

АДАМ ОСКАР:

О ЧАСТОТНОМ АНАЛИЗЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗАПИСЕЙ

В сложных районах, характеризующихся наличием помех, при проведении опытных работ сейсмическим методом, необходимо осуществлять анализ сейсмических записей. Такой анализ позволяет получить важные сведения для правильного подбора системы возбуждения упругих колебаний и системы наблюдения.

Анализируемые в настоящей работе записи получены не в результате систематических опытных работ. Все же оказалось возможным выяснить, что характер сейсмограмм обусловлен прежде всего поверхностными помехами. В работе рассматривается вопрос о возможности от фильтрации этих помех, причем анализируется и проблема лёсса.

O. ÁDÁM:

FREQUENCY ANALYSIS OF SEISMIC RECORDS

In rough areas where disturbing waves are recorded, in the course of experimental measurements frequency analysis of the records is necessary. The analysis is expected to furnish data to select the appropriate systems of shooting and operation.

The records analysed in this paper were obtained by no systematic experimental survey. However it was obvious that the character of the records is due chiefly to disturbing surface waves. The possibilities of filtering these waves are discussed, with reference to the problem of loess.

SZEIZMIKUS FELVÉTELEK FREKVENCIA ANALÍZISE

ÁDÁM OSZKÁR

Bevezetés

A szeizmikus felvételek frekvencia analízise minden olyan esetben előtérbe kerül, amikor komplikált felszíni, vagy felszínközeli földtani viszonyok következtében az egyszerű módszerekkel nyert reflexiós felvételeken a beérkezések nem korrelálhatók, nem értelmezhetők, a felvételek zajosak, azaz a jel-zaj viszony kedvezőtlen.

A szeizmikus kutatásoknál a zajokat általában két csoportba osztjuk [1] [2]: szabályos és szabálytalan jellegű zajokat különböztetünk meg. Általában feltételezzük, hogy a két zajtípus között lényeges különbség van, mind spektrális, mind látszólagos sebesség vonatkozásban. A szabályos jellegű zaj azonban korrelációs intervallumán túl vagy két szabályos jellegű zaj interferenciája következtében szabálytalan jellegűvé válhat.

Emellett a zajok spektrumában nagy átfedések fordulnak elő. Általában azt tartjuk, hogy a felszíni hullámok a (ground roll) energiája keskeny frekvenciasávban. — 15 cps — 20 cps-nél — tömörül.

Ha a szeizmikus robbantás laza talajban történik, akkor a szeizmogramban a felszíni hullámok dominálnak. Korschunov [3] e felszíni hullámok diszperzív tulajdonságait vizsgálta kis töltettel és kalapáccsal. Howell [4] [5] ugyancsak laza talajban, a löszben, robbantással képződött felszíni hullámok jellegzetességét kutatta. Sokan foglalkoztak a Rayleigh hullám mechanizmusával [6]. Ezek a szerzők azonban ideális területet választottak ki kutatásaikhoz, s a legritkábban szeizmikusán némának tartott területeket, mint Dobrin és társai [7]. Minthogy ezek a munkák szórványosak és csak egy-egy különleges problémára szorítkoznak, nehezen általánosíthatók és használhatók fel néma, vagy némának bizonyult területeken végzendő kísérleti munkákhoz.

Az elmúlt évek folyamán többször dolgoztam laza felszíni képződményvel borított reflexiós szempontból némának bizonyult területen. A néma területek egy része a műszerek és módszerek fejlődése következtében (csoportosítás, légrobbantás, éles szűrés stb.) ma már válaszol kérdéseinkre, de még ma is számos olyan terület van, ahol az említett fejlődés nem hozta meg a kívánt eredményt. Ezekben a területeken is fontos lenne a szeizmikus kutatás problémájának megoldása. A némaság oka inkább a felszíni képződmények és a kialakuló felszíni hullámok vonatkozásában kereshető, mint a mélybeni földtani viszonyokban. Éppen ezért szükséges lenne a zavarhullámok, így a felszíni hullámok dinamikai jellemzőinek kutatása, hogy hatásosabb észlelési, robbantási megoldásokat találhassunk ezek kiszűrésére, azaz jobb jel-zaj viszonyt állíthassunk elő felvételeinkben.

A következőkben egy már megindult kísérleti munka első lépéseit kívánjuk ismertetni, s néhány gyakorlati példán az eredményeket bemutatni. Feladatul a szeizmogramok frekvencia analízisének nyerhető adatok szerzését tűztük ki.

Az analízis módszere

A szeizmogramok frekvenciaanalízise, bizonyos feltételek teljesülésénél egyszerűen valósítható meg a statisztikus, illetőleg a korrelációs analízis módszereivel. A statisztikus illetőleg korrelációs analízis mindazon véletlen jellegű idősorok analízisének felhasználható, amelyek stacionárius idősoroknak tekinthetők. Egy szeizmogram nyom vagy csatorna, Horton [8] megfogalmazása szerint akkor tekinthető stacionáriusnak, ha az amplitúdók közel azonos nagyságúak, azaz

$$I(t) = \sum_{i=-\infty}^{i=\infty} a_i x(t-t_i)$$

függvényben a_i constans. A beérkezés jellegét tehát $x(t-t_i)$ határozza meg, ahol t_i a hullám beérkezési ideje. Ilyen jellegű szeizmogram könnyen előállítható, ha a felvételnél automatikus amplitúdószabályozást használunk.

Az ilyen jellegű idősorok rejtett periodicitásának meghatározására az autokorrelációs függvény alkalmas. Az autokorrelációs függvény folytonos idősor esetében ([9] szerint):

$$\Phi_{xx}(\tau) = \int_{-T}^T \frac{1}{2T} x(t)x(t+\tau) dt$$

Ugyanez. az idősor diszkrét értékeire

$$\Phi_{xx}(k\tau) = \frac{1}{N-M\tau} \sum_{i=1}^{N-M\tau} x_i x_{i+k\tau}$$

formában írható.

Az így számított autokorrelációs függvény Fourier transzformáltja

$$\Phi_{xx}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega\tau} \Phi_{xx}|\omega| d\omega = 2 \int_0^{\infty} \cos \omega\tau \Phi_{xx}|\omega| d\omega,$$

illetőleg

$$\Phi_{xx}|\omega| = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} e^{-i\omega\tau} \Phi_{xx}|\tau| d\tau = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \cos \omega\tau \Phi_{xx}|\tau| d\tau$$

Ez a $\Phi_{xx}(\omega)$ függvény az idősor ú. n. átlagos vagy kisimított teljesítmény sűrűség spektruma.

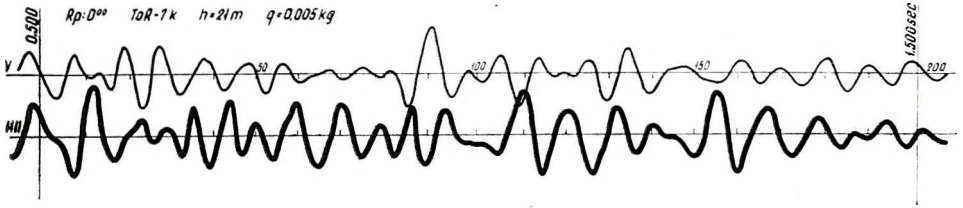
E spektrum és az amplitudó spektrum között a következő összefüggés áll fenn

$$\Phi_{xx}|\omega| = G(f) = \frac{1}{T} |A_f|^2$$

A szeizmogramok analízisénel az autokorrelációs függvény diszkrét értékekre vonatkozó kifejezését használtam fel. A Fourier transzformációt Golczman [10] nomografikus módszerével végeztem. A korrelációnál $\tau=0,005$ sec-ot választottam, s így a transzformációnál a határfrekvencia $f_h=100$ cps. amely kellő mértékben átfogja a hasznos szeizmikus frekvencia tartományt. Az autokorrelációs függvényt mindig az alábbi normalizált formájában ábrázoltam:

$$\frac{\Phi_{xx}|k\tau|}{\Phi_{xx}|0|} = \phi_n$$

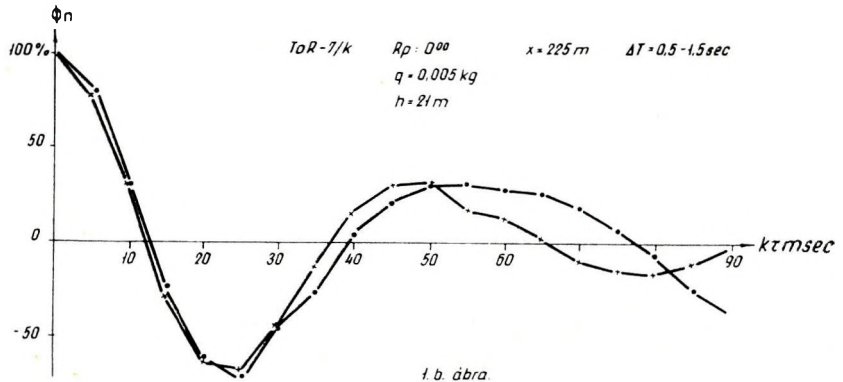
Egy ilyen normalizált autokorrelációs függvényt és a belőle számított sűrűség spektrumot a vonatkozó szeizmogram nyommal együtt az 1. ábrán láthatunk.



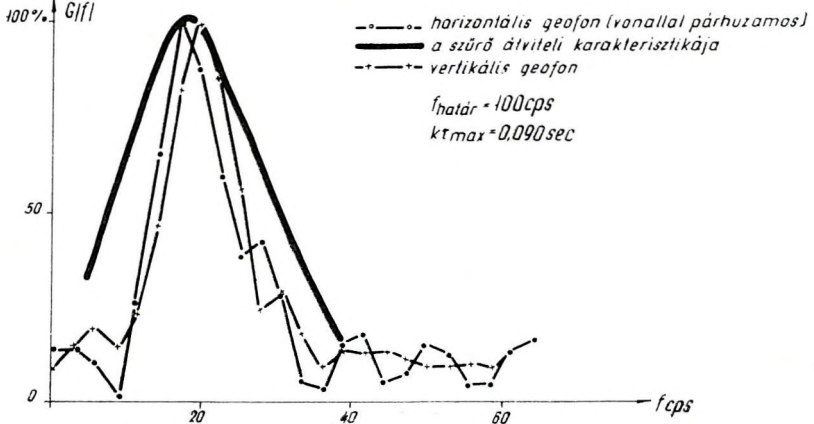
1. ábra

Az autokorrelációs függvény végeredményben rendkívül egyszerűen értelmezhető akkor is, ha az idősor több elemből tevődik össze. Vegyük a legegyszerűbb esetet, amikor az idősor jelből és zajból áll, azaz.

$$x(t) = S(t) + n(t)$$



1. b. ábra.



1. c. ábra

Ennek autokorrelációs függvénye:

$$\begin{aligned}\Phi_{xx}|\tau| &= \int_{-\infty}^{+\infty} |S|t| + n|t| ||S|t+\tau| + n|t+\tau| | dt = \Phi_{ss}|\tau| + \Phi_{nn}|\tau| + \Phi_{sn}|\tau| + \Phi_{ns}|\tau| = \\ &= \Phi_{ss}|\tau| + \Phi_{nn}|\tau|\end{aligned}$$

azaz a jel és zaj autokorrelációjának összege, minthogy

$$\Phi_{ns}|\tau| = -\Phi_{sn}|\tau|$$

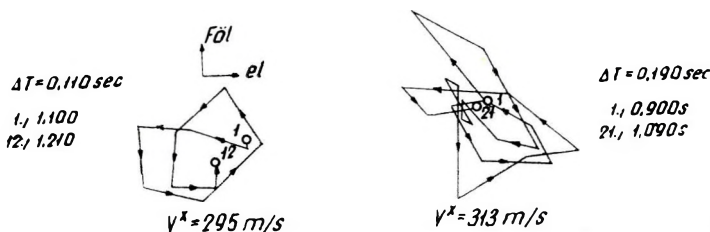
Ez egyben azt is jelenti, hogy a jel és zaj interferenciája nem torzítja el a frekvencia jellegörbét. A klasszikus Fourier-analízissel szemben hátránya ennek a módszernek, hogy a fázisviszonyokra vonatkozó információt elveszítjük. Ez a hátrány azonban – legalábbis pillanatnyilag – nem jelentős.

Az analízis eredményei

A fent leírt módszer felhasználásával megvizsgáltam néhány terület jellegzetes szeizmogramját, bár azok nem külön e célra készültek.

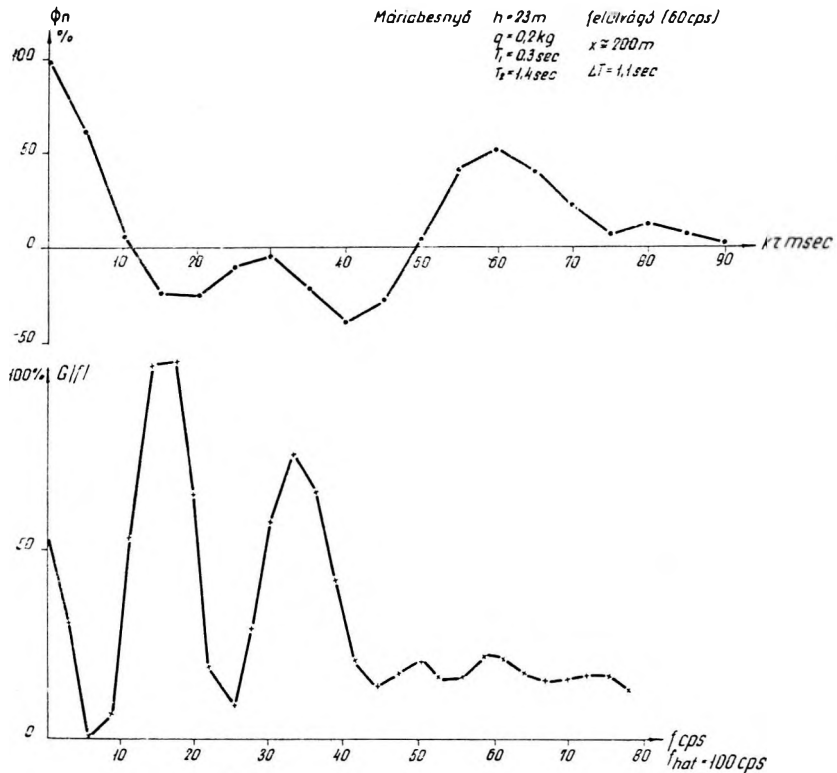
Az 1. ábrán bemutatott autokorrelációs és sűrűségi diagramok egy Szentés környéki terület felszíni-hullám viszonyaira jellemzőek. Amint látjuk, meglehetősen nagy mélységben lőtték el az igen kis töltetet, (5 g, 21 m). A zavarhullám jellegét a 2. ábrán látható vektordiagramok is világosan igazolják. Az ábrából láthatjuk, hogy ezen a területen a felszíni hullámok energiája a 20 cps frekvenciasávba tömörül. Mivel a felvétel az ábrán is jelölt szűrővel készült, feltehető, a 20 cps feletti hullámok jelenléte is. Az alacsonyabb frekvenciájú komponensek jelenléte nem valószínű, minthogy a sűrűségi spektrum a műszer sűrűségi spektrumának magasabb frekvenciájú sávjában van.

Egy jellegzetes és a szeizmikusoknak bizonyára kívánatos sűrűségi spektrum- és autokorrelációs képet látunk a 3. ábrán. Itt a két hullám közül az egyik a jel, a másik a zaj (vektor diagram nem áll rendelkezésünkre). Amint látjuk ezek frekvencia spektruma lényegesen eltér egymástól. Ez a felvétel szüretlennek tekinthető, minthogy az erősítőben csak 60 cps felülvágó szűrő van.



2. ábra

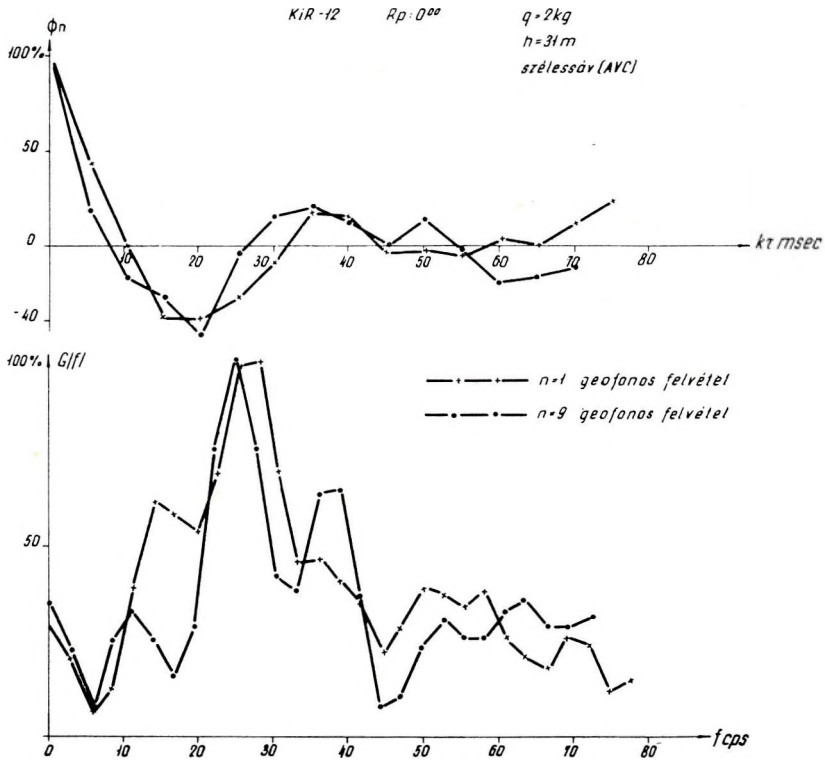
Felszíni és zavarhullámok szempontjából egyik legkellemetlenebb terület az, ahol a felszínt lösz borítja. A lösz meglehetősen homogén közet, s benne a szeizmikus hullámok sebessége a mélységgel igen gyorsan növekszik, ami felszíni hullámok kialakulása szempontjából kedvező. A löszben keletkező felszíni hullámok jellegét többen vizsgálták, [5] – s a legkülönbélebb felszíni hullámok jelenlétét állapították meg. Így Rayleigh, pszeudo-Rayleigh, hidrodinamikusan és csatolt hullámokat. Ezek frekvenciatartománya 7 – 30 cps között adódott. Egy DNY Magyarországon szélessávon készített felvétel analízise szerint a felületi zavarhullámok sűrűségi spektrumának maximuma 25 – 28



3. ábra

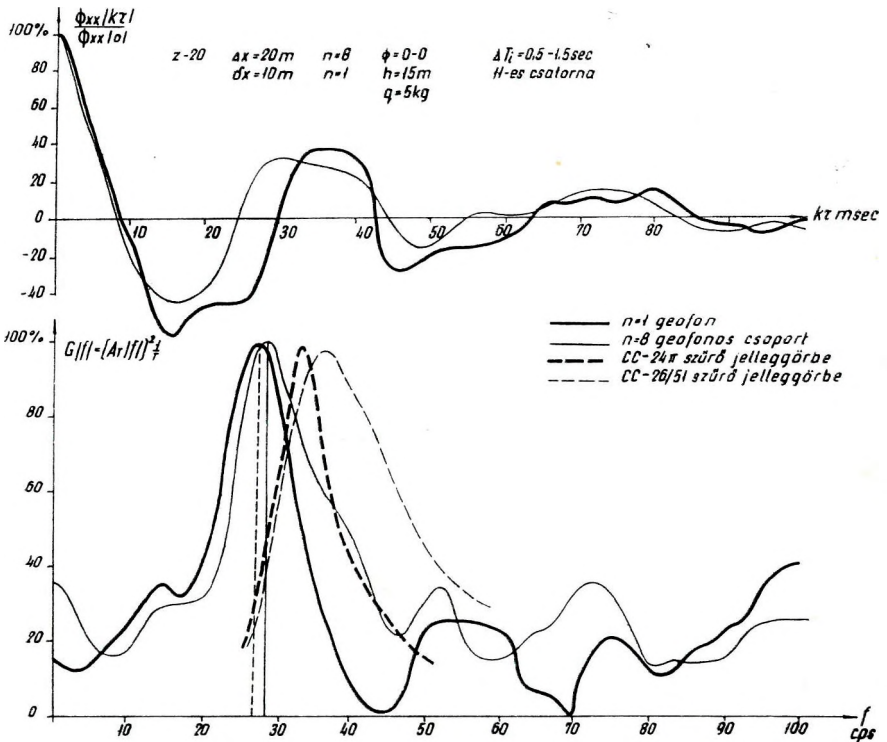
cps között van. A 4. ábrán láthatjuk mind az autokorrelációs függvényt, mind pedig a sűrűségi spektrumot. A spektrumban 14 cps-nél mellékmaximum és 35 – 40 cps körül hirtelen szélesedés látható. 9 geofon vonalmenti csoportosításával készített felvétel sűrűség spektrumában a 14 cps-nél fellépő maximum majdnem teljesen eltűnik, míg a 40 cps-nél levő szélesedés mellékmaximumként kiemelkedik.

A szeizmogram részletesebb vizsgálata azt mutatja, hogy a korrelálható reflexiók beérkezések legnagyobb része valóban 35–40 cps frekvenciájú, bár interferencia következtében ezek egyértelműen nem mindig ismerhetők fel. A felvételek azonos robbantópontból, azonos töltettel, amplitúdószabállyal készültek, (31 m, 2 kg). A robbantást vízfojtással végeztük el.



4. ábra

A lőszerű jellegét bizonyítja egy távoli lőszerű területen végzett mérések során szerzett szeizmogram analízise, amelynek eredményét az 5. ábrán látjuk. A felvételt PPMZ-2 magnetofonos berendezéssel készítettük és SZSZ-24P típusú hordozható berendezéssel játszottuk vissza szélessávú szűréssel; így a szűrés hatása gyakorlatilag elhanyagolható. Az azonoság az előző – 4. ábrán mutatott – eredményekkel meglepően jó. Lényeges különbség, hogy a 14 cps-nél levő mellékmaximum 20%-kal kisebb értékű. Ez a 30 cps sajátfrekvenciájú szeizmometereknek tulajdonítható. A 8 geofon vonalmenti csoportosításával készített felvétel sűrűség spektruma 40 cps körül kiszélesedik, ugyanúgy, mint a délzalai egy geofonos felvétel görbéjén. Az ábrára a rutinmérések-nél alkalmazott szűrőkörök jelleggörbéjét is felrajzoltuk. Ebből világosan látszik, hogy azok a zavarhullámot lényegesen jobban eresztik át, mint az egyéb komponenseket.



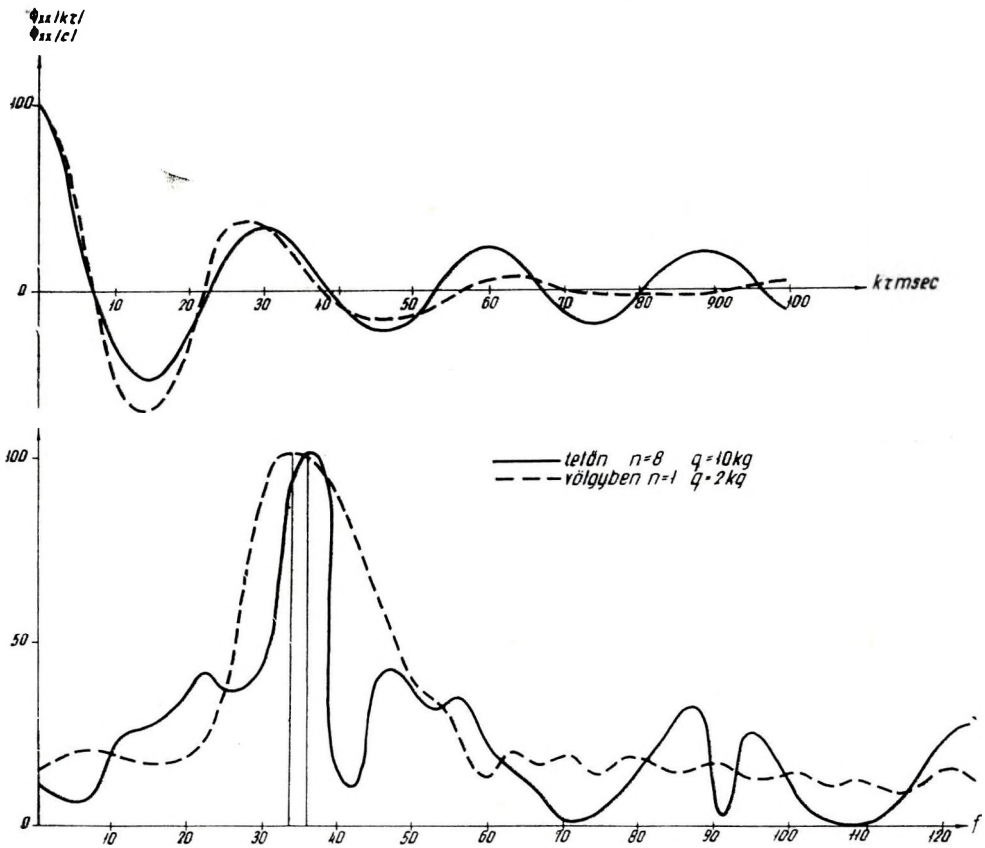
5. ábra

A lőszer keskenysávú szűrő jellegét láthatjuk a 6. ábrán. Ez a diagram két felvétel analízisének eredményét mutatja. Az egyik felvételt völgytalpon elhelyezett lyukból készítettük, amikor a terítés is a völgyben volt. A másik felvétel ugyanabból a lyukból készült, csoportgeofonnal, dombtetőn. A vízszintes távolság nem volt nagyobb 150 m-nél, a magasságkülönbség 250 m volt. Mindkét szeizmogramban a reflexiók beérkezései jól felismerhetők voltak; a töltetnagyság a lősztetőn való észlelésnél 10 kg, a talpon 2 kg volt. A lényeges különbség világosan látható.

Következtetés

Összefoglalva a fentiekben elmondottakat, megállapíthatjuk, hogy kísérleti munkánál, bonyolult zavarhullám területeken a szeizmogramok analízise szükséges, s igen fontos adatokat nyújthat a lövési rendszerek, észlelési módszerek kialakításához.

Már e néhány, s egyáltalán nem rendszeres kísérlettel gyűjtött anyagból, – hiszen a felvételek nem analízálási célra készültek – is láthatjuk, hogy a szeizmogramok jellegét elsősorban a felszíni zavaró hullámok szabják meg. Ezek kiszűrése kedvező esetben egyszerű, kedvezőtlen esetben igen éles sáv-szűrés, továbbá helyes töltetnagyság, robbantópont és geofoncsoport paraméter megválasztás szükséges. A jel-zaj viszonyt az egész szeizmogramszakaszon objektíven állapíthatjuk meg s figyelemmel kísérhetjük mindezen tényezők hatását.



6. ábra

IRODALOM

1. *A. A. Cvetaev*: A csoportosítások módszere a szeizmikus kutatásban. Ministerstvo neftja-noj promyslennosti. Gostoptechizdat. 1953. 1 – 90 oldal.
2. *L. V. Lombardi*: Notes on the Use of Multiple Geophones. Geophysics. 1955. XX. No. 2.
3. *A. Korschunov*: On Surface Waves in Loose Materials of the Soil. Geophysical Prospecting 1955. III. No. 4. 359 – 381. oldal.
4. *B. F. Howell – D. Bundenstein*: Energy Distribution in Explosion Generated Seismic Pulses. Geophysics. 1955. XX. No. 1. 33 – 59.
5. *B. F. Howell Jr.*: Ground Vibration Near Explosion. Earthquake Notes 1957. XXVIII. No. 4.
6. *S. Omote, Sh. Komaki, N. Nakajima*: Seismic Wave Types in Sand Layer Near a Small Explosion. Bulletin of the Earthquake Research Institute. 1958. XXXIV. 331 – 327.
7. *M. B. Dobrin, Ph. L. Lawrence, R. Sengbush*: Surface and Nearsurface Waves in the Delaware Basin. Geophysics 1954. XIX. No. 4. (695 – 715).
8. *C. W. Horton*: The Structure of the Noise Background of a Seismogram. Geophysics. 1955. XX. No. 365 – 585.
9. *S. Goldman*: Information Theory. New York, Prentice-Hall Inc. 1955.
10. *M. F. Golcman, B. T. Kalinina*: A frekvencia analízis és szintézis egyszerű módszerei és alkalmazásuk néhány geofizikai feladat megoldásához. Prikladnaja Geofizika 1958. 21. kötet. 3 – 25 old. (Moszkva).