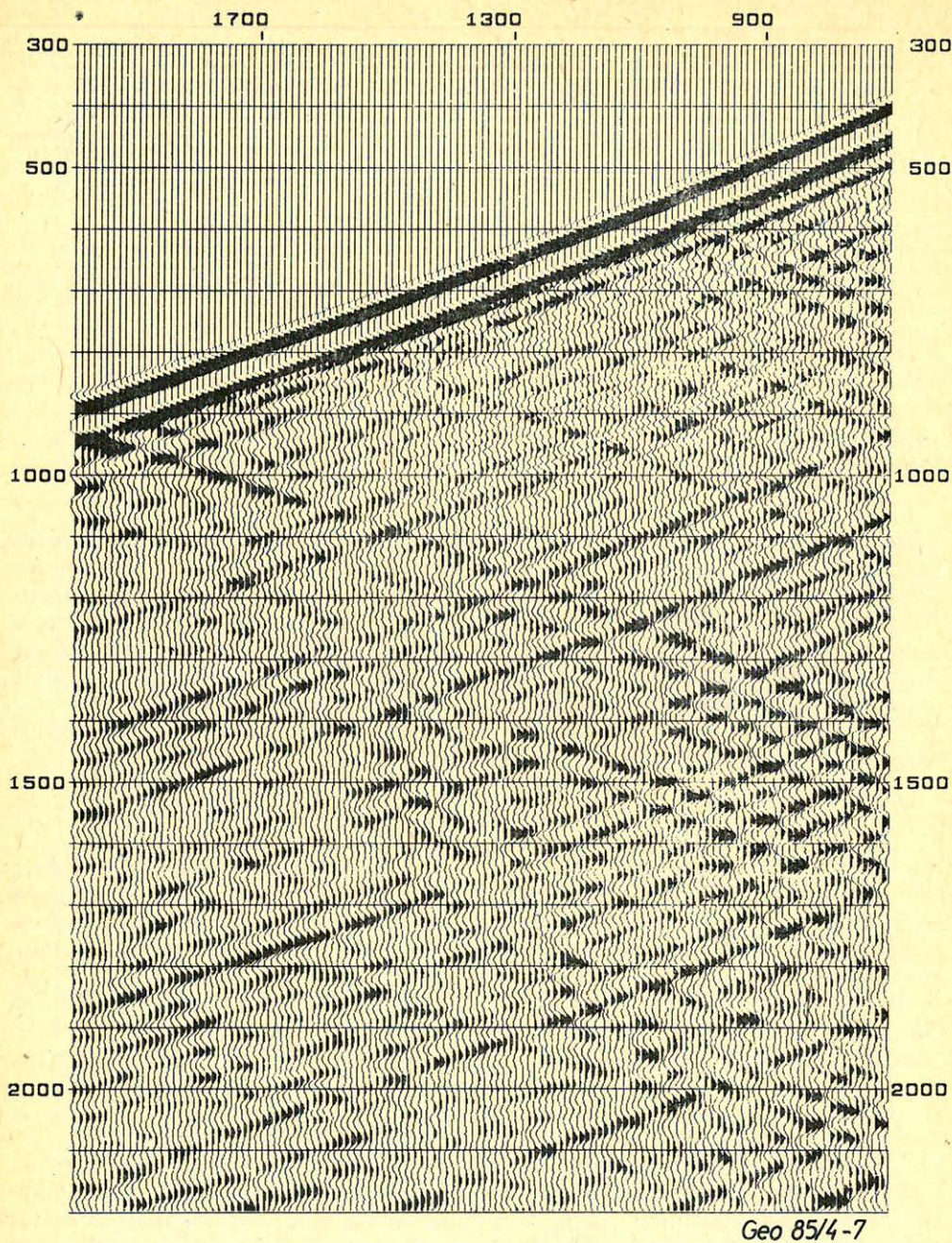
A gyakorlatban azt a módszert alkalmazzuk, hogy az előző formula helyett az alábbi erősítésfüggvényt használjuk:

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

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 olyanakká tekinthetjük, mintha síkhullám forrást alkalmaztunk volna. A szelvényen látható relatív amplitúdóviszonyok már csak a közegtől 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 közegről. 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.

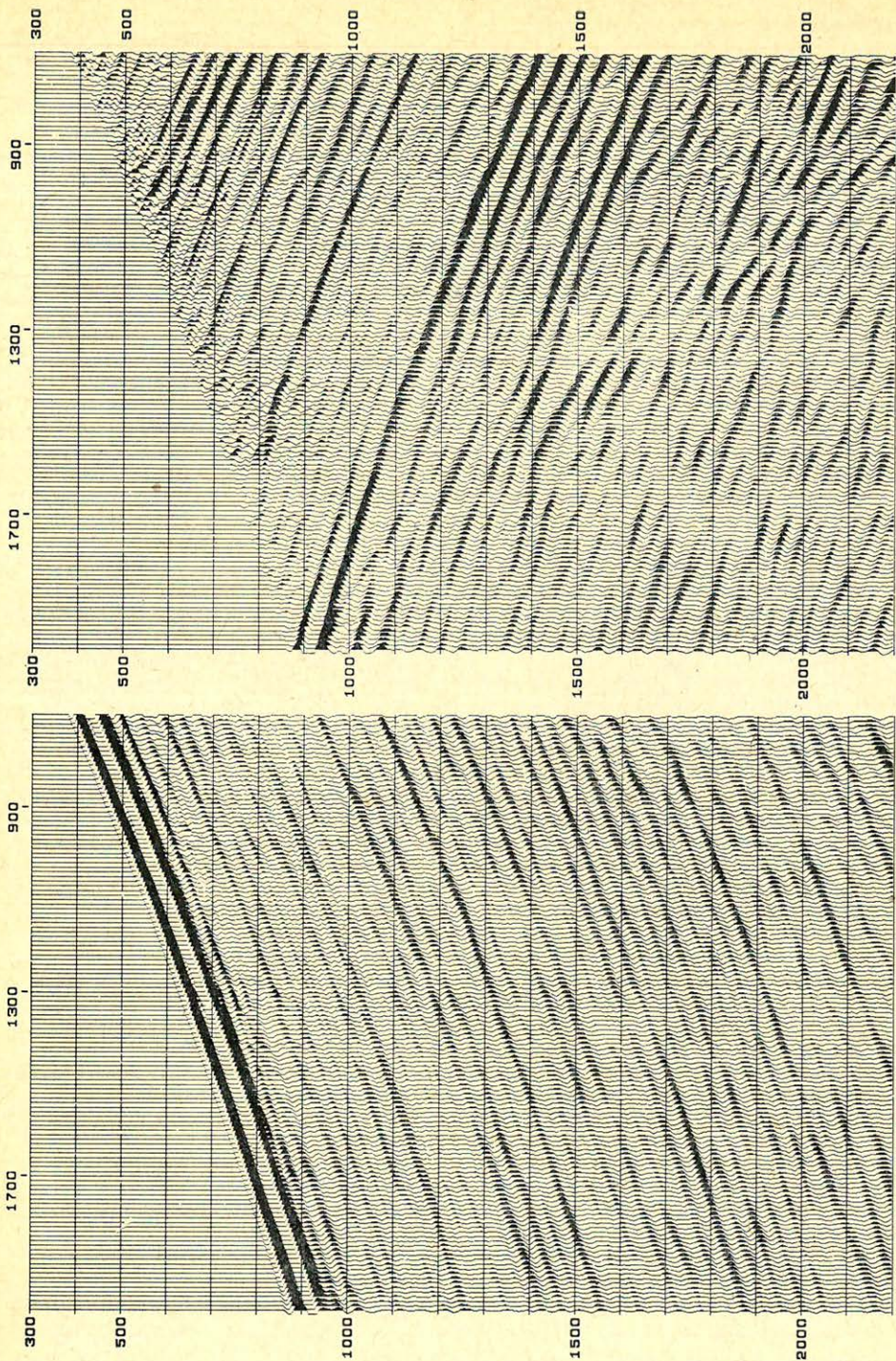
Kísérleteket végeztünk a torzításmentes irányszűrés elvégzésére az ún. medián szűrővel is [1]. A szűrő hatásosságát egy szintetikus VSP szelvényen mutatjuk be. A 11. ábra egy 5 réteges közeg modell szintetikus VSP szelvénye. A 12. ábrán láthatjuk a szétválasztott le- és felfelé haladó hullámokat. Figyelmet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

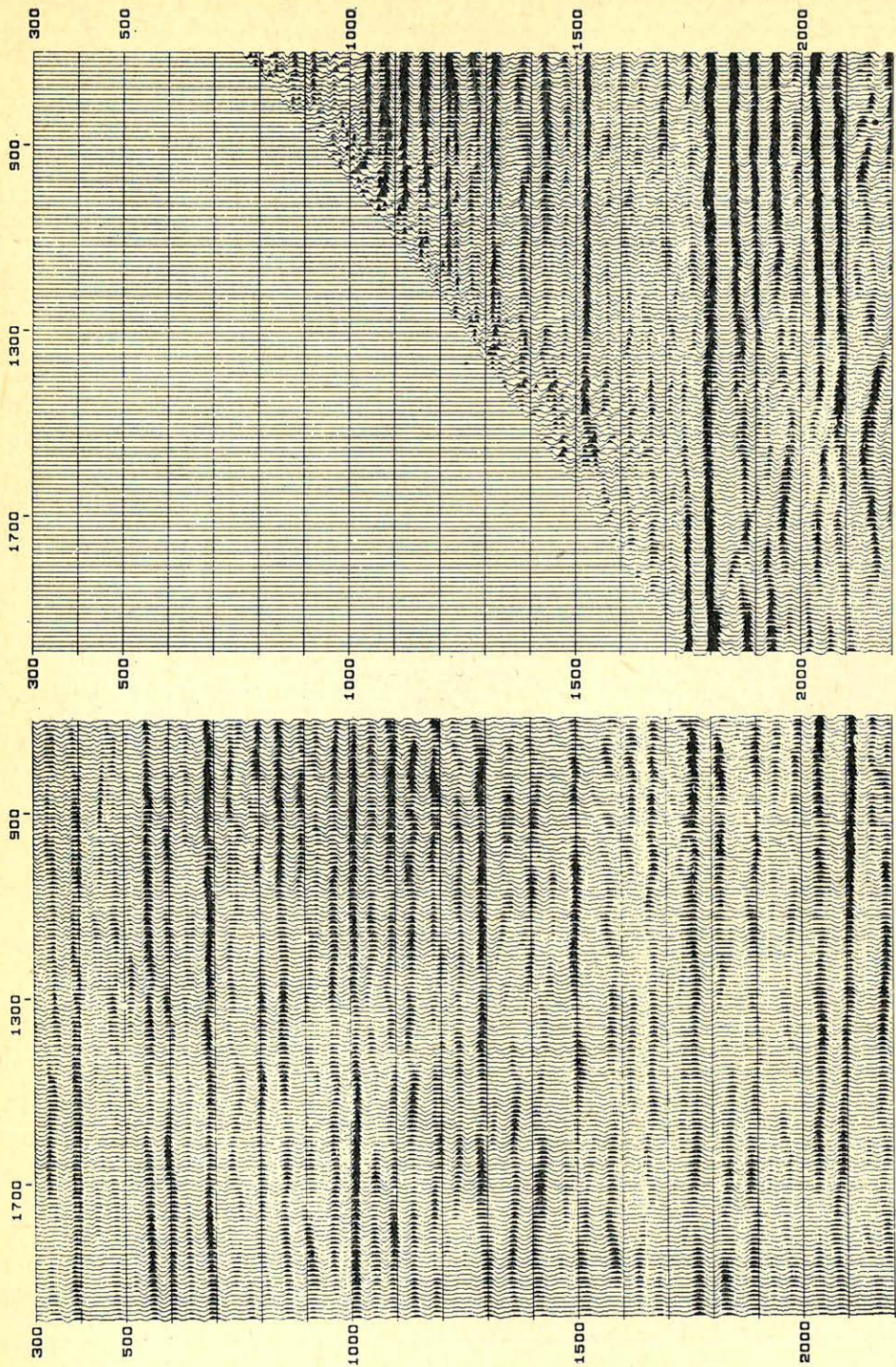
A direkt hullám ezenkívül a nagyobb mélységekben fokozatosan elveszíti a magasfrekvenciás összetevőit az abszorpció miatt. A 13. ábrán egy 720 és 1990 m mélyen ugyanazon fúrásban észlelt direkt hullám amplitúdóspektrumát látjuk, ennek illusztrálására.

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-



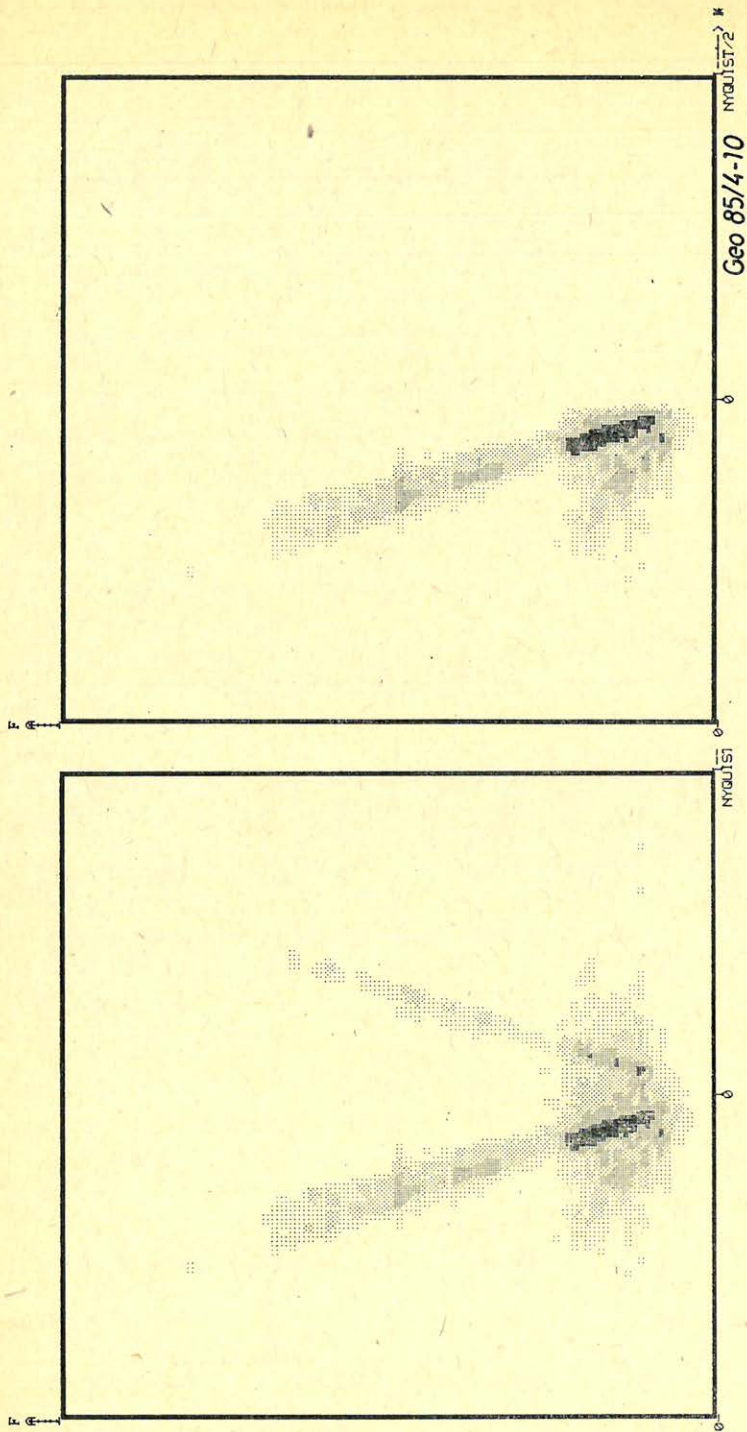
Geo 85/4-8

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

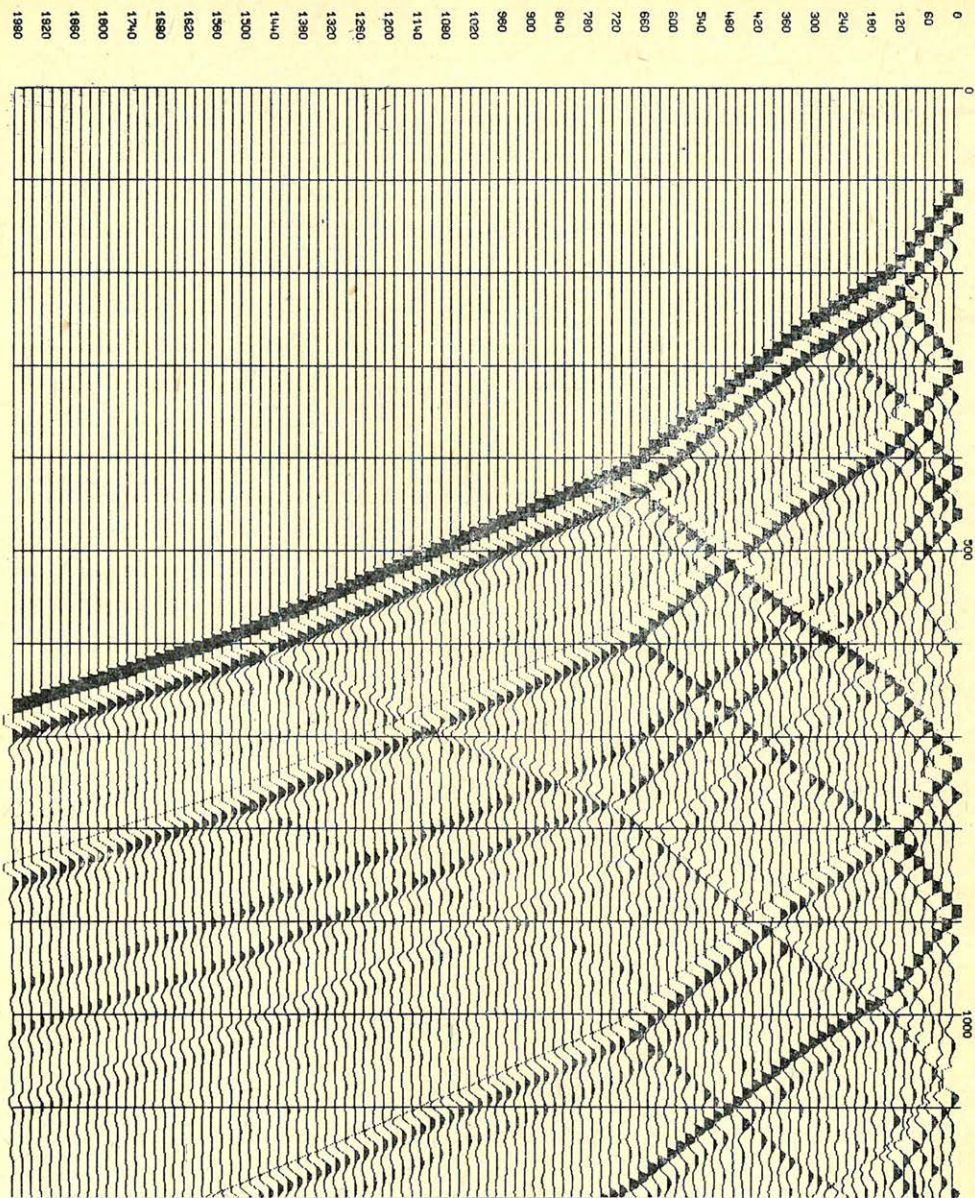
9. ábra. A 8. ábrán látható hullámok időtranszformáció után
 Рис. 9. Волновая картина рис. 8. после временного преобразования
 Fig. 9. Wavefields of Fig. 8. after time transformation



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

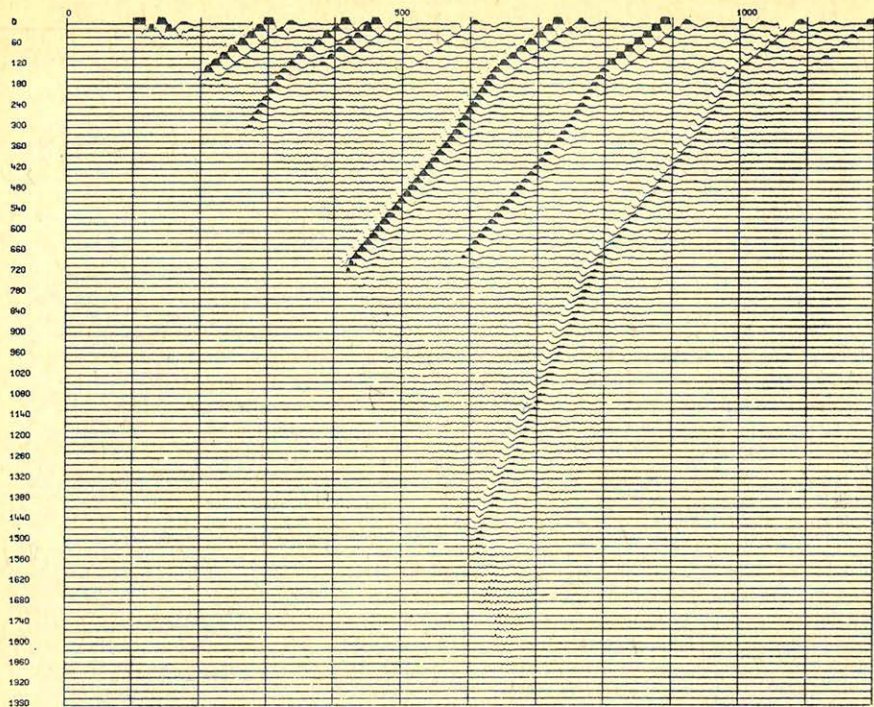


Geo 85/4-11

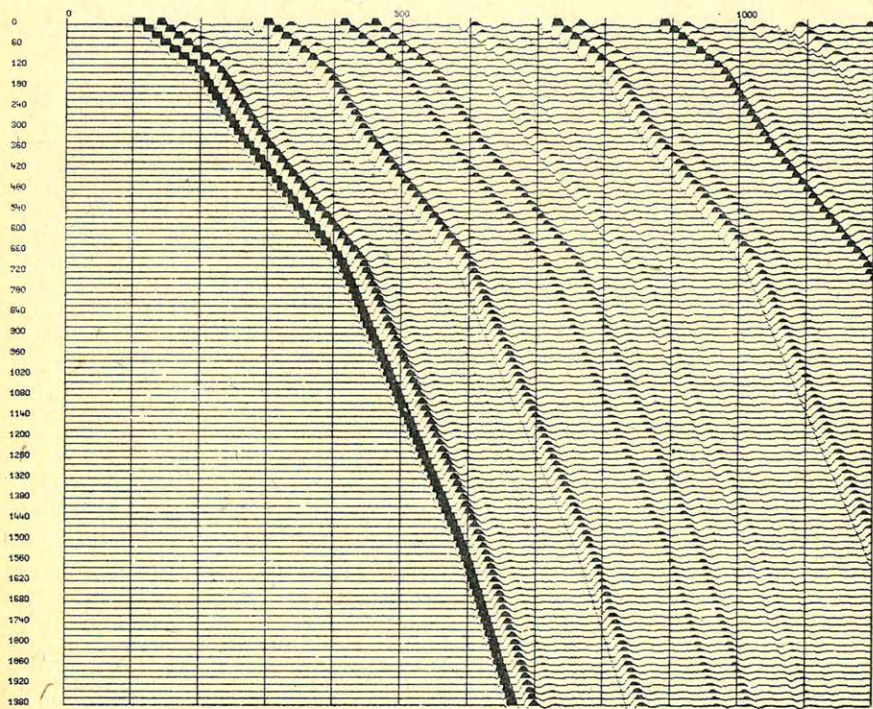
11. ábra. Szintetikus VSP szelvény, teljes hullámtér

Рис. 11. Синтетический профиль ВСП, полное волновое поле

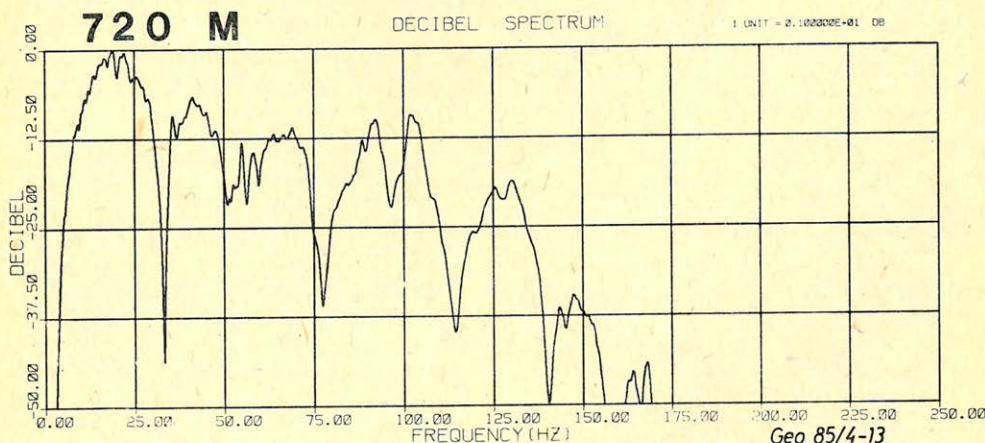
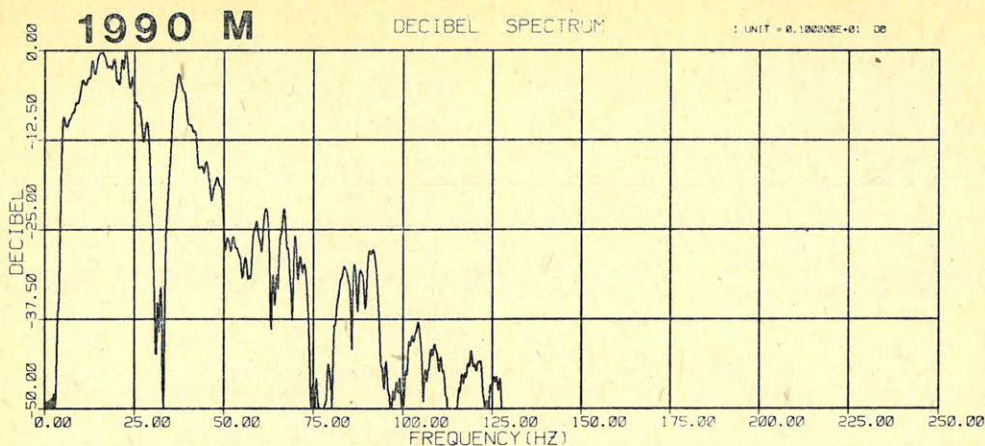
Fig. 11. Synthetic VSP section, total wavefield



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

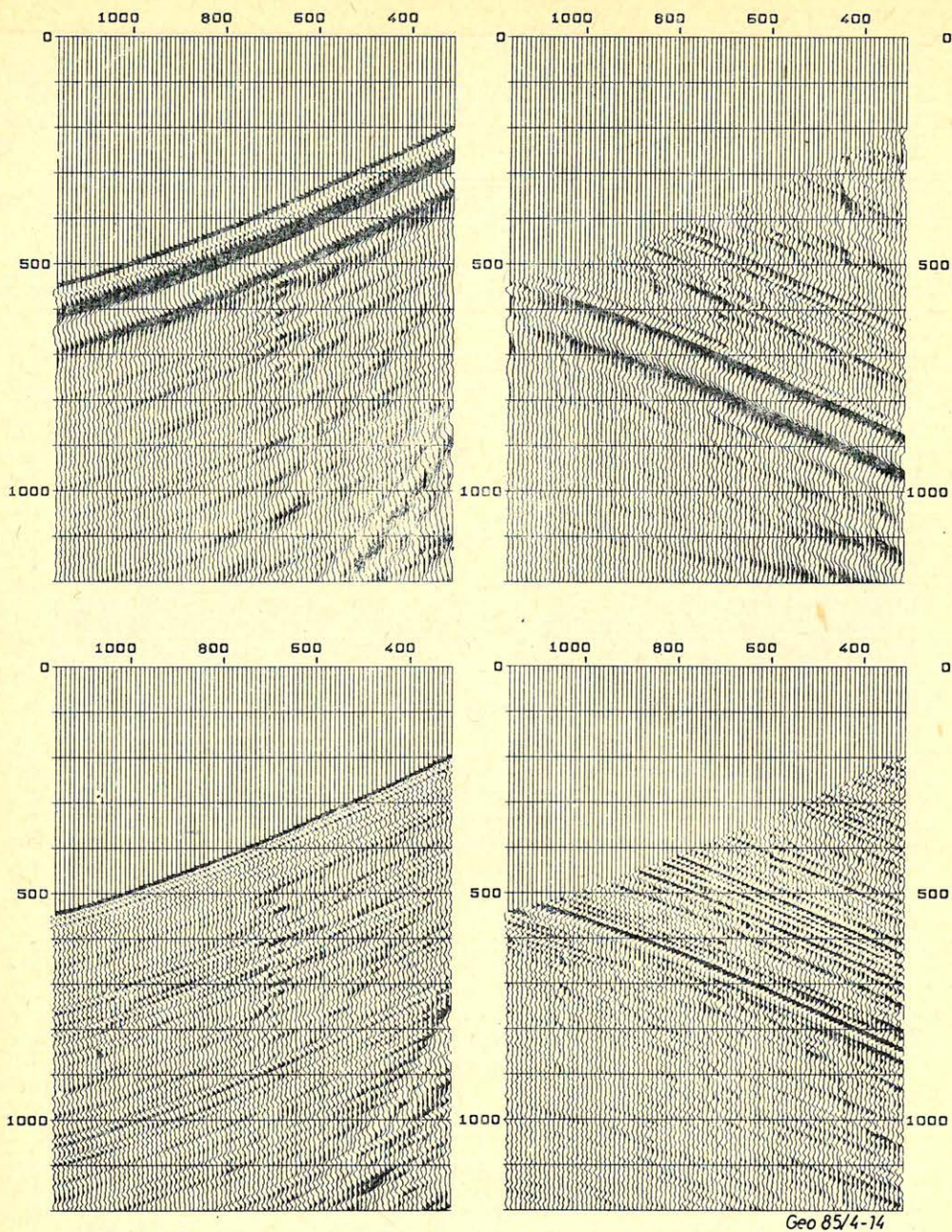


13. ábra. Direkt hullám amplitúdóspektruma különböző mélységeken
 Рус. 13. Амплитудный спектр прямой волны на различных глубинах
 Fig. 13. Amplitude spectrums of the direct wave in different depths

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.

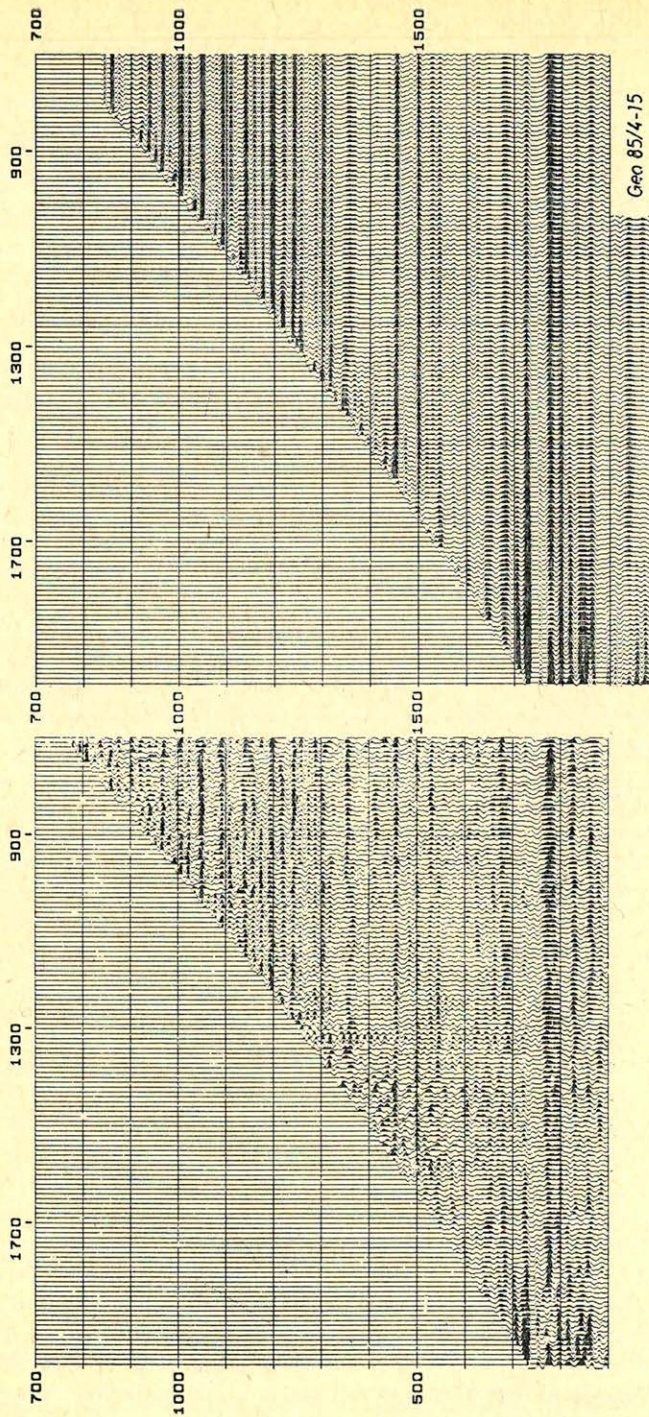
A vertikális összegzésnél feltettük, hogy a közeg vízszintesen rétegzett és az időtranszformáció helyesen fázisba hozta a reflexiókat.

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

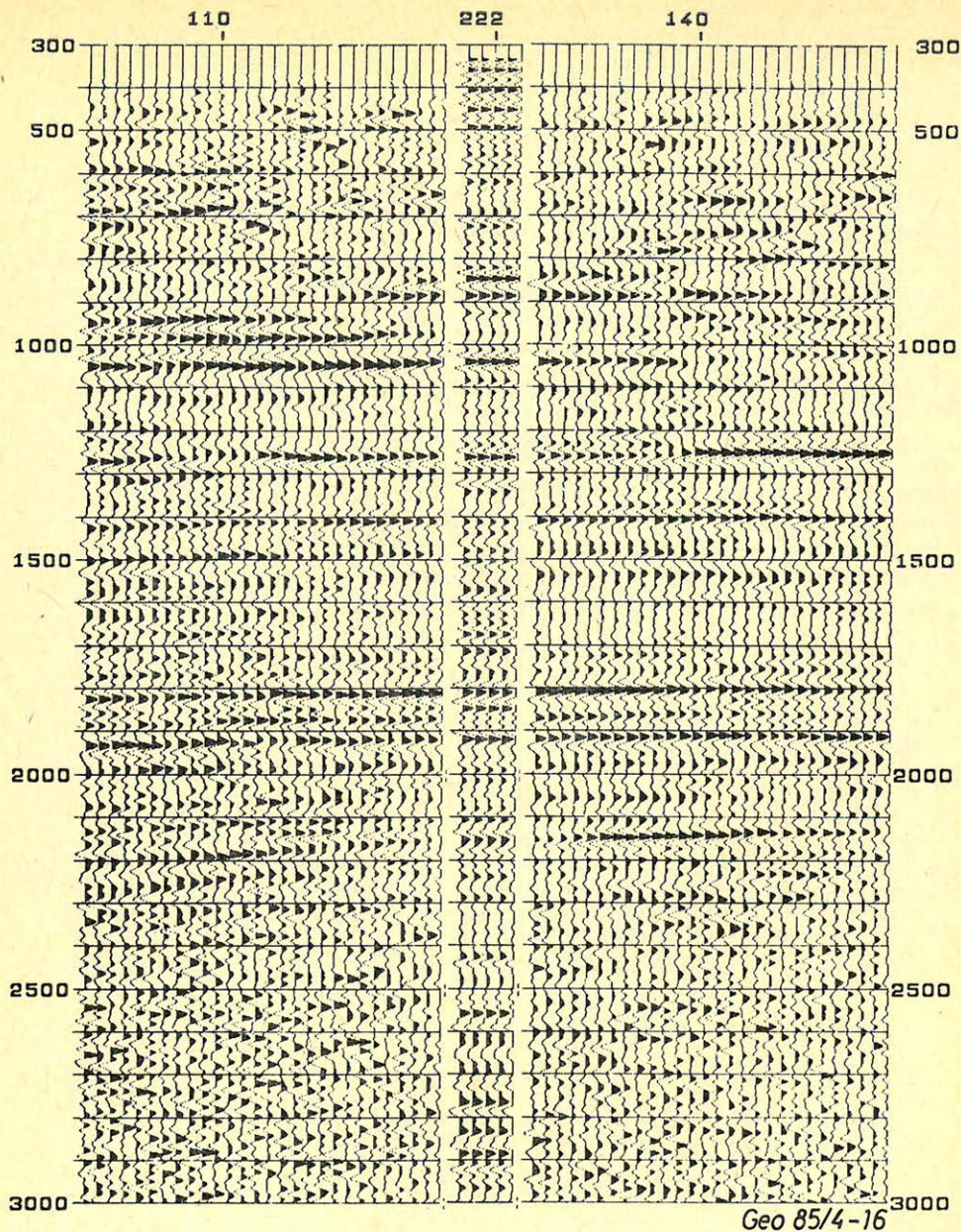
Végezetül bemutatunk egy példát a VSP adatokból az előbb említett vertikális összegzéssel kapott „reflexiós csatorna” és a mélyfúrás közelében mért időszelvény egyeztetésére. Az Endrőd É – 5 mélyfúrásban mért VSP adatokat az említett műveletekkel (dekonvolúció nélkül) feldolgoztuk. A kapott VSP összegcsatornát 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. – Végész 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. félemelet 17. Postafiók 240.