

# A szeizmikus adatok feldolgozásában alkalmazott digitális szűrők hatásosságának statisztikus vizsgálata

MESKÓ ATTILA—RÁDLER BÉLA

*Igen sok szerző foglalkozott különböző típusú szűrők tervezésének módszereivel és a szűrők alkalmazásával. A tervezésben a jelek és zajok bizonyos alapvető tulajdonságait használták fel. Ezeket legtöbb esetben csak becsülni tudjuk, ami a tervezett szűrők hatásosságát jelentősen ronthatja.*

*A dolgozatban modellszámításokkal megvizsgáljuk néhány paraméter becsülésének hibáit, illetve azt, hogyan alakul a szűrés hatásossága a paraméterek tényleges értékeinek függvényében. Részletesen a ghostokat eltávolító, illetve az optimum vertikális stacking módszerben alkalmazott szűrőkkel foglalkozunk.*

*Вопросом о методе разработки различных типов фильтров и об их применении занимался уже ряд авторов. При разработке фильтров учитывались определенные основные свойства сигналов и шумов. Однако, в большинстве случаев эти свойства могут только оцениваться, что в значительной мере снижает эффективность разработанных фильтров.*

*В настоящей работе, с использованием модельных вычислений, рассматриваются погрешности оценки некоторых параметров, а также зависимость эффективности фильтрации от фактических величин этих параметров. Подобно изучаются фильтры для подавления отражений-спутников, т.е. фильтры, применяемые в методе оптимального вертикального накопления.*

*Viele Autoren beschäftigten sich mit den Entwurfsmethoden und Anwendung von Filtern verschiedenen Typs. Bei der Entwicklung wurden gewisse grundlegende Eigenschaften der Filter benutzt. Diese können aber in den meisten Fällen nur geschätzt werden, womit die Effektivität der entwickelten Filter stark herabgesetzt wird.*

*Im Aufsatz werden die Schätzungsfehler einiger Parameter mittels Modellversuche untersucht, bzw. die Effektivität der Filterung als Funktion der tatsächlichen Werte der Parameter dargestellt. Eingehend werden die ghost-eliminierenden, bzw. die bei der optimalen vertikalen Stacking benutzten Filter betrachtet.*

## Bevezetés

A különböző digitális szűrők gyakorlati alkalmazása során tapasztalható, hogy az elvégzett műveletek hatásossága kisebb, mint az eredetileg várt. Jelen dolgozat ezen tapasztalat magyarázatát szolgáltatja.

A hatásosság csökkenésének két oka van. Az egyik ok az, hogy a szűrőtervezéshez valamilyen modellre van szükségünk és a modell a tényleges viszonyoknak csak többé-kevésbé jó közelítése lehet. Ezenkívül a modell néhány rögzített paramétert tartalmaz. Ezeket mérésekkel és számításokkal határozzuk meg. Az így meghatározott, „becsült” értékeket alkalmazzuk a szűrő tervezésében. A hibák miatt azonban a paraméterek tényleges értékei a becsült értékektől eltérnek. A paraméterek hibái a szűrő hatásosságát tovább csökkentik. Emiatt a valóságos viszonyokat jól közelítő modell esetén is rossz eredményeket kaphatunk, ha a paraméterek hibái jelentősek. Szélsőséges esetben előfordulhat, hogy a szűrő már csak olyan kis jel/zaj-arány javulást hoz létre, hogy alkalmazása nem gazdaságos. Különös gonddal kell eljárni a bonyolult, kifinomult szűrési módszerek (pl. időben változó optimum horizontális stacking) esetén, ahol nagyon sok feltevést tartalmazó modellel és sok paraméterrel dolgozunk. Itt a kis hibák halmozódása is értelmetlenné teheti a szűrés alkalmazását. Emiatt az analízishez, a csatornák előzetes vizsgálatához, a hibák kiküszöböléséhez, a szűrőtervezéshez szükséges műveletek mennyisége és minősége felül-

múlja a szűrők tényleges alkalmazásához szükséges műveletekét. (Pl. dinamikus korrelációs analízis, járulékos dinamikus és sztatikus korrekciók stb. az optimum vertikális stacking előkészítésére.)

A dolgozatban nem foglalkozunk a modellek realitásával, a szakirodalomban ismertetett modelleket helyesnek fogadjuk el, csupán a paraméterek hibáinak hatását elemezzük.

A digitális szeizmikus feldolgozásban alkalmazott szűrők egy csoportjával foglalkozunk részletesebben: a koherens zajokat eltávolító egy- és többszörös simítószűrőkkel. A szűrők tervezését és alkalmazását a szakirodalom kellő részletességgel tárgyalja. A tervezés lényege a jel- és zajmodell megadása, majd a tényleges és kívánt kimenet különbsége négyzetátlagának minimalizálása (Wiener-féle optimalizálás).

A minimum-feltétel a Wiener-Hopf egyenletrendszerre vezet. Nem realizálható szűrők esetén Fourier transzformáció alkalmazása után a szűrők átviteli függvényeire többváltozós egyenletrendszert kapunk. Ennek megoldása adja az átviteli függvényeket. (Pl. Schneider et. al., 1965). Az átviteli függvényekből inverz Fourier-transzformációval kapjuk a súlyfüggvényeket. A súlyfüggvényeket ezután konvolváljuk a megfelelő csatornák megfelelő időkapukon belüli szakaszaival.

Egy másik tervezési mód (tervezés időtartományban) közvetlenül a súlyfüggvény együtthatóit határozza meg és hasonlóan hosszadalmas iteratív eljárást igényel (Robinson, 1963).

A szűrőtervezési modell a következő: A zajt rendezetlen és koherens összetevőkre bontjuk. Utóbbiak a ghostoknak ( $C \sqrt{S}$  modell) vagy a többszörösöknek (OHS modell) felelnek meg. A jel és koherens zaj amplitúdóspektrumait azonosnak szokás feltételezni. A jel és koherens zaj differenciális normál moveo-utjainak és energiáinak eltérését figyelembe vesszük. A szűrő működésének alapja lényegében a jel és koherens zaj fázisspektrumainak és energiáinak különbsége. További feltevés, hogy a különböző csatornákon jelentkező rendezetlen zajok nem korrelálnak. Végül a szűrő tervezéséhez meg kell adni a rendezetlen zaj teljesítményének a valódi reflexiók teljesítményéhez viszonyított arányát is.

$$\sum_{j=1}^n [S_{ij}(f) + N_{ij}(f)] \bar{Y}_j(f) = S_{io}(f) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

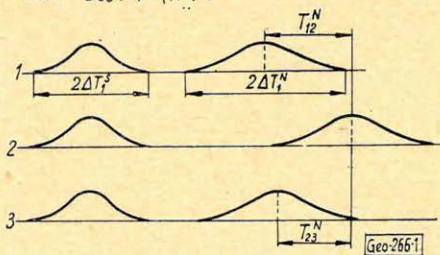
$$S_{ij}(f) = \bar{\phi}_{ss}(f) P(f, \Delta T_i^S) P(f, \Delta T_j^S) \quad (i \neq j)$$

$$S_{ii}(f) = \bar{\phi}_{ss}(f)$$

$$N_{ij}(f) = \bar{\phi}_{mm}(f) P(f, \Delta T_i^N, T_{ij}^N) P(f, \Delta T_j^N, T_{ij}^N) \quad (i \neq j)$$

$$N_{ii}(f) = \bar{\phi}_{mm}(f) + \bar{\phi}_{rr}(f)$$

$$S_{io}(f) = \bar{\phi}_{ss}(f) P(f, T_i^S)$$



1. ábra. Háromcsatornás stacking szűrő tervezésének modellje: a szűrők átviteli függvényeire vonatkozó egyenletrendszer; a jeleket és zajokat leíró képletek és a valódi, illetve többszörös reflexiók beérkezési időre vonatkozó valószínűségi sűrűségfüggvények

Fig. 1. Модель разработки трехканального фильтра для накопления данных: система уравнений для функции переноса фильтров; формулы, описывающие сигналы и шумы и функции плотности вероятности для истинных и для кратных отражений

Fig. 1. Konstruktionsmodell einer dreikanaligen Stacking: das zu den Überführungsfunktionen der Filter gehörige Gleichungssystem, die die Signale und Geräusche beschreibenden Formeln und die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen, die sich auf die Einsatzzeiten der wirklichen, bzw. mehrfachen Reflexionen beziehen

Ezt a modellt irtale és alkalmazta ghostok eltávolítására Schneider 1964-ben.

A modell továbbfejlesztése volt, amikor a differenciális normal moveoutok pontos értékei helyett azok várható értékeit és valószínűségi sűrűségfüggvényeit alkalmazták (Schneider et al., 1965).

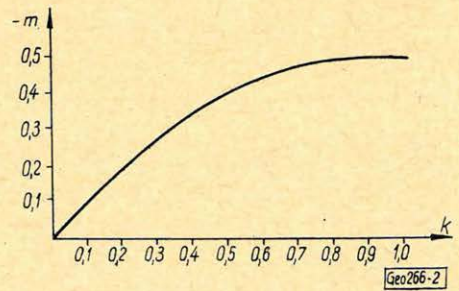
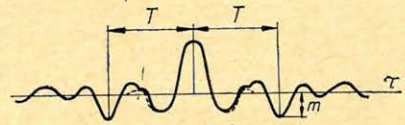
A valószínűségi sűrűségfüggvényekről Schneider feltételezte, hogy megegyeznek az egyenletes eloszlás sűrűségfüggvényeivel. A múlt évi (1968) budapesti szimpóziumon rámutattunk arra, hogy lehetséges és célszerű az egyenletes eloszlás helyett más eloszlásokat alkalmazni (Meskó – Rádlér, 1969). A Gauss eloszlás sűrűségfüggvényét alkalmazó modellt mutatja be az 1. ábra.

A modell speciális esetei a kétesatornás OVS szűrők és az egycsatornás ghost-szűrő is. A Lindsey (1960) által javasolt ghost szűrőhöz jutunk, ha rendezetlen zajt nem tételezünk fel. A továbbiakban ezekkel a speciális esetekkel foglalkozunk.

### Egycsatornás ghost-szűrő

A szűrőtervezéshez két paraméter ismeretére van szükségünk. Ezek a reflexiók együttható ( $k$ ) és a követési távolság ( $T$ ). A paramétereket – ismeretes módon (pl. Lindsey 1960; Schneider et al., 1964) – a ghostos csatorna autokorrelációs függvényéből becsülhetjük meg: 2. ábra.

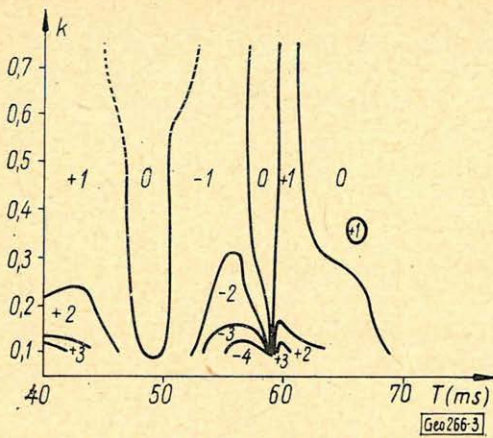
A paraméterek becsült értékei eltérhetnek a tényleges értékektől. A szűrő tervezésénél azonban csak a becsült értékeket alkalmazhatjuk. Emiatt a megvalósított jel/zaj-arány javulás kisebb az optimálisnál. Az optimumot csak akkor érhetnek el, ha a helyes paraméterekkel szűrünk, azaz ha a becslés a paraméterek helyes értékeit szolgáltatná. A szűrő várható hatásosságának meghatározásához szükséges a becslés várható hibáinak vizsgálata. Erre egyelőre egyetlen lehetőségünk modellszámítások alkalmazása volt. A ghost jelenség fellépését szintetikus csatornákkal modelleztük, különböző  $k$  és  $T$  értékek feltételezésével. A modellezett ghostos csatornák autokorrelációs függvényeiből számítottuk a paraméterek becsült értékeit. A becsült és tényleges értékekből számítható volt az elkövetett hiba. Rendezetlen zajt nem alkalmaztunk. A ghost-paraméterek meghatározásának hibáiról egy más dolgozatban részletesen számolunk: Meskó – Szulovovszki – Véges – Zelei (1970). A 3. és 4. ábrák egy modellszámítás-sorozat eredményeit mutatják be. A  $T$ -ben elkövetett hiba, illetve a  $k$ -ban elkövetett relatív hiba értékeit ábrázoltuk, mint a tényleges  $k$  és  $T$  függvényeit. Látható, hogy ha a tényleges  $k$  kicsiny, a hiba számottevő.



2. ábra. A ghost-paraméterek meghatározása az autokorrelációs függvényből (Lindsey, 1960 nyomán)

Фиг. 2. Определение параметров отражений-спутников по автокорреляционной функции (по Линдсею, 1960)

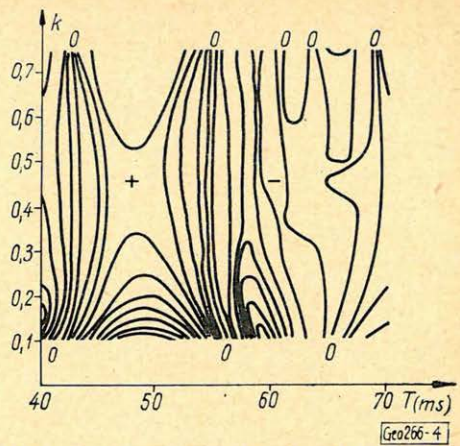
Fig. 2. Bestimmung der Ghostparameter aus der Autokorrelations-Funktion (nach Lindsey, 1960)



3. ábra. A  $T$  meghatározásának hibája, mint a  $k$  és  $T$  paraméterek tényleges értékeinek függvénye. Az eredményeket rendezetlen zajt nem tartalmazó szintetikus csatornák felhasználásával kaptuk

Fig. 3. Зависимость погрешности определения  $T$  от фактических величин параметров  $k$  и  $T$ . Результаты получены с использованием синтетических каналов, не содержащих неупорядоченные шумы

Fig. 3. Fehler der Bestimmung von  $T$ , als Funktion der tatsächlichen Werte der Parameter  $k$  und  $T$ . Das Resultat wurde durch Benutzung von synthetischen Kanälen gewonnen, die kein ungeordnetes Geräusch enthalten



4. ábra. A  $k$  meghatározásának relatív hibája mint a  $k$  és  $T$  paraméterek tényleges értékeinek függvénye.

Az eredményeket modellszámításokkal kaptuk

Fig. 4. Зависимость относительной погрешности определения значения  $k$  от фактических величин параметров  $k$  и  $T$ . Результаты получены по модельным вычислениям

Fig. 4. Relativfehler der Bestimmung von  $k$  als Funktion der tatsächlichen Werte der Parameter  $k$  und  $T$ . Das Resultat wurde durch Modellrechnungen erhalten

Operator

$$\{ 1 \ 0 \ 0 \dots (k+\Delta k) \ 0 \ 0 \dots (k+\Delta k)^2 \ 0 \ 0 \dots (k+\Delta k)^4 \}$$

$$\quad \quad \quad \downarrow \quad \quad \quad \downarrow \quad \quad \quad \downarrow$$

$$\quad \quad \quad n+\Delta n \quad \quad \quad 2(n+\Delta n) \quad \quad \quad 4(n+\Delta n)$$

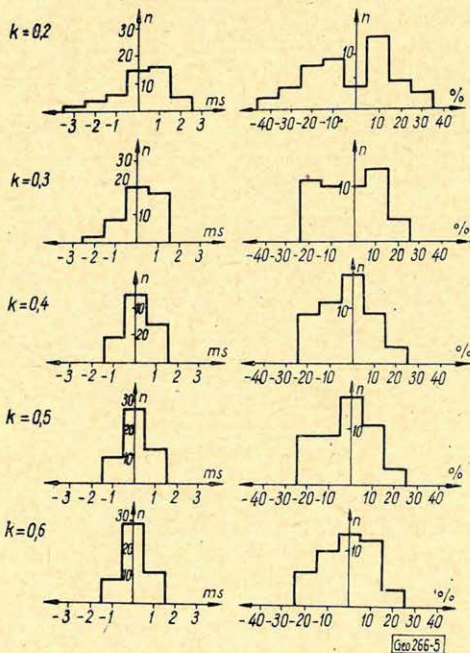
$$\Delta k = 0, \pm 1, \pm 2,$$

$$\Delta n = 0, \pm 0,1, \pm 0,2 \quad \text{Geo266-5}$$

5. ábra. A  $T$  hibáinak és a  $k$  relatív hibáinak hisztogramjai a  $k$  paraméter valódi értékének függvényében

Fig. 5. Гистограммы погрешностей  $T$  и относительных погрешностей  $k$  в зависимости от фактических величин параметра  $k$

Fig. 5. Histogramme der Fehler von  $T$  und der relativen Fehler von  $k$  als Funktionen der tatsächlichen Werte vom Parameter  $k$



6. ábra. A vizgálatokban alkalmazott Lindsey-féle egycsatornás ghost-szűrő súlyfüggvénye

Fig. 6. Весовая функция одноканального фильтра Линдсея для подавления отражений спутников, применявшегося при исследованиях

Fig. 6. Gewichtsfunktion des bei den Untersuchungen angewandten einkanaligen Ghostfilters von Lindsey

A  $T$  szerinti változás jellege: lassan csökkenő amplitudójú oszcilláció.

A hibák hisztogramjait, mint a tényleges  $k$  függvényeit az 5. ábrán láthatjuk. A hibák várható értéke jó közelítéssel zérus, szórásuk függ a  $k$  értékétől. A  $k$  növekedésével a szórás csökken.

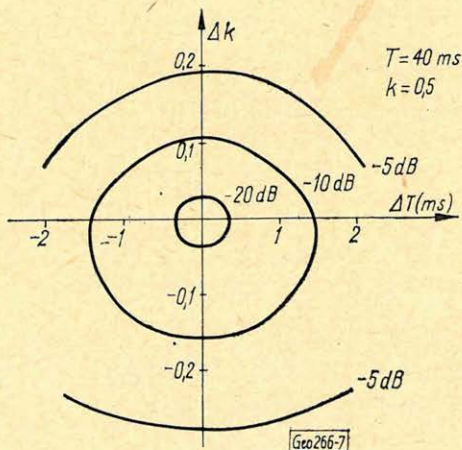
A következő vizsgálat célja az volt, hogy kvantitatív képet adjon a ténylegestől eltérő paraméterekkel végzett szűrés hatásosságáról. A szűrő tervezésében rögzített  $T$  és  $k$  értékeket tételeztünk fel. A tervezett szűrőt azután  $T + \Delta T$ ,  $k + \Delta k$  paraméterekkel rendelkező bemenetre alkalmaztuk. A hibás paraméterekkel működő szűrő súlyfüggvényét a 6. ábra mutatja. A ghost energia csökkenését, azaz a

$$10 \log \frac{E_{ki}}{E_{be}}$$

menyiséget, mint a  $\Delta T$  és  $\Delta k$  hibák függvényeit a 7. ábra mutatja be. Látható, hogy ha a hibák értéke nő, a szűrő hatásossága gyorsan csökken. A legkedvezőbb esetben felvett értéktől ( $\Delta T = 0$ ,  $\Delta k = 0$ ) a hatásosság várható értéke jelentősen eltér. Fel kell hívni a figyelmet arra, hogy rendezetlen zajt a modell-számításban nem alkalmaztunk. Rendezetlen zaj jelenléte nemcsak a paraméterek meghatározásának hibáját növeli, de a jel/zaj-arány javulását is jelentősen rontja.

#### Optimum vertikális stacking szűrők hatásosságának vizsgálata

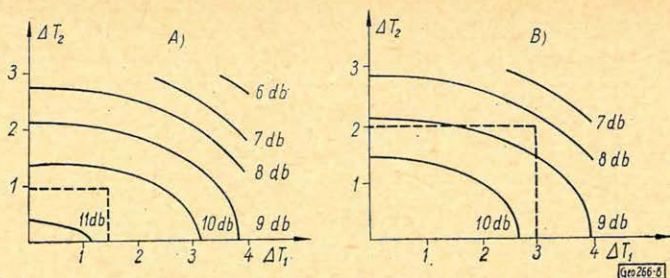
Az optimum vertikális stacking szűrőket két, különböző mélységű robbantással észlelt szeizmogram azonos geofonhelyhez tartozó csatornapárjaira alkalmazzuk. A szeizmogramokat előzetesen korrigáljuk, majd a megfelelő csatornapárok szűrt kimeneteit összegezzük. A szűrőtervezésben – többek között – feltesszük, hogy a valódi reflexiók között nincs időkülönbség és a két csatornán a ghostok közötti  $T$  időkülönbséget pontosan ismerjük (Schneider et al. 1964). Valójában hibás korrekciók miatt a valódi reflexiók között is van időkülönbség és a ghostok közötti időkülönbség meghatározásakor is elkövethetünk hibákat. Jelöljük a valódi reflexiók közötti időkülönbséget  $T_1$ -el, a ghostok közöttit  $T_2$ -vel. Az ideális esetben  $T_1 = 0$ ,  $T_2 = T$ ; a valóságban  $T_1 = 0 \pm \Delta T_1$ ,  $T_2 = T \pm \Delta T_2$ . A szűrők hatásossága vizsgálható a  $\Delta T_1$  és  $\Delta T_2$  hibák függvényében. A szűrők tervezésében statisztikus modellt alkalmaztunk (Schneider et al., 1965 nyomán.) A 8. ábrán bemutatott eredmények levezetésében feltételeztük, hogy mind a valódi, mind a ghost-reflexiók beérkezési időire az egyenletes eloszlásnak megfelelő sűrűségfüggvények al-



7. ábra. Az egycsatornás, véges hosszúságú, Lindsey-féle szűrővel elért ghost-energia csökkenése, mint a paraméterek hibáinak függvénye

Фиг. 7. Снижение энергии отражения спутника при применении одноканального фильтра Линдсея с ограниченной длиной, в зависимости от погрешностей параметров

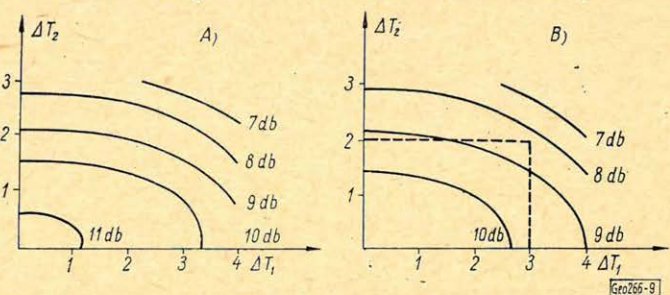
Fig. 7. Die Verminderung der Ghostenergie – erhalten mit einem endlich langen, einkanäligen Lindsey-Filter – als Funktion der Parameterfehler



8. ábra. Az optimum vertikális stackinggel elért jel/zaj-arány javulás, mint a  $\Delta T_1$  és  $\Delta T_2$  hibák függvénye

Фиг. 8. Зависимость улучшения отношения сигнал/шум при оптимальном вертикальном накоплении, от погрешностей  $\Delta T_1$  и  $\Delta T_2$

Fig. 8. Die Verbesserung des Signal/Geräusch-Verhältnisses — erhalten durch eine optimale vertikale Stacking — als Funktion der Fehler von  $\Delta T_1$  und  $\Delta T_2$



9. ábra. Az optimum vertikális stackinggel elért jel/zaj-arány javulás, mint a  $\Delta T_1$  és  $\Delta T_2$  hibák függvénye

Фиг. 9. Зависимость улучшения отношения сигнал/шум при оптимальном вертикальном накоплении, от погрешностей  $\Delta T_1$  и  $\Delta T_2$

Fig. 9. Die Verbesserung des Signal/Geräusch-Verhältnisses — erhalten durch eine optimale vertikale Stacking — als Funktion der Fehler von  $\Delta T_1$  und  $\Delta T_2$

kalmazhatók. A két sűrűségfüggvény szélessége a 8A ábrán bemutatott hatásosság-vizsgálatban 2 ms illetve 3 ms, a 8B hatásosság vizsgálatban 4 ms illetve 6 ms volt. Az ábrákon szaggatott vonallal bejelöltük a sűrűségfüggvények határait. Mindkét esetben csak pozitív előjelű hibákra vonatkozó értékeket tüntettünk fel. Az A és B ábrák összevetéséből látható, hogy szélesebb sűrűségfüggvény alkalmazása esetén a maximális jel/zaj-arány javulás kisebb, de a hatásosság lassabban csökken. A 9A és 9B ábrákon háromszög alakú és vele egyező alaphosszúságú, négyszög alakú sűrűségfüggvénnyel tervezett optimumszűrők hatásosságát hasonlíthatjuk össze.

A hatásosságot most a jel/zaj-arány- javulással jellemeztük. A zaj a ghoston tehát a koherens zajkomponensen kívül rendezetlen komponenst is tartalmazott. A jel/zaj-arány javulása az egycsatornás ghost-szűrővel összehasonlítva igen kedvező. Emlékeztetünk arra, hogy az egycsatornás ghost-szűrő hatásosságát a ghostenergia csökkenésével jellemeztük és rendezetlen zaj jelenléte esetén pusztán a ghostenergia csökkentése nem okoz a jel/zaj-arányban 11–12 dB javulást. Látható az is, hogy az OVS hatásossága a hibákra kevésbé érzékeny.

Megjegyezzük, hogy a 8. és 9. ábrák a valóságosnál még mindig kedvezőbb képet festettek. Más, a szűrőtervezésben alkalmazott feltevések sem mindig teljesülnek és ez a hatásosságot tovább csökkenti. Egy ezek közül a valódi és többszörös reflexiók spektrumainak egymás közötti és különböző szeizmogramok közötti eltérése. (A szűrőtervezésben feltesszük a spektrumok azonosságát.)

Az optimumszűrők hatásosságának reális felméréséhez figyelembe kell venni a paraméterek hibáit. A hibák eloszlását egy speciális esetben modell-számításokkal vizsgáltuk meg. A ghost paraméterek hibáit határoztuk meg szintetikusan csatornákból. A becslésben az autokorrelációs függvényeket használtuk fel. Tapasztaltuk, hogy a hibák jelentősek, annak ellenére, hogy a modell a valóságot idealizálta (nem tartalmazott rendezetlen zajt). A paraméterek hibái miatt a tervezett szűrő hatásosságának várható értéke az optimálisnál jóval kisebb.

Bemutattuk néhány stacking szűrő tényleges hatásosságára vonatkozó vizsgálatainkat. Az eredmények itt is azt mutatták, hogy a hatásosság aránylag kis hibák esetén is csökken. Érdemes összehasonlítani az itt közölt eredményeket Schneider et al. 1964 dolgozatának 3. ábrájával. Az ott bemutatott szintetikus példán a ghostenergia csökkenése 25 db. Ha a szűrőket rendezetlen zajt is tartalmazó csatornákra alkalmaztuk és nem csupán a ghostenergia csökkenését, hanem a jel/zaj-arány javulását is számítottuk, az így kapott érték kb. felére csökkent. Ez a tény világosan rámutat arra, hogy megtevesztő lehet, ha csak egyetlen komponens csökkentését vizsgáljuk, illetve valamilyen zajcsökkentési módszer gyakorlati alkalmazásának határfokát lerontja, ha csak egyetlen zajkomponens csökkentését tartjuk szem előtt. Hasonló következtetésre jutottak, gyakorlati tapasztalatok alapján, a konvencionális horizontális stacking módszerrel kapcsolatban Molnár—Rumpler—Sághy—Zsitvay (1969): „a jel/zaj-viszony javítása céljából a szabálytalan háttérzaj csökkentése legalább olyan fontos”, mint a szabályos jellegű zavarok csökkentése.

Levonhatjuk azt a következtetést, hogy egyetlen adatfeldolgozási művelettől sem várhatunk „csodát”, a gondosan tervezett műveletek összessége vezet csak megfelelő eredményekre, illetve a legmodernebb szűrési módszerek alkalmazásának sikeréhez elengedhetetlen az alapos elemzés, az adatok előzetes finomítása (pl. azonos energia, vagy közel azonos spektrum biztosítása), mellyel a szűrő paramétereinek hibáit a lehető legkisebbre csökkentjük.

#### IRODALOM

- Lindsey, J. P., 1960: Elimination of seismic ghost reflections by means of a linear filter. *Geophysics*, vol. 25, No. 1. p. 130—140.
- Meskó A. — Rádler B., 1968: Modellszámítások alkalmazása a szeizmikus adatfeldolgozás és értelmezés előkészítésében. *Magyar Geofizika IX. kötet*, 3. szám, 152—163 old.
- Meskó A. — Rádler B., 1969: A jel és koherens zaj NMO-jai eloszlásának szerepe többszörös szeizmikus optimumszűrők tervezésében. *Geofizikai Közlemények, XVIII. kötet*, 4. szám, 69—77 old.
- Meskó A. — Szulyovszki I. — Véges I. — Zelei A.: 1970: Ghost paraméterek meghatározásának pontossága. *Magyar Geofizika, XI. kötet*, 2. szám (megjelenőben).
- Molnár K. — Rumpler J. — Sághy Gy. — Zsitvay Sz., 1969: A magyarországi szénhidrogénkutatásban alkalmazott többszörös fedéses eljárás eddigi tapasztalatai. *Magyar Geofizika, X. kötet*, 2—3—4. szám, 43—56 old.
- Robinson, E. A., 1963: Mathematical development of discrete filters for the detection of nuclear blasts. *Jou. Geoph. Res.*, vol. 63, p. 5559—5567.
- Schneider, W. A. — Lerner, L. K. — Burg, J. P. — Backus, M. M., 1964: A new data processing technique for elimination of ghost arrivals on reflection seismograms. *Geophysics*, Vol. 29, No. 5. p. 783—805.
- Schneider, W. A. — Prince, E. R. — Giles, B. F., 1965: A new data processing technique for multiple attenuation exploiting differential normal moveout. *Geophysics*, Vol. 30. No. 3., p. 348—362.