

# Az átlagnégyzetes hibakritérium alkalmazása szeizmikus digitális szűrők hatásosságának becslésére

MESKÓ ATTILA - RÁDLER BÉLA - SZULYOVSKY IMRE

*Az egy- és többszörös sűrítősűrők tervezése során az átlagnégyzetes hiba minimalizálásával határozzák meg az optimális átviteli függvényeket. Másrészt a szakirodalomban elterjedt és szinte kizárólagos módszer a szűrők hatásosságának értékelésére a jel/zaj arány javulásának megadása. A jel/zaj-arány-javulást az energiákból vagy az amplitúdókból határozzák meg. A szűrők értékelése tehát jelenleg más kritérium alapján történik, mint a tervezés.*

*Az előadás szertné felhívni a figyelmet a két kritérium különbségére. Ez a különbség ellentmondásokra vezethet (pl. a jel/zaj-arány maximális javulása más paramétereknél ad optimumot, mint az átlagnégyzetes hiba minimuma). A szerzők javaslata az, hogy az értékelésben a tervezésével azonos jósági kritériumot használjunk.*

*В процессе разработки одно- и двухканальных сглаживающих фильтров функции передачи и весовые функции определяются с помощью минимализации среднеквадратической ошибки. С другой стороны наиболее распространённым в литературе и почти единственным методом оценки эффективности фильтров является определение степени улучшения отношения сигнал/помеха. Улучшение отношения сигнал/помеха определяется по значениям получаемых энергий и амплитуд. Это значит, что при оценке фильтров и их разработке принимаются во внимание разные критерии.*

*Данная работа обращает внимание на различие между этими двумя критериями. Это различие может вызвать противоречия, так например максимальное улучшение отношения сигнал/помеха принимает оптимальное значение при других параметрах, чем минимум среднеквадратической ошибки. Авторы предлагают при оценке эффективности фильтров применять критерии, одинаковые по своему характеру с критериями установленными при разработке фильтров.*

*Im Laufe der Planung der ein- und mehrkanaligen Glättungsfilter werden die optimalen Übertragungsfunktionen oder die Gewichtsfunktionen durch die Minimalisierung des mittleren quadratischen Fehlers bestimmt. Andererseits ist eine in der Literatur verbreitete und fast ausschließlich angewendete Methode der Bewertung der Effektivität der Filter die Angabe der Verbesserung des Signal/Geräusch-Verhältnisses. Dies wird aus den Amplituden oder aus den Energien berechnet. Eine Folge davon ist, dass bei der Bewertung der Filter von einem anderen Kriterium ausgegangen wird, als bei der Konstruktion.*

*Im Vortrag wird auf diese Duplizität aufmerksam gemacht. Die Abweichung der zwei Kriterien-Arten kann zu Widersprüchen führen (z. B. die maximale Verbesserung des Signal/Geräusch-Verhältnisses führt zum Optimum für andere Parameterwerte, als dies sich bei dem Kriterium des durchschnittlichen quadratischen Fehlers ergibt.) Die Verfasser schlagen vor, sowohl bei der Planung, wie auch bei der Bewertung dieselbe Güte-Kriterien anzuwenden.*

## *Az irodalomban használatos hatásossági kritériumok áttekintése*

A hasznos jel kiemelését célzó műveletek hatásosságának becslésére leggyakrabban használatos hatásossági kritérium az átalakított csatorna jel/zaj-arány-javulása. Jel/zaj arányon energiaarányt, teljesítményarányt, vagy amplitúdóarányt szoktak érteni. Geofoncsoportok átviteli tulajdonságának becslésére a teljesítményarány-kritériumot használja pl. J. R. Arora: (1968) [3]. Optimumszűrés hatásosságának becslésére W. A. Schneider et al (1965) [1] cikkükben az energiaarány-kritériumot használják.

Ota Kulhanek (1968) [2] cikkében az amplitúdó-hányados kritériumot használja optimum-sűrítősűrítés hatásosságának becslésére.

Jelen dolgozat modellvizsgálatok alapján szeretné bemutatni az átlag-négyzetes hibakritériumot, összehasonlítva a fenti kritériumokkal.

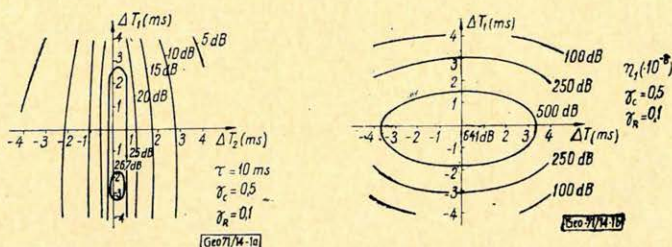
### Az átlagnégyzetes hibakritérium alkalmazása

Először vizsgáljuk meg az optimum vertikális stacking hatásosságát modell csatornákon, az irodalomban használatos energiakritérium alapján. A modell-csatorna álljon jel- és ghost-waveletből [alakra megegyeznek:  $W(t)$ ] és rendezetlen zajból:

$$W(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} H_8(t) e^{-t^2},$$

ahol  $H_8(t)$ : nyolcadfokú Hermite-polinom.

A rendezetlen zaj/jel teljesítményarányt  $\gamma_R = 0,1$ , a koherens zaj/jel teljesítményarányt  $\gamma_c = 0,5$ -nek választottuk. A két csatornán fellépő ghostok közötti időkülönbség:  $\tau = 10$  ms. Erre a modellre meghatározva az optimumszűrőket, elvégeztük a szűrést és számítottuk a szűrés hatásosságát a jelek közötti időkülönbség ( $\Delta T_1$ ) és a ghost-késés hibájának ( $\Delta T_2$ ) függvényében. Jelöljük az energiák hányadosa alapján számított hatásosságot  $\eta_2$ -vel ( $I/a$  ábra). A számítás érdekes eredményt adott: a hatásosság nem akkor maximális, amikor a modellcsatorna paraméterei megegyeznek a szűrő paramétereivel, hanem akkor, ha a jelek közötti időkülönbség  $-3$  ms.



1. ábra. Optimum vertikális stacking hatásossága a ghost reflexiók közötti időkülönbség hibája ( $\Delta T_2$ ) és a jelek közötti időkülönbség ( $\Delta T_1$ ) függvényében;  $\eta_1$  az átlagnégyzetes hibakritériummal számított hatásosság;  $\eta_2$  az energiáhányados-kritériummal számított hatásosság

Фиг. 1. Зависимость эффективности оптимального вертикального накопления от погрешности разности времен между отражениями-спутниками  $\Delta T_2$  и от разности времени сигналов  $\Delta T_1$ ;  $\eta_1$  — эффективность, подсчитанная с критерием среднеквадратичной погрешности;  $\eta_2$  — эффективность, подсчитанная с критерием отношения энергии

Fig. 1. Effektivität der vertikalen Optimumstapelung als Funktion vom Zeitdifferenzfehler der „Ghost“-Reflexionen  $\Delta T_2$  und von der Zeitdifferenz der Signale  $\Delta T_1$ ;  $\eta_1$  Effektivität, berechnet mit dem Kriterium des quadratischen Mittelfehlers;  $\eta_2$  Effektivität, berechnet mit dem Kriterium des Energieverhältnisses

Ez a jelenség azért léphet fel, mert más kritérium szerint vizsgáltuk a szűrés hatásosságát, mint amit az optimumszűrő tervezésénél használtunk, vagyis a szűrt és összegezett jel energiája nem akkor lesz maximális, amikor az eredeti wavelettől való eltérés négyzetösszege minimális.

Legyen most hatásossági kritériumunk a szűrő-tervezési kritérium reciprokoka:

$$\eta_1 = \frac{N}{\sum_{i=1}^N (g_i - w_i)^2},$$

ahol:  $g_i$  szűrt csatorna,  
 $w_i$  kívánt kimenet.

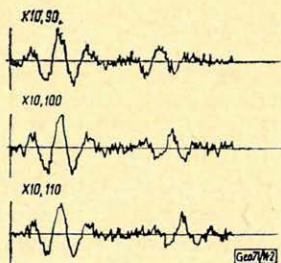
A számítás eredménye az 1/b. ábra. Ebben az esetben a hatásosság maximuma ott jelentkezik, ahol a modellesatorna paraméterei megegyeznek a szűrő paramétereivel. Ez a példa felhívja a figyelmet arra, hogy a szűrőtervezési kritérium alapján, ill. az energiák hányadosának felhasználásával számított hatásosság között eltérések lehetnek.

Az optimumszűrő-tervezési-kritériumot használva, a hatásossági értékeknek nincs olyan szemléletes jelentésük, mint a hányadoskritériummal számított értékeknek. Lényeges különbség még a kétféle hatásosság között az, hogy  $\eta_1$  értékei  $\Delta T_1$  növekedésével gyorsabban csökkennek, mint  $\eta_2$  értékei.  $\eta_2$  számításánál ugyanis a hányados-kritérium nem veszi figyelembe a jel beérkezésének helyét, csak energiáját. Ha a jel eltolva jelentkezik, de ugyanolyan energiával, akkor az energiahányados-kritérium ugyanolyan hatásosságot fog eredményezni, az átlagnégyzetes kritérium viszont különbözőt. Ugyanez történik akkor, is ha a jel torzult. Ez a különbség lényeges lehet.

Vizsgáljuk meg a horizontális stacking és az optimum horizontális stacking (OHS) hatásosságát.

A jelek közötti időkülönbség (rossz korrekció) hatását már az előző OVS példánál megvizsgáltuk. A következőkben feltesszük, hogy a jelek között időkülönbség nincs, vagyis nincs korrekciós hiba. Modellesatornáink álljanak jelwaveletből, rendezetlen fehér zajból (amelynek teljesítménye 10-ed, illetve 100-ad része a teljesítménynek:  $\gamma = 10$  és  $\gamma = 100$ ) és a többszörösöknek megfelelő waveletből, amelynek amplitúdója fele a jelamplitúdónak. Háromszoros fedést vizsgálunk. A többszörös relatív időtolása 10 – 10 ms. Ezekre a paraméterekre optimumszűrőket terveztünk (lásd Schneider et al 1965) és vizsgáltuk a szűrő hatásosságát a fenti kritériumok szerint a többszörösök közötti tolás hibájának függvényében.

Összehasonlítás céljából kiszámítottuk az egyszerű összegezés hatásosságát is.

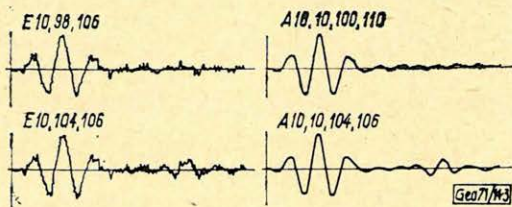


2. ábra. Modellesatornák az optimum horizontális stacking hatásosság-vizsgálataihoz

Фиг. 2. Модельные каналы для изучения эффективности оптимального горизонтального накопления

Fig. 2. Modellkanäle zur Untersuchung der Effektivität der horizontalen Optimumstapelung

A 2. ábrán bemutatjuk a bemenetként használt három modelleszatornát  $\gamma = 10$  esetében. A 3. ábrán példákat mutatunk az eredményeszatornákából. Az eredményül kapott OHS hatásossági görbék a 4. ábrán láthatók.



3. ábra. Horizontális stacking (*E*) és optimum horizontális stacking (*A*) eredményeszatornák. Paraméterek rendre:  $\gamma_x, \gamma_y, M_2, M_3$ ;  $\gamma_x$ : a szatornák jel/rendezetlen zaj-teljesítményaránya;  $\gamma_y$ : optimumszűrő tervezésénél figyelembe vett jel/rendezetlen zaj-teljesítményarány;  $M_1, M_2, M_3$  rendre a három többszörös időkéscése a jelhez képest

Фиг. 3. Трассы, полученные в результате горизонтального накопления (*E*) и оптимального горизонтального накопления (*A*). Параметры:  $\gamma_x, \gamma_y, M_2, M_3$ ;  $\gamma_x$  — отношение мощностей сигнал/неупорядоченный шум каналов  $\gamma_y$  — отношение мощностей сигнал/неупорядоченный шум, учтенное при разработке оптимального фильтра;  $M_1, M_2, M_3$  — запаздывание трех кратных волн по отношению к полезному сигналу

Fig. 3. Ergebnis der horizontalen Stapelung (*E*) und der horizontalen Optimumstapelung (*A*). Die einbezogenen Parameter sind:  $\gamma_x, \gamma_y, M_2, M_3$ ;  $\gamma_x$  Leistungsverhältnis „Signal/ungeregeltes Geräusch“ der Kanäle,  $\gamma_y$  Leistungsverhältnis „Signal/ ungerichtetes Geräusch“, das bei der Entwicklung des Optimumfilters in Betracht gezogen wurde;  $M_1, M_2, M_3$  Zeitverspätung der drei Mehrfachreflexionen im Vergleich zum Signal

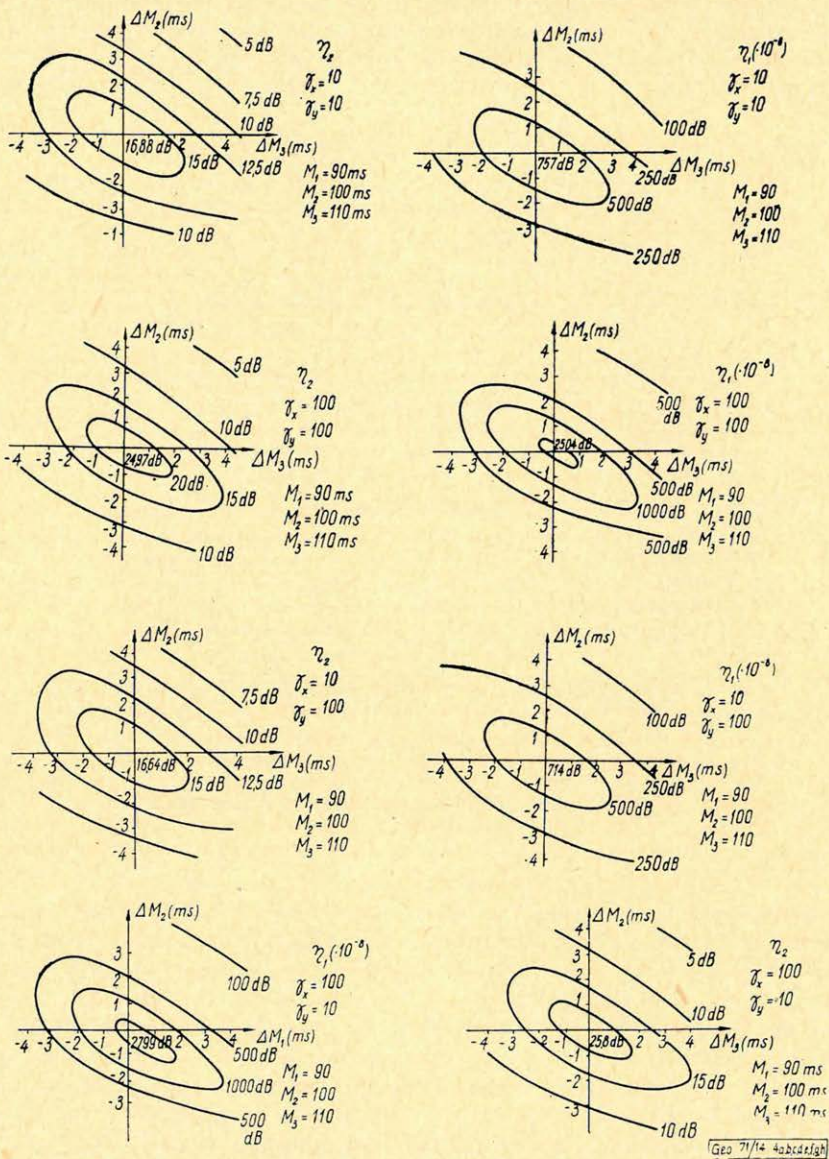
A hatásosság maximuma a pontos paramétereknél jelentkezik, mivel feltételezzük, hogy korrekciós hiba nincs. Továbbá kitűnik, hogy a rendezetlen zaj csökkenése csak kis hibák esetén hoz jelentős javulást a szűrés hatásosságában.

Elvégeztük az OHS műveletet úgy is, hogy a szűrőket a paraméterek szerint felcseréltük:  $\gamma_x = 10, \gamma_y = 100$  esetén kisebb hatásosságot kaptunk, mint  $\gamma_x = \gamma_y = 10$  esetén.  $\gamma_x = 100, \gamma_y = 10$  esetén viszont valamivel nagyobb hatásosságot kaptunk, mint  $\gamma_x = \gamma_y = 100$  esetén. (4. ábra).

Ez azt jelentené, hogy a szűrőt hibás paraméterrel tervezve nagyobb hatásosságot kapunk, mint pontos paraméterek esetén.

A súlyfüggvények alakja és az alkalmazott csonkítás megmagyarázza ezt az ellentmondást. A súlyfüggvény 100 ms hosszúságú szakaszát használtuk. Mivel  $\gamma_y = 100$  paraméter esetén a súlyfüggvény lassan cseng le, a csonkítás a szűrés hatásosságát kedvezőtlenebbül befolyásolta mint  $\gamma_y = 10$  paraméterhez tartozó gyorsabban csökkenő súlyfüggvény esetén.

Egyszerű összegezés esetében nincs szó tervezési kritériumról, mégis jól használható az átlagnégyzetes hibakritériummal számított hatásosság. Az OHS eredményekkel összehasonlítva  $\eta_1$  érzékenyebben követi a változásokat, mint  $\eta_2$  ( $\eta_1$  kifejezésben nem szerepel ugyanis logaritmus-képzés) (5. ábra).



4. ábra. Optimum horizontális stacking hatásossága a többszörösök időkülönbségének hibái  $\Delta M_2$ ,  $\Delta M_3$  függvényében (jelöléseket lásd fent)

Fig. 4. Зависимость эффективности оптимального горизонтального накопления от погрешностей разности времен кратных волн  $\Delta M_2$ ,  $\Delta M_3$  (условные обозначения см. выше)

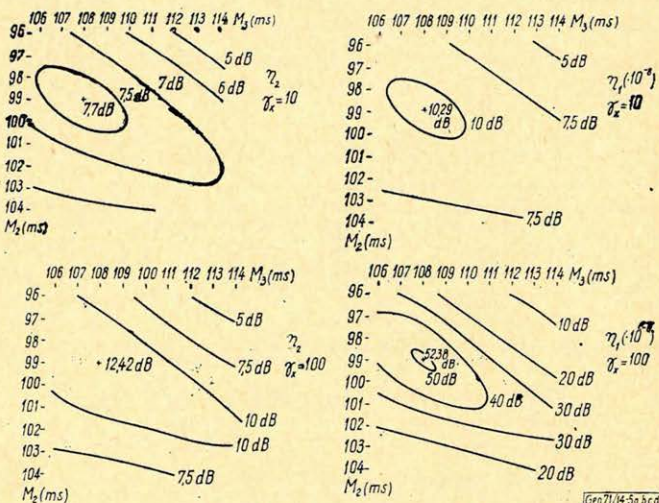
Fig. 4. Effektivität der horizontalen Optimumstapelung in Funktion von Zeitdifferenzfehlern der Mehrfachreflexionen  $\Delta M_2$ ,  $\Delta M_3$  (Bezeichnungen wie oben)

Tehát, ha a jelek beérkezését pontosnak tételezzük fel, akkor a vizsgált két kritérium esetén kapott hatásossági görbék jellege azonos, azonban az átlagnégyzetes kritériummal számított hatásosság érzékenyebb, mint az energiahányados alapján számított.

5. ábra. Horizontális stacking hatásossága a többszörösök időkéésésének függvényében (jelöléseket lásd fent)

Фиг. 5. Зависимость эффективности горизонтального накопления от запаздывания кратных волн (условные обозначения см. выше)

Fig. 5. Effektivität der horizontalen Stapelung in Funktion der Zeitverspätung der Mehrfachreflexionen (Bezeichnungen wie oben)



Megvizsgáltuk a szűrés hatásosságát az amplitúdóhányados-kritérium alapján is. Ezen kritériummal számított hatásosságot  $\eta_3$ -al jelöltük.  $\eta_3$  és  $\eta_2$  hatásosságok között természetesen sokkal szorosabb összefüggés áll fenn, mint  $\eta_1$  és  $\eta_3$  között. Bemutatjuk pl. a  $\gamma_x = \gamma_y = 100$  paraméterekhez tartozó OHS vizsgálatának eredményét (6. ábra). Itt azt figyelhetjük meg, hogy a hatásosság lassabban csökken és a maximum értéke alacsonyabb. Az alacsonyabb érték magyarázata az, hogy egy bizonyos többszörös csillapodás után a maximális zajamplitúdót mérve a rendezetlen zajt fogjuk mérni, ezért alacsonyabb hatásossági értékeket kapunk. A lassúbb csökkenést az okozza, hogy hibás paraméterek esetén viszonylag nagy energiájú többszörösök maradnak a csatornán a zajba simulva, amit az energia-kritérium érzékenyebben regisztrál, mint az amplitúdókritérium.

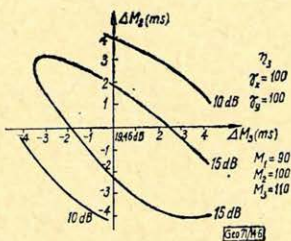
Az elmondottakat sokkal jobban látjuk, ha a  $\Delta M_2 = \Delta M_3$  metszetet külön ábrázoljuk: 7. ábra. ( $\eta_1$ -hez  $10^{-8}$ -szoros skála tartozik.  $\eta_1$  és  $\eta_2$  maximumok pontos egybeesése véletlen, hiszen  $\eta_1$  skálája más mint  $\eta_2$  és  $\eta_3$  skálája.)

Következtetések: A vizsgált esetekben azt találtuk, hogy ha a jelek között korrekciós hibát tételezünk fel, akkor az energiahányados felhasználásával számított hatásosság félrevezető lehet, ugyanakkor az átlagnégyzetes hibakritérium megfelelő eredményt ad.

Ha a jelek között a modellszámításban nem tételezünk fel korrekciós hibát, akkor az átlagnégyzetes hibakritérium érzékenyebb, de ugyanúgy használható, mint az irodalomban használatos hatásossági kritériumok.

Ezért, amikor egy adott típusú szűrő hatásosságát, bizonyos paramétereknek a hatásosságra való befolyását vizsgáljuk, a tervezésben használt jósági kritériumot kell használni.

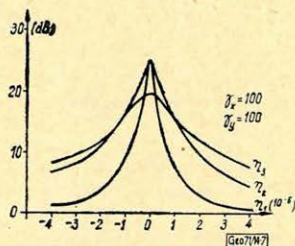
A fent vizsgált hatásossági kritériumok közül a gyakorlati értelmezéshez legközelebb az amplitúdóhányados-kritérium áll. Egy műveletet a gyakorlatban akkor tartunk leghatásosabbnak, amikor a kiértékelésnél legbiztosabban meg tudjuk állapítani a reflexió jelenlétét és pontos helyét. Ezt olyan kritérium tudná biztosítani, amely függvénye mind a teljesítménynek, mind a maximális amplitúdónak. Ezek alapján a jel/zaj teljesítményjavulásból számított hatásosság és a maximális jelamplitúdó/zaj átlagos amplitúdó hányadosból számított hatásosság szorzata javasolható.



6. ábra. Optimum horizontális stacking amplitúdóhányados-kritériummal számított hatásossága ( $\eta_3$ ) (jelöléseket lásd fent)

Фиг. 6 Эффективность оптимального горизонтального накопления, подсчитанная по критерию отношения амплитуд ( $\eta_3$ ) (условные обозначения см. выше)

Fig. 6. Effektivität der horizontalen Optimumstapelung, berechnet mit dem Kriterium des Amplitudenverhältnisses  $\eta_3$  (Bezeichnungen wie oben)



7. ábra. A vizsgált hatásossági kritériumok összehasonlítása

Фиг. 7. Сопоставление рассматриваемых критериев для оценки эффективности

Fig. 7. Vergleich der untersuchten Kriterien der Effektivitätsabschätzung

Megjegyzendő, hogy ez a kritérium sem biztosítaná, hogy a hatásosság maximuma ott legyen, ahol a szűrőtervezésben használt paraméterek meg egyeznek a csatorna vagy csatornák valódi paramétereivel.

Az amplitúdókból vagy teljesítményekből meghatározott hatásosságok vagy a most javasolt kombinált hatásossági kritérium más, a gyakorlathoz közelebb álló szempontból vizsgálják a szűrők működését és különösen több művelet együttes hatásának értékelésében lehetnek hasznosak.

## IRODALOM

- [1] W. A. Schneider, E. R. Prince, B. F. Giles, 1965. A New Data-Processing Technique for Multiple Attenuation Exploiting Differential Normal Moveout: Geophysics, XXX. n. 3. pp. 348–362.
- [2] Ota Kulhanek, 1968. Seismic Noise Discrete Filtering: Pure and Applied Geophysics, v. 69.
- [3] J. R. Arora, 1968. Signal-to-Noise-Ratio Improvement of Linear Seismic Array: Pure and Applied Geophysics, v. 69.
- [4] W. A. Schneider, K. L. Larver, J. P. Burg, M. N. Backus, 1964. A New Data-Processing Technique for the Elimination of Ghost Arrivals on Reflection Seismograms: Geophysics, v. 29. No. 5. pp. 783–805.
- [5] Meskó–Rádlér B., 1969. Koherens zaj NMO-jai eloszlásának szerepe a többcsatornás szeizmikus optimumszűrők tervezésében. Geofizikai Közlemények, XVIII. No. 4. pp. 69–77.