

A zavarhullámok kiküszöbölése terén elért hazai eredmények és további lehetőségek.

A szeizmikus kutatás során a robbantással nemcsak hasznos, hanem a mérések szempontjából káros ún. zavarhullámok is keletkeznek. A hasznos és zavarhullámok frekvenciaspektrumának pontos képe, amplitúdóik viszonya pontosan nem ismert, mert ezek területenként a robbantás körülményeitől, a robbantás környezetében levő közetek összetételétől, azok fizikai állandóitól, továbbá a felvételezés körülményeitől függenek.

Több kutatási területünkön, így Abony, Hortobágy, Kistelek, Szigetvár környékén a robbantási mélység növelésével a zavarhullámok amplitúdója csökkentést mutatott. Az esetek többségében azonban találtunk egy optimális mélységet, ahonnan robbantva minimális zavar amplitúdót észleltünk, de a jel/zaj viszony még mindig nem volt megfelelő. A robbantási mélységet növelve, konszolidáltabb rétegösszetételben végezve el a robbantást a zavar hullámok amplitúdója is növekedett, a hasznos hullámok amplitúdójával együtt. Ilyen esetben a jel/zaj arány állandó maradt.

A kapott felvételeken általában két-három eltérő frekvenciájú és látszólagos sebességű zavarhullám jelentkezik, amelyek a távolsággal különböző mértékben csillapodnak. Speciális méréseket végeztünk a zavarhullámfajták jellemzőinek meghatározására. E mérések szerint a hazai kutatási területeinken a zavarhullámok frekvenciatartománya 7-30 Hz, látszólagos sebességük 150-500 m/s között van.

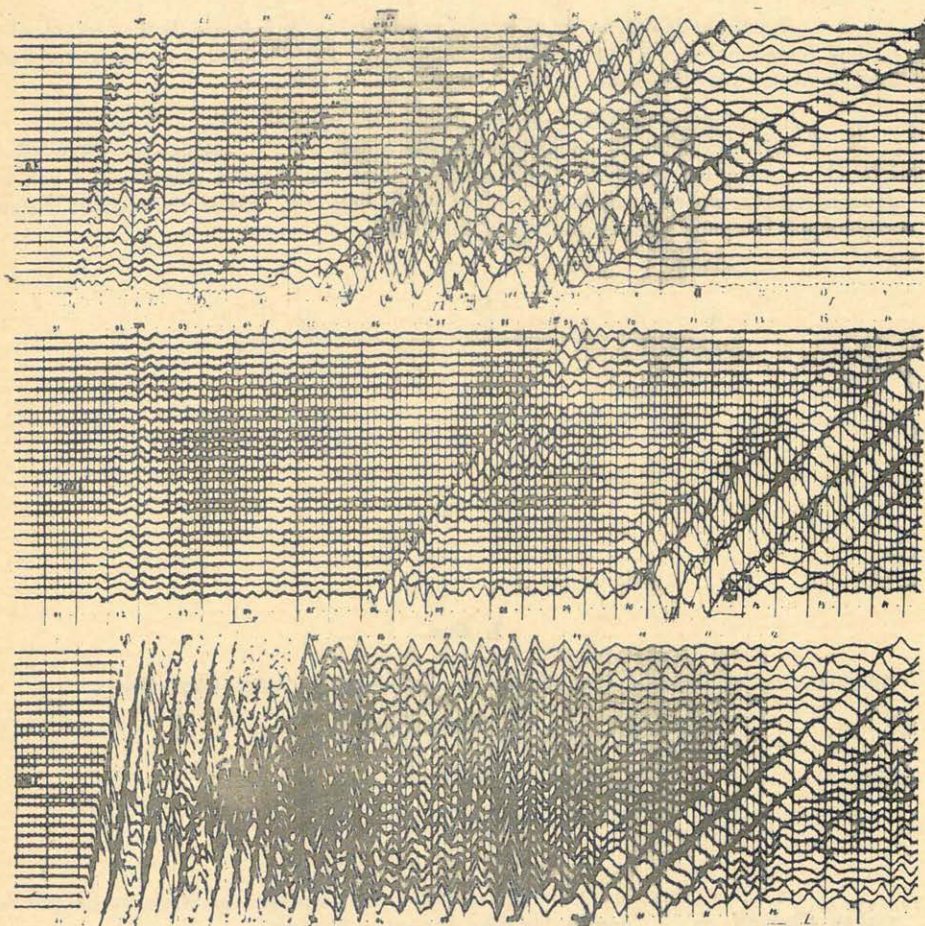
Az 1. ábrán bemutatott felvételek az abonyi kutatási terület zavarhullámviszonyait mutatják. A robbantópontot és a geofontávolságot úgy választottuk meg, hogy a zavarhullámok a hasznos jelektől elkülönüljenek és a zavarhullámfajták domináljanak. A legfelső felvételen a következő látszó sebességű beérkezések láthatók:

direkt beérkezés	500 m/s.
az első nagyobb sebességű rétegről refraktált hullám	1 600 "
hang	340 ..

Ezek után széles sávban jelentkeznek a zavarhullámok. E sávban a 260 m/s és 160 m/s látszólagos sebességű beérkezés jól elkülöníthető, de kijelölhető, - bár nem olyan határozottan, mint az előzőek - egy 230 m/s sebességű beérkezés is.

Ha a második és harmadik felvételt összehasonlítjuk - amelyeket azonos terítésben, de különböző mélységben robbantva készítettünk, - azonnal szembetűnik, hogy a harmadik felvétel jel/zaj viszonya a másodiknál lényegesen kedvezőbb, továbbá az, hogy a harmadik felvételen több reflexió és csak a 260 m/s sebességű zavarhullám található meg. Ezen körülmény rámutat arra, hogy a későbbiekben ismertetett csoportos eljárásoknál sem lehet közömbös a robbantási mélység megválasztása a jel/zaj viszony szempontjából.

A hasznos és zavarhullámok frekvenciaspektrumának különbözősége a legtöbb esetben lehetőséget ad arra, hogy megfelelő szűrőkkel a zavar intenzitását a felvételeken csökkentsük és a csatorna maximális érzékenységét a hasznos hullámok sávjába helyezzük. Az intenzív zavarhullámos területeinken a hasznos és zavar



1. ábra.

jelek között mutatkozó sokszor $1/5-1/25$ amplitúdó viszony a felvétel jel/zaj viszonyát a szűrés ellenére kedvezőtlené teszi és további zavarhullám amplitúdó csökkentést csak az interferencia jelenségén alapuló szűrő rendszerek alkalmazásával érhetünk el. E rendszerek hasznos és a zavarhullámok látszólagos sebességértékei között mutatkozó eltéréseket használják fel arra, hogy a hasznos beérkezéseket a zavartól elkülönítsék.

A következőkben néhány szót az interferenciás szűrőrendszerekről.

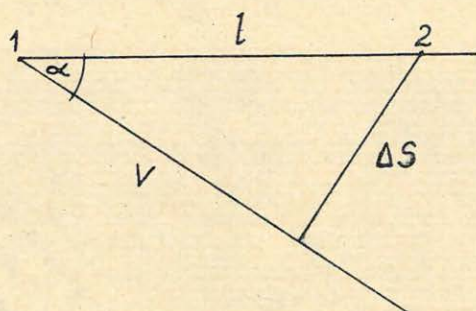
Ezek:

1. A szeizmikus erősítőben épített keverő
2. Csoportos geofonos
3. Csoportos lövéses
4. Sebességszűrős
5. Szabályozott irányítású vételezési (RNP) eljárások.

A sebességszűrős és a szabályozott irányítású felvételezési eljárásokat ezideig hazai méréseink során nem alkalmaztuk a zavarhullámok kiszűrésére, ezért ezek ismertetésétől eltekintünk.

A csoportos geofonos eljárás elve a következő:

Helyezzünk el az észlelési vonalon egymástól "l" távolságra két geofont. Jelöljük a kilépő hullámfront és az észlelési vonal által bemért szöget " α "-val, legyen a felső rétegben a hullám terjedési sebessége "v", akkor harmonikus rezgéseket feltételezve az "l" pontban levő geofonban



2. ábra.

indukált elektromotoros erő a következő összefüggés szerint írható fel:

$$E_1 = E_0 \cos 2\pi f \cdot t. \quad 1./$$

ahol

E_0	az amplitúdó
f	frekvencia
t	idő

A "2"-es pontban elhelyezett geofonban létrejövő elektromotoros erő fázisban eltolódik az "1" pontba levőhöz képest, mégpedig

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{l \cdot \sin \alpha}{v} \text{ értékkel}$$

így a "2" pontban keltett elektromotoros erő

$$E_2 = E_0 \cos 2\pi f \left(t - \frac{l \sin \alpha}{v} \right) \quad 2./$$

Há a továbbiakban a két geofont elektromosan összekapcsoljuk, akkor az eredő elektromotoros erő

$$E_{\Sigma} = \frac{\sin 2\pi f l \frac{\sin \alpha}{v}}{\sin \pi f l \frac{\sin \alpha}{v}} \cdot E_0 \cos 2\pi f \left(t - \frac{l \sin \alpha}{2v} \right) \quad 3./$$

A következőkben helyezzünk el az 1 és 2 pont közötti "l" távolság felén egy geofont, akkor "l" helyettesíthető $\frac{l}{2}$ -el a 2./ összefüggésben, és akkor kapjuk az $\frac{l}{2}$ távolságra helyezett geofonban indukált elektromotoros erőt.

$$E_{l/2} = E_0 \cos 2\pi f \left(t - \frac{l \sin \alpha}{2v} \right) \quad 4./$$

A 3. összefüggés tehát a következőképpen írható fel:

$$E_{\Sigma} = \frac{\sin \frac{2\pi f l \sin \alpha}{v}}{\sin \frac{\pi f l \sin \alpha}{v}} \cdot E_{l/2} \quad 5./$$

Ismeretes, hogy $v^* = \frac{v}{\sin \alpha}$

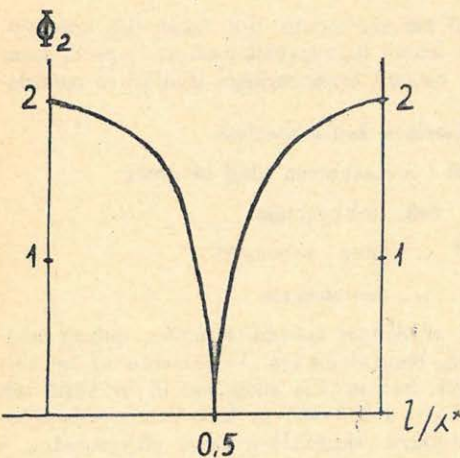
ahol v^* a hullám látszólagos sebessége, " α " a hullámfrontnak a felszinnel alkotott szöge.

$$\text{viszont} \quad \lambda = \frac{v}{f} \quad \lambda^* = \frac{v^*}{f} = \frac{v}{f \sin \alpha}$$

Ezen értékeket behelyettesítve az "5" egyenletbe

$$E_{\Sigma} = \frac{\sin 2\pi \frac{l}{\lambda^*}}{\sin \pi \frac{l}{\lambda^*}} \cdot E_{l/2} \quad 6./$$

$$\Phi_2 = \frac{\sin 2\pi \frac{l}{\lambda^*}}{\sin \pi \frac{l}{\lambda^*}}$$



3. ábra.

kifejezést a 2 geofonból álló csoport irányítottsági tényezőjének nevezzük és Φ_2 -vel jelöljük.

Az összefüggésből kiolvasható, hogy a 2 geofonból álló csoport éppen úgy működik, mintha a csoport középpontjába egy geofont telepítenénk, de ennek érzékenysége a különböző látszólagos hullámhosszú jelekkel szemben más és más lenne. Ha Φ_2 -t az l/λ^* -függvényében ábrázoljuk a 3. ábrán látható, görbét kapjuk:

A görbéből látható, hogy 0 lesz a csoport érzékenysége, ha $l/\lambda^* = 0,5$, és viszont azokkal a hullámokkal szemben legérzékenyebb a csoport, amelyeknek látszólagos hullámhossza ∞ , tehát a felszinnel bezárt α szögük kicsiny.

A görbéből leolvasható, hogy csak egy diszkrét sáv elnyomására használhatjuk, mert a különböző látszólagos hullámhosszakra majdnem azonos érzékenységet mutat. Az 1. ábrán bemutatott felvételek azonban azt mutatják, hogy a zavarhullámok nem diszkrét, hanem elég széles frekvencia és sebesség-tartományban jelentkeznek, ezért sokkal nagyobb szelektivitás elérésére kell törekednünk. Ezt azáltal érhetjük el, ha a csoporton belüli geofonok számát növeljük. Ily módon a karakterisztika maximumai élesebbek lesznek.

"n" számú geofon esetén a csoport irányítottági tényezője

$$\Phi_n = \frac{\sin n\pi / \lambda^*}{\sin \pi / \lambda^*} \quad 8./$$

Ahhoz, hogy a rutimméréseknél gyorsan használható grafikont szerkeszthessünk, alakítsuk át a 8-as összefüggést oly módon, hogy

$$\lambda^* = \frac{v^*}{f} \quad \text{értéket helyettesítsünk}$$

$$\text{akkor } \Phi_n = \frac{\sin n\pi \frac{fl}{v^*}}{\sin \pi \frac{fl}{v^*}} \quad 9./$$

jelöljük az l f szorzatot P -vel, akkor $n = 4$ esetén különböző P értékek mellett a látszólagos sebesség és az érzékenység közti összefüggést a 4. ábra görbéi mutatják. Hogy az egész reflexiós és zavar látszólagos sebességtartományt egy grafikonnal tudjuk ábrázolni, reciprok osztású léptéket választottunk.

Az ábrán az alapvető maximumokon kívül, másodlagos maximumokat is találunk. Ezek részben azért adódnak, mert tárgyalásunk elején harmonikus rezgéseket tételeztünk fel. A gyakorlati méréseknél nem harmonikus, hanem impulzus jellegű rezgéseket keltünk, így a másodlagos maximumok lényegesen kisebb értékűek lesznek.

Az "l" távolság meghatározásánál két szempontot kell szem előtt tartanunk. Egyrészt azt, hogy a zavar elnyomása a lehető legnagyobb mértékű legyen, másrészt azt, hogy a hasznos tartományban a csoport érzékenysége legalább a maximális érzékenység 70 %-a legyen.

Hogy ezt elérjük, a következő feltételnek kell teljesülnie:

ahol l a csoporton előli távolság

$$\frac{l f_{ref}}{v^*_{ref}} \leq \frac{1}{2n}$$

f refl. frekvenciája

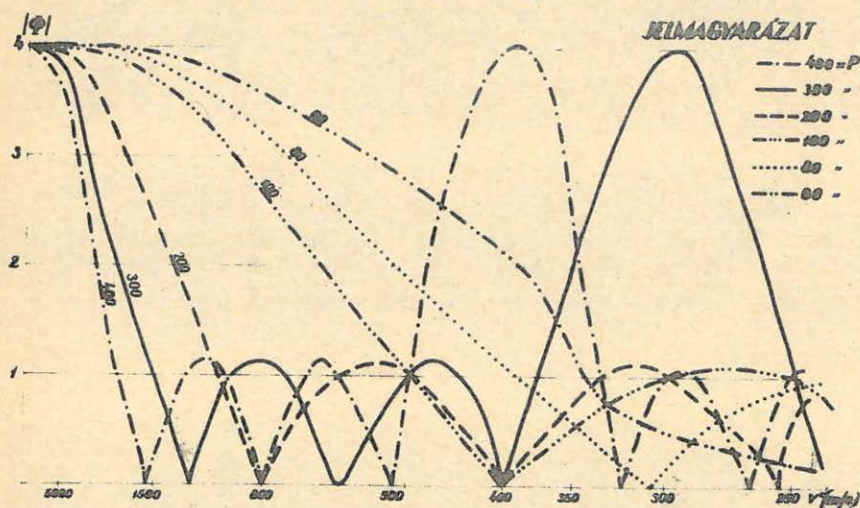
v^* .. látsz. sebesség

n .. geofonszám.

Ezek után vizsgáljuk meg, hogy az abonyi kutatási területen milyen megfontolások alapján történt az "l" távolság megválasztása. E területen az intenzív zavar látszólagos sebessége 250-300 m/sec, frekvenciája átlagosan 18 Hz körül volt.

Ha megnézzük az ábrát, látjuk, hogy a 250-300-as látszólagos sebesség-intervallumban a 60-as P -tól a 200-ig bármelyik megfelelő a zavar elnyomására. A

4 geofonból álló csoport irányítótsági karakterisztikái.



4. ábra.

hasznos beérkezések látszólagos sebessége általában 4500 m/s-on felüli értékkel adható meg. Ebben a tartományban is mindegyik P görbe a szükséges érzékenységet megadja. Méréseinknél a 80-as P-t választottuk és ebből a csoporton belüli távolságot kiszámítottuk.

Az előzőkből már ismeretes, hogy

$$P = fl \quad l = \frac{P}{f} = \frac{80}{18} = 4,5 \text{ méter}$$

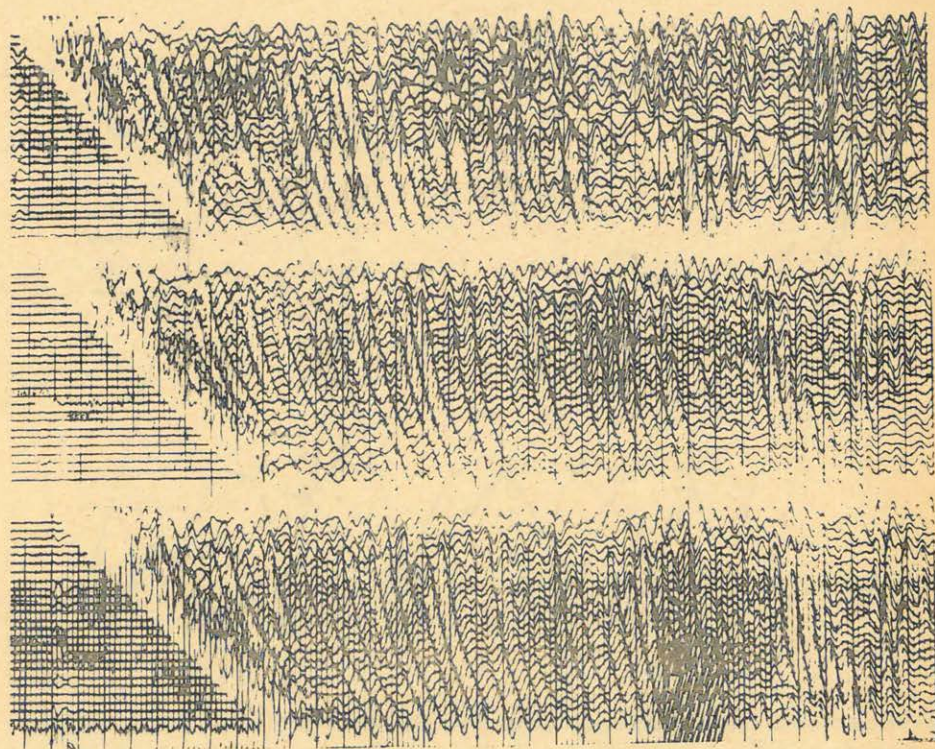
Ugyanezt a hatást értük volna el, ha 200-as P-t választunk, ebben az esetben

$$l = \frac{200}{18} = 11,2 \text{ méter}$$

lett volna.

A mérések előrehaladása és a köliségek szempontjából viszont sokkal kedvezőbb volt, ha a csoporton belüli távolságot nem 11,1 hanem 4,5 méternek választjuk. Az 5. ábrán bemutatunk ezen a területen azonos terítésben szóló és csoportos geofonos eljárással készített felvételeket. Az első felvételen egy geofon észlelés mellett látható a zavarhullámnak a felvételén való végigvonulása.

A zavar és hasznos jelek interferenciája miatt a reflexiók fázis tengelye csak bizonytalanul jelölhető ki. A második felvételt 4 geofonos csoporttal 4,5 m csoporton belüli távolsággal észleltük. Itt a zavar már elenyésző kis amplitudóval jelentkezik, a reflexiók fázis tengelyét nem torzítja, oly mértékben, hogy kijelölésükben bizonytalanság mutatkozná. A 3. felvételre a későbbiekben fogunk utalni.



5. ábra.

A dolgozat elején elmondott felsorolásnál a keverőt mint az interferencia rendszerek egyikét említettük.

Elméletével nem kívánunk részletesen foglalkozni, mindössze azt a megjegyzést tesszük, hogy a mai szeizmikus berendezések keverővel el vannak látva és a reflexió mérésénél - a csoportos eljárások alkalmazása esetén kiterjedten használjuk.

Irányítottsági koefficiensét a következőképpen írhatjuk fel:

$$\Phi_k = \frac{(1 - q)^2}{1 + q^2 - 2q \cos 2\pi \frac{d \cdot f}{v^*}}$$

ahol q = keverési koefficiens

d = geofontávolság

v^* = látsz. sebesség

f = frekvencia

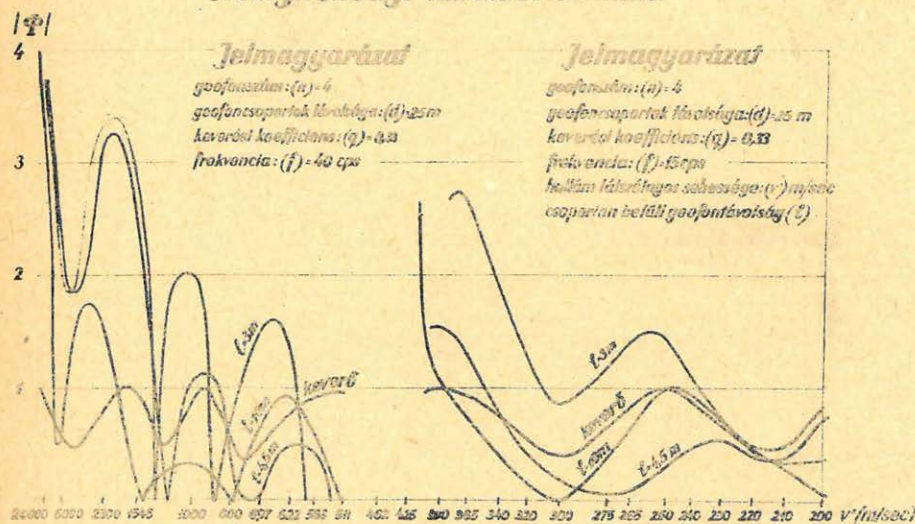
A geofoncsoporttal való együttes alkalmazás esetén az eredő koefficiens a két koefficiens szorzatával lesz egyenlő.

$$\Phi_2 = \Phi_k \cdot \Phi_n = \frac{(1 - q)^2}{1 + q^2 - 2q \cos 2\pi \frac{d \cdot f}{v}} \cdot \frac{\sin n\pi \frac{l \cdot f}{v}}{\sin \pi \frac{l \cdot f}{v}}$$

Az összetett rendszer (geofoncsoport és keverő) irányítottági koefficiense csak abban az esetben érvényes ilyen alakban, ha a vonalmenti geofoncsoportosítást alkalmazzuk, tehát a térben azonosra tájoltak a csoportok.

A keverő és geofoncsoportosítás együtt jobb eredményt ad. Az irányítottági karakterisztikák alap- és másodlagos maximumai élesebbek, a jel/zaj viszonyszám javulást mutat.

Irányítottági karakterisztikák.

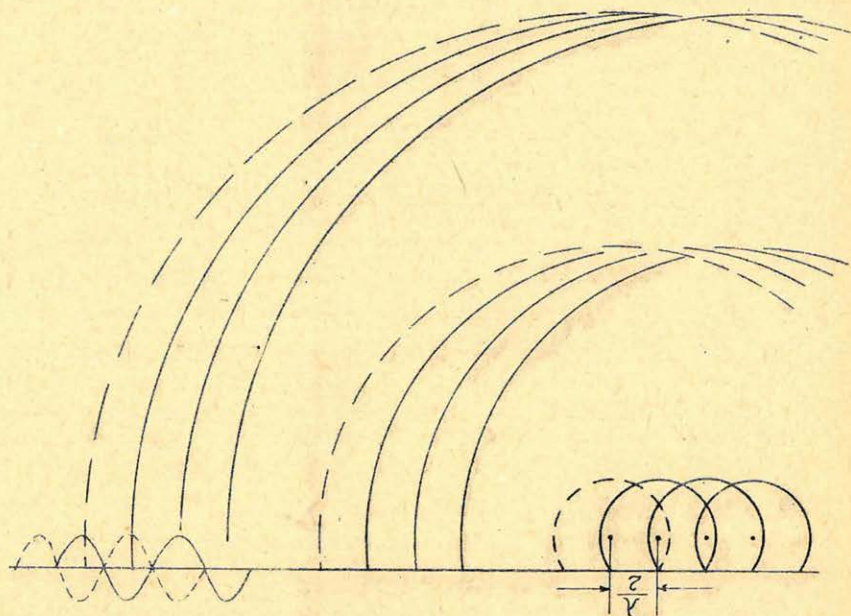


6. ábra.

A 6. ábrán, a gyakorlatban is felhasznált irányítottági karakterisztikák közül. A jobb-oldali karakterisztikák 15 Hz, a baloldaliak 40 Hz-es frekvencia értékre érvényesek. A keverési koefficiens 0,33. Az $l = 4,5$ csoporton belüli geofontávolság a már említett Abony, az $l = 10$ m-es pedig a hajduszoboszlói kutatási területen bizonyult a legjobbnak; érthető, hiszen a $V = 270$ m/s, illetve $V = 300$ m/s látszólagos sebességű hullámokra a legkevésbé érzékeny az illető geofoncsoport.

A jóval nagyobb sebességű hasznos hullámokkal szemben pedig a csoport s zömmel láthatóan érzékenyebb.

A csoportos lövések módszerének elve a 7. ábrából olvasható le. A kis fekete pontok a robbantópontokat, a körök különböző időpillanatban a felületi hullámok időterét ábrázolják. Láthatjuk, hogy abban az esetben, ha a robbantópontokat úgy telepítjük, hogy a köztük levő távolság a zavar látszólagos hullámhosszának felével egyenlő, akkor az észlelési vonal mentén a hullámok kioltják egymást. A



7. ábra.

nagymélységben elhelyezkedő rétegekről reflektált hullámok, melyek majdnem mérőlegesen érik el a felszint, közel azonos fázisban érkeznek a geofonokhoz, így egymás hatását erősítik.

A szakirodalomban a csoportos lövési eljárást általában azonos módon tárgyalják, mint az előzőkből megismert csoportos geofonok esetét. A terepi méréseknél az optimális lyukszámot és a lyukak közti távolságot kísérleti mérésekkel határoztuk meg. Vállalatunknál a csoportos lövések bevezetése megelőzte a csoportos geofonos eljárás bevezetését, még pedig azért, mert geofonok hiányában ez további módszert alkalmazni nem tudtuk. A csoportos lövések hazai alkalmazásának területe elég széles. Alkalmaztuk az eljárást abban az esetben is, amikor a csoporton belüli geofonok számát növelni nem tudtuk és a felvételeken a zavarhullámok - bár csak kismértékben -, de akadályozták a reflexiók kijelölését.

Ugyancsak eredményesen alkalmaztuk a csoportos lövések módszerét olyan területeken, ahol a felszínhez közel 3-8 m mélységben települt hordalék kavicsrétegek az optimális mélységű fúrást megakadályozták. Ilyen esetekben a kavicsréteg átfúrása hosszadalmasnak és az iszappal való fúrás miatt költségesnek is bizonyult. A kismélységű szülő robbantásoknál viszont intenzív felületi hullámok jelentkeztek és a hasznos energia lehatolási mélysége is elégtelennek bizonyult. Így tehát a csoportos lövéseket nemcsak a zavarhullámok elnyomására, hanem a hasznos energia megtöbbszörözésére is felhasználtuk.

Hasonlóképpen eredményesnek bizonyult a csoportos lövések alkalmazása olyan esetekben, amikor megfelelő energia előállításához 60-100 m-es lyukak lefúrása vált szükségessé. E nagy mélységek lefúrása egyrészt ebben a mélységben települt tömörebb kőzetek átfúrása miatt, 1-3 napot igényelt, másrészt a nagyfokú igénybevétel fűróberendezéseink állapotát erősen megviselte. Ilyen esetekben

3 pontos csoportos robbantással, (10-15 m mélységből) jó eredményeket értünk el.

Az 5. ábra legelső felvétele az abonyi kutatási területen készült csoportos lövéses eljárással. A csoporton belül a lyukak egymástól való távolsága 5 m volt. A legfelső felvételen látható zavar végigvonulása. A harmadik (csoportos lövés felvétel) felvételen a zavar nem látható, a reflexiók teljes biztonsággal kijelölhetők. A regisztrátumok egyébként mutatják, hogy a csoportos lövések a csoportos geofonokkal azonos értékű eredményt adnak.

Bár az eddigi mérések a csoportos eljárások hasznosságát és alkalmazhatóságát bizonyítják, mégis a jövőben a kutatás fejlődésének útját nemcsak a csoportos geofonok és lövések módszerének fejlesztésében, hanem a szeizmikus berendezések tökéletesítésében látjuk. A csoportos eljárások alkalmazása a mérések ütemét nagymértékben lassítja, a km költséget pedig tetemesen megnöveli. Több hazai kutatási terület költségei alapján, ahol egyes és csoportos eljárással is végeztünk méréseket, mondhatjuk, hogy a csoportos geofonos eljárás egy bemért km önköltségét 20-40 %-kal növeli, az egy geofonos eljárással bemért km költséghez viszonyítva. Csupán e számadat alapján azonban bárki joggal mondhatná, hogy nem a bemért km szám, hanem a minőségi eredmények a mérvadók. Ez teljes mértékben helyes is és méréseinknél mindenkor a pontos, megbízható adatszolgáltatás az elsődleges szempont. Hogy mégis a viszonylag jó eredmények ellenére, bárcsak látszólag a csoportos eljárások alkalmazása ellen beszélünk, azt azért tesszük, mert összehasonlító mérések szerint korszerű szeizmikus berendezéssel végezve a méréseket, hazai viszonyokat tekintve csak egy-két területen lenne szükséges a csoportos eljárások alkalmazása.

A magyar berendezéseinkkel azonban a legtöbb kutatási területen csak csoportos geofonos eljárással sikerült kiértékelhető reflexiós anyagot regisztrálnunk ott is, ahol az 51 mintájú szovjet berendezések egyes geofonokkal is jó eredményeket szolgáltatottak.

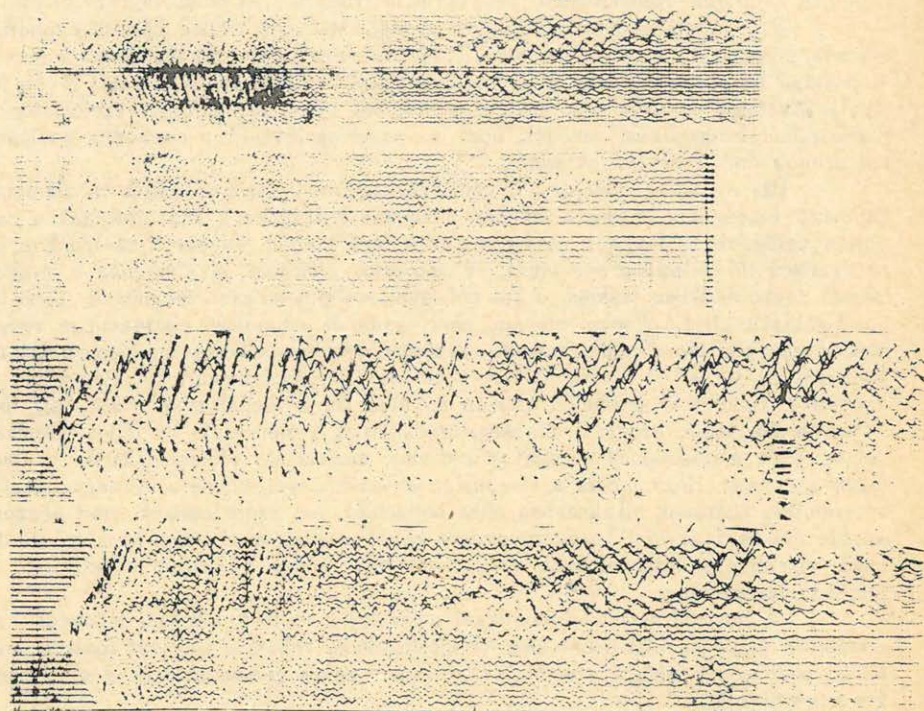
Vizsgáljuk meg, honnan adódik az 51-es típusú szovjet és 53-as típusú magyar berendezés között a zavarhullám tartományban mutatkozó érzékenység különbség.

A 26 illetve 48 csatornás magyar szeizmikus berendezés szeizmométer erősítő és a galvanométer egységei valamennyi szeizmikus hullám kevésbé torzított átvitelét biztosítják. Helyes törekvés volt a geofonok önfrekvenciáját 6-7 Hz-nek megválasztani, mert így a hasznos tartományba eső reflexiós és refrakciós hullámok sokkal jobb átvittelrel regisztrálhatók, mint pl. 35 Hz önfrekvenciájú szeizmométer esetében. Ilyen módon viszont reflexiós méréseinknél a zavarhullámok igen széles skáláját is regisztráljuk, ami a jel/zaj viszonyra kedvezőtlen hatást gyakorol, továbbá a reflexiós fázistengelyek eltorzulását, sőt a legtöbb esetben a reflexiók teljes elnyomását eredményezi.

Hogy a geofonok önfrekvenciájának megválasztása a jel/zaj viszony szempontjából milyen jelentős, azt összehasonlító mérések felvételeiből is megállapíthatjuk. A 8. ábrán bemutatott felvételesorozat magyar 24 csatornás portáblilis

szovjet 24
magyar 26
szovjet 26

berendezésekkel azonos terítésben, azonos lövéssel készítettük. A terítést úgy helyeztük el, hogy a zavarhullámok csak 1,3 "s" után érkezzenek a geofonokhoz. Az 1-13 sz. csatornákra 7 Hz magyar, a 14-26 csatornákra szovjet 31 Hz-es geofonokat kötöttünk. Azonnal szembetűnik, hogy a 7 Hz geofonos oldal jel/zaj viszonya sokkal kedvezőtlenebb, mint a 31 Hz geofonos oldalé. Ez érthető is, mert a 7 Hz-s



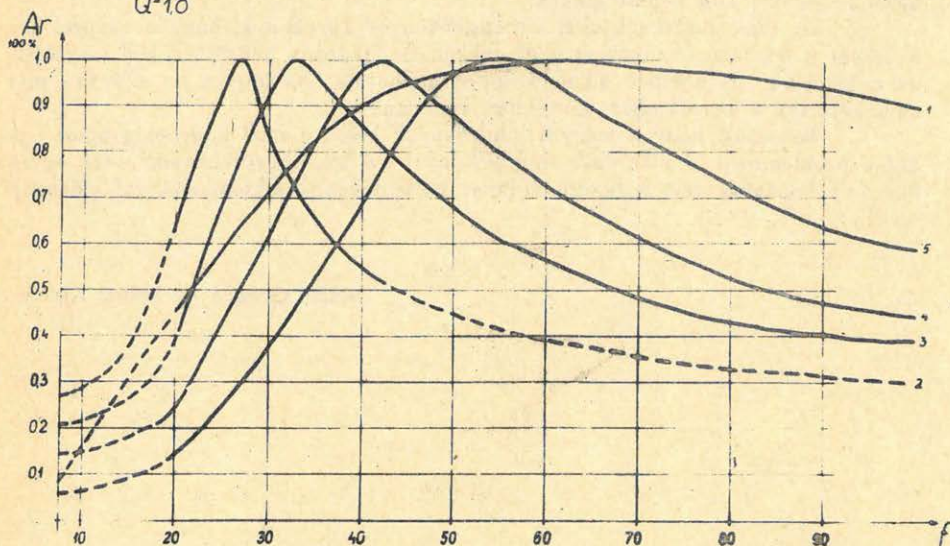
8. ábra.

őnfrekvenciájú magyar geofonok átvivő képessége a hazai viszonyok között legintenzívebben jelentkező 15-20 Hz frekvenciájú zavartartományban már maximális, míg ugyanítt a 31 Hz-s szovjet geofonok átvivő képessége a maximális átvivő képességnek csak mintegy 30-35 %-a. Hangsúlyoznunk kell azonban, hogy mindez csak reflexió mérések esetén áll fenn és az alacsonyfrekvenciás magyar geofon refrakciós mérésekhez kiválóan alkalmas.

A magyar és szovjet berendezés szűrőkarakterisztikáit a 9 ill. 10 ábrán láthatjuk. Nem nehéz megállapítani, hogy a szovjet berendezés szűrői az alacsony frekvenciás tartományban élesebben vágnak, mint a magyar műszeré. Ha figyelembe vesszük, hogy reflexió méréseknél a legtöbb hazai területen a hasznos hullámok 35-45 frekvenciával jelentkeznek és megnézzük, hogy a különböző kocsiknál milyen szűrőállás felel meg a legjobban a hasznos jelek kiemelésére, akkor láthatjuk, hogy szovjet berendezésnél legmegfelelőbb a III-as szűrőfokozat, melynek átvitele a zavartartományban a maximális átvitel 10 %-a, ugyanítt a magyar műszer-kocsi IV-es szűrőfokozata még 40 %-os átvitelrel dolgozik. Ha ehhez még hozzávesszük, hogy a Szovjetuniótól vásárolt legújabb típusú portábilis berendezésünk az 1951-es típusnál sokkal korszerűbb alul- és felülvágó szűrőkkel van ellátva, akkor máris megerősítettük azon állításunkat, melyet az előzőekben már megtettünk,

26 csatornás magyar műszer szűrőkarakterisztikái.

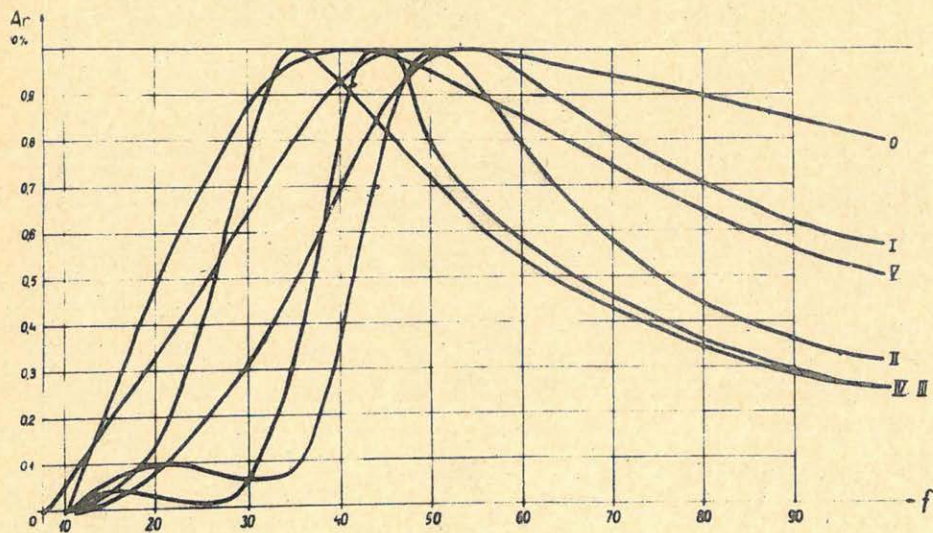
Q-18



9. ábra

26 csatornás szovjet műszer szűrőkarakterisztikái.

Q-18



10. ábra

nevezetesen azt, hogy a zavarhullámok kiküszöbölésére legelső sorban korszerű berendezéseket kell konstruálnunk.

Az elmondottakból tehát egyértelműen az következik, hogy a zavarok kiszűrését a lehetőséghez képest geofonokkal, de főképpen szűrőkkel kell megoldani és csak abban az esetben alkalmazzuk a csoportos eljárásokat, ha szűrőink már nem képesek a zavart teljes mértékben elnyomni.

Reméljük, hogy a magyar geofizikusok hiven a múlt hagyományaihoz ezzel a problémával is sikeresen megbirkóznak és az elkövetkezendő évek egyre növekvő feladatait már korszerű magyar berendezések alkalmazásával oldhatjuk meg.

Miklós Gergely és Molnár Károly