

**Mikoviny Sámuel**  
**Földtudományi Doktori Iskola**

**Doktori (Ph. D.) értekezés tézisei**

**VIBRÁTORJELEK ANALÍZISE MEGNÖVELT  
FELBONTÓKÉPESSÉGŰ REFLEXIÓS  
SZEIZMIKUS MÉRÉSEK  
ADATFELDOLGOZÁSÁHOZ**

**Írta:**  
**Scholtz Péter**  
**ELGI**

**Miskolc**  
**2003**

## I. TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK, CÉLKITŰZÉSEK

A szeizmikus kutatások általánosan használt módszere a közös mélységpontos reflexiós mérés, amelytől mind kifinomultabb eljárásokat várnak a pontosabb földtani információk megszerzéséhez. Egy lehetséges megoldás a szeizmikus hullámtér teljesebb leképezése.

A szeizmikus hullámok kellő sűrűségű időbeli mintavételezettsége megoldott, viszont a térbeli mintavételezettség nem tökéletes, hiszen a rutinszerűen végzett szeizmikus reflexiós méréseknél az egyidejűleg jelet szolgáltatató érzékelőket csoportokba szervezve, jelüket sorba, illetve párhuzamosan kötve, az információ egy része elvész, a felbontóképesség csökken. A csoportosítás elhagyásával legalább egy nagyságrenddel nagyobb számú csatorna egyidejű rögzítése szükséges, amit a jelenlegi technikai szint már elérhetővé tesz.

A vibrátoros mérések esetén a termelékenység fokozása, a kellő nagyságú energia bevitele, a felszíni zavarhullámok és egyéb környezeti zajok szűrése céljából forrásoldali csoportosítást is alkalmaznak. A csoportosítás ezen az oldalon sem ideális a felbontóképesség gyengülése miatt, elhagyása viszont termelékenységi okokból sem lehetséges.

Az egyedi, vagyis pontszerű források pontszerű érzékelőkön mérhető jeleinek ismerete számos előnyt hordoz. A csoporton belüli perturbációk, mint a statikus, dinamikus időeltérések és csatolási különbségek, kiküszöbölhetők. A csoportok jele nem mentes alias hatásoktól, illetve az egyszerű jelösszegzés a zavarhullámok kiszűrésére nem eredményez optimális szűrőt. Utólagos feldolgozási lépésekben jobb hatásfokú zavarhullám-szűrő tervezhető.

Csoportosított rezgéskeltés esetén a pontforrás jelének visszaállítására szóba jöhetnek a kibocsátott jelek kódolásával és valamilyen becslésével működő eljárások, ahol lényeges szerepet kapnak a vibrátorok által ténylegesen kibocsátott jelek, illetve meghatározásuk módszerei. Ekkor azzal az előnnyel is számolhatunk, hogy a vibrátor által kibocsátott tényleges jelet figyelembe véve akár a harmonikus torzítás hatására eddig zajként viselkedő beérkezések is hasznosulhatnak.

A rezgéskeltés elméleti modellezése során általában csak lineáris hatásokat vesznek figyelembe (Lerwill, 1981, Baeten és Ziolkowski, 1990). A megfigyeléseket viszont csak a nemlineáris hatásokat is leíró eljárás képes visszaadni (Walker, 1995), hiszen a vibrátor szervó-hidraulikus vezérlésében, illetve a talaj - vibrátor rezgőrendszerben lévő nemlineáris hatások miatt a tényleges kimenő jel torzított és felharmonikus jelekkel terhelt (Seriff és Kim, 1971).

Dolgozatomban a vibrátoros forrással és egyedi érzékelőkkel végezhető mérések kérdései közül a csoportosított forrás jelének szétválasztásához is használt földelő jel analízisével, meghatározásának lehetőségeivel kívántam foglalkozni, különös tekintettel a felharmonikus tartalomra, mert a jelenlegi gyakorlatban a földelőt a vibrátorok talpán és reaktív tömegén elhelyezett gyorsulásmérők jeleinek, a talp és a reaktív tömeg tömegével súlyozott összegével adják meg. A távoli jel - geofonnal észleljük és a részecskeelmozdulás sebességét írja le - a földelő jel időbeli deriváltjával van fázisban (az időkést nem számítva) és arányos azzal (Baeten és Ziolkowski, 1990). A megfigyelések szerint ezek az összefüggések a számított földelő jel felharmonikusaira nem mindig érvényesek (Baeten et al., 2001a).

A vibrátor által kibocsátott, vagy más, időben változó frekvenciájú jel (például zavarhullámok diszperzív tulajdonságú beérkezései) vizsgálatához, az idő - frekvencia képet előállító elemihullám transzformáció (wavelet transformation) egy, az adatokhoz igazodó változatának kidolgozását és alkalmazhatóságának vizsgálatát céloztam.

Mindezideig a vibrátor tényleges földelő jelének kísérleti mérésére a vibrátor talpa alá helyezett speciális érzékelők jelét használták (Baeten és Ziolkowski, 1990, van der Veen et al., 1999). A távoli jellel való összehasonlításukra pedig fűrőlyukban elhelyezett érzékelők biztosították az alkalmas körülményeket (Sallas, 1984, Schrod, 1987). Nehézkességük miatt kutatásom 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 további cél volt a valódi földelő közelítő meghatározására egy olyan új módszer megalkotása, mely a felharmonikus tartalom szempontjából is megfelelően működik és alkalmas lehet determinisztikus dekonvolúciós eljárásban való hasznosításra.

## II. ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK

Munkám során áttekintettem a hagyományos mérésekben használt érzékelő- és forrásoldali csoportosítás hatásait és az egyedi források egyedi érzékelőkkel való észlelésének előnyeit. Bemutattam a csoportosított források szétválasztására a szakirodalomban javasolt néhány módszer elméleti alapjait. Terepi adatokon demonstráltam a HFVS (High Fidelity Vibratory System) módszerrel történő forrásjel-szétválasztás eredményét, összevetve a szeparáció nélküli, hagyományos technikával.

Tárgyaltam a változó frekvenciájú jelek vizsgálatához használt módszerek fejlődését, melyekben az elemihullám transzformáció teremt meg több megközelítés

egyesített leírását. Szintetikus adatok segítségével bemutattam az elemihullám transzformáció működését az általánosan használt Morlet-féle elemihullámmal. A szakirodalomban többek által javasolt, de csak elméletileg tárgyalt speciális elemihullám felhasználására módszert dolgoztam ki és megvizsgáltam alkalmazhatóságát is. A speciális elemihullám egy lineárisan változó pillantanyi frekvenciájú jel által modulált Gauss-típusú függvény. Segítségével közvetlenül kapunk információt a frekvenciaváltozás sebességéről is, amit szintetikus példákon igazoltam.

A dolgozatban bemutattam egy, a jövőbeni reflexiós mérésekhez közelítő kísérleti elrendezést, ahol a felszínen elhelyezett geofonokon észlelhető direkthullám beérkezések nyújtanak segítséget a vibrátor által ténylegesen kibocsátott jel analíziséhez. Kidolgoztam egy, az elemihullám transzformáción és frekvenciatartománybeli osztáson alapuló, feldolgozási eljárást, amellyel eltávolíthatók a szeizmikus jeleket terjedésük és mérésük során érő ismeretlen konvolúciós hatások és a forrásra jellemző tényleges amplitúdó- és fázisviszonyok tanulmányozhatóvá válnak.

Kísérleti mérés adatait vizsgálva ellenőriztem, hogy az analizáló módszer valóban kiszűri-e a konvolúciós hatásokat. Meghatároztam a vibrátoros forrásra jellemző, annak tényleges kimenő jelében a harmonikus torzítás által létrejött felharmonikus hullámok amplitúdó- és fázisviszonyait az alapharmonikus jelhez képest. Összevettem a geofonok jelén számított arányokat a vibrátoron mérhető gyorsulási adatok és a számított földérő jel arányaival, majd vizsgáltam, hogy a számított földérő jel, illetve a korábban visszacsatolási jelként is használt gyorsulási adatok harmonikus komponensei milyen amplitúdó- és fázisviszonyokkal rendelkeznek. A harmonikus komponensek összevetése a számított földérő-közelítés jóságáról nyújtott információkat.

Mivel a geofonok jeleiből csak relatív amplitúdó- és fázisviszonyokat sikerült meghatározni, javaslatot tettem két módszerre, mely kombináció útján nyeri a valódi földérő jelet. Egy egyszerűbb eljárásban a vibrátoron mérhető gyorsulási adatokból számított földérő alapharmonikus komponensének érvényességét feltételeztem és egy korrelációt, majd annak inverzét tartalmazó technikát alkalmazva elkülönítettem. Egy hasonló eljárás után a geofonok jeleiből kapott felharmonikusokat dekonvolváltam az alapharmonikus komponenssel. A két adatrendszert kombinálva egy olyan földérő jel állt elő, mely felharmonikus tartalmában a tényleges viszonyokat tükrözi, az alapharmonikusa pedig, a jó közelítést nyújtó, számított földérő jelből származik. A

másik eljárás a felharmonikus komponensek nagyobb frekvenciáit is hasznosítja, a páros sorszámú komponensek érvényességét is feltételezve.

A kísérleti mérés adatain elvégeztem a földérő jel kombinált meghatározását az egyszerűbb eljárással. Az így nyert adatokat összehasonlítottam az eredeti, számított földérő jel, illetve a geofonok jeleiből meghatározott forrásjel amplitúdó- és fázisviszonyaival.

Az adatok vizsgálatához és feldolgozásához, valamint az ábrák elkészítéséhez a Seismic Unix programrendszer moduljait, valamint ahhoz illeszkedő saját fejlesztésű programokat használtam.

### III. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Eljárást dolgoztam ki Morlet ötlete nyomán egy speciális elemihullám - a lineárisan változó pillanatnyi frekvenciájú jellel modulált Gauss-típusú függvény - felhasználásával végezhető elemihullám transzformációra, vibrátorjelek és diszperz beérkezések analízisére. Algoritmust és programot fejlesztettem ki a módszer alkalmazásához, mely idő, frekvencia és frekvenciaváltozási sebesség szerint 3D teret eredményez. Az eljárás felhasználhatóságát szintetikus adatokon vizsgáltam.
  - a) Megállapítottam, hogy a módszer ott hatásos, ahol az analizált jel lokálisan közelíthető a lineárisan változó pillanatnyi frekvenciájú jellel. A Morlet-típusú alapjellel összevetve ekkor jobb felbontóképességet értem el és az eredmény zajhatásokra érzéketlenebbé vált.
  - b) Az általam kidolgozott analizáló módszer közvetlenül ad információt a vizsgált jel frekvenciaváltozási sebességére, mely független paraméterként kerül meghatározásra a 3D tér maximális amplitúdójú pontjainak kijelölésével.
2. Kidolgoztam egy feldolgozási eljárást, mely szeizmikus jelek különböző frekvenciaváltozási sebességgel és beérkezési idővel rendelkező harmonikus komponenseit szétválaszthatóvá teszi és kiszűri a szeizmikus hullámok harmonikus komponenseit terjedésük és mérésük során érő ismeretlen konvolúciós hatásokat. A harmonikus komponensek különválasztására az elemihullám transzformációt használtam, ahol szerepet kaphat az 1. pontban bemutatott eljárás. A szétválasztott harmonikus komponenseket frekvenciatartományban egymással osztva kiesnek a komponenseket érő ismeretlen szűrőhatások és a módszer eredményeképpen a

forrás harmonikus komponenseire jellemző relatív amplitúdó- és fázisviszonyok határozhatók meg. Az eljárás megvalósítására algoritmust és programot fejlesztettem ki.

3. Terepi észlelési rendszert terveztem, mely a jövőbeni reflexiós mérésekhez közelít. Az észlelési rendszerrel elvégzett kísérleti mérés adatai alapján megállapítottam, hogy a felszínen elhelyezett geofonokon mérhető direkthullám beérkezések alkalmasak a vibrátor által ténylegesen kibocsátott jel vizsgálatához, amit a 2. pontban ismertetett eljárással végeztem el.
  - a) A kísérleti mérés adatain bizonyítottam, hogy az általam kifejlesztett és a 2. pontban ismertetett analízáló módszer eltávolította a direkthullámokat érő ismeretlen konvolúciós hatásokat, hiszen a forrásfüggvény relatív amplitúdó- és fázisviszonyait, bár zajjal terhelt, de észlelési távolságtól és érzékelőtől független módon kaptam meg.
  - b) Többcsatornás zajszűrés eredményeképpen, amit minden frekvencián a 2. pont módszere által szolgáltatott adatok medián értékeinek meghatározásával végeztem, meghatároztam a vibrátoros forrásra jellemző, annak tényleges kimenő jelében, a harmonikus torzítás által létrejött felharmonikus hullámok amplitúdó- és fázisviszonyait az alapharmonikus jelhez képest. Az adott kísérletben a negyedik felharmonikusig kaptam értékelhető eredményt.
4. Összehasonlítottam és vizsgáltam a forrásjel relatív amplitúdó- és fázisviszonyait a felszínen elhelyezett geofonok direkthullám beérkezései, a vibrátor gyorsulási adatai, valamint a számított földelő jel alapján, amit a relatív amplitúdó- és fázisviszonyokat leíró frekvenciafüggő görbék korrelációs együtthatóinak számításával támogattam.
  - a) Bebizonyítottam, hogy az adott kísérleti elrendezésben a 2. pontban ismertetett módszer a direkthullám beérkezéseken kimutathatóvá tette az irodalomból ismert összefüggést, miszerint az alapharmonikus komponens egy ismeretlen amplitúdó szorzó és fázistoló konstanstól eltekintve mind a vibrátoron, mind pedig a geofonon mérve hasonló amplitúdó- és fázisviszonyokkal rendelkezik, vagyis az alapharmonikus komponensre nézve a számított földelő felhasználható a távoli jel meghatározásához.

- b) A kísérleti mérés adatain elvégzett analízáló eljárás alapján megállapítottam, hogy a felharmonikus komponensek közül csak a páros sorszámúak esetében igaz a távoli jel közelítésére a számított földérő felhasználhatósága. A számított földérő páratlan sorszámú felharmonikusai jelentősen eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek a geofonjelek alapján meghatározott valódi forrásjelhez képest, vagyis a vibrátoron nem mérhető a tényleges teljes kimenő jel.
- c) Megállapítottam, hogy csupán a vibrátoron mérhető gyorsulási adatok alapján is következtetni lehet a valódi forrásjel és a számított földérő jel páratlan sorszámú felharmonikus komponenseinek eltérésére, mert ekkor a vibrátor talpának, reaktív tömegének és a számított földérő jelnek relatív amplitúdó- és fázisviszonyai nem egyeznek meg. A páros sorszámú felharmonikus komponensek esetében viszont megegyeznek.
5. Felhasználva a 4. pont megállapításait, két új módszert dolgoztam ki, melyek kombináció útján a felharmonikus komponenseket is jól közelítő tényleges földérő jel számítását eredményezik.
- a) Algoritmust és programot fejlesztettem ki egy egyszerűbb eljárásra, ahol csak a vibrátoron mérhető gyorsulási adatokból számított földérő alapharmonikus komponensének érvényességét feltételezem. Javaslatot tettem továbbá egy másik módszerre is, ami hasznosítja a felharmonikus komponenseknek, az alapharmonikus komponensnél nagyobb frekvenciáit is, a vibrátoron mérhető gyorsulási adatokból számított földérő páros sorszámú felharmonikus komponensei érvényességének feltételezésével. A módszerekben a geofonokon mérhető relatív adatokat kombinálom a vibrátoron mérhető érvényesnek tekintett jelekkel.
- b) Az egyszerűbb eljárással elvégeztem a kísérleti mérés adatain a földérő jel kombinált meghatározását és megállapítottam, hogy a 2. pont analízáló eljárása segítségével összehasonlítva a kombináció útján nyert földérő jel, a vibrátor gyorsulási adataiból számított földérő jel, illetve a geofonjelekből meghatározott forrásjel amplitúdó- és fázisviszonyait, a kombináció eredményeképpen a felharmonikus tartalmat jobban leíró földérő közelítéshez jutottam, amit a korrelációs együttható értékei is bizonyítanak.

## **Az eredmények hasznosítása**

Az elemihullám transzformáció speciális alaphullámmal való elvégzésének módszere felhasználási területét a diszperz beérkezések idő - frekvencia analízise jelentheti, ha az analizált jel lokálisan közelíthető a lineárisan változó pillanatnyi frekvenciájú alapjellel. A lineárisan változó pillanatnyi frekvenciájú vibrátorjeleknél természetes módon teljesül a hasonlóság, így a jobb felbontóképesség és a módszer zavaró hatásokra kevésbé érzékeny volta indokolhatja használatát.

A vibrátorjelek analízisére kidolgozott, az ismeretlen konvolúciós hatásokat kiszűrő, analizáló eljárás minőségellenőrzési feladatokban is szerepet kaphat, amennyiben a hagyományos méréseknél zajként viselkedő tényleges felharmonikus tartalmat képes meghatározni.

A kísérleti mérés - mely a jövőbeni ipari mérésektől csak csekély mértékben tér el - adatai alapján a valódi forrásjel harmonikus komponenseiről megfogalmazott megállapítások több új, a valódi földterőt jobban közelítő, meghatározási módszer kifejlesztését tették lehetővé. A dolgozat eredményei hozzájárulhatnak a csoportosított vibrátoros mérések jelei szétválasztásának tökéletesítéséhez és a korrelációs technikát felváltó, determinisztikus dekonvolúciót alkalmazó eljárások felhasználásához.

A pontszerű érzékelővel rögzített pontforrás valódi kimenőjelét alkalmazó mérés technikák felbontóképességet növelő képessége nagy termelékenység mellett is elérhetővé válik.

## **IV. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK**

### **Szakkikkek és tudományos jelentések**

SCHOLTZ, P., 1997a, Újabb szeizmikus attribútumok értelmezése, OTKA F 014492, Zárójelentés.

SCHOLTZ, P., 1997c, Group travelttime estimation by wavelet transform with linear chirp as the basic wavelet, Geophysical Transactions, 40, 145-153.

SCHOLTZ, P., 2001, Szintetikus és terepi példák a wavelet transzformáción alapuló diszperzió analízisre, az ÁDÁM, O., Felszíni szeizmikus zavarhullámok II., T 026415 OTKA jelentésben, 8-20.

SCHOLTZ, P., 2002a, Geofizikai módszerfejlesztés: Szeizmikus feldolgozás, ELGI Jelentés.

SCHOLTZ, P., 2003d, A vibrátor jelének vizsgálata, Magyar Geofizika (folyamatban).



### **Konferencia előadások (kiterjesztett absztrakttal)**

- SCHOLTZ, P. and GILI, L., 1997b, Dispersion analysis by wavelet transform tailored for the data, 59<sup>th</sup> EAGE Conference, Extended Abstracts, P001, Geneva.
- SCHOLTZ, P., 2002b, Amplitude analysis of harmonics on vibrator generated direct waves, 64<sup>th</sup> EAGE Conference, Extended Abstracts, P083, Florence.
- SCHOLTZ, P., 2003b, Constructing an output signal estimate of a vibratory source, 65<sup>th</sup> 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.

### **Egyéb konferencia előadások**

- SCHOLTZ, P., 1995, Szeizmikus jelek vizsgálata kevésbé ismert attribútumok segítségével, Magyar Geofizikusok Egyesülete Vándorgyűlése, Kőszeg.
- SCHOLTZ, P., 1996a, Diszperz szeizmikus jelek analízise wavelet transzformáció segítségével, Ifjú Szakemberek Ankétja, Balatonvilágos.
- SCHOLTZ, P., 1996b, A wavelet transzformáció alkalmazása szeizmikus jelek frekvencia analízisére, Magyar Geofizikusok Egyesülete és a Magyarhoni Földtani Társulat közös Vándorgyűlése, Kerekegyháza.
- SCHOLTZ, P., 2000, Összetett geofon jel szétválasztásán alapuló szeizmikus mérési és feldolgozási módszer, Magyar Geofizikusok Egyesülete és a Magyarhoni Földtani Társulat közös Vándorgyűlése, Szolnok.
- SCHOLTZ, P., 2003a, Improved seismic data analysis tool in hydrogeophysical applications, EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France.