

Vibrátor forrásjel analízis geofonjelek segítségével¹

SCHOLTZ PÉTER²

A legkorszerűbb nagy felbontóképességű, nagy hatékonysággal végrehajtható reflexiós szeizmikus mérések megkövetelik, hogy a vibrátoros forrás jelformáját minél pontosabban megismerjük. Ekkor speciális mérési módszereknél (pl. slip-sweep) eltávolíthatók a harmonikus torzítás okozta zajok. Ennek érdekében kerül bemutatásra egy elemihullám-transzformáció (wavelet transformation) és frekvenciatartománybeli osztáson alapuló feldolgozási eljárás, mellyel a szeizmikus jeleket terjedésük és mérésük során érő ismeretlen konvolúciós hatások eltávolíthatók és vibrátoros jelgerjesztés esetén a forrásra jellemző amplitúdó- és fázisviszonyok tanulmányozhatóvá válnak.

A jövőbeni reflexiós szeizmikus mérésekhez közelítő kísérleti mérésben a felszínen elhelyezett geofonokon észlelhető direkthullám-beérkezések nyújtanak segítséget a vibrátor által kibocsátott jel analíziséhez. A mérési adatait vizsgálva bizonyítom, hogy a javasolt analízáló módszer valóban eltávolítja a konvolúciós hatásokat, és így meghatározásra kerülhetnek a vibrátoros forrás kimenő jelében a harmonikus torzítás által létrejött felharmonikus hullámok amplitúdó- és fázisviszonyai az alapharmonikus jelhez képest. A vibrátoron mérhető gyorsulási adatok és a számított földérőjel arányait összevetem a geofonok jeléből számított arányokkal. A harmonikus komponensek összehasonlítása a számított földérő-közelítés jóságáról nyújt információt. Az elért eredmények felhasználhatók a vibrátoros mérési adatok előfeldolgozásához.

P. SCHOLTZ: Vibratory source signal analysis with the help of geophone signals

The latest high resolution, high productivity reflection seismic measurements require the knowledge of a more accurate vibratory output signal estimate. In this case the harmonic distortion produced correlation noise can be removed or treated as signal. To support this idea a wavelet transformation and frequency domain division based processing method is shown, where the unknown convolution (filtering) effects on the propagating seismic waves are removed and in case of vibratory signal generation the amplitude and phase relations of the source can be studied.

In an experimental measurement, carried out in the style of the reflection seismic measurements of the future, the direct arrivals recorded by the surface planted geophones are helping the seismic source signal analysis. By studying the data it is proved, that the proposed analysing method has removed the filtering effects, hence the relative amplitude and phase behaviour of the harmonic components — contained in the distorted source signal — can be estimated. The vibrator mounted accelerometer signals and the calculated ground force signal are compared to the geophone based relative components. This analysis provides data on the quality of the new source signal estimates. The results can be utilized in the pre-processing of vibratory seismic data.

Bevezetés

A reflexiós szeizmikus mérések vibrátoros jelgerjesztése során a hagyományos feldolgozási eljárásban korrelációs technikát alkalmaznak az impulzusszerű jelalak előállítására, amit az elméleti vibrojel figyelembevételével végeznek. Az HFVS (High Fidelity Vibratory System) és más dekonvolúciós módszerek a vibrátor által ténylegesen létrehozott jel közelítő figyelembevételét igénylik. Ahol a felharmonikus komponensek torzító hatását akarjuk kiküszöbölni, vagy hasznosítani kívánjuk energiájukat, ott is a tényleges kimenő jel ismeretére van szükség (slip-sweep mérési módszer).

Az elfogadott elmélet és gyakorlat alapján a vibrátorok talpán és reaktív tömegén elhelyezett gyorsulásmérők jeleinek a talp és a reaktív tömeg tömegével súlyozott összege adja a földérőt. A távoli jel, amely geofonnal mérhető és a részecskeelmozdulás sebességét adja, a földérőjel időbeli deriváltjával van fázisban (az időkést nem számítva) és arányos azzal [BAETEN, ZIOLKOWSKI 1990]. A vibrátor szervó-hidraulikus vezérlésében, illetve a talaj-vibrátor rezgőrendszerben lévő nemlineáris hatások, illetve az

aszimmetria miatt a tényleges kimenő jel torzított és felharmonikus jelekkel terhelt [SERIFF, KIM 1970]. Az elméleti modellezések és analitikus számítások során általában csak lineáris hatásokat vesznek figyelembe [LERWILL 1981; BAETEN, ZIOLKOWSKI 1990], viszont a megfigyeléseket csak a nemlineáris hatásokat is leíró analitikus eljárás képes visszaadni [WALKER 1995].

A vibrátor tényleges földérőjelének kísérleti mérésére a vibrátor talpa alá helyezett speciális érzékelőket alkalmaznak [BAETEN, ZIOLKOWSKI 1990; VAN DER VEEN, BROUWER, HELBIG 1999]. A távoli jellel való összehasonlításukra fúrólukba telepített érzékelők biztosíthatják a zajszegény körülményeket [SALLAS 1984; SCHRODT 1987]. Rutinszerű méréseknél viszont a vibrátor talpán és a reaktív tömegén elhelyezett érzékelők jelét használnák fel a földérőjel közelítésére, ami a megfigyelések szerint nem mindig adja vissza jól a felharmonikus tartalmat [BAETEN et al. 2001].

A jelenlegi módszerek problémái miatt kutatásaim célja egy olyan analízáló eljárás kifejlesztése volt, amely a jövőbeni rutinszerű mérésektől lényegesen nem eltérő elrendezésben is szolgáltat adatot a valódi forrásfüggvény amplitúdó- és fázisviszonyairól. A vizsgálatok eredményei alapján arra is lehetőség nyílik, hogy a valódi földérő közelítő meghatározására egy olyan új módszert dolgozzak ki, mely a felharmonikus tartalom szempontjából is megfelelően működik, és alkalmas lehet determinisztikus dekonvolúciós

¹ Beérkezett: 2007. október 10-én

² Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet,
H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17-23.

eljárásban való hasznosításra. A tényleges földérőjel kombinált meghatározási eljárását egy későbbi dolgozatban ismertettem.

1. Valódi vibrátorjel amplitúdó- és fázisviszonyai geofonjelek alapján

A vibrátor által kibocsátott jel harmonikus komponenseinek vizsgálatára, így az alapharmonikus és felharmonikus tartalom amplitúdó- és fázisviszonyainak analizálására eljárást dolgoztam ki, amely alkalmazza az elemihullám-transzformációt is. A módszer a vibrátoron mért jeleket összehasonlíthatóvá teszi a geofonon mért jelekkel.

A forrás és az érzékelők esetében a csoportosítást elhagyva kísérleti mérést terveztem, mely hasonlít a jövőben elterjedő mérési technikákhoz és alkalmas a kívánt adatok megszerzésére. A témában elvégzett munkát az eddig megjelent publikációim és új eredmények alapján tárgyalom [SCHOLTZ 2000; 2001; 2002a; 2002b; 2003b; 2003c].

1.1. Analizáló módszer

A geofonon mérhető szeizmikus jelet konvolúció eredményeképpen írom fel:

$$s(t) = \sum_{l=0}^{N-1} v_l(t) * w(t) * e(t), \quad (1.1)$$

ahol feltételezem, hogy a vibrátor által kibocsátott valódi jel egy alapharmonikus ($l=0$) és több felharmonikus komponensből áll össze:

$$v^s(t) = \sum_{l=0}^{N-1} v_l(t). \quad (1.2)$$

A képletekben $s(t)$ a geofonjel, $v^s(t)$ a vibrátor valódi jele, $v_l(t)$ az egyes harmonikus komponensei, $e(t)$ a föld impulzusra adott válasza, $w(t)$ minden egyéb szűrőhatás összefoglaló jele, t az idő. A konvolúciót a $*$ jelenti.

1.1.1. Harmonikus komponensek elkülönítése

Ahhoz, hogy a harmonikus komponenseket vizsgálhasam, olyan eljárás kell, amely az időben és frekvenciában elkülönülő jeleket szétválaszthatóvá teszi. A megoldásra számos megközelítés ismeretes az irodalomból.

A legegyszerűbb módszereket leírhatjuk úgy is, mint például különböző középfrekvenciájú keskenysávú szűrések ismételt alkalmazását (MFT — Multiple Filter Technique), vagy futó időablakban elvégzett Fourier-transzformációt (STFT — Short-Time Fourier Transformation). A két módszer nagyon hasonló egymáshoz, hiszen amíg az előbbinél először a frekvenciákat választjuk szét és így a jelek időbeli összefüggései is megmutatkoznak, addig a második módszernél előbb időben, és azután frekvenciában szeparáljuk az adatokat.

A szintén idő-frekvencia analízist lehetővé tevő elemihullám-transzformáció teremt meg azt a tárgyalási módot, amely az előbbi módszerek speciális megközelítését általánosítja. Az elemihullám-transzformáció és speciális elemi hullámmal való alkalmazásának tárgyalásához itt csak az alapképleteket közlöm, részletesebb tárgyalása megtalálható a hivatkozott publikációkban.

Az $s(t)$ jel elemi hullám transzformáltja

$$WT(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int g^* \left(\frac{t-b}{a} \right) s(t) dt, \quad (1.3)$$

ahol g^* az a -val skálázott, illetve b -vel eltoló elemi hullám komplex konjugáltja. Itt csak a pozitív értékeivel foglalkozom, mert csak a pozitív frekvenciák lesznek érdekesek.

A $g(t)$ függvényre egy egyszerű, általánosan használt verzió a Morlet-féle elemi hullám [MORLET et al. 1982]:

$$g(t) = e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} e^{i2\pi ct}. \quad (1.4)$$

Az i az imaginárius egység, c középfrekvencia és σ az időablak szélességét szabályozza.

Az elemihullám-transzformáció megteremti annak a lehetőségét, hogy az egyes harmonikus komponenseket időben és frekvenciában elválaszthassuk, ha a szétválasztandó események időben és frekvenciában nem túl közeli, illetve nem fedik egymást az adott tartományban. Bár egy kísérlet során sok mindent lehetne úgy alakítani, hogy a probléma egyszerűsödjék és a feltételezések teljesüljenek, most azonban az is cél, hogy a jövőbeni szeizmikus reflexiós mérési módszert minél jobban megközelítve, egy széleskörűen alkalmazható eljáráshoz jussak.

1.1.2. A vizsgált hullámtípus

A hagyományos reflexiós szeizmikus méréseknél a szétválaszthatóság feltételei általában nem teljesülnek. Egy reflexiós felvételen sokféle beérkezés megtalálható, amelyek mind időben, mind pedig frekvenciában átfedik egymást. Nyilvánvalóan a reflexiós beérkezések lennének vizsgálataim tárgyai, hiszen az azokban megjelenő forrásjelek eltávolítása a végső cél. Viszont a reflexiós jelek a leggyengébb beérkezések közé tartoznak, így a véletlen és koherens zajok (például zavarhullámok) elnyomják őket. Egy korrelálatlan terepi felvételen általában a direkt hullámok és a refrakciós hullámok dominálnak. Ezek képezik az első beérkezéseket, így időben jól definiáltak. Azokat megelőzően csak a mesterséges jelgerjesztéssel nem összefüggő zajok hatása észlelhető. A későbbi beérkezések már időben átfedésbe kerülnek velük, viszont nem csoportosított rezgéseltetés és észlelés esetén az első beérkezések energiája nagyságrenddel nagyobb, mint a reflexiós beérkezéseké. Energiában a zavarhullámok vetekedhetnek velük, viszont azok megjelenése csak a kisfrekvenciájú tartományban jelentős. Sebességük sokkal kisebb, mint a direkt hullámoké és a refraktált hullámoké, így időben elhatárolhatók.

Analizáló módszeremet és kutatásaimat tehát a direkt hullámokra koncentrálok, mert azok nagyságrendileg erősebb beérkezést produkálnak, mint más hullámok és időben is jól elhatárolható tartományban jelentkeznek. A többi beérkezés vizsgálataim eredményét zajként befolyásolja, viszont az amplitúdók lényeges különbözősége miatt hatásukat elhanyagolom. A kísérleti elrendezésben nem használok csoportosítást sem a forrás, sem az észlelés oldalán, hogy az általuk létrejött sebességszűrés se csillapítsa a direkthullámokat, és a csoport tagjainak hatása se zavarja egymást.

1.1.3. Konvolúciós hatások eltüntetése

A direkt hullámok alap- és felharmonikus komponenseit az elemihullám-transzformált tartományban szeparálom. Az egyes komponenseket szétválasztva, rajtuk külön-külön Fourier-transzformációt végzek el.

Fourier-transzformáció után

$$WT^F(a, f) = \int \left[\frac{1}{\sqrt{a}} \int s(t) g^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \right] e^{-i2\pi fb} db, \quad (1.5)$$

$$WT^F(a, f) = \int \frac{1}{\sqrt{a}} [s(b) * g^*(b, -a)] e^{-i2\pi fb} db, \quad (1.6)$$

$$WT^F(a, f) = \frac{1}{\sqrt{a}} S(f) G^*(-a, f). \quad (1.7)$$

Az elemihullám-transzformált jel Fourier-transzformációja a frekvenciatartományban egyszerű szorzással kapható. Ha az analizáló elemi hullám páros függvény, akkor a Li [1997] által kapott speciális eredményt is visszaadja az általánosabb (1.7) képlet.

Bár az elemihullám-transzformáció, majd az azt követő Fourier-transzformáció alkalmas a direkt hullámok harmonikus komponenseinek szétválasztására, amplitúdó- és fázisviszonyainak vizsgálatára, a direkt hullámok — terjedésük és észlelésük során — számunkra ismeretlen konvolúciós hatásokat szenvednek. A forrás valódi, tényleges jele még nem kapható meg, ezért további lépésekre van szükség.

Az (1.7) képlet alapján, a már eltolási időben szeparált harmonikus komponensek Fourier-transzformációja után, képezhető a következő hányados:

$$R_{m,n}^v(a, f) = \frac{V_m(f)W(f)E(f)G^*(-a, f)}{V_n(f)W(f)E(f)G^*(-a, f)} = \frac{V_m(f)}{V_n(f)} \quad (1.8)$$

és $\frac{c}{a} = f$.

A nagybetűk az egyes függvények Fourier-transzformáltjait jelölik, f a frekvencia, m és n a különböző harmonikus komponensek indexei. A hányados csak az egymást átfedő frekvenciatartományokban értelmezhető. A skálázó paraméter (a) és a frekvencia (f) között az elemi hullám középfrekvenciájával (c) teremtünk kapcsolatot.

Látható, hogy a szeizmikus jel konvolúciós komponensei közül a szűrőhatás és a föld átvitele is kiesik, hiszen a hányadost azonos jelcsomag azonos frekvenciáinak azonos körülmények közötti terjedése során észlelt, de idő–frekvencia tartományban szétválasztott komponenseinek transzformáltjaiból képeztem. Az elemihullám-transzformáció analizáló hulláma se módosítja az eredményt, így maradék gyanánt a vibrátor tényleges jelének harmonikus komponensei viszonyairól kapok információt, az ismeretlen hatások nem zavarják vizsgálódásaimat.

A terepi méréskor természetesen mégis kell ismeretlen zavaró hatásokkal számolni, viszont egy mérés során több tíz, vagy több száz geofon jelének egyidejű észlelése történik. Az egyedi csatornák analizálásával kapott adatok még javíthatók a különböző észlelési távolságú geofonokból nyert adatok valamilyen átlag, medián, vagy leggyakoribb értékének képzésével [STEINER 1990]. Munkámban a medián érték számításával csökkentem a zajhatás mértékét.

1.2. Terepi adatok analízise

A felvázolt analizáló módszerhez az adatokat egy olajkutató ipari mérés során, a mérési elrendezés általam meghatározott módosítása után történt felvételezéssel nyertem. A mérés megegyezik a csoportosított jelgerjesztés szeparációs vizsgálataihoz kivitelezett méréssel [SCHOLTZ 2003c].

1.2.1. Kísérleti mérés

A vibrátor gyorsulási adataiból számított földerőközelítés és az általam javasolt analizáló eljárás szolgáltatott adatok összehasonlításához a vibrátoron elhelyezett gyorsulásmérők jeleinek tárolását a vibrátorokon elhelyezett rögzítő berendezések végezték. A középplövéses pontforrás tesztelését az érzékelő oldalon egy helyre „összehúzott”, egymástól 25 méterre elhelyezett, 200 db geofoncsoport mint pontszerű érzékelő támogatta. Egy forráspozícióban egy-egy egyedi rezgéskeltést végeztek. A vibrojel 8–100 Hz-es tartományban és 15 másodperc hosszban, lineárisan változó pillanatnyi frekvenciával került kibocsátásra. A felvételek rögzítése nyersen, korrelálatlanul történt.

A kísérleti mérés adatai lehetővé teszik, hogy az elemihullám- és a Fourier-transzformáción alapuló analizáló eljárást alkalmazzam. Az alap- és felharmonikus hullámkomponensek amplitúdó- és fázisviszonyait meghatározom mind a vibrátoron mért gyorsulásmérő jeleken, mind pedig a geofonterítésen észlelt direkt hullámokon.

Az eredmények összevetésével vizsgálom az HFVS módszer egyik alapjának, a vibrátor által kibocsátott jelnek a számított földerőjellel való közelítésének érvényességét is.

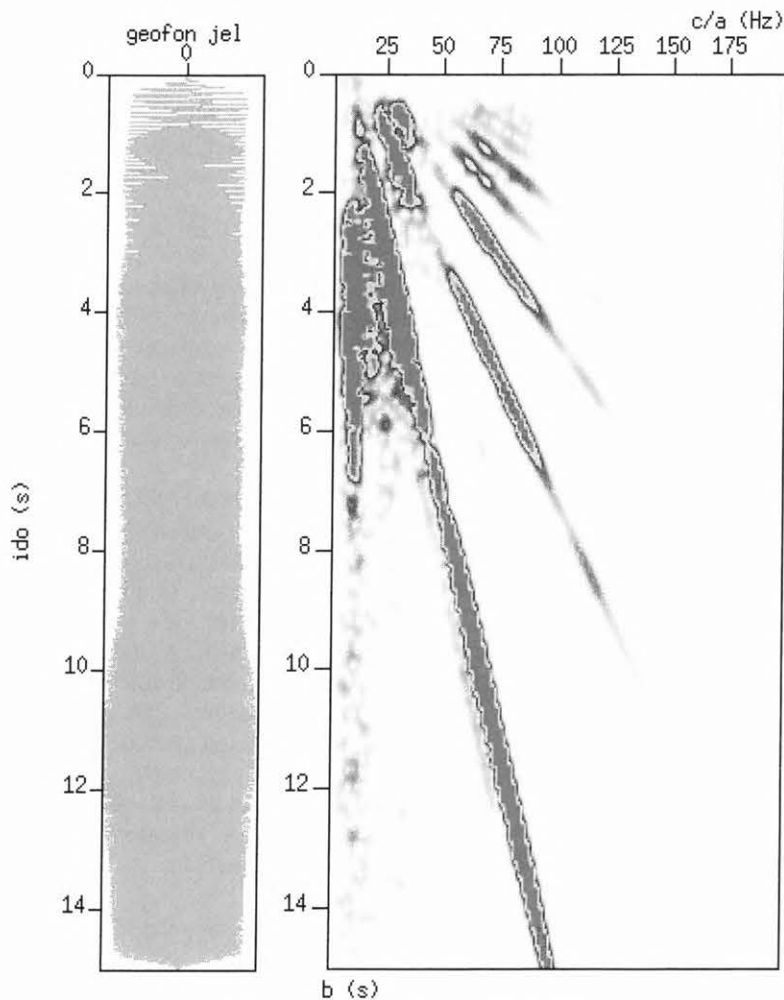
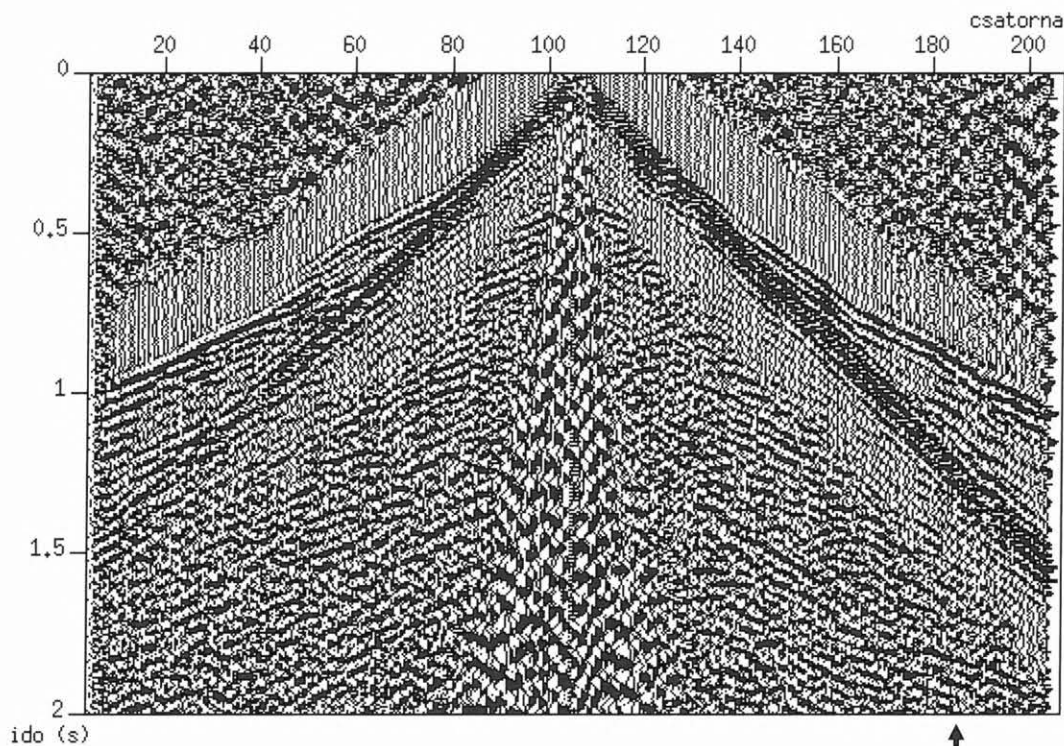
1.2.2. Tipikus felvétel

Az 1.1. ábrán elméleti vibrojellel korrelált, automatikus erősítésszabályozás utáni felvétel látható. A korrelációt, illetve az erősítésszabályozást azért végeztem el, hogy a korrelálatlan felvételeken felismerhetetlen beérkezések követhetővé váljanak. A forrás- és az érzékelőcsoportok használata nélküli felvételezés miatt nem történik sebességszűrés.

Egy-egy csatornán belül a domináns energia a direkthullám-beérkezésekben ölt testet, melyek időben is jól elkülöníthetők. Számottevő energiával még a távolabbi csatornák első beérkezéseit adó refraktált hullámok és a közeli csatornákon a kisfrekvenciával és kis terjedési sebességgel jellemezhető zavarhullámok rendelkeznek. A direkthullám-, a refraktált hullám- és a zavarhullám-beérkezések amplitúdói mintegy 30 decibel mértékben meghaladják más, most zajnak tekintett beérkezések amplitúdóit. Az idő- és frekvenciabeli elhatárolhatóság, valamint az amplitúdókülönbség teszi lehetővé, hogy a direkt hullámok beérkezéseit önmagukban analizálhassam, a majdan számított értékeket más beérkezések ne befolyásolják jelentősen.

1.2.3. Geofon- és gyorsulásmérő jelek elemihullám-transzformációja

Az 1.2. ábra egy, a vibrátorhoz közel eső geofon időben csonkított korrelálatlan jelét és elemihullám-transzformációja által nyert idő–frekvencia amplitúdó képét tartalmazza.



1.1. ábra. Elméleti vibrojellel korrelált tipikus felvétel AGC művelet utáni képe

Fig. 1.1. Typical field record correlated by the pilot sweep (AGC applied for display purposes)

1.2. ábra. Egy vibrátorhoz közel eső geofon korrelálatlan jele (balra) és elemihullám-transzformációja által nyert amplitúdókép az idő-frekvencia síkon (jobbra)

Fig. 1.2. A near-vibrator geophone signal without correlation (left) and its wavelet transformation based amplitude picture in the time-frequency plane (right)

Az adott keretek között a geofonjel ábrázolhatósága a felbontóképesség miatt korlátozott, de így is érzékelhető az amplitúdó változása. A geofonjel nyers állapotában minden

beérkezést tartalmaz, de itt csak a direkthullám-beérkezés számottevő.

Az elemihullám-transzformáció által nyújtott képen a direkt hullám akár hét harmonikus komponense is megfigyelhető. Jelentkezik még a zavarhullám energiája is időben és frekvenciában elhatárolhatóan, de annak képén már nem különülnek el a felharmonikusok. Megfigyelhető a vibrátor–talaj rezgőrendszer, illetve a hullám terjedése és az érzékelő együttes hatása miatt az eredetileg frekvenciában egyenletes menetűnek tervezett jel erősödése és csökkenése. Ezek a rezonanciajelenségek dominánsan a vibrátor–talaj rezgőrendszer viselkedése miatt lépnek fel. A nagyobb frekvenciák csillapodásában viszont a hullám terjedése során jelentkező abszorpció játszik lényeges szerepet.

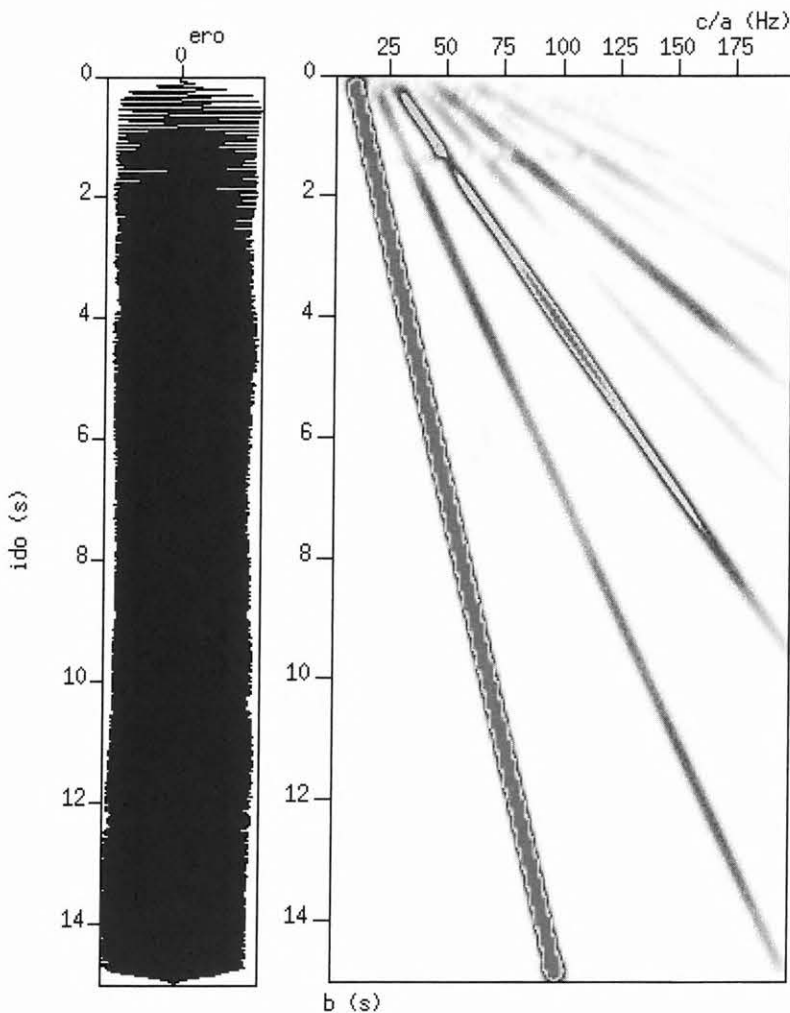
A vibrátorokban elhelyezett berendezések rögzítették minden egyes vibráláshoz a referencia vibrojelet, a vibrátor talpán elhelyezett gyorsulásmérő jelét, a reaktív tömegre szerelt gyorsulásmérő jelét, valamint a megadott tömegadatokból és a gyorsulási értékekből számított földelőközelítés idősrótát is. A vibrátoros mérések fejlődése során

kezdetben a talpi gyorsulást, majd a reaktív tömeg gyorsulását, végül a tömeggel súlyozott összegüket, vagyis a földerőt tekintették arányosnak a geofonon mérhető jellel.

Az 1.3. ábra a vibrátor talpán és reaktív tömegén elhelyezett gyorsulásmérőjelek, a talp és reaktív tömeg tömegével súlyozott összegéből származtatott földerőjel és elemi hullám transzformációja által nyert idő–frekvencia sík amplitúdóképét mutatja.

A ma elterjedt gyakorlat szerint ez a jel vezérli a vibrátor visszacsatolási elektronikáját, illetve ennek a jelnek az időbeli deriváltját tekintjük a geofonon mérhető részecskeelmozdulási sebességgel arányosnak és fázisban lévőnek, eltekintve a terjedési idő okozta különbségtől [BAETEN, ZIOLKOWSKI 1990].

Az ábrán itt is elkülöníthetők a különböző harmonikus komponensek, amelyek egyenletesebb lefutásúak a súlyozás és összegzés előtti egyedi gyorsulásjelek görbéihez képest.



1.3. ábra. A vibrátor talpán és tömegén elhelyezett gyorsulásmérőjelek tömegükkel súlyozott összegéből származtatott földerőjel (balra) és elemi hullám transzformációja által nyert amplitúdókép az idő–frekvencia síkon (jobbra)

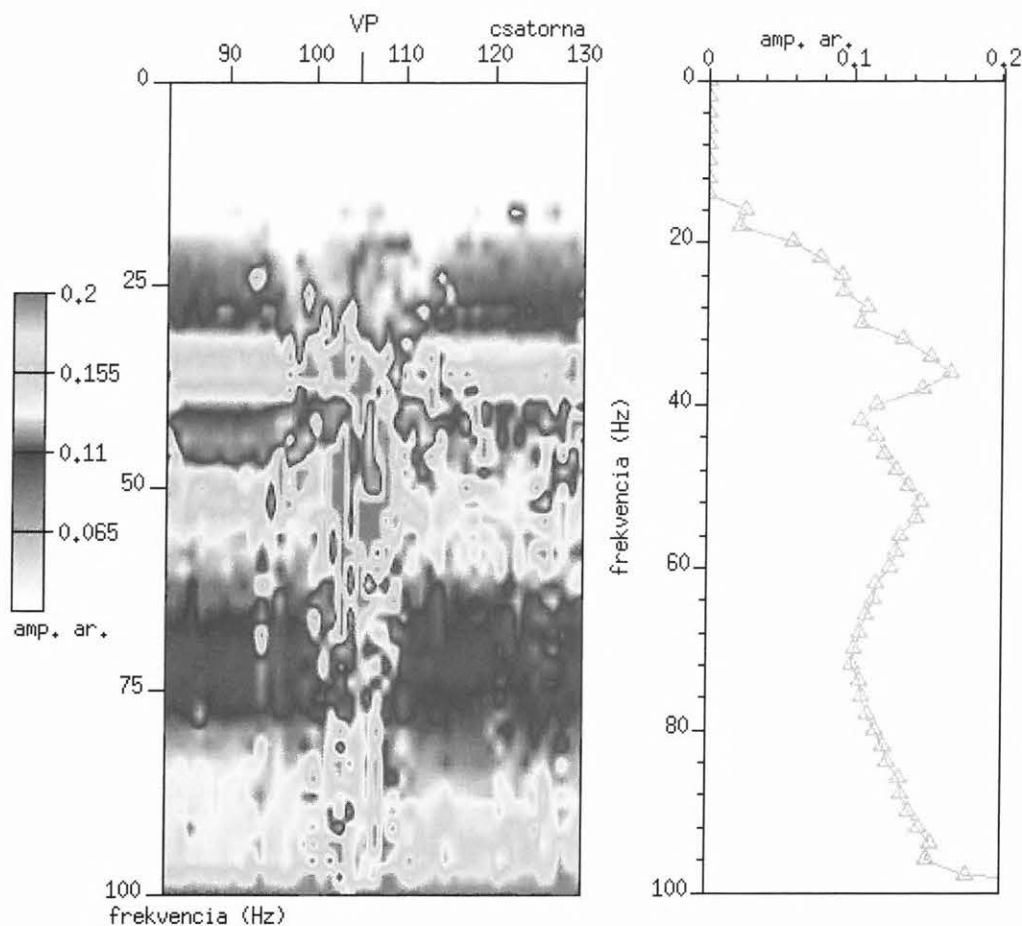
Fig. 1.3. Mass weighted accelerometer (vibrator base plate and reaction mass mounted) data based ground force signal (left) and its wavelet transformation based amplitude picture in the time–frequency plane (right)

1.2.4. Geofonjel harmonikus komponenseinek amplitúdó-viszonyai

Az 1.4. ábrán kapott helyet az első felharmonikus és az alapharmonikus amplitúdóarányának képe. Az elemihullám-transzformáció által nyújtott idő–frekvencia tartományban a harmonikus komponensek egyszerű időkapuzással elválaszthatók. Egy-egy harmonikus komponens

komplex értékeinek Fourier-transzformációját számoltam, majd az (1.8) képlet alapján az első és az alapharmonikus hányadosát képeztem.

Természetesen csak az egymást átfedő frekvenciatartományban van értelme az osztásnak (jelen esetben ez 16–100 Hz). Sajnos az első felharmonikusból az alapharmonikus frekvenciájánál nagyobb frekvenciáinak információtartalmát így elvesz.



1.4. ábra. Az első felharmonikus és az alapharmonikus amplitúdóaránya szerint színezett frekvencia-észlelési pozíció összefüggés egy felvétel részletén (balra) és a mediánszámítással származtatott eredmény (jobbra)

Fig. 1.4. Amplitude ratio of the first upper harmonic and the fundamental component of the near-source traces in the frequency–offset plane (left) and the median calculation based result (right)

Az 1.4. ábra baloldalán a felvétel egy részletének képe látható: az amplitúdóarány szerint színezett frekvencia-észlelési pozíció összefüggés. A felvétel vibrátorhoz közel eső geofonjai kerültek ábrázolásra, hiszen a direkthullám-beérkezések itt könnyen szeparálhatók időben, energiájuk kiugró, vagyis sem a refrakciós, sem a zavarhullám-beérkezések — különben hasonló nagyságrendű — amplitúdói nem érvényesülhetnek. A zaj hatásától eltekintve az eredmény nem függ az észlelési távolságtól. Ezzel azt látom bizonyítva, hogy a harmonikus komponenseket érő szűrőhatások valóban kiesnek számításaimból. A terítés két oldala között csekély mértékű aszimmetria figyelhető meg, ami a forrás irányfüggését is jelentheti. Munkámban a hatást elhanyagolom, de elemzését további kutatásra érdemesnek tartom. A végeredmény a forrás tényleges jelének harmonikus komponenseiből kapható amplitúdóarány.

Ahhoz, hogy egyetlen frekvenciafüggő függvényt kapjak (hiszen egy felvételhez a feltevés szerint egyetlen forrásjel tartozik), felhasználhatom a terítés számos geofonja által szolgáltatott adatokat. Jelen esetben a kieső értékek elhagyása után minden frekvencián, az észlelési távolsággal változó adatok medián értékét számítottam.

A jobboldalon ábrázoltam a már észlelési távolságtól független amplitúdóarány görbét a terítés geofonjaiból számolva. Bár a konkrét értékekkel munkám kevésbé foglalkozik, megjegyezhető, hogy 16 Hz után lassú amplitúdó-

arány-növekedés észlelhető egy 36 Hz-nél kialakuló 18%-os csúccsal, 42 Hz-nél egy lokális minimum, majd 52 Hz-nél újabb maximum következik be. A 10% feletti értékek azt jelentik, hogy számottevő energia koncentrálódik a felharmonikus komponensben.

Sajnos az 50 Hz-es frekvenciánál a mérés közelében húzódó elektromos hálózat, ha csekély mértékben is, de zavarta az észlelést, így minden közölt amplitúdó eredmény-nél a kiugró 50 Hz-es amplitúdó értékeket a 48 Hz-es és az 52 Hz-es frekvenciához tartozó értékek átlagával helyettesíttem. A zavaró hatás mértéke csak a gyenge harmadik és negyedik felharmonikusnál volt számottevő. Amennyiben a digitális geofonok alkalmazása elterjed, ez a hatás jelentősen csökkenhet. Korrektebb, de bonyolult eljárás lehet, ha az 50 Hz-es értéknél található időtől független jeleket ott határozom meg, ahol nincs más beérkezés. Ennek mértékét kiterjesztem oda, ahol a harmonikus komponenseket regisztrálom és értékét levonnám belőlük.

A 72 Hz-es frekvenciánál a görbének lokális minimuma van, majd a 100 Hz-es végfrekvencia felé növekedés tapasztalható. A 100 Hz körüli hirtelen megugrás az analízis módjának és a jel végének együttes hatása által keletkezett, hiszen ott az alapharmonikus komponens eltűnik, viszont az első felharmonikus még 200 Hz-ig él.

Hasonlóan adhatók meg a további relatív felharmonikus amplitúdóarányok is, amelyek részletes elemzésétől itt

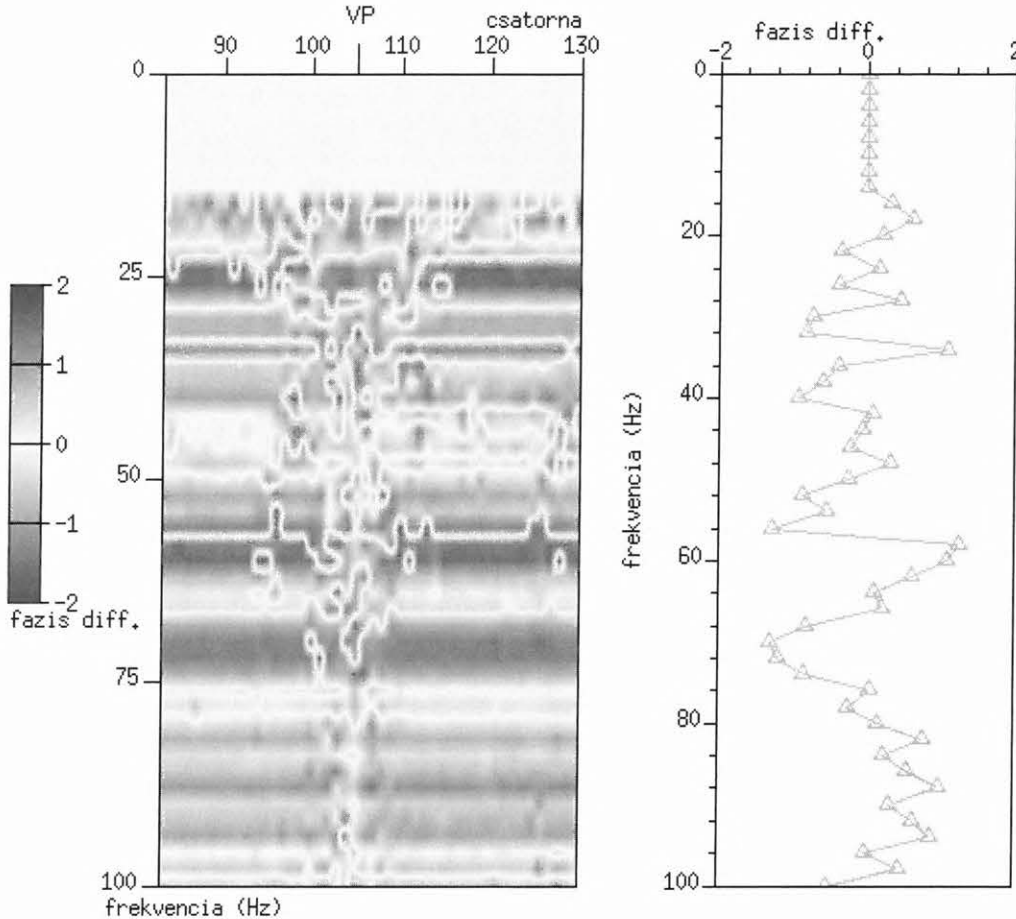
eltekintek, de megtalálhatók doktori dolgozatomban [SCHOLTZ 2003a].

1.2.5. Geofonjel harmonikus komponenseinek fázisviszonyai

A konvolúciós hatások kiszűrését lehetővé tevő analízáló eljárás nemcsak az amplitúdó-, hanem a fázisviszonyokról is szolgáltat adatokat. A számítás nem okoz nehézséget, viszont a származtatott frekvencia- és fázisérték összefüggések értelmezése már nem olyan egyszerű. A harmonikus komponensek frekvenciatartományban történő osztásakor

kapott komplex értékek fázisa nem más, mint a komponensek fáziskülönbsége. A harmonikus komponensek fáziskülönbségét alapvetően az azonos frekvenciájú részek közötti jelentős (akár másodperc nagyságrendű) időkülönbség határozza meg. A fáziskülönbségre csak $-\pi/2$ és $+\pi/2$ között kapunk adatokat.

Az 1.5. ábra baloldalán bemutatott kép elkészítéséhez, hasonlóan az amplitúdóarányokhoz, az eddig is analízált felvétel részletén csatornáról csatornára meghatároztam a direkthullám-beérkezés első felharmonikusa és alapharmonikusa közötti fáziskülönbséget.



1.5. ábra. Az első felharmonikus és az alapharmonikus fáziskülönbsége szerint színezett frekvencia-észlelési pozíció összefüggés egy felvétel részletén (balra) és a medián számítással származtatott eredmény (jobbra)

Fig. 1.5. Phase difference of the first upper harmonic and the fundamental component of the near-source traces in the frequency–offset plane (left) and the median calculation based result (right)

Megállapítható, hogy a fázisviszonyok alakulását sem befolyásolja a vibrátor és az érzékelő közötti észlelési távolság, hiszen az egyes frekvenciákhoz az észlelési távolságtól független, közel azonos érték tartozik. A konvolúciós hatások az arányképzés által kiestek és csak a tényleges forrásfüggvény fázisviszonyai érvényesülnek. Aszimmetria nem jelentkezik. A zajhatások csak a vibrátor környezetében lévő geofonokon számottevők.

A jobboldalon ábrázoltam a mediánszámítás utáni fáziskülönbség-függvényt, mely csak a 16–100 Hz-es tartományban érvényes.

A további felharmonikus komponensek fázisviszonyait sem befolyásolja a forrás és az érzékelő közötti észlelési

távolság, a konvolúciós hatások az arányképzés által kiesnek és csak a tényleges forrásfüggvény fázisviszonyai érvényesülnek. A fáziskép a forrás mindkét oldalán azonos jellegű, így aszimmetria nem jelentkezik. A zajhatások csak a vibrátor környezetében lévő csatornák jeleit rontják le. Részletek ismét a SCHOLTZ [2003a] dolgozatban.

1.3. Következtetések

A kidolgozott elemihullám-transzformáció és frekvenciatartománybeli osztáson alapuló analízáló eljárás szétválaszthatóvá teszi a különböző frekvenciaváltozási sebességgel és beérkezési idővel rendelkező jeleket és kiszűri a szeizmikus hullámokat terjedésük és mérésük során érő

ismeretlen konvolúciós hatásokat. A módszer eredményeképpen a forrás harmonikus komponenseire jellemző tényleges amplitúdó- és fázisviszonyok válnak tanulmányozhatóvá. A terepi mérések során fellépő zajhatások csökkentésére minden frekvencián — a több észlelési pontban rögzített adatok felhasználásával — a medián érték meghatározását alkalmaztam.

Kialakítottam egy, a jövőbeni reflexiós mérésekhez közzelítő kísérleti elrendezést, ahol a geofonokon mérhető direkthullám-beérkezések szolgáltatnak adatokat a vibrátor által ténylegesen kibocsátott jelek vizsgálatához.

A kísérleti mérés adatainak feldolgozása alapján megállapítottam, hogy az analízis eljárás eltávolította a konvolúciós hatásokat és a direkthullám-beérkezések alkalmasak a valódi forrásfüggvény harmonikus komponenseinek amplitúdó- és fázisviszonyai meghatározására. Megfigyeléseim az alapharmonikus jelhez képest számított értékekre vonatkoznak, szűkítve a vizsgált frekvenciatartományt. A számítási módszer azonban kiterjeszhető a felharmonikusok közötti kapcsolatok feltárására is, ahol a nagyobb frekvenciák is szerepet kapnak.

Az amplitúdóviszonyok alapján kimutattam a vibrátor-talaj rezgőrendszer felharmonikus tartalom növekedést mutató frekvenciáit és meghatároztam a felharmonikus tartalom mértékét.

Bár a konkrét kísérletben lineárisan változó pillanatnyi frekvenciájú vibrojele szerepelt, de az analízis eljárás alkalmas a nemlineáris vibrojelek vizsgálatára is, hiszen a vibrátor által keltett felharmonikusok akkor is elkülöníthetők, az azonos frekvenciájú részek megfelelő hányadosainak képzésével pedig a konvolúciós hatások eltávolíthatók.

2. Vibrátoron és geofonon mért jelek összehasonlítása

A mai gyakorlat és elmélet szerint a vibrátor erőhatásának idő szerinti differenciálás utáni képe a geofonnal mérhető elmozdulási sebesség közelítését adja [BAETEN, ZIOLKOWSKI 1990]. A földterő kiszámításához a vibrátor talpán és reaktív tömegén elhelyezett gyorsulásmérők tömeggel súlyozott összege szolgál. Ennek bizonyítására számos kísérleti mérést végeztek. Az irodalomban fellelt munkák némelyike ugyan foglalkozott a felharmonikus tartalommal, de a megállapításaik általában csak az alapharmonikusra vonatkoztak. Mivel az (1.8) képlet alapján sikerült a direkt hullám szétválasztott harmonikus komponenseinek, pusztán a forrás tulajdonságait követő, relatív amplitúdó- és fázisviszonyait meghatározni, így itt is lehetőség nyílik arra, hogy a földterő deriváltját számítva összehasonlítsam a kapott közelítő értéket a ténylegesen mért arányokkal.

2.1 A vibrátor gyorsulási adatainak analízis módszere

ALLEN, JOHNSON, MAY [1998] a csoportosított rezgés-keltés szeparációja során úgy írta fel a földterő- és a gyorsulásmérőjelek közötti viszonyt, hogy kapcsolatukat a földterőn ható valamilyen lineáris, minimum fázisú, ismeretlen átviteli függvény teremti meg. A lényegen nem változtatva azt feltételezem, hogy az $F(t)$ valódi földterő a $q_l(t)$ komponensekből áll, azaz

$$F(t) = y(t) * \sum_{l=0}^{N-1} q_l(t) = y(t) * \sum_{l=0}^{N-1} [m^{rl} a_l^{rl}(t) + m^{vl} a_l^{vl}(t)], \quad (2.1)$$

ahol m^{rl} a vibrátor reaktív tömegét, $a_l^{rl}(t)$ a vibrátor reaktív tömegének gyorsulását, m^{vl} a vibrátor talpának tömegét és $a_l^{vl}(t)$ a reaktív tömeg gyorsulásának harmonikus komponenseit jelöli. Az l a harmonikus komponensek indexe, N a száma. Az $y(t)$ pedig egy olyan szűrőfüggvényt jelent, mely a mérőeszközök és a vibrátor mechanikája által okozott, valamint egyéb ismeretlen konvolúciós hatásokat kívánja kifejezni.

Az általam vizsgálandó kérdés az, hogy $F(t)$ deriváltja hogyan viszonyul $v^s(t)$ -hez, mellyel az (1.2) képletben a vibrátor által kibocsátott valódi jelet jelöltem és később harmonikus komponenseinek relatív viszonyait határoztam meg direkt hullámokból.

$$\frac{dF(t)}{dt} \Leftrightarrow v^s(t) = \sum_{l=0}^{N-1} v_l(t). \quad (2.2)$$

Mivel a geofonjeleken csak az alapharmonikusokhoz képest sikerült meghatározni az amplitúdó- és fázisviszonyokat, így a földterő deriváltjaira is aktualizálom az (1.8) egyenletet:

$$R_{m,n}^q(a, f) = \frac{i2\pi f Q_m(f) Y(f) G^*(-a, f)}{i2\pi f Q_n(f) Y(f) G^*(-a, f)} = \frac{Q_m(f)}{Q_n(f)} \quad (2.3)$$

és $\frac{c}{a} = f.$

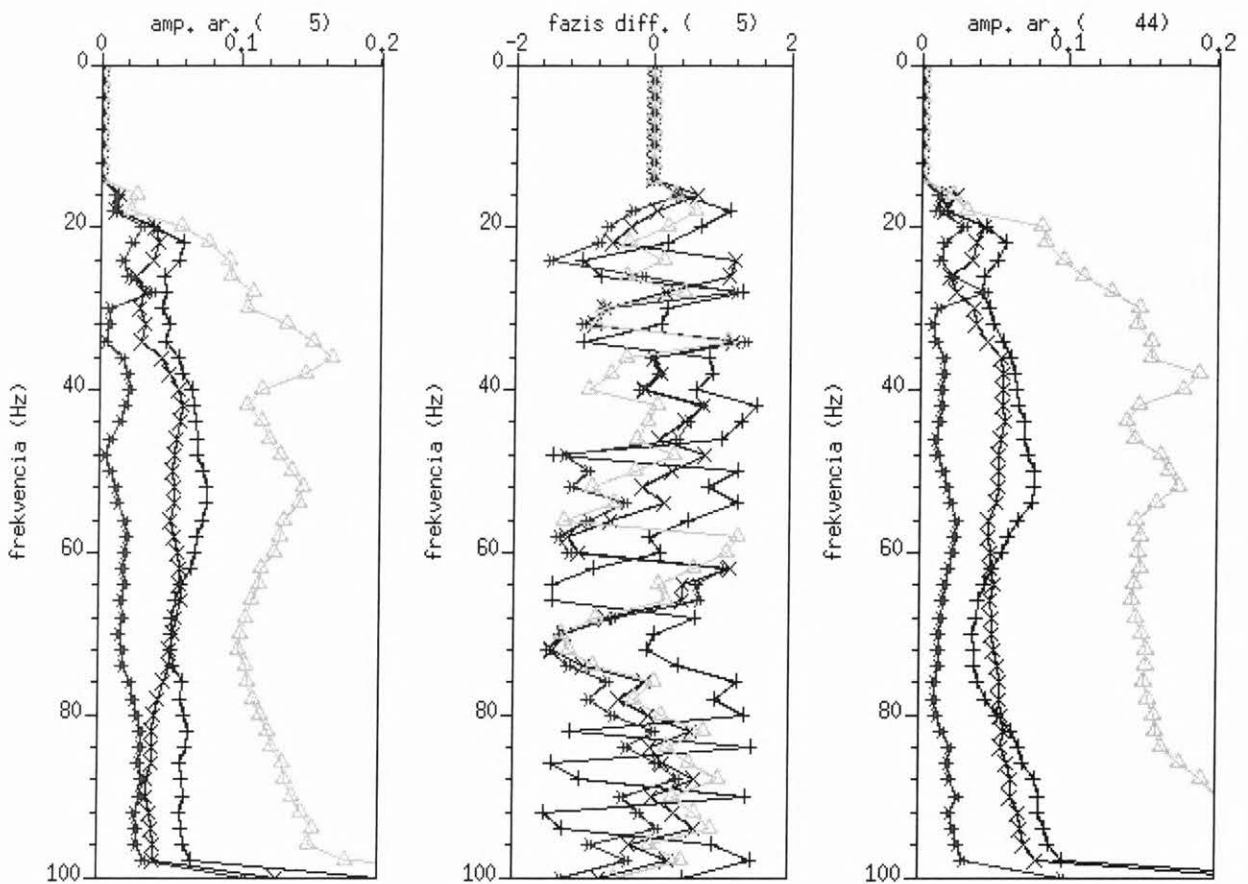
A nagybetűk a megfelelő időfüggvények Fourier-transzformáltjai, az $i2\pi f$ szorzás pedig az idő szerinti deriválást jelenti. Az ismert analízis elemi hullám, $g(t)$, az ismeretlen $y(t)$ függvény és a deriválás is kiesik számításomból. A maradék hányados már csak a konvolúciós hatásoktól megtisztított forrásfüggvény-közelítés harmonikus komponenseinek aránya.

2.2. Amplitúdó- és fázisviszonyok összehasonlítása

A kísérleti mérések során rögzítésre került mind a vibrátortalpon, mind pedig a reaktív tömegen mért gyorsulás és a belőlük számított földterő, így a (2.3) egyenlet alapján mindhárom jelre számítottam és ábrázoltam az amplitúdó- és fázisviszonyokat, az adott vibrálásához tartozó terítés geofonjeleiből számítottakkal együtt. Vizsgálataimat számos vibrálás esetén elvégeztem, de terjedelmi okokból ábrákat csak két esetre közlök, a fázisviszonyokra pedig csak az egyikre, mivel jellegükben nem térnek el egymástól.

2.2.1 Az alap- és az első felharmonikus relatív amplitúdó- és fázisviszonyai

A 2.1. ábra a konvolúciós hatásoktól megtisztított első felharmonikus és az alapharmonikus amplitúdó arányát, valamint a fáziskülönbségeket mutatja a terítés geofonjeleiből (Δ), a földterő (X), a reaktív tömeg ($*$) és a vibrátortalp ($+$) gyorsulásmérő jeleiből számolva. Az amplitúdóviszonyokat vizsgálva megállapítható, hogy egy adott vibrálásához tartozóan egyik görbe sem hasonlít a másikra. A földterő-közelítés relatív első felharmonikus tartalma jelentősen kisebb, mint amit a geofonjelekből határoztam meg.



2.1. ábra. Nem egy pozícióban végzett két vibrálásához tartozó, a konvolúciós hatásoktól megtisztított első felharmonikus és alapharmonikus amplitúdóarány görbék (balra és jobbra), valamint a fáziskülönbségek (középen, a baloldali ábrarész vibrálásához tartozóan) a terítés geofonjeleiből (Δ) és a földerő (X), a reaktív tömeg (*), a vibrátortalp (+) gyorsulásmérő jelei alapján

Fig. 2.1. Amplitude ratio curves (left and right) and phase differences (middle; only given for the source position on the left) of the first upper harmonics and the fundamental components (filtering effects are removed) in two different source positions. The curves are calculated from the geophone (Δ), the ground force (X), the reaction mass (*) and the vibrator base plate (+) signals

A legrégebben visszacsatolási jelként is használt talpi gyorsulás mutatja a legnagyobb első felharmonikus tartalmat, a földerő ettől kisebb jelez és a reaktív tömeg gyorsulásjelében van jelen a legcsekélyebb súllyal. A geofonjából származtatott amplitúdóarány-görbe csúcsai a vibrátor jeleiben nem jelentkezik. Ha összevetem a két különböző vibrálási pozícióban számított amplitúdóadatokat, akkor látható, hogy a görbék jellege hasonló, bár a mértékek különbözők.

A fázisviszonyokra csak az egyik rezgéskeltés adatsorát közlöm (középen). A fáziskülönbség-görbék is azt jelzik, hogy a geofonon mérhető első felharmonikus tartalmat nem írja le megfelelően sem a földerő-közelítés, sem a számításhoz használt gyorsulásadat, bár a földerő-közelítés 60 Hz felett jó egyezést mutat a geofonon mérhető jelek fázisviszonyaival.

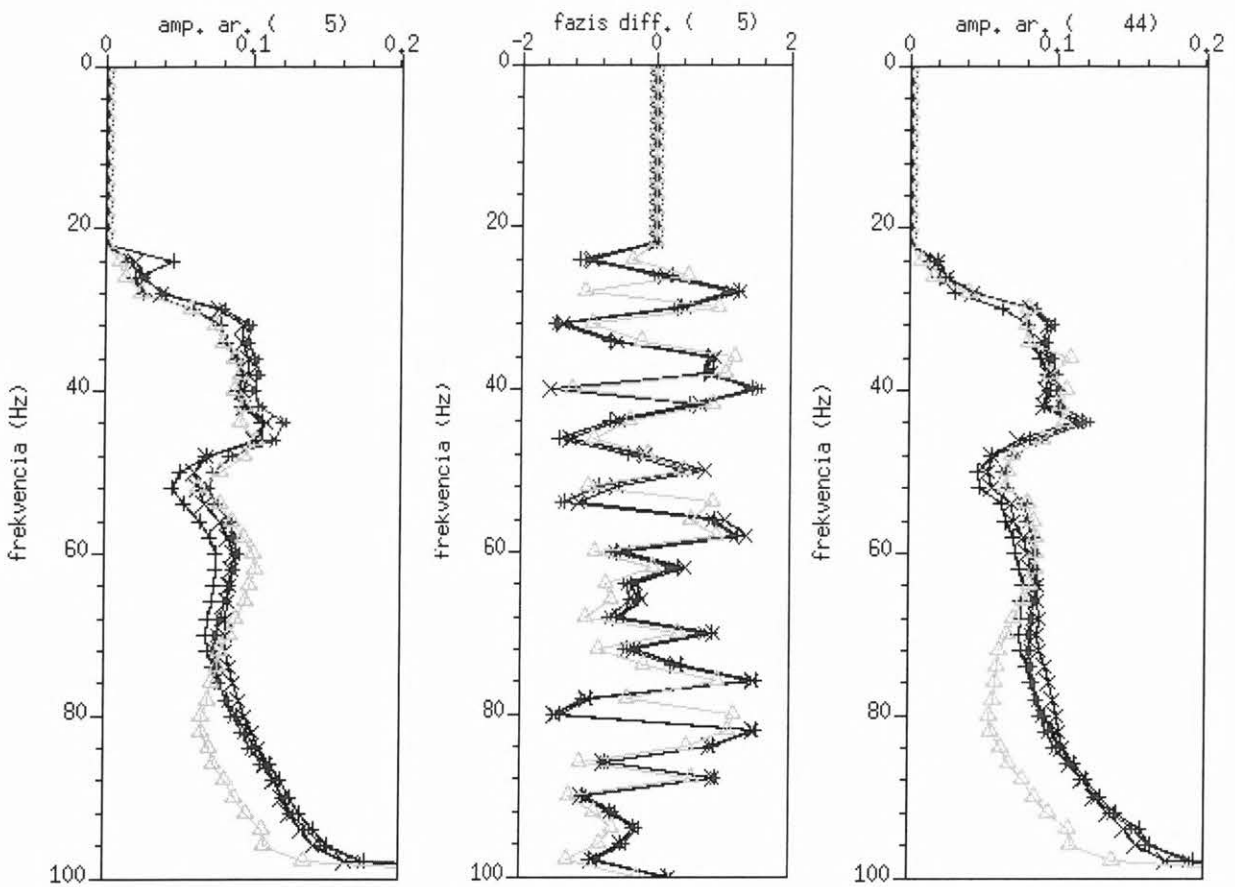
2.2.2. Az alap- és a második felharmonikus relatív amplitúdó- és fázisviszonyai

A 2.2. ábra a második felharmonikus és az alapharmonikus amplitúdó arányát, valamint a fáziskülönbségeket mutatja a terítés geofonjeleiből (Δ), a földerő

(X), a reaktív tömeg (*) és a vibrátortalp (+) gyorsulásmérő jeleiből számolva. Az amplitúdóviszonyokat vizsgálva megállapítható, hogy egy adott vibrálásához tartozóan jellegeben mindegyik görbe hasonlít egymásra. A geofonjel relatív második felharmonikus tartalma 60 Hz felett némileg eltér attól, amit a földerő-közelítés alapján határoztam meg.

A régebben visszacsatolási jelként is használt talpi gyorsulás és a reaktív tömeg gyorsulásának második felharmonikusa relatív amplitúdóviszonyai megegyeznek a földerő jelével. A geofonjából származtatott amplitúdóarány csúcsai másolják a vibrátoron mért arányokat. A két vibrálási pozícióban számított amplitúdóadatokat viselkedése hasonló.

A fáziskülönbség-görbék szinte együtt futnak a 24–100 Hz-ig érvényes tartományban. A geofonon mérhető relatív második felharmonikus tartalmat megfelelően írja le a földerő-közelítés, sőt a számításhoz használt gyorsulásadatok is azzal megegyező eredményre vezetnek. Csak nagyobb frekvencián alakulnak csekély mértékben eltérően az amplitúdóviszonyok.



2.2. ábra. Nem egy pozícióban végzett két vibráláshoz tartozó, a konvolúciós hatásoktól megtisztított, második felharmonikus és alapharmonikus amplitúdóarány görbék (balra és jobbra), valamint a fáziskülönbségek (középen, a baloldali ábrarész vibrálásához tartozóan) a terítés geofonjeleiből (Δ) és a földerő (X), a reaktív tömeg (*), a vibrátortalp (+) gyorsulásmérő jelei alapján

Fig. 2.2. Amplitude ratio curves (left and right) and phase differences (middle; only given for the source position on the left) of the second upper harmonics and the fundamental components (filtering effects are removed) in two different source positions. The curves are calculated from the geophone (Δ), the ground force (X), the reaction mass (*) and the vibrator base plate (+) signals.

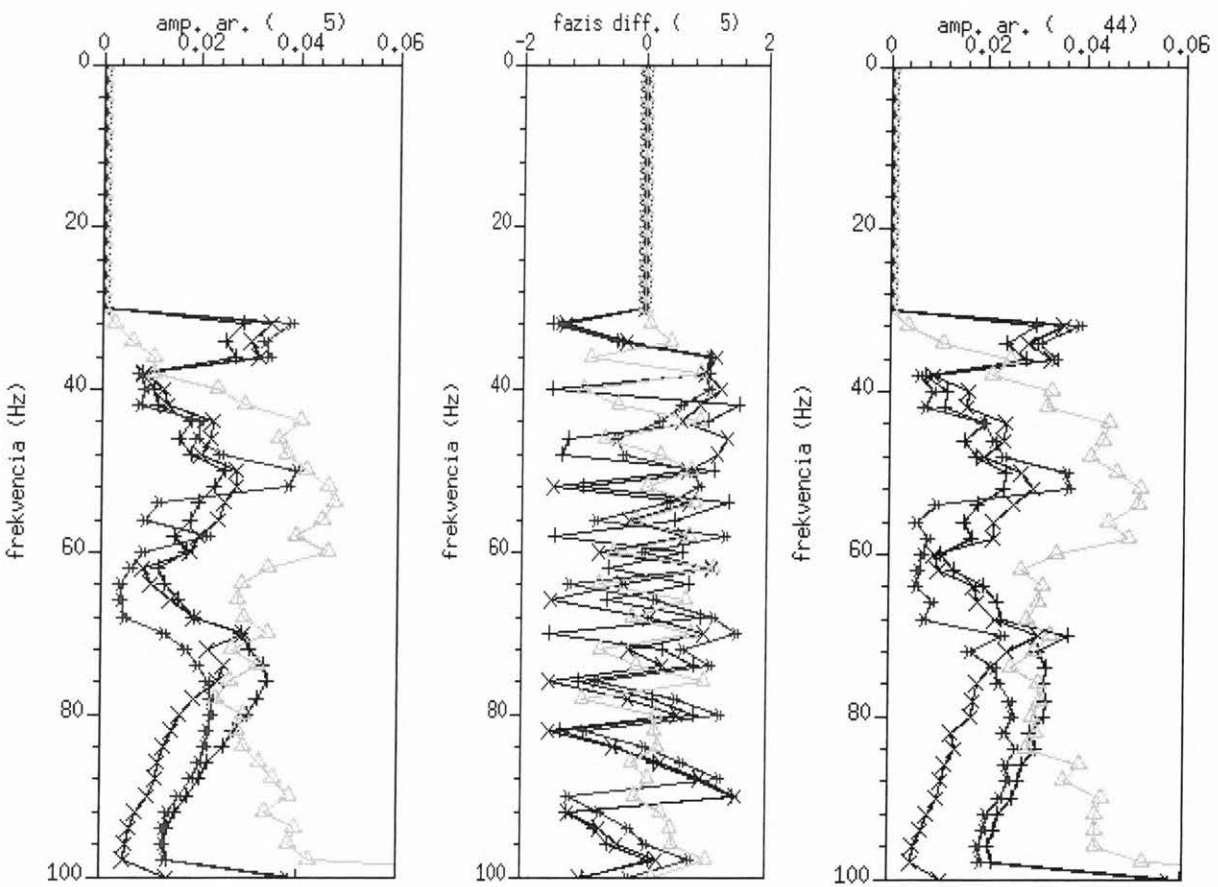
2.2.3. Az alap- és a harmadik felharmonikus relatív amplitúdó- és fázisviszonyai

A 2.3. ábrán mind az amplitúdó-, mind pedig a fázisviszonyokat vizsgálva megállapítható, hogy egy adott vibrálásához tartozóan egyik görbe sem hasonlít a másikra, különösen a geofonjeleken meghatározott arányok térnek el a vibrátor gyorsulási adataitól.

A földerő-közelítés relatív harmadik felharmonikus tartalma kisebb, mint amit a geofonjelekből határoztam meg. A korábban visszacsatolási jelként is használt talpi gyorsulás jellegeben a földerőhöz hasonló amplitúdóarányal rendelkezik. Az amplitúdóarány-görbe csúcsai mind a három, vibrátoron meghatározott jelben felismerhetők. Ha összevetem a két különböző vibrálási pozícióban számított amplitúdóadatokat, akkor látható, hogy a görbék jellege hasonló, csak a mértékek különböznek. A fázisviszonyokra csak egy adatsort közlök, ahol a fáziskülönbség-görbék is azt jelzik, hogy a geofonon mérhető harmadik felharmonikus tartalmat nem írja le megfelelően sem a földerő-közelítés, sem a számításához használt gyorsulási adatok.

2.2.4. Az alap- és a negyedik felharmonikus relatív amplitúdó- és fázisviszonyai

A 2.4. ábra a negyedik felharmonikus és az alapharmonikus amplitúdóarányát, valamint a fáziskülönbségeket mutatja a terítés geofonjeleiből (Δ), a földerő (X), a reaktív tömeg (*) és a vibrátortalp (+) gyorsulásmérő jeleiből számolva. Az amplitúdó-viszonyokat vizsgálva megállapítható, hogy egy adott vibrálásához tartozóan jellegeben mindegyik görbe hasonlít egymásra. A geofonjel relatív negyedik felharmonikus tartalma 80–90 Hz környékén némileg eltér attól, amit a földerő-közelítés alapján határoztam meg. A két vibrálási pozícióban számított amplitúdóadatok viselkedése hasonló. A fáziskülönbség-görbék 50 Hz felett szinte együtt futnak az érvényes tartományban. A geofonon mérhető relatív negyedik felharmonikus tartalmat és a fázisviszonyokat megfelelően írja le a földerő-közelítés, sőt a számításához használt gyorsulási adatok is ahhoz közelítő eredményre vezetnek.



2.3. ábra. A harmadik felharmonikus és az alapharmonikus amplitúdóarányai (balra és jobbra), valamint a fáziskülönbségek (középen, a baloldali ábrarész vibrálásához tartozóan) a terítés geofonjeleiből (Δ) és a földerő (X), a reaktív tömeg (*), a vibrátortalp (+) gyorsulásmérő jelei alapján

Fig. 2.3. Amplitude ratio curves (left and right) and phase differences (middle; only given for the source position on the left) of the third upper harmonics and the fundamental components (filtering effects are removed) in two different source positions. The curves are calculated from the geophone (Δ), the ground force (X), the reaction mass (*) and the vibrator base plate (+) signals

2.3. Amplitúdó- és fázisviszonyok összehasonlítása korreláció alapján

A 2.2. részben az összehasonlítást csak leíró jelleggel tettem meg, amit az együttes ábrázolás segített. A közölt hasonlósági megállapításokat most számszerűsíttem is a korreláció hagyományos definíciója alapján [STEINER 1990],

$$r(\xi_i, \xi_k) = \frac{\text{COV}(\xi_i, \xi_k)}{\sqrt{\text{VAR}(\xi_i)\text{VAR}(\xi_k)}}, \quad (2.4)$$

ahol az összehasonlítandó adatrendszerek kovarianciája és varianciája kap szerepet.

Meghatároztam a korrelációs értékeket minden harmonikus komponens arányra, külön-külön a frekvenciafüggő amplitúdó- és fázisgörbékre. Referenciajelként a földerőjel számított értéke szerepel, hiszen eredetileg azt tartják a távoli jel jó közelítésének.

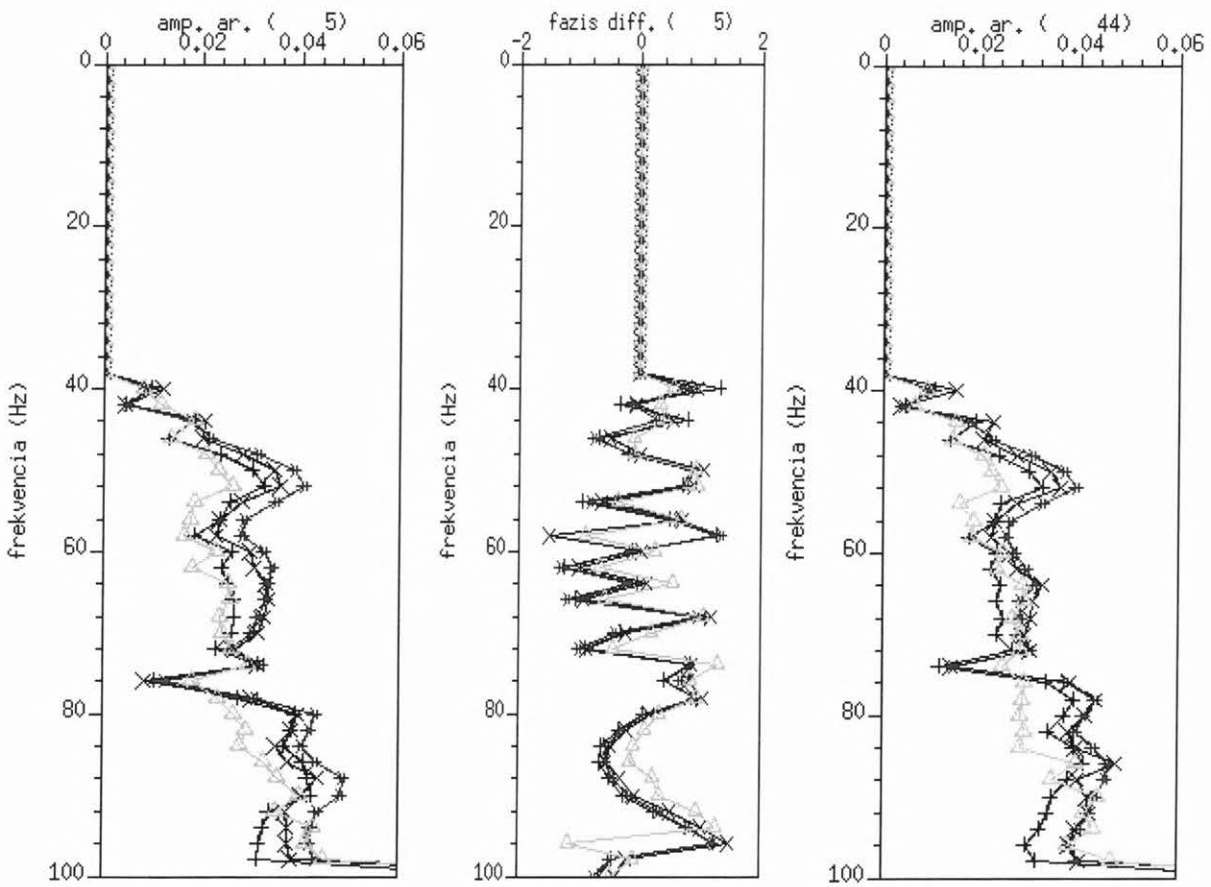
A 2.1. táblázatban szereplő korrelációs együtthatók értékei megerősítik a 2.2 részben leírt megállapításokat, hiszen magas pozitív értékeket a második és negyedik felharmonikus komponens esetében kaptam. Tehát a (2.1) képlet alapján számított földerő csak a második és negyedik, vagyis a páros sorszámú felharmonikusok amplitúdó-

és fázisviszonyait adja helyesen. A páratlan sorszámú felharmonikusokat nem írja le megfelelően.

2.4. Következtetések

A földerő és a geofonjelekből meghatározott, az alapharmonikusra vonatkozó relatív amplitúdó- és fázisviszonyok összehasonlításából azt a következtetést vonom le, hogy az adott kísérletben a második és a negyedik felharmonikus tartalom jó egyezést mutat, az első és a harmadik felharmonikus relatív amplitúdó arányai és a fáziskülönbségek pedig jelentősen eltérnek. Ez a megállapítás, ha csak egy megjegyzés erejéig is, de szerepel BAETEN et al. [2001] cikkében, vagyis a vibrátor jeleiből számított földerőjel nem mindig jó közelítés a vibrátor tényleges jelének felharmonikusaira.

A direkt hullámok vizsgálata során nyert adatok azt mutatják, hogy a páros sorszámú harmonikus komponensek a vibrátoron mérve jó közelítését adják a távoli jelnek, vagyis ezek a komponensek a vibrátor-talaj rezgőrendszerhez köthetők. A páratlan komponensek a vibrátoron és a geofonon másképpen jelentkeznek, a vibrátoron nem mérhető jól a ténylegesen kibocsátott páratlan sorszámú felharmonikus jel. A páratlan sorszámú komponensek megjelenését a vibrátor-talaj rendszerben a csatolás minősége és maga a talaj is módosítja.



2.4. ábra. A negyedik felharmonikus és az alapharmonikus amplitúdóarányai (balra és jobbra), valamint a fáziskülönbségek (középen, a baloldali ábrarész vibrálásához tartozóan) a terítés geofonjeleiből (Δ) és a földerő (X), a reaktív tömeg (*), a vibrátortalp (+) gyorsulásmérő jelei alapján

Fig. 2.4. Amplitude ratio curves (left and right) and phase differences (middle; only given for the source position on the left) of the fourth upper harmonics and the fundamental components (filtering effects are removed) in two different source positions. The curves are calculated from the geophone (Δ), the ground force (X), the reaction mass (*) and the vibrator base plate (+) signals

Korrelációs együtthatók	Első felharmonikus/alapharmonikus		Második felharmonikus/alapharmonikus		Harmadik felharmonikus/alapharmonikus		Negyedik felharmonikus/alapharmonikus	
	amplitúdó	fázis	amplitúdó	fázis	amplitúdó	fázis	amplitúdó	fázis
Geofonjel	0,4135	0,4587	0,7419	0,5975	-0,2103	-0,0876	0,8079	0,6727
Talp gyorsulás	0,7646	-0,3403	0,9539	0,8381	0,6228	0,3609	0,9526	0,7373
R. tömeg gyorsulás	-0,1078	0,6473	0,9667	0,8252	0,6415	0,4496	0,9713	0,7270

2.1. táblázat. Korrelációs együtthatók

Table 2.1. Correlation coefficients

A kísérleti mérés alapján az alapharmonikus komponens is a páros komponensekhez sorolom és a vibrátoron mért földerő alapharmonikusát a távoli jel jó közelítésének tekintem. A páros komponensek amplitúdóarányaira és fáziskülönbségeire nem kaphattam volna jó közelítést, ha a számított földerő alapharmonikusa, egy amplitúdó és egy fázis konstanstól eltekintve, nem egyezik meg a geofonjeleken meghatározott amplitúdó- és fázisviszonyokkal.

Analízis eljárásom alkalmas minőségellenőrzési feladatok ellátására akkor is, ha a vizsgálatokhoz csak a vibrátoron elhelyezett gyorsulásmérők adatai állnak rendelkezésre. Ha összevetem a földerő, a talpi gyorsulás és reaktív tömeg gyorsulási adataiból számolt relatív értékeket, akkor azok lényeges különbsége a vibrátor-talaj rezgőrendszer aszimmetriája miatt megnövekedett páratlan sorszámú felharmonikus tartalmat jelez.

Összefoglalás

A forrás-, illetve érzékelőoldali csoportosítás együttes hatása nagymértékben rontja a reflektált jelek felbontóképességét, hiszen például a nagy változékonysággal jellemzett felszínközeli rétegek által a csoporton belül okozott perturbációk már nem távolíthatók el a mért jelekből a terepi összegzés miatt. Ezért foglalkoztam a vibrátoros rezgékeltetéssel és egyedi érzékelőkkel végezhető szeizmikus reflexiós mérések témakörében a csoportosított forrás jelének szétválasztásához is használt vibrátorjel analízisével, meghatározásának lehetőségeivel. A jelenlegi eljárások pontatlansága vagy nehézsége miatt kutatásaim célja egy olyan analízis eljárás kifejlesztése volt, amely a rutinszerű mérésekhez hasonlító elrendezésben is szolgáltat adatot a valódi forrásfüggvény amplitúdó- és fázisviszonyairól.

A jövőbeni gyakorlati mérésekhez közelítő kísérleti elrendezésben a felszínen elhelyezett geofonokon észlelhető direkthullám-beérkezések nyújtanak segítséget a vibrátor által ténylegesen kibocsátott jel analíziséhez, amihez kifejlesztésre került egy elemihullám-transzformáció és frekvenciatartománybeli osztáson alapuló eljárás. Segítségével eltávolítható a szeizmikus jeleket terjedésük és mérésük során érő konvolúciós hatások.

A mérés adatait vizsgálva megállapítható, hogy az analízis módszer kiszűrte a konvolúciós hatásokat. Geofonjelek alapján határoztam meg az alapharmonikus jelhez képest, a vibrátoros forrásra jellemző, a harmonikus torzítás által létrejött felharmonikus hullámok relatív amplitúdó- és fázisviszonyait és összehasonlítottam a vibrátor gyorsulási adatai alapján meghatározott földerőjel relatív amplitúdó- és fázisviszonyaival. Megállapítottam, hogy a felharmonikusok közül csak a páros sorszámú komponensek esetében érvényes a gyorsulási adatokból számított földerőjel jósága. A páratlanok jelentősen eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek, vagyis a vibrátoron nem mérhető a tényleges kimenő jel. A kutatómunka eredményeképpen lehetővé vált, hogy a tényleges kimenő jelet a megfelelő adatok kombinációjával közelítsem. A kidolgozott eljárást egy későbbi dolgozatban ismertetem.

Az eredmények hozzájárulhatnak a csoportosított vibrátoros mérések jelei szétválasztásának tökéletesítéséhez, a tényleges forrásjelet figyelembevevő dekonvolúciós technikák bevezetéséhez, biztosítva a szeizmikus mérések megnövelt felbontóképességét.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondok az Országos Tudományos Kutatási Alapnak, hogy a kutatási témát a *Megnövelt térbeli mintavételezésű szeizmikus reflexiós mérések feldolgozása* című, T 042552 számú pályázat keretében támogatja.

Köszönetet mondok a GES Kft.-nek a kísérleti mérés elvégzéséért és az adatok rendelkezésemre bocsátásáért.

A programok megírásához, a számítások elvégzéséhez, illetve az ábrák elkészítéséhez a Seismic Unix programrendszert [COHEN, STOCKWELL 2000] használtam.

- ALLEN K. P., JOHNSON M. L., MAY J. S. 1998: High Fidelity Vibratory Seismic (HFVS) Method for Acquiring Seismic Data. SEG Expanded Abstracts
- BAETEN G. J. M., BELOUGNE V., DALY M., JEFFRYES B., MARTIN J. E. 2001: Acquisition and processing of point source measurements in land seismic. SEG Expanded Abstracts
- BAETEN G., ZIOLKOWSKI A. 1990: The Vibroseis Source. Elsevier Science Publishing Co.
- COHEN J. K., STOCKWELL Jr. J. W. 2000: CWP/SU: Seismic Unix Release 34: a free package for seismic research and processing. Center for Wave Phenomena, Colorado School of Mines
- LERWILL W. E. 1981: The amplitude and phase response of a seismic vibrator. *Geophysical Prospecting* **29**, 503–528
- LI X.-P. 1997a: Decomposition of vibroseis data by the multiple filter technique. *Geophysics* **62**, 3, 980–991
- MORLET J., ARENS G., FOURGEAU E., GIARD D. 1982: Wave propagation and sampling theory – Part II: Sampling theory and complex waves. *Geophysics* **47**, 2, 222–236
- SALLAS J. J. 1984: Seismic vibrator control and the downgoing P-wave. *Geophysics* **49**, 6, 732–740
- SCHOLTZ P. 2000: Összetett geofonjel szétválasztásán alapuló szeizmikus mérési és feldolgozási módszer. A Magyar Geofizikusok Egyesülete és a Magyarhoni Földtani Társulat közös Vándorgyűlése, Szolnok
- SCHOLTZ P. 2001: Szintetikus és terepi példák a wavelet transzformáción alapuló diszperzió analízisre (ÁDÁM O.: Felszíni szeizmikus zavarhullámok II. c. T 026415 OTKA jelentésben) 8–20
- SCHOLTZ P. 2002a: Geofizikai módszerfejlesztés: Szeizmikus feldolgozás. ELGI Jelentés. ELGI adattár
- SCHOLTZ P. 2002b: Amplitude analysis of harmonics on vibrator generated direct waves. 64th EAGE Conference, Extended Abstracts P083, Florence
- SCHOLTZ P. 2003a: Vibrátorjelek analízise megnövelt felbontóképességű reflexiós szeizmikus mérések adatfeldolgozásához. Doktori értekezés, Miskolci Egyetem
- SCHOLTZ P. 2003b: Constructing an output signal estimate of a vibratory source. 65th EAGE Conference, Extended Abstracts P233, Stavanger
- SCHOLTZ P. 2003c: A vibrátor tényleges erőhatásának rögzítése által lehetővé tett mérési, feldolgozási módszerek vizsgálata. Nemzetközi Geofizikai-Földtani-Fluidumbányászati-Környezetvédelmi Vándorgyűlés, Konferencia és Kiállítás, Szolnok
- SCHRODT J. K. 1987: Techniques for improving Vibroseis data. *Geophysics* **52**, 4, 469–482
- SERIFF A. J., KIM W. H. 1970: The effect of harmonic distortion in the use of vibratory surface sources. *Geophysics* **35**, 2, 234–246
- STEINER F. 1990: A geostatistika alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest
- VAN DER VEEN M., BROUWER J., HELBIG K. 1999: Weighted sum method for calculating ground force: an evaluation by using a portable vibrator system. *Geophysical Prospecting* **47**, 251–267
- WALKER D. 1995: Harmonic resonance structure and chaotic dynamics in the earth-vibrator system. *Geophysical Prospecting* **43**, 487–507