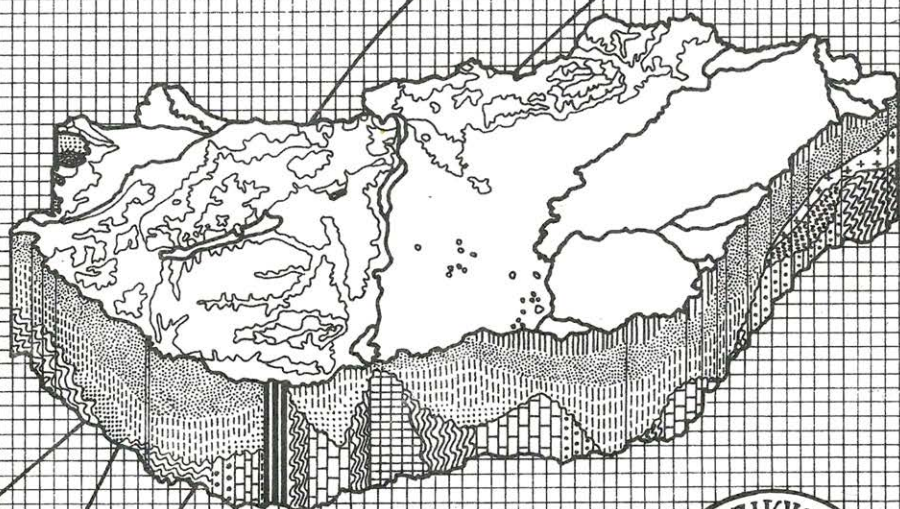


MAGYAR 3 GEOFIZIKA



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA
BUDAPEST, 1981. XXII. ÉVFOLYAM, 3. SZÁM

TARTALOMJEGYZÉK

Beszámoló a Magyar Geofizikusok Egyesülete 1981. évi tisztújító közgyűléséről	81
<i>Vermes M.</i> : Szeizmikus jelek adaptív dekonvolúciója	87
<i>Gili L. — Koch Gy. — Kovács B. — Nagy Z.</i> : Mérnökszeizmikus mérések céljára szolgáló digitális összegző berendezés	107
<i>Göncz G.</i> : A 15°-os és 45°-os közelítésű egyenleten alapuló, véges differencia módszerrel történő hullámegyenletes migráció hibájáról	113
Lapszemle, könyvszemle	112, 119, 120
Egyesületi hírek	106

Főszerkesztő: Dr. Sebestyén Károly

Szerkesztő bizottság: Dr. Bencze Pál, Dr. Bodoky Tamás, Czeglédi István, Deres János, Gellért Tamás, Gerzson István, Dr. Horváth Ferenc, Hursán László, Lakatos Sándor, Marton Tibor, Dr. Posgay Károly, Rádlér Béla, Tóth Géza, Dr. Tóth Péter

Szerkesztőség címe: 1368 Budapest VI., Anker köz 1. félemelet 17. Postafiók 240.

Beszámoló a Magyar Geofizikusok Egyesülete 1981. évi tisztújító közgyűléséről



A Magyar Geofizikusok Egyesülete 1981. március 13-án tartotta Tisztújító Küldöttközgyűlését. Az Elnökségben *Bese Vilmos* örökös tiszteleti elnök, *Molnár Károly* elnök, *Dr. Barta György*, *dr. Sebestyén Károly* társelnökök, *Czeplédi István* ügyvezető elnök, *Deres János* főtitkár, *dr. Müller Pál* igazgató és *dr. Jéký László*, az MTE SZ főtitkárhelyettese foglalt helyet.

Molnár Károly elnöki megnyitójában mértéktartóan fogalmazta meg az elmúlt időszak fő eredményét:

„Immár három esztendeje, hogy egyesületünk tagságától azt a megtisztelő feladatot kaptuk, hogy ezen idő alatt úgy irányítsuk, vezessük a Magyar Geofizikusok Egyesületébe tömörült szakemberek munkáját, hogy mindenben megfeleljünk a hazai földtani kutatásokból reánk háruló feladatoknak... A földtani kutatás V. ötéves tervének eredményei ismertek, valamennyi ásványi nyersanyag és energiahordozó kutatása területén teljesültek a várt elképzelések, néhol meg is haladták a tervezett szintet. Minden túlzó büszkeség és felelőtlen állítás nélkül, csak a tényekre támaszkodva kijelenthetjük, hogy e sikeres munkából a magyar geofizikus társadalom is kivette részét, és nagymértékben járult hozzá ezen eredmények elismertetéséhez. A közös sikerből egyesületünk csak annyit kíván a maga számára elkönyvelni, amennyivel az egyesületben folyó tapasztalatcsere és információszerzési lehetőség a tagság és a vállalat tevékenységét elő tudta segíteni.”

A VI. ötéves tervhez kapcsolódva kiemelte, hogy a további készleteket már egy erőteljesen megkutatott országban kell feltárni, ez gyökeres változtatásokat igényel eszközeinkben, módszereinkben, szemléletünkben és hozzáállásunkban.

Az új vezetőségnek hittel, odaadással kell részt vennie ebben a sokirányú munkában.

Az elnöki megnyitó után került sor a közgyűlés bizottságainak megválasztására. A Jelölő Bizottság tagjaivá *Rádlér Béla* elnök, *Varga Péter*, *Karas Gyula*, *Albu István*, *Steiner Gyula*, *Csigó József*, *Ferenczy László*, *Márcz Ferenc* került megválasztásra. A Szavazatszámoló Bizottság elnökévé *Szemerédy Pálnét*, tagjaivá *Drahos Dezsőné*t, *Komlósi Zsoltot*, *Zelei András*t és *Kis Károlyt* választották.

Deres János főtitkári beszámolójában először elhunyt tagjainkról emlékezett meg. *Dr. Bélteky Lajos*, *Dr. Gál István*, *Gellért Tamás*, *Dr. Haáz István*, *Halmos Ferenc*, *Hardtner Mihály*, *Dr. Lendvai Károly*, *Komáromy István*, *Regőczy Emil*, *Tulák László* hiánya súlyos vesztesége egyesületünknek. Elhunyt egyesületünk csehszlovák tiszteleti tagja, *Dr. Beránek*.

Beszámolójában átfogóan értékelte vezető szerveink, szakosztályaink és bizottságaink működését.

Az Egyesület tevékenységét az 1978 – 85-ös időszakra kidolgozott cselekvési program alapján végezte. A beszámolási időszakban az MTESZ Ellenőrző Bizottsága és az MTESZ Végrehajtó Bizottsága foglalkozott egyesületünkkel. Megállapításaik szerint egyesületünk az elvárásoknak megfelelően dolgozik, célkitűzéseit az ország főfeladataihoz igazodva fogalmazza meg.

Az Egyesület jó kapcsolatokat alakított ki a Központi Földtani Hivatallal, a földtani kutatás és bányászat irányító szerveivel.

Az Országos Elnökség tevékenységével kapcsolatban kiemelte, hogy több gondot kell fordítani a szakmai munka irányítására és a kiemelt feladatok meghatározására.

A beszámoló részletesen foglalkozott a sikeres várnai, krakkói és székesfehérvári szimpóziumokkal és a többi éves előkészítő munkával megrendezett EGS – ESC konferenciákkal. Örömmel közölte, hogy az EAEG megkeresésére ajánlatot dolgoztunk ki a 47. EAEG konferencia 1985. évi megrendezésére.

A beszámolási időszakban 30 nagyrendezvény volt, ezeken kb. 800 előadás hangzott el. Ezek jórészt társegyesületekkel közösen rendeztük, de az együttműködés fokozása fontos feladat, erre utal az elfogadott közgyűlési határozat.

A bizottságok munkájára a céltudatos, kezdeményező tevékenység jellemző.

A beszámolási időszakban alakult a Bányageofizikai és a Történeti Bizottság.

Területi csoportjaink nagymértékben gazdagították az egyesületi életet. Színvonalas saját rendezvényeiken és előadóüléseiken kívül tevékenyen részt vettek a helyi műszaki napokon, tanfolyamokat és élménybeszámolókat szerveztek.

Az Alföldi Csoport javaslatát elfogadva, az Országos Elnökség határozatot hozott az ugyanezen területen működő Északmagyarországi és Alföldi Csoport létrehozására.

A beszámoló külön foglalkozott az Egyesület pénzügyi helyzetével. A Gazdasági Bizottság hathatós munkájának eredményeként szigorú gazdálkodási rend került bevezetésre, az Egyesület jól gazdálkodik a biztosított anyagi eszközökkel.

Ezután az írásban beterjesztett határozati javaslattal foglalkozott.

Az Ellenőrző Bizottság beszámolóját *Újfalussy Antal* ismertette. Megállapította, hogy az Egyesület az alapszabályban lefektetett elvek szerint végezte munkáját. Az elmúlt években az Egyesület szakmai tekintélye megnőtt, és

egyre inkább betölti azon hivatását, hogy megfelelő szakmai és kollegiális kapcsolatot tart fenn különböző intézmények geofizikusai között.

Örvendetesen rövid volt *Rumpler Jánosnak*, a Fegyelmi Bizottság elnökének beszámolója. A beszámolási időszakban nem volt olyan esemény, hogy valakit egyesületi taghoz méltatlan magatartás miatt el kellett volna marasztalni.

Az alapszabálymódosítási javaslatot *Aczél Etelka* ismertette. A módosítások az alapszabály korszerűsítését jelentik, a kialakult gyakorlatnak megfelelően. Az elfogadott módosításokkal az alapszabály rövidesen kiadásra kerül.

A beszámolót követő vitában *Gerzson István*, a Mecseki Csoport titkára szólalt fel elsőnek. A csoport az elmúlt 20 évben több mint 100 fős csoporttá fejlődött. Elismerésre méltóan dolgoztak a szénbányászat és uránbányászat területén a geofizikai módszerek elterjesztéséért. A nukleáris geofizikában is úttörő tevékenységet folytattak.

Ferenczy László, az Ifjúsági Bizottság titkára ismertette, hogy Egyesületünk tagságának 40%-a 35 éven aluli. Ez a jelentős szám bizonyítja, hogy Egyesületünk utánpótlása biztosított. Szólt a pályakezdő fiatalok segítésének kérdéseiről. Fontos feladatnak tekintette a fiatalok bevonását a vezető szervek munkájába.

Dr. Jékly László, az MTSZ főtitkárhelyettese felszólalásában röviden értékelte Egyesületünk tevékenységét, majd az MTSZ előtt álló feladatokról szólt. Elmondta, hogy ma már nemcsak a feladatok megvalósításában számítanak ránk, hanem a politika kialakításában is. Egyre több felelős szerv kéri ki az MTSZ és a tagegyesületek véleményét.

Az MTSZ elő kívánja segíteni az egyesületek közötti együttműködést, de úgy, hogy minden egyesület őrizze meg és ápolja hagyományait.

Jesch Aladár felszólalásában az OMBKE-vel való együttműködés kérdéseivel foglalkozott és terjesztett elő konkrét javaslatokat.

A felszólalásokban felvetett kérdésekre, problémákra, *Molnár Károly* és *Deres János* adott választ.

A Küldöttközgyűlés a vita után a beszámolót és a határozati javaslatot egyhangúlag elfogadta. A határozatot a 86. oldalon közöljük.

Ezután *Monár Károly* Egyesületi Emléklapot nyújtott át a jó munkát végző aktivistáknak. Emléklapot kapott *Aczél Etelka*, *Kis Bertalan*, *Komlósi Zsolt*, *Lakatos Sándor*, *Miklós Gergely*, *Ráner Géza*, *Verbóczy József*.

A vezetőség felmentése után *Rádlér Béla* ismertette a jelölő bizottság javaslatait, majd a jelölt lista elfogadása után *Szemerédy Pálné* ismertette a szavazás módját.

Amíg a szavazólapokat készítették, két érdekes élménybeszámolóra került sor. *Berkes Zoltán* a Geofizikai Kutató Vállalat iraki munkáját ismertette. A sivatagi terep komoly megpróbáltatást jelentett embernek, gépnek egyaránt. A bemutatott képek jól szemléltették az expedíció helytállását, s emellett néhány pillantást vethettünk az emberiség bölcsőjének tekintett Mezopotámia híres történelmi emlékeire, az ott élő emberek szokásaira.

Az ELGI expedíciója Görögországban dolgozott. Erről *Kónya Albert* számolt be. A műemlékek, tengerparti tájak bemutatása mellett nagyon érdekesek voltak a terepi munkát bemutató képek. A thesszaloniki medencében a rendkívül korszerűen kiépített öntöző hálózat készíttette hollyongásra, hosszú kerülő utak megtételére a gépkocsikat.

A külföldi expedíciós munkák várható növekedése, reméljük sokunknak teszi lehetővé az új tájak megismerését, szakmai tapasztalataink bővülését.

A küldöttek szavazatainak összeszámlálása után *Szemerédy Pálné* ismertette az Országos Elnökség névsorát, a Fegyelmi Bizottság és az Ellenőrző Bizottság tagjait:

Az alapszabály szerint az Országos Elnökség választás nélküli tagjai:

Bese Vilmos örökös elnök. *Ádám Antal*, *Barta György*, *Sebestyén Károly*, *Tárczy Hornoch Antal* az Eötvös Loránd Emlékérem tulajdonosai, *Ádám Oszkár*, *Dank Viktor*, *Csókás János*, *Fülöp József*, *Facsinay László*, *Jesch Aladár*, *Nagy Zoltán*, *Müller Pál*, *Oszlaczky Szilárd*, *Stegena Lajos*, *Szilárd József*, *Takács Ernő*, *Tóka Jenő*, *Tolmár Gyula*, *Tóth Géza* tiszteleti tagok.

Az Országos Elnökség választott tagjai:

Aczél Etelka, *Baráth István*, *Bádonyi Géza*, *Berkes Zoltán*, *Bodoky Tamás*, *Czeglédi István*, *Deres János*, *Erkel András*, *Fabiáncsi László*, *Ferenczy László*, *Honfi Ferenc*, *Horváth Ferenc*, *Karas Gyula*, *Kiss Bertalan*, *Komlósi Zsolt*, *Kubina István*, *Lakatos Sándor*, *Meskó Attila*, *Miklós Gergely*, *Molnár Károly*, *Morvai László*, *Nyerges Lajos*, *Papp Jenő*, *Posgay Károly*, *Rádlér Béla*, *Ráner Géza*, *Rumpler János*, *Szabadváry László*, *Somogyi József*, *Szemerédy Pál*, *Szabó János*, *Szemerédy Pálné*, *Tarcsay György*, *Tirkala Ferenc*, *Tóth Péter*, *Újfalusy Antal*, *Véges István*, *Verbőczy József*, *Zelei András*, *Zsitvay Szilárd*.

A Fegyelmi Bizottság tagjai:

Kremszner Miklós elnök, *Riby Elemér*, *Mészáros Ferenc* tagok, *Zelei András*, *Hobot József* póttagok.

Az Ellenőrző Bizottság tagjai:

Újfalusy Antal elnök, *Szeidovitz Győzőné*, *Szulyovszky Imre* tagok, *Nagy Zoltánné*, *Verő László* póttagok.

Az MTESZ XIII. Tisztújító Közgyűlésére *Miklós Gergelyt* és *Szabó Jánost* választották meg küldöttnek.

Ezenkívül küldött az új elnök és főtitkár, valamint *Bese Vilmos* és *Csókás János*, az MTSZ elnökség tagjai.

Az Tisztújító Küldöttközgyűlés után az Országos Elnökség megtartotta ülését. A jelölő bizottság javaslatát *Rádlér Béla* terjesztette elő.

A választás eredményeként az Egyesület tisztségviselői az 1981–85-ös időszakban:

Örökös tiszteleti elnök: *Bese Vilmos*

Elnök: *Molnár Károly*

Társelnökök: *dr. Barta György*, *Czeglédi István*, *dr. Csókás János*
dr. Tárczy-Hornoch Antal

Főtitkár: *Deres János*

Titkárok: *Baráth István*, *Nagy Zoltán*, *Ráner Géza*,
dr. Berkes Zoltán, *Rumpler János*

Szakosztályok vezetősége:

Általános Geofizikai Szakosztály

Elnök: *dr. Ádám Antal*

Titkár: *dr. Tarcsay György*

Felszíni Geofizikai Szakosztály

Elnök: *Rádlér Béla*

Titkár: dr. Bodoky Tamás
Mélyfúrási Geofizikai Szakosztály
Elnök: Lakatos Sándor
Titkár: Komlósi Zsolt

Felelős szerkesztő: Zelei András

Bizottságok:

1. *Közgazdasági Bizottság:*
Elnök: dr. Márfoldi Gábor
Titkár: Papp Jenő
2. *Műszertechnikai Bizottság:*
Vezetője: Kubina István
Titkárok: Cziffra Ferenc
Horváth Flórián
3. *Oktatási Bizottság:*
Elnök: dr. Stegena Lajos
Titkár: dr. Szemerédy Pálné
4. *Tudományos Bizottság:*
Elnök: dr. Posgay Károly
Titkár: Véges István
5. *Ifjúsági Bizottság:*
Elnök: dr. Ferenczy László
Titkár: Farkas István
6. *Történeti Bizottság:*
Elnök: Szabó Zoltán
Titkár: Jesch Aladár
7. *Gazdasági Bizottság:*
Vezetője: Miklós Gergely
8. *Robbantástechnika Szakcsoport* (közös az OMBKE-vel)
Vezetője: Kánnár Tibor
9. *Bányageofizikai Bizottság*
Elnök: dr. Csókás János
dr. Szabó János
Titkár: Fabiáncsics László

A hivatalos részek után régi ismerősök, barátok találkoztak a Kisrablói Étteremben rendezett vacsorán. A jó hangulat maradjon meg az elkövetkező időszakban is.

Úgy érezzük, a Tisztújító Küldöttközgyűlés eredményes munkát végzett. Reméljük, a régi és új tisztségviselők egyaránt az alapító tagok lelkesedésével, lendületével fognak tevékenykedni.

A Magyar Geofizikusok Egyesülete 1981. március 13-i Tisztújító Küldöttközgyűlésének határozata

1. Az egyesület a rendelkezésre álló eszközökkel segíti hazánk természeti kincseinek és nyersanyagainak kutatását, hatékonyabb kiaknázását és ésszerű felhasználását.

A szénhidrogén-kutatás és bányászat mellett a geofizikai módszereket egyre növekvő mértékben alkalmazzák a szén-, bauxit-, víz-, érc- és ásványkutatásban, valamint a mérnökföldtani és archeológiai munkákban. A feladatok új és nagyobb felbontóképességű módszerek, eljárások bevezetését igénylik a földtani kutatás minden fázisában és a termelés folyamatában.

Az egyesület támogatja, hogy a nyersanyagtermelést közvetlenül segítő bányageofizikai szolgálatok alakuljanak ki a szén-, bauxit- és ércbányászat területén.

Az ipari célokat szolgáló kutatások segítése mellett biztosítani kell az általános geofizikai kutatások jelentőségüknek megfelelő szerepét.

2. Az egyesületi tevékenység alapja továbbra is a szakosztályokban, területi csoportokban, bizottságokban folyó munka. Ennek keretében kell az egyesületi életet mozgásban, lendületben tartani, tagságunk kapcsolatait javítani, az egyesületi munkát vonzóbbá tenni.

Továbbra is segíteni kell a fiatalok bekapcsolódását az egyesület tevékenységébe, támogatni kell önálló kezdeményezéseiket.

Az állandó bizottságok mellett több lehetőséget kell adni, egy-egy kérdés vizsgálatát végző alkalmi munkabizottságoknak.

A bizottságokban folyó munka ismertetését, hasznosítását színvonalasabbá kell tenni.

3. A nemzetközi kapcsolatokban a fő súlyt továbbra is a Nemzetközi Geofizikai Szimpóziumhoz kapcsolódó együttműködésre kell helyezni. Kezdeményezően kell lépni, hogy ezekben a kapcsolatokban erősödjön az integrációs jelleg. Meg kell vizsgálni a szocialista országok közös geofizikai kiadványának alapítási lehetőségét.

A nemzetközi munkamegosztásba való bekapcsolódás érdekében erősíteni kell kapcsolatainkat a nemzetközi geofizikai szervezetekkel. Törekedni kell konferenciáink hazai rendezésére.

4. Az állami szervekkel (főhatóságok, intézmények, vállalatok) való együttműködést erősíteni kell. A kapcsolatok formáit esetenként együttműködési szerződésekben kell rögzíteni. Támogatni kell, hogy minél több, a feladatok megoldását segítő, ténylegesen felhasználható elgondolás, javaslat szülessen az egyesület keretein belül.

5. A szakmai oktatást és továbbképzést tovább kell fejleszteni, különös tekintettel a több egyesület tagságát érintő programokra.

A vállalatokon, intézményeken belül folyó szakmai továbbképzési formákat jobban fel kell használni az egyesület feladatainak érdekében.

6. A geofizikai kutatás lehetőségeinek és eredményeinek széles körű ismertetése, a földtani kutatásba való szerves beépítése csak a társegyesületekkel való szoros együttműködéssel valósítható meg. A Magyarhoni Földtani Társulattal, az OMBK-val, a Magyar Hidrológiai Társasággal az együttműködés formáit ki kell dolgozni. Közös vándorgyűlések, előadói ülések szervezése mellett esetenként közös bizottságokat célszerű létrehozni.

(Ráner G)

Szeizmikus jelek adaptív dekonvolúciója

VERMES MÁTYÁS*

A dolgozat első, bevezető jellegű része áttekintést nyújt a jóslási hiba számításán alapuló dekonvolúciós módszerekről, és ismerteti egy egyszerű matematikai módszerekkel megvalósítható adaptív jósló algoritmust. Az adaptív dekonvolúcióval elérhető eredményeket terepi példákon mutatjuk be.

A második részben előbb megvizsgáljuk a szeizmikus csatorna autoregresszív modelljének alapvető tulajdonságait, majd a rekurzív legkisebb négyzetes becslés (jóslás) feladatából kiindulva eljutunk a Kalman-szűrő egyenleteihez. A dolgozatot kiegészítő három függelék lezárja a korábban nyitva hagyott, főleg információ elméleti vonatkozású kérdéseket.

Первая, вступительная часть доклада даёт обзор основанных на вычислении ошибки предсказания методов обратной фильтрации и описание алгоритма адаптивной прогнозирующей деконволюции, использующего простые математические способы.

Во второй части сначала исследуются основные свойства авторегрессивной модели сейсмического канала, затем, исходя из задачи рекурсивной оценки (прогноза) на основе наименьших квадратов, выводится уравнение фильтра Кальмана. Три приложения к работе отвечают на ранее оставленные открытыми вопросы, связанные с теорией информации.

The first part of the paper gives a review of deconvolutional methods based upon the calculation of prediction error and describes an adaptive prediction algorithm that may be realised by simple mathematical tools. The results of adaptive deconvolution are showed on field seismic data.

In the second part we study the significant properties of the autoregressive model of seismic trace. Starting from the problem of recursive least squares estimation (prediction) we obtain the equations of Kalman-filter. The three appendices completing the paper settle mainly information-theoretical problems previously unsolved.

BEVEZETÉS

I.

A talaj réteghatárainak szeizmikus kutatásakor valamilyen módon – pl. robbantással, vibrátorral – gerjesztjük a talajt. A gerjesztéskor keletkező hullám, geofizikus szaknyelven wavelet energiájának egy része a réteghatárokon fellépő akusztikus impedancia ugrás miatt reflektálódik. A reflektálódott hullámokat a felszínen geofonokkal észleljük.

Vizsgáljuk meg, milyen összefüggés van a gerjesztő hullám amplitúdója, valamint a reflektált és transzmittált (továbbhaladó) hullámok amplitúdója között! Ha a beeső hullám amplitúdója egységnyi, és a reflektált illetve transzmittált hullámok amplitúdóját r , illetve t jelöli (*I. ábra*), az elmozdulásokra ki szabható határfeltételek alapján:

$$t = I + r.$$

Az r reflexiók együttható kifejezhető a két rétegre jellemző hullámterjedési sebességgel (v_1, v_2) és sűrűséggel (p_1, p_2):

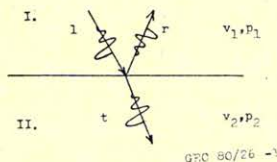
$$r = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2},$$

* GKV Fejlesztési Osztály

ahol Z_1 a felső közeg akusztikus impedanciája:

$$Z_1 = v_1 p_1 .$$

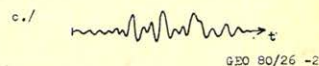
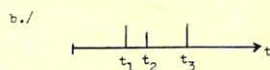
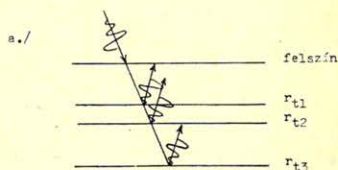
Hasonló képlet érvényes Z_2 -re. Látható, hogy a közetek paramétereire vonatkozó információt (hullámterjedési sebesség, sűrűség) az r reflexiók együtt-
ható tartalmazza. A szeizmikus kutatás feladata tehát a reflexiók beérkezési
idejének és amplitúdójának – vagyis a reflexivitás függvénynek – meghatá-
rozása.



1. ábra.

Puc. 1.

Fig. 1.



2. ábra. a) b) c)

Puc. 2. a) b) c)

Fig. 2. a) b) c)

Ezt a látszólag egyszerű feladatot megnehezíti a reflektált hullámok inter-
ferenciája. Tekintsük a 2a ábrán látható három vízszintes réteget tartalmazó
közeget! (Feltesszük, hogy a valóságban a gerjesztés és az észlelés ugyanabban
a pontban történik, és így a valóságos sugárutak függőlegesek. Az ábrán csak
azért alkalmaztunk ferde sugárutakat, hogy azok ne fedjék át egymást.) A
három réteghatárról reflektált hullám beérkezési idejét jelölje t_1, t_2, t_3 , a határookra
jellemző reflexiók együtt-
ható legyen r_{t1}, r_{t2}, r_{t3} . A közegekre jellemző reflexivitás
függvényt mutatja a 2b ábra. Feltéve, hogy a gerjesztő hullám amplitúdója
egységnyi, a reflektált hullámok amplitúdója rendre r_1, r_2, r_3 . A 2a ábrán azonban
láthatjuk, hogy a hullámok – mivel egymáshoz térben és időben közel vannak
– egymásra rakódnak, interferálnak, lehetetlenné téve, hogy a szeizmogram-
mon (2c ábra) külön-külön azonosítsuk őket.

II.

Dekonvolúción azt a műveletet értjük, amely a szeizmogrammból (2. c)
a reflexivitás függvény (2. b) valamilyen közelítését állítja elő. A dekonvolúció
végrehajtására számos elvileg különböző módszer létezik (minimumentrópiás,
homomorf), a gyakorlatban legjobban bevált eljárások azonban azok, amelyek a
jósági hiba számításán alapulnak. A továbbiakban vázlatosan ismertetjük e
módszerek elvét.

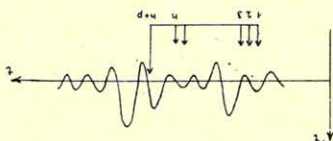
A 2. a ábrán megfigyelhetjük, hogy a reflektált hullámok közötti interfe-
rencia akkor erős, ha a wavelet hossza a beérkezési idők különbségeihez képest
nagy. A dekonvolúciónak tehát csökkentenie kell a jelalak hosszát. A jósági
hiba számításán alapuló (prediktív) dekonvolúcióval ezt a célt a következő módon
érhetjük el:

A szeizmogramm korábbi adatai alapján jósoljuk a szeizmogramm egy későbbi adatát, majd a valódi és a jósolt érték különbségét képezve kiszámítjuk a jósolási hibát (3. ábra). Ezt a műveletet a szeizmogramm minden adatára elvégezzük, az így kapott sorozat képezi a dekonvolúció kimenetét. A jósolás matematikai alakja:

$$\hat{x}_t = \sum f_i x_{t-i-p},$$

ahol x_t és \hat{x}_t a szeizmogramm valódi, illetve jósolt értéke a t időpontban, $f = (f_0, f_1, \dots, f_n)$ a jósoló operátor, p a jósolási távolság. A jósoló operátor együtt hatóit úgy választjuk, hogy a jósolási hiba szórásnégyzete minimális legyen.

5- 92/08 030



3. ábra. Puc. 3. Fig. 3.

Minden matematikai megfontolás nélkül, egyszerűen a szemléletre támaszkodva beláthatók a következők:

A jósolási hiba csak ott lehet nagy, ahol új információ érkezik a közegről. Tegyük fel, hogy egy geofonpontba még semmilyen reflexió nem érkezett, így a geofon kimenetén levő feszültség nulla. Nyilván azt jósolnánk, hogy a következő időpontokban sem fog változni a feszültség. Ez a helyzet áll fenn mindaddig, míg az első reflexió be nem érkezik. Mivel a talaj szerkezetéről előzőleg semmit sem tudunk, és semmilyen információ nem áll rendelkezésünkre, hogy előre jelezzük a hullám beérkezését, a hullám első részének beütésekor a jósolási hiba nagy lesz. Geofonunk kimenetén tehát megjelenik a hullám lefutásának megfelelő feszültség. E feszültséget a beütés után számítva, néhány msec elteltével már ismét tudjuk jósolni, feltéve, hogy valamilyen közelítéssel ismerjük a hullám alakját.

Ahhoz azonban, hogy az előbb leírt mechanizmus érvényesülhessen, teljesülniük kell az alábbi követelményeknek:

A hullámnak hirtelen kell elkezdődni (matematikai kifejezéssel: szükséges, hogy a jel minimumfázisú legyen), máskülönben a beütéskor sem lesz kiugró a jósolási hiba (4. ábra). A másik követelmény: nem szabad, hogy a reflexiók beérkezési ideje között valamilyen szisztéma érvényesüljön (mint pl. a többszörös reflexióknál), ekkor ugyanis az új információt hordozó hullám is jósolható. (A feltétel matematikai megfogalmazása: a reflexivitás függvénynek korrelálatlannak, fehér spektrumúnak kell lenni.)

Az esetleges problémát tehát nem az okozza, hogy a jósoló algoritmus rosszul működik. Éppen ellenkezőleg, a dekonvolúció kimenete akkor lesz gyenge minőségű, ha a hullám kedvezőtlen alakja vagy a reflexivitás függvény korreláltsága miatt pontosabban tudunk jósolni, mint kellene. Ilyenkor a hasznos információ egy része elvész. E hatások ellen a jósolási távolság növelésével, illetve a jósoló operátor hosszának csökkentésével védekezhetünk.



4. ábra. a) Minimumfázisú wavelet b) Kevert fázisú wavelet
 Рус. 4. а) Сигнал с минимальной фазой, б) Сигнал со смешанной фазой

Fig. 4. a) Minimum phase wavelet b) Mixed phase wavelet

Befejezésül tömören összefoglaljuk a *jóslási hibát* számító dekonvolúciós módszerekkel kapcsolatos tudnivalókat.

1. A jóslás feladata matematikailag teljesen megoldott, mindig meg tudjuk adni az optimális jóslást. A jóslási hiba ezért mindig számítható.

2. A jóslási hibák sorozata közelítést ad a reflexivitás függvényre, ha teljesül az alábbi két feltétel:

- a) a jelalak minimumfázisú
- b) a reflexivitás függvény korrelálatlan

3. Ha a fenti két feltétel nem teljesül, a hasznos információ egy része elvész

A dolgozathoz mellékelt dekonvolvált szelvények a GKV fejlesztési osztályán kidolgozott autoadaptív dekonvolúcióval készültek. Az új algoritmus fő eltérése a hagyományos dekonvolúciós algoritmusoktól, hogy a jósló operátor mintáról mintára változhat. Mivel a szűrő időben folyamatosan változik, lehetővé válik a jel alakváltozásainak követése a szeizmogramm mentén. A jóslás és a jósló operátor javítása rekurzív úton történik. Az optimális rekurzív szűrések elméletét *R. E. Kalman* dolgozta ki a 60-as évek elején, ezért az ilyen szűrést szokás *Kalman-féle szűrésnek* is nevezni. Megjegyezzük, hogy a gyakorlatban általában a *Kalman-egyenletek* egyszerűsített változatait használjuk a fennálló számítás-technikai nehézségek miatt.

A következőkben levezetjük a rekurzív szűrés egyik legegyszerűbb változatát. Jelölje a jóslási hibák négyzetének összegét $t-1$ időpontig $E(t-1)$, és tegyük fel, hogy a rendelkezésünkre álló f operátor minimalizálja $E(t-1)$ -et.

$$E(t-1) = \sum_{\tau=-\infty}^{t-1} \left(x_{\tau} - \sum_i f_i x_{\tau-i-p} \right)^2$$

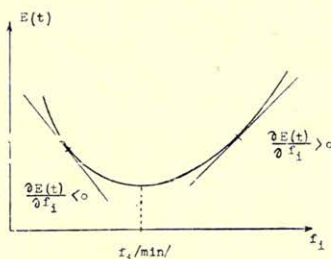
$$= \sum_{\tau} e_{\tau}^2 = \text{minimum,}$$

ahol e_{τ} jelöli a τ időponthoz tartozó jóslási hibát. A szélsőérték fennállásának szükséges feltétele miatt:

$$\frac{\partial E(t-1)}{\partial f_i} = 0, \quad i = 0, 1, \dots, n.$$

Ha az előző összegben a t időhöz tartozó e_t hibát is figyelembe vesszük, feltehető, hogy az f operátor már nem optimális, ezért $\partial E(t)/\partial f_i \neq 0$. Tekintve, hogy $E(t)$ az f_i együttthatók pozitív négyzetes függvénye (ez azt jelenti, hogy az $E(t) \cdot f_i$

függvény grafikonja egy száraival felfelé mutató parabola, amely sehol nem kerül az abszcissa alá), $\partial E(t)/\partial f_i > 0$ esetén f_i -t csökkenteni kell, $\partial E(t)/\partial f_i < 0$ esetén f_i -t növelni kell, hogy az optimumot újra elérjük, vagy legalább megközelítsük (5. ábra).



DEO 80/26 -

5. ábra. Puc. 5. Fig. 5.

Mivel

$$\frac{\partial E(t)}{\partial f_i} = \frac{\partial E(t-1)}{\partial f_i} + \frac{\partial e_t^2}{\partial f_i},$$

és a szűrő optimalitására vonatkozó feltevésünk szerint az első tag nulla:

$$\frac{\partial E(t)}{\partial f_i} = \frac{\partial e_t^2}{\partial f_i} = -2e_t x_{t-i-p}$$

A fenti okoskodás alapján a szűrőegytűthetők módosítására a következő lehetőség kínálkozik:

$$f_i \leftarrow f_i + 2ke_t x_{t-i-p},$$

ahol k valamilyen pozitív állandó. Behozonyítható, hogy k megfelelő választása esetén az algoritmus stabil, ezenkívül időben változatlan jelalak esetén a szűrő a Wiener-egyenletből kapható szűrőhöz közelít. A szűrés megkezdésekor természetesen f -nek valamilyen kezdőértéket kell adni. Legegyszerűbben akkor járunk el, ha $f = 0$ -át veszünk. Látható, hogy a szűrőegytűthetők módosításakor felhasználjuk a szűrés kimenetét képező e_t jóslási hibát is. A szűrő javításában alkalmazott rekurzió tehát olyan negatív visszacsatolásnak felel meg, amely a jóslási hiba elnyomására irányul.

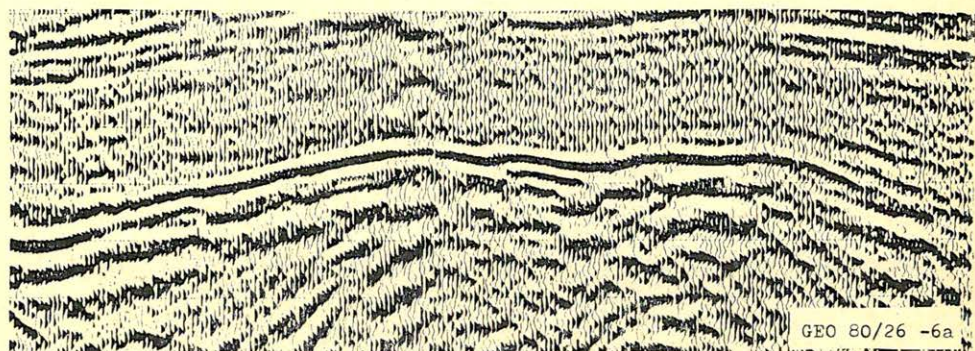
IV.

Vállalatunk fejlesztési osztályán kutatások folynak a szeizmikus mérési eredmények geológiai-litológiai értelmezésével kapcsolatban. E kutatások keretében a Zsana-Észak kutatási terület szeizmikus anyagának másodszori, kísérleti feldolgozása során megpróbálkoztunk az eredmények litológiai értelmezésével is.

Jelenlegi tapasztalataink szerint a dekonvolvált szelvényeken fellépő amplitúdó és fázisbeli változások tanulmányozása kedvező esetben módot ad a szénhidrogén tároló határainak megállapítására, illetve egyes esetekben a szénhidrogén tároló indikálására. Az elérhető eredményeket a Zsana - É - 2 mélyfúráson

áthaladó, egymást keresztező $\text{Öt}-2$ és $\text{Öt}-30$ szelvényeken mutatjuk be. A szelvények dekonvolvált változatai az osztályunkon kidolgozott egy- és két-csatornás autoadaptív dekonvolúcióval készültek. (6.a, 6.b, 6.c, 6.d ábrák)

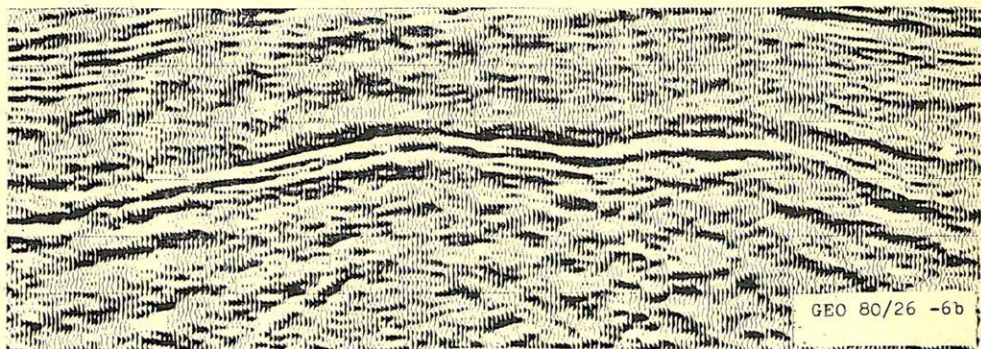
Az alsó-pannon miocén határ az összecszelvényeken erős, jól korrelálódó negatív fázissal jelentkezik 1500 és 1600 msec között. Ez a szint 20–30 msec-al mélyebbre esik a fúrési adatok alapján számított kétszeres futási időknél. A dekonvolvált szelvényeken az előbbi szint felett megjelenik egy pozitív fázisú hullám, melynek amplitúdója a gáztest felett feltűnően nagy. Az e szinthez tartozó futási idők jól egyeznek a fúrési adatokból számított időkkal. Különösen markánsan jelentkezik a gáztest vastagabb részének határa (az $\text{Öt}-2$ szelvényen baloldalon, az $\text{Öt}-30$ szelvényen jobboldalon).



6. a) ábra. $\text{Öt}-2$ stacking szelvény

Рис. 6. а) Временной разрез ОГТ $\text{Öт}-2$

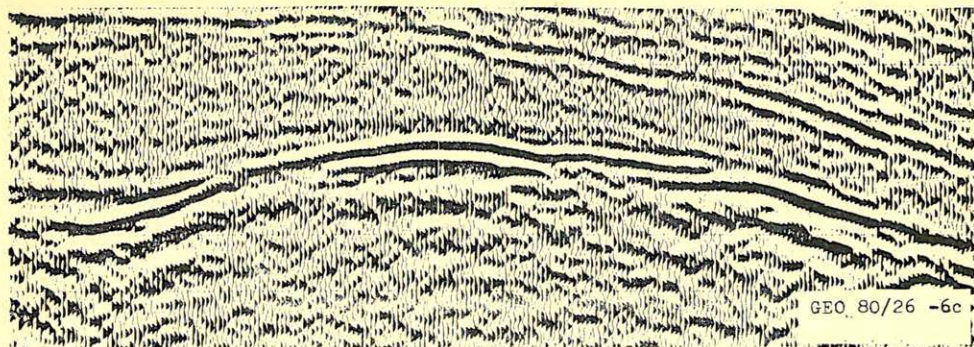
Fig. 6. а) $\text{Öт}-2$ stacking section



6. b) ábra. $\text{Öт}-2$ dekonvolvált szelvény

Рис. 6. б) Разрез $\text{Öт}-2$ после деконволюции

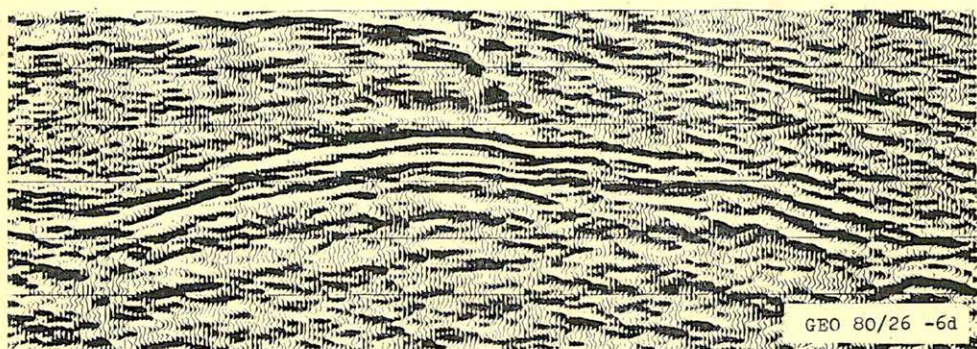
Fig. 6. б) $\text{Öт}-2$ deconvolved section



6. c) ábra. Öt – 30 stacking szelvény

Рис. 6. c) Временной разрез ОГТ Öт – 30

Fig. 6. c) Öt – 30 stacking section



6. d) ábra. Öt – 30 dekonvolált szelvény

Рис. 6. d) Разрез Öт – 30 после деконволюции

Fig. 6. d) Öt – 30 deconvolved section

1. A szeizmikus csatorna modelljei

A szeizmikus csatornák dekonvolúciójával foglalkozó elméleti munkákban általános gyakorlat a csatornák ún. konvolúciós modelljének alkalmazása. Mivel e dolgozatban a szokásostól eltérő utat követve a szeizmikus csatorna autoregresszív modelljéből indulunk ki, célszerűnek láttuk külön pontban foglalkozni az általunk használt modell egyes tulajdonságaival.

Jelölje a szeizmikus csatorna adatait y_t , t a diszkrét idő paraméter ($t = 1, 2, \dots$). A csatorna autoregresszív modellje:

$$y_t = \sum_{i=1}^n a_i y_{t-i} + v_t, \quad (1.1)$$

ahol a_i ($i = 1, 2, \dots, n$) az i -edik autoregressziós együttható, $\{v_i\}$ pedig független fehér zaj:

$$E\{v_i\} = 0, \quad E\{v_i v_k\} = \delta_{ik} R. \quad (1.2)$$

A prediktív dekonvolúciós módszerekben olyan f_i együtthatókból álló jósló operátort határozunk meg, amely minimalizálja a jóslási hiba átlagos energiáját:

$$y_t = \sum_{i=1}^n f_i y_{t-i} + e_t. \quad (1.3)$$

Az (1.3) egyenlet jobboldalának első tagja jelenti az y_t adat jóslt értékét (jósolható komponens), e_t pedig a jóslási hibát¹⁾ (jósolhatatlan komponens). Mint látni fogjuk, a számunkra értékes információt a modell jósolhatatlan komponense hordozza. Az (1.1) és (1.3) egyenletek hasonlósága alapján világos, hogy az elvileg legjobb jóslás az (a_1, a_2, \dots, a_n) operátorral valósítható meg, és a gyakorlatban előállítható f_i szűrőegyütthatók az a_i autoregressziós együtthatók becsléseinek, az e_t jóslási hiba pedig a v_t zaj becslésének tekinthetők.

Hasonlítsuk össze a csatorna (1.1) autoregressziós modelljét a szokásos konvolúciós modellel! Jelölje a gerjesztő jelalakot, azaz a waveletet h_t ($t = 0, 1, 2, \dots$), a reflexivitás függvényt pedig v_t . Ekkor a csatorna konvolúciós modellje:

$$y_t = \sum_{i=0}^{\infty} h_i v_{t-1}. \quad (1.4)$$

Az (1.4) egyenlet z -transzformáltját véve:

$$Y(Z) = H(Z) V(Z). \quad (1.5)$$

Képezzük az (1.1) egyenlet z -transzformáltját:

$$Y(Z) = zA(Z) Y(Z) + V(Z). \quad (1.6)$$

Feltéve, hogy az $1 - zA(Z)$ polinom gyökei a komplex számsík zárt egységkörén kívül fekszenek, írhatjuk:

$$Y(Z) = [1 - zA(Z)]^{-1} V(Z). \quad (1.7)$$

Az (1.5) és (1.7) egyenletek összehasonlítása alapján a következőket mondhatjuk:

A konvolúciós modellben szereplő $\{h_t\}$ jelalak illetve a $\{v_t\}$ reflexivitás függvény megfelel az autoregressziós modellben fellépő $(1, -a_1, -a_2, \dots, -a_n)$ sorozat konvolúciós inverzének illetve a modell jósolhatatlan komponensének. Az (1.6) után tett feltevés szerint az (1.4) konvolúciós modell akkor írható le autoregresszív folyamattal is, ha a jelalak minimumfázisú, vagyis ha a

$$H(Z) = \sum_{i=0}^{\infty} h_i z^i \quad (1.8)$$

polinomnak a zárt egységkörön sem zérushelye, sem pólusa nincs. Az elmondotakból következik, hogy az autoregresszív modell használata a konvolúciós modellhez képest bizonyos korlátozást jelent. A prediktív dekonvolúció feladatának természetéből adódóan azonban a jelalak minimumfázisúságát kénytelenek vagyunk kikötni²⁾, így az említett korlátozás nem lényeges.

¹ Kimutatható, hogy az optimális jóslás e_t hibája szintén rendelkezik az (1.2)-nek megfelelő tulajdonságokkal.

² Az (1.3) egyenletből látható, hogy a jóslási hiba számításakor a szeizmikus csatornára „ráhúzzuk” az autoregresszív modellt, azaz úgy kezeljük, mintha (y_t) kielégítené (1.1)-et.

Fontos megértenünk, hogy az $\{y_t\}$ csatorna stabilitásának feltétele, hogy (1.1)-ben az $(I, -a_1, \dots, -a_n)$ sorozat minimumfázisú legyen. Vizsgáljuk e célból a

$$b_0 y_t + b_1 y_{t-1} + \dots + b_n y_{t-n} = g_t \quad b_0 \neq 0 \quad (1.9)$$

állandó együtthatós n -edrendű differenciaegyenlet megoldásait! Látható, hogy az (1.9) differenciaegyenletnek bármely y_1, y_2, \dots, y_n kezdeti feltétel mellett létezik egyértelmű megoldása:

$$y_t = (g_t - b_1 y_{t-1} - b_2 y_{t-2} - \dots - b_n y_{t-n}) / b_0 \quad (1.10)$$

$t > n$

Itt is érvényes az a differenciálegyenletek elméletében ismert tétel, mely szerint az inhomogén egyenlet általános megoldása a homogén egyenlet általános megoldásának, valamint az inhomogén egyenlet egy tetszőleges partikuláris megoldásának összegeként kapható meg. Állítsuk elő az (1.9) egyenletnek megfelelő

$$\sum_{i=0}^n b_i y_{t-i} = 0 \quad (1.11)$$

homogén egyenlet általános megoldását! Keressük a megoldást

$$y_t = z^{-t} \quad (1.12)$$

alakban! (1.12)-t (1.11)-be helyettesítve:

$$z^{-t} \sum_{i=0}^n b_i z^i = 0 \quad (1.13)$$

A keresett általános megoldás:

$$C_1 z_1^{-t} + C_2 z_2^{-t} + \dots + C_n z_n^{-t}, \quad (1.14)$$

ahol z_1, z_2, \dots, z_n a $B(Z) = 0$ egyenlet gyökei (az egyszerűség kedvéért feltesszük, hogy minden gyök egyszeres), a C_1, C_2, \dots, C_n állandók pedig a kezdeti feltételekből határozhatók meg. Látható, hogy az (1.11) homogén egyenlet akkor és csak akkor stabil tetszőleges y_1, y_2, \dots, y_n kezdeti érték mellett, ha

$$|z_i| > 1, \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

azaz, ha a $\{b_t\}$ sorozat minimumfázisú. Ekkor a homogén egyenlet megoldásaira teljesül a

$$\sum_{t=1}^{\infty} y_t^2 < K_1 \quad \text{és} \quad \sum_{t=1}^{\infty} |y_t| < K_2$$

egyenlőtlenség, és az inhomogén egyenlet megoldásában a kezdeti értékek megváltozásának hatása $t \rightarrow \infty$ esetén nullához tart. Ezért az (1.1) és (1.9) egyenletek együtthatóinak összevetéséből láthatjuk, hogy stabil folyamat esetén az $(I, -a_1, -a_2, \dots, -a_n)$ sorozat minimumfázisú.

Az autoregressziós folyamat modellje jól illeszkedik a jóslási hiba dekonvolúció feladatához, a modell fő előnye azonban az, hogy könnyen általánosítható nemstacionárius folyamatokra is. Az egyik legegyszerűbb lehetőség:

$$a_t^i = a_t^{i-1} + w_t^i y_t = \sum_{i=1}^n a_t^i y_{t-i} + v_t, \quad (1.15)$$

ahol a_i^t az i -edik autoregressziós együttható értéke a t időpontban. Az (1.15) által definiált modellben az autoregressziós együtthatók³⁾ függenek az időtől. A 2. fejezetben a w_i^t mennyiséget független fehér zajnak fogjuk tekinteni. A szeizmikus csatorna e dolgozatban használt modelljei közül (1.15) a legáltalánosabb.

2. Rekurzív legkisebb négyzetes becslés

Ebben a fejezetben a szeizmikus csatorna autoregresszív modelljéből kiindulva levezetünk egy algoritmust, amely segítségével rekurzív úton becsülhetjük az autoregressziós együtthatókat. E becslések sorozata jelenti az időben változó jósló szűrőt. Az algoritmus a dekonvolúció kimenetét képező jóslási hibát is szolgáltatója. Egy egyszerű numerikus példa vizsgálatával illusztráljuk a rekurzív konvergencia tulajdonságait és a becslés pontosságát.

A rekurzív algoritmus

Legyen $\{y_k\}_{k=1}^{\infty}$ egy m dimenziós stacionárius autoregresszív folyamat 4)

$$y_k = \sum_{i=1}^n \alpha_i y_{k-i} + v_k, \quad (2.1)$$

ahol α_i az i -edik autoregressziós együttható, v_k független zajfolyamat. A zaj statisztikus jellemzői:

$$E\{v_k\} = 0, \quad E\{v_k v_l^T\} = \delta_{lk} R. \quad (2.2)$$

Vezessük be a következő jelöléseket:

$$M_k = (y_{k-1}, y_{k-2}, \dots, y_{k-n}), \\ \bar{\alpha}^T = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n).$$

Ezek felhasználásával:

$$y_k = M_k \bar{\alpha} + v_k. \quad (2.3)$$

Megjegyzendő, hogy M_k sormátrixot jelöl, ezt a későbbiekben külön nem jelöljük.

A feladat az α_i együtthatók becslése, jelöljük e becsléseket a_i -vel, és az előzőekhez hasonlóan alkalmazzuk az $\bar{a}^T = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ jelölést. Az y_1, y_2, \dots, y_k mérési adatokon alapuló becslést a következő veszteségfüggvény minimalizálásával állítjuk elő:

$$J_k(\bar{a}) = (\bar{a} - \bar{a}_0)^T P_0^{-1} (\bar{a} - \bar{a}_0) + \sum_{i=1}^k (y_i - M_i \bar{a})^T R^{-1} (y_i - M_i \bar{a}), \quad (2.4)$$

³ A szakirodalomban csak az (1.1) egyenlettel definiált sorozatot nevezik autoregresszív folyamatnak. Az a_i^t együtthatók a Kalman-szűrő elméletében szereplő állapotváltozóknak felelnek meg.

⁴ A most következő levezetésben alkalmazott mátrixos írásmód lehetővé teszi, hogy $\{y_k\}$ -t többdimenziós folyamatnak értelmezzük, a képletek áttekinthetősége érdekében azonban az m dimenziószámot nem jelöljük. Így pl. $m = 1$ esetén R a zaj szórásnégyzete – skalár mennyiség, $m > 1$ esetén a R zaj $(m \times m)$ -es kovariancia mátrixa.

ahol a_0 az \bar{a} vektor a priori becslése, P_0 az a priori becslés kovariancia mátrixa (pozitív definit). A $J_k(\bar{a})$ függvény minimumát biztosító \bar{a} vektort jelöljük \bar{a}_k -val:

$$\bar{a}_k = \arg\{\min J_k(\bar{a})\}.$$

Képezzük a $\partial J_k / \partial a_i$ parciális deriváltakat, és tegyük ezeket egyenlővé nullával:

$$P_0^{-1}(\bar{a}_k - \bar{a}_0) - \sum_{i=1}^k M_i^T R^{-1}(y_i - M_i \bar{a}_k) = 0. \quad (2.5)$$

Vezessük be a következő jelöléseket:

$$S_k = \sum_{i=1}^k M_i^T R^{-1} M_i, \quad (2.6)$$

(S_k az a priori információ nélküli információs mátrixot jelenti) valamint

$$H_k = \sum_{i=1}^k M_i^T R^{-1} y_i. \quad (2.7)$$

E jelölések felhasználásával (2.5) megoldása az alábbi egyszerű alakba írható:

$$\bar{a}_k = [P_0^{-1} + S_k]^{-1} [H_k + P_0^{-1} \bar{a}_0]. \quad (2.8)$$

(A $P_0^{-1} + S_k$ mennyiség az információs mátrix.) Írjuk fel a (2.6), (2.7), (2.8) összefüggéseket a $k+1$ időre:

$$S_{k+1} = S_k + M_{k+1}^T R^{-1} M_{k+1}, \quad (2.9)$$

$$H_{k+1} = H_k + M_{k+1}^T R^{-1} y_{k+1}, \quad (2.10)$$

bevezetve a

$$P_k^{-1} = P_0^{-1} + S_k \quad (2.11)$$

jelölést (P_k az \bar{a}_k becslés kovariancia mátrixa):

$$\bar{a}_{k+1} = [P_k^{-1} + M_{k+1}^T R^{-1} M_{k+1}]^{-1} [P_k^{-1} \bar{a}_k + M_{k+1}^T R^{-1} y_{k+1}], \quad (2.12)$$

továbbá

$$P_{k+1}^{-1} = P_k^{-1} + M_{k+1}^T R^{-1} M_{k+1}. \quad (2.13)$$

A (2.12) és (2.13) egyenletek rekurzív összefüggést adnak meg az \bar{a}_k becslésre illetve a P_k mátrixra. Megjegyezzük, hogy bár többször utaltunk rá, ebből a levezetésből nem tisztázódik a P_k mátrix jelentése. A későbbiekben megmutatjuk (lásd a függelék B pontját), hogy P_k valóban az \bar{a}_k becslés kovarianciája. Hogy egyenleteinket a megszokott, egyben a gyakorlati alkalmazás szempontjából kedvezőbb alakra hozzuk, vezessük be az ún. *Kalman-gain* vektort:

$$K_{k+1} = P_k M_{k+1}^T [M_{k+1} P_k M_{k+1}^T + R]^{-1}, \quad (2.14)$$

és alkalmazzuk a (2.12) és (2.13) egyenletekben a C függelék 6. és 5. képletét! Ezekkel:

$$\bar{a}_{k+1} = \bar{a}_k + K_{k+1}(y_{k+1} - M_{k+1} \bar{a}_k), \quad (2.15)$$

$$P_{k+1} = P_k - K_{k+1} M_{k+1} P_k. \quad (2.16)$$

A (2.14), (2.15), (2.16) egyenletek előnye (2.12) és (2.13)-mal szemben, hogy numerikus kizámításuk nem igényel mátrix inverziót (feltéve e, hogy $\{y_k\}$ egydi-

menziós folyamat). A (2.14), (2.15), (2.16) egyenletek formailag azonosak a diszk-rét Kalman szűrő egyenleteivel. Vegyük észre, hogy a (2.15)-ben szereplő $y_{k+1} - M_{k+1} \cdot \bar{a}_k$ mennyiség nem más, mint a jóslási hiba, és amennyiben a K_{k+1} vektorban szereplő P_k és $M_{k+1} P_k M_{k+1}^T + R$ mátrixokat skalár állandókkal helyettesítjük, (2.15) megegyezik a bevezetésben leírt adaptív algoritmussal.

Az algoritmus konvergencia tulajdonságairól a következőket mondhatjuk: Feltéve, hogy az $\{y_t\}$ folyamat ergodikusság, és így $k \rightarrow \infty$ esetén S_k/k a folyamat pozitív definit autokorrelációs mátrixához, H_k/k a folyamat autokorrelációs vektorához tart I valószínűséggel, (2.8)-ból látható, hogy a becslések sorozata konvergens, és a határérték kielégíti a *Yule - Walker egyenleteket*.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \bar{a}_k = [E\{M_t^T M_t\}]^{-1} E\{y_t M_t^T\}, \quad (2.17)$$

ahol a stacionaritás feltételezése miatt a jobboldalon szereplő várható értékek az időtől függetlenek. Ezért az \bar{a}_k becslések sorozata konvergál az autoregressziós együtthatók vektorához, azaz:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \bar{a}_k = \bar{\alpha}. \quad (2.18)$$

Eddigi eredményeink alapján *stacionárius* folyamatok real time szűrését tudjuk megvalósítani, egyenleteink azonban könnyen módosíthatók általánosabb esetre is. Tekintsük a következő folyamatot:

$$\bar{\alpha}_t = \bar{\alpha}_{t-1} + \bar{w}_t, \quad (2.19)$$

$$y_t = \sum_{i=1}^n y_{t-i} \alpha_i + v_t,$$

ahol \bar{w}_t egy valószínűségi vektorváltozó az alábbi statisztikai jellemzőkkel:

$$\begin{aligned} E\{\bar{w}_t\} &= \bar{o}, & E\{\bar{w}_i \bar{w}_k^T\} &= \delta_{ik} Q \\ E\{\bar{w}_t \bar{\alpha}_{t-i}^T\} &= 0, & E\{\bar{w}_t y_{t-i}\} &= \bar{o}. \end{aligned} \quad (2.20)$$

($i = 1, 2, \dots$)

A (2.19) modell csak abban különbözik a korábbi modellünktől, hogy az $\bar{\alpha}$ vektor az idő (sztochasztikus) függvénye. Az időben változó autoregressziós együtthatók becslése a korábbi módon végezhető, egyedül a becslések kovarianciájára vonatkozó (2.16) egyenletet kell módosítanunk. Jelölje $\bar{\alpha}'_{t+1}$ az $\bar{\alpha}_{t+1}$ vektor becslését az y_1, y_2, \dots, y_t adatok alapján, és jelölje P'_{t+1} e becslés kovariancia mátrixát. Ekkor nyilván

$$\bar{\alpha}'_{t+1} = \bar{\alpha}_t, \quad (2.21)$$

és mivel független valószínűségi változók szórásnégyzete összeadódik

$$P'_{t+1} = P_t + Q. \quad (2.22)$$

Ezek figyelembevételével a (2.14), (2.15), (2.16) egyenletek az alábbiak szerint módosulnak:

$$\bar{a}_{t+1} = \bar{a}'_{t+1} + K_{t+1}(y_{t+1} - M_{t+1} \bar{a}'_{t+1}), \quad (2.23)$$

$$P_{t+1} = P'_{t+1} - K_{t+1} M_{t+1} P'_{t+1}, \quad (2.24)$$

$$K_{t+1} = P'_{t+1} M_{t+1}^T [M_{t+1} P'_{t+1} M_{t+1}^T + R]^{-1}. \quad (2.25)$$

Bár a (2.21)–(2.25) egyenletekkel megadott algoritmus egydimenziós folyamat esetén nem tartalmaz mátrix inverziót, az $M_{t+1}P_tM_{t+1}^T$ kvadratikus alak és a többi mátrix szorzás kiszámítása igen sok műveletet igényel. Az algoritmust úgy egyszerűsíthetjük, hogy a P_t és Q mátrixokban csak a főátló elemeit vesszük figyelembe. Ha a Q mátrix az alábbi alakú:

$$Q = \sigma_w^2 I, \quad (2.26)$$

ahol I az egységmátrix, akkor a $\sigma_w^2 = 0$ választással stacionárius, $\sigma_w^2 > 0$ választással pedig nemstacionárius folyamat szűrését végezhetjük. A σ_w^2 paraméter nagysága meghatározza az algoritmus adaptációs képességét, azaz a jósló szűrő időbeli változásának gyorsaságát.

Numerikus példa

Egy egyszerű numerikus példa segítségével szemléltetni fogjuk az előző részben ismertetett algoritmus működését, egyben kísérletileg vizsgáljuk a rekurzív becslés pontosságát. Az elvégzendő számításokat egy rövid FORTRAN nyelvű programrészlet illusztrálja.

Legyen $\{y_t\}$ egy elsőrendű autoregresszív folyamat:

$$y_t = \alpha y_{t-1} + v_t, \quad (2.27)$$

ahol α az autoregressziós együttható ($|\alpha| < 1$), v_t normális eloszlású fehér zaj. A v_t zaj statisztikus jellemzői:

$$E\{v_t\} = 0, \quad E\{v_t v_k\} = \delta_{tk}. \quad (2.28)$$

Vizsgáljuk meg az autoregressziós együttható becsléseit! Az ismert *Cramer–Rao formula* alapján α minden $\hat{\alpha}$ torzítatlan ($E\{\hat{\alpha}\} = \alpha$) becslésének szórásnégyzetére felírhatjuk a következő egyenlőtlenséget:

$$D^2\{\hat{\alpha}\} \geq [-NE\{\partial^2 \ln[\text{prd}(y|\alpha)]/\partial \alpha^2\}]^{-1}, \quad (2.29)$$

ahol a $\text{prd}(y|\alpha)$ feltételes valószínűség sűrűség a likelihood függvény, N a független mérések száma. Határozzuk meg a $\text{prd}(y|\alpha)$ likelihood függvényt. A folyamatot definiáló (2.27) egyenletből:

$$v_t = y_t - \alpha y_{t-1},$$

ezenkívül

$$\text{prd}(v_t) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \exp\{-v_t^2/2\}. \quad (2.30)$$

(2.30) felhasználásával:

$$\text{prd}(y|\alpha) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \exp\{-(y_t - \alpha y_{t-1})^2/2\}. \quad (2.31)$$

(2.31) logaritmusát véve, elvégezve a deriválásokat, majd az eredményt (2.29)-be helyettesítve kapjuk:

$$D^2\{\hat{\alpha}\} \geq (1 - \alpha^2)/N. \quad (2.32)$$

A (2.32) képlet elvi határt ad meg a keresett autoregressziós együttható torzítatlan becsléseinek szórásnégyzetére. (2.32) jelentése szavakban összefoglalva: Tegyük fel, hogy a (2.27) által megadott autoregresszív folyamat egy realizációjából ismerünk N egymást követő mintát, és e mintákból becsülni kívánjuk

az α paramétert. (2.32) szerint akármilyen torzítatlan becslést választunk (pl. a maximum likelihood becslést), a becslés pontossága nem lépheti túl a (2.32)-vel adott határt.

A továbbiakban megvizsgáljuk az előző részben levezetett rekurzív algoritmussal előállítható becslés pontosságát, illetve hogy a becslés szórása hogyan viszonyul a (2.32) elvi határhoz. A vizsgálat céljából az α autoregressziós együttható néhány értékére elkészítettük a (2.27) folyamat 100–100 független realizációját. Az egyes realizációk első 50, 100, 200, 400 mintáját felhasználva ($N = 50, 100, 200, 400$) becslültük az α együtthatót, majd a becslésekből tapasztalati várható értéket és szórásnégyzetet számítottunk az alábbi képletek alapján:

$$E\{\hat{\alpha}\} = \sum_{i=1}^{100} \hat{\alpha}_i / 100, \quad (2.33)$$

$$D^2\{\hat{\alpha}\} = \sum_{i=1}^{100} [E\{\hat{\alpha}\} - \hat{\alpha}_i]^2 / 100. \quad (2.34)$$

A becslést végző program egy részlete a következő volt:

```

ALFA = 0.
P = 1.
DO 10 I = 2, N
GAIN = P*Y(I-1)/(Y(I-1)*P*Y(I-1)+1.)
ALFA = ALFA + GAIN*(Y(I) - ALFA*Y(I-1))
10 P = P - GAIN*Y(I-1)*P

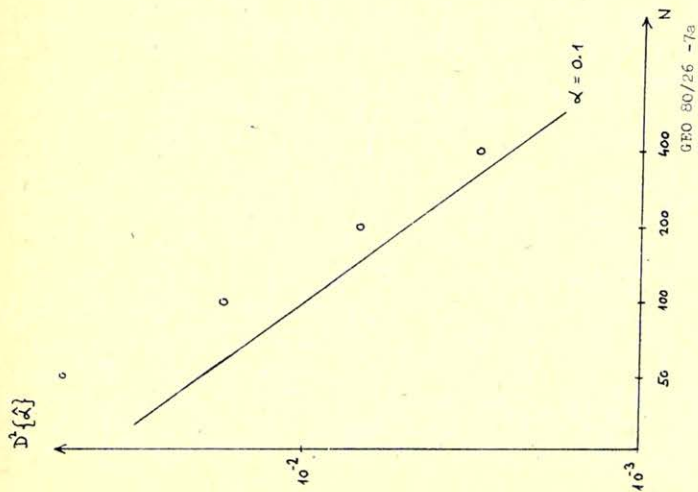
```

Az eredményeket az 1. táblázat és a 7. ábra szemlélteti.

1. táblázat — таблица 1. — Table 1.

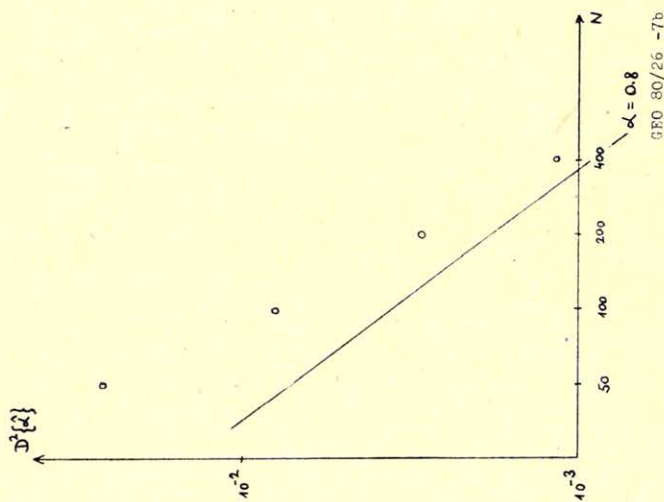
α valódi értéke	A becslés átlagértéke N adat felhasználásával			
	N = 50	N = 100	N = 200	N = 400
$\alpha = 0,1$	0,0986	0,107	0,108	0,103
$\alpha = -0,5$	-0,459	-0,488	-0,497	-0,499
$\alpha = 0,8$	0,742	0,779	0,792	0,797

Az ábrákon a becslések szórásnégyzetét tüntettük fel a minták számának függvényében, mindkét irányban logaritmikus léptéket alkalmazva. A folytonos vonallal húzott egyenes jelzi a (2.32)-vel adott elvi határt, körrel jelöltük a szórásnégyzetek tapasztalati értékeit.



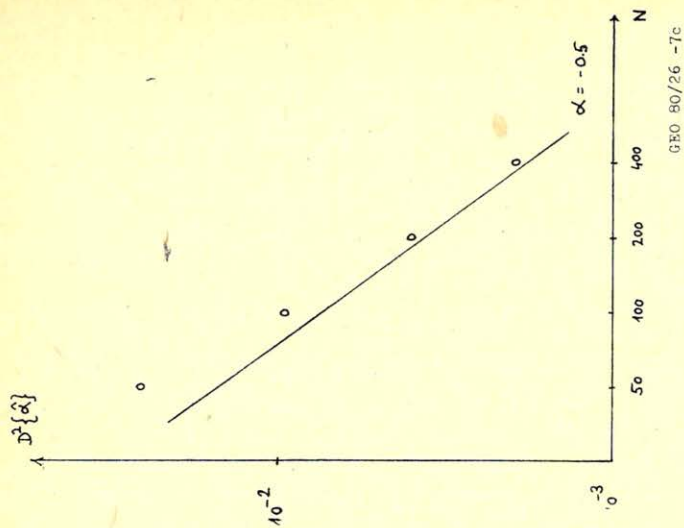
7. a) ábra.
Puc. 7. a)
Fig. 7. a)

GEO 80/26 - 7a



7. b) ábra.
Puc. 7. b)
Fig. 7. b)

GEO 80/26 - 7b



7. c) ábra.
Puc. 7. c)
Fig. 7. c)

GEO 80/26 - 7c

Ebben a pontban a bevezetés III. szakaszában ismertetett szuboptimális adaptív jósló algoritmus tulajdonságaival kívánunk foglalkozni. Ez az algoritmus a 2. fejezetben levezetett rekurzív legkisebb négyzetes szűréshez képest kevésbé pontos jóslást ad. Figyelembe véve azonban a szuboptimális algoritmus egyszerűségét és gyorsaságát, valamint azt a bevezetésben már említett körülményt, hogy a dekonvolvált szelvény minőségét döntően nem a jóslás pontossága illetve pontatlansága befolyásolja megállapítjuk, hogy a szuboptimális algoritmus a gyakorlati alkalmazás számára igen előnyös.

Legyen $\{x_t\}$, $\{y_t\}$ diszkrét idő paraméterű, nulla várható értékű, véges második momentumú véletlen sorozat. Keressük az $\{y_t\}$ folyamat legkisebb négyzetes, lineáris becslését az $\{x_t\}$ folyamat realizációi alapján. ($\{x_t\}$ a bemenet, $\{y_t\}$ a kívánt kimenet.) y_t becslését jelölje \hat{y}_t és legyen a becslés a következő alakú:

$$\hat{y}_t = \sum_{i=0}^n f_i x_{t-i}. \quad (\text{A.1})$$

Bevezetve az

$$\bar{f}^T = (f_0, f_1, \dots, f_n), \quad (\text{A.2})$$

$$\bar{x}_t^T = (x_t, x_{t-1}, \dots, x_{t-n})$$

jelöléseket:

$$\hat{y}_t = \bar{f}^T \bar{x}_t. \quad (\text{A.3})$$

A szűrési hiba:

$$e_t = y_t - \hat{y}_t. \quad (\text{A.4})$$

Követve a bevezetés III. pontjának gondolatmenetét az optimumszűrő közelítéseit az alábbi egyenlet révén számíthatjuk:

$$\bar{f}_{t+1} = \bar{f}_t + 2k e_t \bar{x}_t. \quad (\text{A.5})$$

A bevezetésben tett – nagyrészt intuitív – megfontolásaink semmit sem mondanak a k állandó választásáról, továbbá az (A.5) által meghatározott algoritmus stabilitásáról és konvergencia tulajdonságairól. Ezekkel a kérdésekkel foglalkozunk a továbbiakban.

Tegyük fel, hogy az $\{x_t\}$ és $\{y_t\}$ folyamat stacionárius; ekkor az $E\{\bar{x}_t \bar{x}_t^T\}$ és $E\{y_t \bar{x}_t\}$ mennyiség független az időtől, továbbá legyen $\bar{x}_t \bar{x}_t^T$ és \bar{f}_t statisztikailag független. Az utóbbi feltétel például teljesül, ha az \bar{f} szűrő minden módosítását az $\{x_t\}$ és $\{y_t\}$ folyamatok különböző, egymástól statisztikailag független realizációjából számítjuk.

$$\begin{aligned} \bar{f}_{t+1} &= \bar{f}_t + 2k(y_t - \bar{f}_t^T \bar{x}_t) \bar{x}_t \\ \bar{f}_{t+1} &= (I - 2k \bar{x}_t \bar{x}_t^T) \bar{f}_t + 2k y_t \bar{x}_t. \end{aligned} \quad (\text{A.6})$$

(A.6) egyenletben várható értéket képezve, és kihasználva előző feltevéseinket:

$$E\{\bar{f}_{t+1}\} = [I - 2kE\{\bar{x} \bar{x}^T\}] E\{\bar{f}_t\} + 2kE\{y \bar{x}\}. \quad (\text{A.7})$$

Az (A.7) egyenlet rekurzív összefüggést ad meg a szűrő várható értékére. Feltevése, hogy a szűrő nulladik közelítése $\bar{f}_0 = E\{\bar{f}_0\}$, ismert determinisztikus vektor:

$$E\{\bar{f}_{t+1}\} = [I - 2kE\{\bar{x}\bar{x}^T\}]^{t+1}\bar{f}_0 + 2k \sum_{i=0}^t [I - 2kE\{\bar{x}\bar{x}^T\}]^i E\{y\bar{x}\}. \quad (\text{A.8})$$

Mivel $E\{\bar{x}\bar{x}^T\}$ valós szimmetrikus mátrix, előállítható

$$E\{\bar{x}\bar{x}^T\} = T^{-1}DT \quad (\text{A.9})$$

alakban, ahol a hasonlósági transzformáció T mátrixa ortogonális, azaz $T^T = T^{-1}$, D pedig diagonális mátrix. D főátlójában az $E\{\bar{x}\bar{x}^T\}$ mátrix sajátértékei állnak, és mivel feltehető, hogy $E\{\bar{x}\bar{x}^T\}$ pozitív definit, a sajátértékek pozitívak. Alkalmazzuk az (A.9) előállítását az (A.8) egyenletben! Mivel

$$[I - 2kT^{-1}DT] = T^{-1}[I - 2kD]T,$$

és

$$T^{-1}[I - 2kD]TT^{-1}[I - 2kD]TT^{-1} \dots = T^{-1}[I - 2kD] \dots [I - 2kD]T,$$

$$E\{\bar{f}_{t+1}\} = T^{-1}[I - 2kD]^{t+1}T\bar{f}_0 + 2kT^{-1} \sum_{i=0}^t [I - 2kD]^i TE\{y\bar{x}\}. \quad (\text{A.10})$$

Az $(I - 2kD)$ mátrix diagonális, így az $(I - 2kD)^{t+1}$ mátrix szintén diagonális. $(I - 2kD)^{t+1}$ főátlójában az $(I - 2k\lambda_i)^{t+1}$ elemek állnak, ahol λ_i az $E\{\bar{x}\bar{x}^T\}$ mátrix i -edik sajátértéke. Legyen λ_{\max} a maximális sajátérték, és válasszuk k -t úgy, hogy teljesüljön az $|I - 2k\lambda_i| < 1$ egyenlőtlenség minden $i = 0, 1, \dots, n$ -re. Nyilván

$$0 < k < 1/\lambda_{\max}. \quad (\text{A.11})$$

Ekkor

$$\lim_{t \rightarrow \infty} [I - 2kD]^{t+1} = 0, \quad (\text{A.12})$$

és

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^t [1 - 2k\lambda_j]^i = 1 + [1 - 2k\lambda_j] + [1 - 2k\lambda_j]^2 + \dots = 1/(2k\lambda_j). \quad (\text{A.13})$$

Felhasználva az (A.13) egyenletet:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^t [I - 2kD]^i = 1/(2k) D^{-1}. \quad (\text{A.14})$$

(A.12)-t és (A.14)-et helyettesítsük be (A.10)-be, majd képezzük a $t \rightarrow \infty$ határátmenetet:

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} E\{\bar{f}_{t+1}\} &= T^{-1} \left[\lim_{t \rightarrow \infty} [I - 2kD]^{t+1} \right] T\bar{f}_0 + 2kT^{-1} \left[\lim_{t \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^t [I - 2kD]^i \right] TE\{y\bar{x}\} = \\ &= T^{-1} D^{-1} TE\{y\bar{x}\}. \end{aligned} \quad (\text{A.15})$$

Az (A.15) egyenletből:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} E\{\bar{f}_t\} = [E\{\bar{x}\bar{x}^T\}]^{-1} E\{y\bar{x}\}. \quad (\text{A.16})$$

(A.16) szerint a szűrő közelítéseinek várható értéke konvergál a Wiener egyenletből kapható optimumszűrőhöz. Megjegyezzük, hogy bár a szűrő közelítéseinek várható értéke konvergens, maguk a közelítések általában semmilyen értelemben

sem alkotnak konvergens (sztochasztikus) sorozatot. Az \bar{f}_t sorozat például nem konvergálhat átlag négyzetes értelemben, mivel a gyakorlatilag érdekes esetekben $\|\bar{x}_t\| \cong c_1 > 0$ és $\|e_t\| \cong c_2 > 0$, így nem teljesül a Cauchy kritérium.

B. Az információs mátrix

Ebben a függelékben foglalkozunk a 2. fejezet levezetésében nyitva maradt kérdéssel, nevezetesen a P_k és S_k mátrixok jelentésével. Megmutatjuk, hogy P_k valóban az autoregressziós együtthatók kovariancia mátrixa.

Legyen a feladat az $\bar{\alpha}$ vektor $\bar{\alpha}$ becslésének előállítására az

$$y_t = M_t \bar{\alpha} + v_t \quad t = 1, \dots, k \quad (\text{B.1})$$

mérési adatok alapján, ahol M_t valamilyen ismert sormátrix (az idő függvénye), $\{v_t\}$ fehér, de nem feltétlenül Gauss eloszlású zaj,

$$E\{v_t\} = 0, \quad E\{v_t v_k\} = \delta_{tk} R. \quad (\text{B.2})$$

Lineáris, torzítatlan, minimális szórásnégyzetű becslést keresünk, azaz

$$\bar{\alpha} = \sum_{i=1}^k A_i y_i, \quad (\text{B.3})$$

$$E\{\bar{\alpha}\} = \bar{\alpha}, \quad (\text{B.4})$$

$$\text{tr } E\{(\bar{\alpha} - \bar{\alpha})(\bar{\alpha} - \bar{\alpha})^T\} = \min, \quad (\text{B.5})$$

ahol A_1, A_2, \dots, A_k konstans vektorok, tr a mátrix nyomát jelöli. Bebizonyítjuk a következőket:

A keresett $\bar{\alpha}$ becslés az

$$\bar{\alpha} = S_k^{-1} \sum_{i=1}^k M_i^T R^{-1} y_i \quad (\text{B.6})$$

alakban áll elő, ahol

$$S_k = \sum_{i=1}^k M_i^T R^{-1} M_i \quad (\text{B.7})$$

a feltevés szerint pozitív definit információs mátrix. Megmutatjuk továbbá, hogy az $\bar{\alpha}$ becslés P_k kovarianciája megegyezik az információs mátrix inverzével.

Legyen $\bar{\alpha}'$ egy tetszőleges lineáris, torzítatlan becslés, azaz

$$\bar{\alpha}' = \sum_{i=1}^k A_i y_i, \quad (\text{B.8})$$

$$E\{\bar{\alpha}'\} = E\left\{\sum_{i=1}^k A_i (M_i \bar{\alpha} + v_i)\right\} = \sum_{i=1}^k A_i M_i \bar{\alpha} = \bar{\alpha}. \quad (\text{B.9})$$

Ekkor a becslés kovarianciája:

$$\begin{aligned} P_k(\bar{\alpha}') &= E\{(\bar{\alpha}' - \bar{\alpha})(\bar{\alpha}' - \bar{\alpha})^T\} = E\left\{\left(\sum_{i=1}^k A_i v_i\right)\left(\sum_{i=1}^k A_i v_i\right)^T\right\} = \sum_{i=1}^k A_i R A_i^T = \\ &= \sum_{i=1}^k [S_k^{-1} L_i + (A_i - S_k^{-1} L_i)] R \cdot [S_k^{-1} L_i + (A_i - S_k^{-1} L_i)]^T, \end{aligned} \quad (\text{B.10})$$

ahol

$$L_i = M_i^T R^{-1}. \quad (\text{B.11})$$

Némi számolás után belátható az alábbi egyenlőség:

$$\sum_{i=1}^k (A_i - S_k^{-1} L_i) R L_i^T S_k^{-1} = \left[\sum_{i=1}^k A_i M_i - I \right] S_k^{-1} = 0. \quad (\text{B.12})$$

A második egyenlőség (B.9)-ből következik, mivel az \bar{a}' becslés torzítatlan, és így

$$E\{\bar{a}'\} - \bar{\alpha} = \left[\sum_{i=1}^k A_i M_i - I \right] \bar{\alpha} = 0 \quad (\text{B.13})$$

minden $\bar{\alpha}$ -ra. (B.10)-ből ezért adódik, hogy

$$P_k(\bar{a}') = \sum_{i=1}^k S_k^{-1} L_i R L_i^T S_k^{-1} + (A_i - S_k^{-1} L_i) R (A_i - S_k^{-1} L_i)^T. \quad (\text{B.14})$$

Mivel $R > 0$, a $P_k(\bar{a}')$ mátrix nyoma akkor minimális, ha $A_i = S_k^{-1} L_i$, azaz ha $\bar{a} = \bar{a}'$. ((B.14)-ből következik, hogy

$$P_k = S_k^{-1}. \quad (\text{B.15})$$

Levezetésünkben az $\bar{\alpha}$ vektor becslésére vonatkozóan semmilyen apriori információt nem vettünk figyelembe. Láthatjuk, hogy $P_0^{-1} = 0$ esetén a (2.11) és (B.15) egyenletek azonosak.

C. A 2. pontban felhasznált mátrix egyenletek

Tekintsük a $P(n \times n)$, $R(m \times m)$, $M(m \times n)$ mátrixokat, és tegyük fel, hogy P és R pozitív definit. Ekkor közvetlen ellenőrzéssel beláthatjuk az alábbi egyenlőséget:

$$(I + P M^T R^{-1} M)^{-1} = I - P M^T (M P M^T + R)^{-1} M. \quad (\text{C.1})$$

P -vel jobbról szorozva:

$$(I + P M^T R^{-1} M)^{-1} P = P - P M^T (M P M^T + R)^{-1} M P. \quad (\text{C.2})$$

Jobbról szorozva $M^T R^{-1}$ -val:

$$\begin{aligned} (I + P M^T R^{-1} M)^{-1} P M^T R^{-1} &= P M^T R^{-1} - P M^T (M P M^T + R)^{-1} M P M^T R^{-1} + \\ &+ P M^T (M P M^T + R)^{-1} - P M^T (M P M^T + R)^{-1} R R^{-1} = P M^T (M P M^T + R)^{-1}. \end{aligned} \quad (\text{C.3})$$

Használjuk fel az

$$(I + P M^T R^{-1} M)^{-1} P = (P^{-1} + M^T R^{-1} M)^{-1} \quad (\text{C.4})$$

egyenlőséget (C.2)-ben és (C.3)-ban, kapjuk:

$$(P^{-1} + M^T R^{-1} M)^{-1} = P - P M^T (M P M^T + R)^{-1} M P, \quad (\text{C.5})$$

$$(P^{-1} + M^T R^{-1} M)^{-1} M^T R^{-1} = P M^T (M P M^T + R)^{-1}. \quad (\text{C.6})$$

- Berkhout, A. J., and Zaenen, P. R.*, 1976, A Comparison between Wiener Filtering, Kalman Filtering, and Deterministic Least Squares Estimation, *Geophysical Prospecting* 24, 141 – 197.
- Claerbout, J.*, 1976, *Fundamentals of Geophysical Data Processing*, McGraw-Hill, New York, N. Y.
- Griffiths, L. J., Smolka, F. R., and Trembly, L. D.*, 1977, Adaptive Deconvolution: a New Technique for Processing Time Varying Seismic Data, *Geophysics* 42, 742 – 759.
- Jazwinski, A. H.*, 1970, *Stochastic Processes and Filtering Theory*, Academic Press, Inc., New York.
- Kalman, R. E.*, 1960, New Methods and Results in Linear Filtering Theory, *Trans. ASME*, 83D, 33 – 45.
- Kashyap, R. L.*, 1974, Estimation of Parameters in a Partially Whitenened Representation of Stochastic Process, *IEEE Trans. on Automatic Control*, AC-19, 13 – 21.
- Peacock, K. L., and Treitel, S.*, 1969, Predictive Deconvolution: Theory and Practice, *Geophysics* 34, 155 – 169.
- Ristow, D., and Kosbahn, B.*, 1979, Time Varying Prediction Filtering by Means of Updating, *Geophysical Prospecting* 27, 40 – 61.
- Wang, R. J., Treitel, S.*, 1971, Adaptive Signal Processing through Stochastic Approximation, *Geophysical Prospecting* 19, 718 – 728.

Egyesületi hírek

Beszámoló az Ifjú Szakemberek Ankétjáról

Az ankétot az Egyesület március 26 – 27-én rendezte meg az ELTE visegrádi üdülőjében. Összesen 19 előadás hangzott el, a programban szereplő 21 helyett, két előadó ugyanis lemondta részvételét.

Az előadások tárgyak tekintetében a geofizika teljes választékát átölelték, bizonyítva azt a tényt, hogy milyen szerteágazó munkakörökben helyezkedtek a szakma fiataljai. Írdomes röviden átfutni az elhangzott előadások témáin. Földtani tárgyú volt egy előadás. A földtan és geofizika kapcsolatát matematikai megfogalmazásban tárgyalta egy előadó. Két elméleti jellegű dolgozat foglalkozott szeizmikus témával, egy felszíni radioaktív mérésekkel, három pedig felszíni geoelektromos módszerekkel. (De még ez a három is jelentősen eltérő célból vizsgálta a kérdést: egy korrózióval, egy üregkutatással, egy pedig potenciáltérképezéssel foglalkozott). Két bányabeli geofizikai kutatással kapcsolatos kérdéseket tárgyaló előadást hallhattunk, az egyik szeizmikus, a másik gravitációs témájú volt. Az egy perforáláshoz csatlakozó témájú előadás mellett hétnek volt a tárgya a mélyfúrás geofizika, de ugyancsak sok tárgykörben. Kettőnek volt témája a szelvények gépi értelmezése, majd egy-egy foglalkozott neutronaktiválással, termelésgeofizikával, mérnökgeofizikai kérdésekkel (duzzasztómű építésével), közetmechanikával és vízbetörések kimutatásával.

A dolgozatok nagy többségükben bizonyították, milyen magas színvonalú munkával foglalkoztatják fiataljainkat. Éppen ezért nehéz volt az első előadói díj odaítélése is. Első előadóként szerepelt a fiatalok között összesen tizenhárom tagtársunk. A bíráló bizottság (melynek tagjai Hursán László, Szabadvári László és Ráner Géza voltak rajtam kívül) az előadások minősítésénél figyelembe vette a téma kidolgozását és jelentőségét is, az előadás előkészítését, (pl. ábrák és demonstrációs anyag szempontjából), végül magának az előadásnak a megtartását, összbenyomását is. Ugyancsak számításba vettük az esetleges időtúllépést is.

Hosszabb tanácskozás után a bizottság úgy döntött, hogy két első díj kiadását javasolja egy második és ugyancsak két harmadik díjon kívül. A díjazásra javasoltak a következők:

- I. díj: Molnár Gábor és Tóth Sándor
- II. díj: Kovács András
- III. díj: Dianiska László és szerzőtársai, valamint Szilasi György.

Összefoglalva az ankét igen sikeres volt, nemcsak a fiatalok számára, hanem a geofizikusok munkájának áttekintése szempontjából is.

A bíráló bizottság éppen a sok jó előadásra való tekintettel javaslatot tesz az Országos Elnökségnek, illetve a Magyar Geofizika szerkesztő bizottságának néhány előadás leközlésére, a díjazástól, illetve az első előadói minőségtől függetlenül. A javasolt előadások a következők: (az előadók neveit adjuk meg): Vermes Mátyás, Szarka László és társai, Fülöp József, Horváth József és társai.

Budapest, 1981. április 8.

Jesch Aladár
a bíráló bizottság elnöke

Mérnökszeizmikus mérések céljára szolgáló digitális összegző berendezés

GILI LÁSZLÓ – KOCH GYÖRGY – KOVÁCS BÉLA – NAGY ZOLTÁN

A cikk ismerteti az ELGI legújabb fejlesztési eredményeként létrehozott mérnökgeofizikai célokra szolgáló berendezések konstrukciós felépítését és alkalmazási lehetőségeit.

В работе описывается конструкция инженерно-сейсмической аппаратуры, созданной в Геофизическом институте им. Этваша в результате последних проектно-конструкторских работ и излагаются возможности ее применения.

In the present paper the construction and application possibilities of a summing type seismic equipment are described which was developed by the Eötvös L. Geophysical Institute.

A dolgozat célja az, hogy bemutassunk egy új mérőműszert, amelyet az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben fejlesztettünk ki, elsősorban mérnökgeológiai és kismélységű nyersanyagkutató feladatok szeizmikus módszerrel történő megoldására.

A szeizmikus kutatás módszerei és ennek megfelelően e kutatási módszer eszközei is döntően a szénhidrogén tároló földtani szerkezetek méreteihez igazodva alakultak ki és fejlődtek tovább.

E földtani szerkezetek több ezer méter mélységben és többször tíz vagy néhány száz km-es horizontális kiterjedésben való követése alapvetően meghatározza a mérőberendezések konstrukciójával szemben támasztott követelményeket.

A mérőcsatornák nagy száma (24–48–96) a geofonoktól beérkező jelek rendkívül nagy dinamikataromány (120–140 dB) és a viszonylag hosszú regisztrálási idő (6–15 sec) még a nagy integráltságú félvezetők korában is bonyolult felépítésű, nagy súlyú és méretű, drága berendezések alkalmazását teszi szükségessé. Ilyen berendezéseket sekélymélységű szeizmikus kutatásokhoz használni nemcsak a gazdaságosság, hanem a kutatás eredményessége szempontjából is célszerűtlen.

A szeizmikus méréseknek egy sajátossága már az analóg berendezések korszakában – tehát az 50-es, 60-as években – életrehívott egy műszertípust, amely a kis mélységek – néhány száz méter tartomány – szeizmikus vizsgálatát célozta.

A mélyszerkezetkutató méréseknél ugyanis a felső talajréteg, az ún. laza réteg vastagságának és ebben a szeizmikus hullámok terjedési sebességének ismerete a mélyenfekvő szerkezetek pontos meghatározása szempontjából lényeges.

Az a mérőműszer, amelyet erre a célra használnak már jobban igazodik a kis mélységek követelményeihez. A mérőcsatornák száma 12 vagy 24, a rögzítés dinamikataromány 30–40 dB, a regisztrálási idő max. 1–2 sec. A műszer kisméretű, kismélységű, hordozható kivitelű és a regisztrátum többnyire a felvétel után azonnal értékelhető. A hazai szeizmikus kutatásban alkalmazott műszerek közül a *Pionir-3* típusú refrakciós berendezés tartozik ebbe a kategóriába. Alkalmazási területe korrekciós jellegű méréseken kívül a mérnökseizmika, de jól használható kismélységű nyersanyagkutató feladatok refrakciós módszerrel történő megoldására is. A könnyen kezelhető, gyors és főleg olcsó refrakciós műszerek kategóriájába tartoznak azok az egy vagy néhány csatornás

kézi műszerek, amelyek a szeizmikus jeleket állókép formájában egy katódsugár-
cső ernyőjén jelenítik meg és lehetővé teszik a beérkezési idők pontos leolvasását
és feljegyzését. Ezek a refrakciós berendezések azonban a mérési módszer, a
regisztrálási mód és a jelátviteli paraméterek miatt csak korlátozott mértékben
alkalmazhatók kismélységű kutatások céljaira.

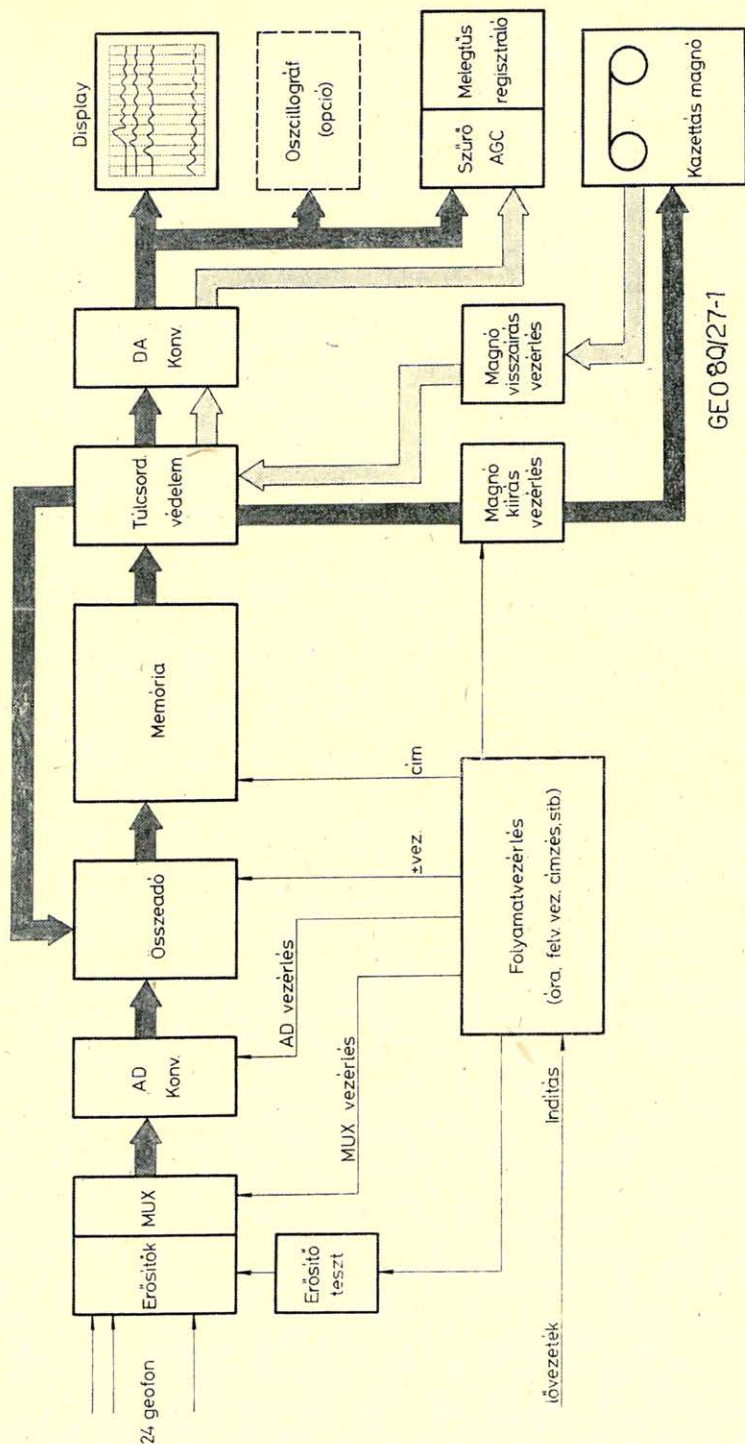
A mérnöki, a vízföldtani, az érceológia és a szénbányászati feladatok meg-
növekedett volumene és sokrétűsége ma már arra ösztönzik a geofizikust és a
műszertervező mérnököt, hogy a szénhidrogénkutatás színvonalát megközelítő
hatékonyságú szeizmikus mérési eljárásokat és eszközöket fejlesszenek ki, ame-
lyek megfelelnek a kutatási terület sajátosságainak. Az utóbbi néhány évben
külföldi példákhoz hasonlóan, a hazai geofizikában is kibontakozott a kismély-
ségű kutatásokat módszer és műszerfejlesztéssel segítő tevékenység.

Ennek során dolgoztuk ki a Geofizikai Intézetben az *ESS-01-24 tip.*
mérnökseizmikus összegző berendezést. A fejlesztési munka célkitűzése az volt,
hogy a szeizmikus kutatási feladatok sajátosságait és a korszerű elektronika
eredményei által felkínált lehetőségeket figyelembe véve, egy sokoldalúan alkalmazható berendezéstípust hozzunk létre. A tervezés keretfeltételei a következők
voltak:

- a műszer hordozható alapegységekből épüljön fel. A hordozhatóság kri-
tériuma a *20 kg-nál kisebb súly*,
- legyen alkalmas refrakciós és reflexiós mérések végrehajtására egyaránt,
- a kutatás felbontóképességének növelése céljából a műszer átviteli
frekvencia-tartománya 2 kHz-ig terjedjen,
- legyen alkalmas a robbantás nélküli kisenergiájú *felszíni rezgéskeltőkkel*
végzett szeizmikus mérések céljára, az egymást követő felvételek jelei-
nek összegzése által,
- tegye lehetővé a szeizmikus felvételek regisztrálás előtti *vizuális ellenör-
zését*,
- a terepi felvételi anyag *mágnesszalagon történő rögzítése* biztosítsa a ké-
sőbbi számítógépes feldolgozás lehetőségét,
- a berendezés moduláris felépítése tegye lehetővé a kutatási feladatokhoz
igazodó egyszerűbb, olcsóbb konfigurációk kialakítását is (csatornaszám,
felvételi idő, frekvenciatartomány, regisztrálási módok).

A műszer konstrukciós rendszerét az *1. ábra* szerinti működési vázlaton mut-
tatjuk be. A 24 geofon vagy geofoncsoport jele az erősítők transzformátoros
bemenetére kerül. A beállítható mértékű erősítés, a választható alulvágó szűrés
és a digitális átalakításhoz szükséges mintavételezés által meghatározott felül-
vágó szűrés után a párhuzamos jelsorozatot multiplexerrel időben egymást
követő jelek sorozatává alakítjuk. A mintavételezés és a *10 bites* digitális konver-
zió után az átalakított *24 csatornás* jelsorozat félvezetős tárba kerül. A tárba
beírt felvétel D/A konverzió és demultiplexálás után gyakorlatilag a felvétellel
egyidejűleg megjelenik a képernyőn. A tárból történő kihívás és megjelenítés
ciklikusan, nagy sebességgel megy végbe, így a képernyőn tetszőleges ideig
megfigyelhető állóképet kapunk. Amennyiben a berendezést összegzéses üzem-
módban használjuk, a második rezgéskeltéssel kapott szeizmikus jelsorozat digi-
tális átalakítás után az összeadó áramkörben hozzáadódik az első felvétel tárban
rögzített jelsorozatához, és az összeadás elvégzése után a tárban már a két fel-
vétel összegét rögzítjük, a képernyőn pedig azonnal megjelenik az összegszeiz-
mogram.

ESS.01-24 szeizmikus összegző berendezés folyamatábrája



1. ábra. ESS.01 – 24 szeizmikus összegző berendezés folyamatábrája
 Рис. 1. Блок-схема сейсмического сумматора типа ESS – 01 – 24
 Fig. 1. Block diagram of the ESS – 01 – 24 summing type seismic equipment

Mivel a tárban egy mintavételhez tartozó adat 16 bit szóhosszúsággal írható be, az összegzések száma max. 64 lehet. Elegendő számú összegzés után tehát a mérési eredmény a félvezetős tárban áll rendelkezésünkre.

A szeizmogram regisztrálására a további értékelés céljából három lehetőségünk van:

- kiírhatjuk a felvételeket csatornánként egymás után hullámírással egy termoszenzitív regisztráló hőérzékeny papírára. A kiírásnál használhatunk alul- és felülvágó szűrőkészletet kézi erősítésbeállítás és szükség szerint automatikus erősítés szabályozást.
- felírhatjuk a tárban levő szeizmikus információt digitális formában csatornánként egymás után egy kazettás mágnesszalagra. Ez a felírás elsősorban a reflexiós mérési anyag későbbi számítógépes feldolgozása céljából szükséges.
- regisztrálhatjuk a felvételeket egy 24 csatornás oszcillográf felhasználásával szűrés és automatikus erősítésszabályozás nélkül.
- a mágnesszalagra rögzített szeizmikus jeleket a szalagról – elsősorban ellenőrző jelleggel – szűrés és automatikus erősítés-szabályozás alkalmazásával rögzíthetjük termoszenzitív papíron.

A szükséges regisztrálások elvégzése után a berendezést újra felvétel üzemmódba állítjuk és ezzel a tárban rögzített információkat töröljük, a tárat előkészítjük a következő felvétel adatainak fogadására.

A szeizmikus méréseket a berendezés jelenlegi kiépítésében végezhetjük robbantással, kalapácsos felszíni rezgéskeltéssel és az $SR-2$ tip. vadásztöltényes felszíni rezgéskeltővel.

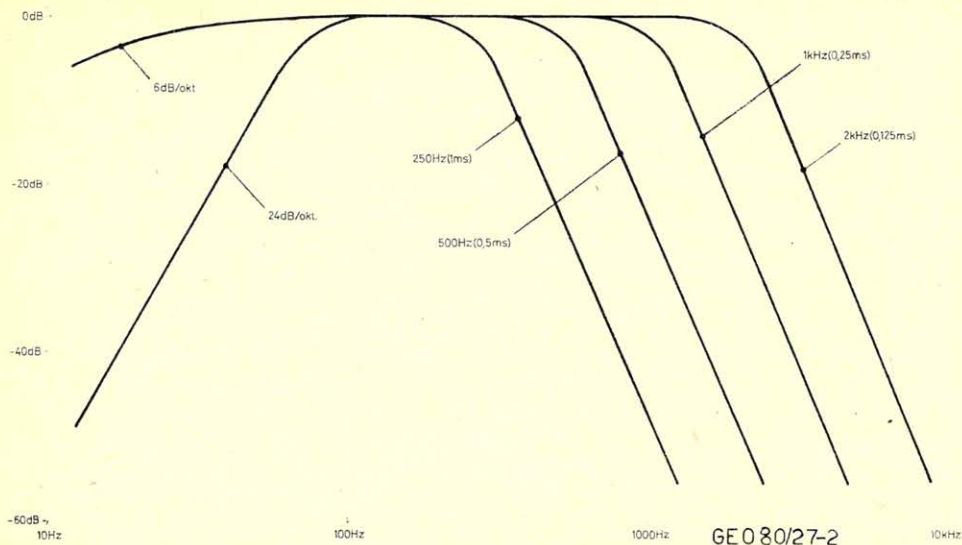
A felvétel indítása történhet a robbantókészülék parancsjelével vagy a rezgéskeltés pontján elhelyezett geofon jelével. A kapcsolat jelenleg vezetékes, de kiépíthető a rádiós parancstovábbítás is. A műszernek külön időjel csatornája nincs, a felvétel a robbantás vagy más rezgéskeltés pillanatában indul.

A felvétel előtt ellenőrizhetjük a terítés állapotát, a berendezés felvevőcsatornáinak helyett működését és a talajnyugalanság szintjét. A hagyományos eljárásokhoz viszonyítva jelentősen meggyorsítja az ellenőrzéseket a képernyős megjelenítés alkalmazása.

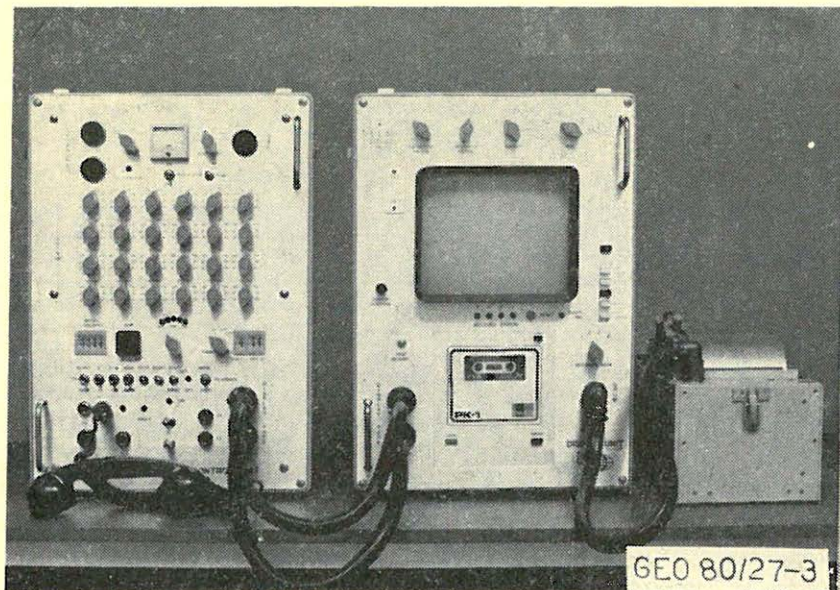
A műszer alkalmazhatósága szempontjából lényeges felvételi frekvencia-karakterisztikát a 2. ábrán láthatjuk. A szélessávú átvitel alsó határa 10 Hz környékén van, az egyetlen alulvágó szűrőfokozat határfrekvenciája 72. Hz. Ez jelentősen csillapítja az előforduló felületi hullámok beérkezéseit és számottevően csökkenti az esetlegesen jelentkező 50 Hz-es hálózati zavarokat. A felső frekvenciahatárok az egyes digitális mintavételekhez tartozó értékek és összefüggésben állnak a megfelelő felvételi időtartamokkal, amelyeket az alkalmazott félvezető tár kapacitása határoz meg.

A következő ábrán (3. ábra) a berendezés fő egységeinek képét láthatjuk. A baloldali műszerblokk tartalmazza az előerősítő-szűrőáramköröket, a digitális átalakítás, a tárolás áramköreit, a berendezés központi vezérlő rendszerét és a megjelenítés-regisztrálás áramköreinek nagy részét.

A felvételnél használt erősítés mértékét a bemenő jelek nagyságától függően csatornánként állíthatjuk be 8 fokozatban az előlapon elhelyezett tárcsás kapcsolókkal. A felvételek hossza a mintavételi idő függvényében 0,682–0,341–0,170–0,085 sec. lehet. Lehetőségünk van ezeknél az időtartamoknál későbbi



2. ábra. Az ESS – 01 – 24 tip. berendezés felvételi frekvencia karakterisztikája
 Рис. 2. Частотная характеристика аппаратуры ESS – 01 – 24
 Fig. 2. Frequency characteristic of the ESS – 01 – 24 equipment



3. ábra. Az ESS – 01 – 24 szeizmikus összegző berendezés
 Рис. 3. Внешний вид сейсмического сумматора ESS – 01 – 24
 Fig. 3. The ESS – 01 – 24 summing type seismic equipment

beérkezések rögzítésére is, ha előre beállított késleltetéssel készítjük a felvételt. A késleltetési idő 10 sec-ig terjedhet, 10 msec-os lépésekben történő beállítással.

A félvezető tár kapacitása 16 Kszó.

A műszeregység mérete: $56 \times 40 \times 32$ cm.
súlya: 26 kg.

Felépítése: teljesen zárt, porvédett kivitelű.

A középső műszeregység tartalmazza a képcsöves megjelenítőt, a kazettás mágnesszalagos egységet, a terepi visszajátszás szűrő- és automatikus erősítés-szabályozó áramköröit.

A képcső megjelenítő felületének mérete 15×20 cm, a mágnesszalag hossza 90 m, a szalagtovábbítás sebessége 12,5 cm/sec, egy kazettára oldalanként 9 db 682 msec hosszúságú felvételt rögzíthetünk.

A termoszenzitív regisztráláshoz alkalmazott visszajátszó szűrők határfrekvenciái 1 msec mintavételi idő esetén

alulvágó	20 – 40 – 80 – 160 Hz
felülvágó	20 – 40 – 80 – 160 – 250 Hz

A rövidebb mintavételi időkhöz tartozó határfrekvenciákat kettővel való szorzással nyerjük. A középső műszeregység méretei megegyeznek az előzőével, súlya 20 kg.

A harmadik alapegység a termoszenzitív regisztrálás funkcióját végzi, a 115×566 mm méretű hőérzékeny papírt egy dob palástjára feszítjük fel és a forgó dob 3 sec-os körülfordulásának ideje alatt írjuk fel egy csatorna adatait. Egy teljes regisztrátum elkészítéséhez szükséges idő 2,5 – 3 perc.

Lapszemle

Magyar Tudomány, 1980. 10. szám

Meskó Attila: Gravitáció és nyersanyagkutatás

A szerző a folyóirat jellegének megfelelően áttekintő képet ad a gravitációs kutatási módszer alapelveiről és fejlődéséről. A használatos mérőműszerek rövid ismertetése után elemzi a geológiai szerkezet és a gravitációs anomáliakép kapcsolatát, a lokális anomáliák becslésére kidolgozott klasszikus módszereket.

Kissé részletesebben tárgyalja a Bouguer anomália térkép további felbontására szolgáló hullámhossz szerinti szűrést és az így kapott reziduális vagy regionális gravitációs térkép általános tulajdonságait, felhasználhatóságuk körét. A hét ábrával illusztrált dolgozat jól érthető más tudományágak művelői számára is.

Z. A

A 15°-os és 45°-os közelítésű egyenleten alapuló, véges differencia módszerrel történő hullámegyenletes migráció hibájáról

G Ö N C Z G Á B O R*

A hullámegyenletes migrációs eljárás fejlesztése során sikerült eljutni a lefelé folytatás elvégzésére alkalmas, 15°-os dőlésekig megfelelő közelítésű egyenletnél magasabb közelítésű egyenletekhez. Ezt számos dolgozatban publikálták (IV, V). A harmadrendű parciális differenciálhányadosokat tartalmazó, 45°-os közelítésű egyenlet a diszperziós egyenlete alapján jó eredményeket ígért. Vállalatunknál foglalkoztunk ennek az egyenletnek az x, z, t tartományban, véges differencia módszerrel történő megoldásával. A 45°-os módszer, mely számításigényesebb is, azonban nem hozott jelentős javulást.

Az előző, e témával foglalkozó cikkben (VI) ismertettem a 15°-os közelítésű egyenlet megoldásánál fellépő hibák egy vizsgálati módszerét. Jelen dolgozatban egy olyan hibaszámítási módszert ismertetek, mely szemléletesebb és nem csupán a 45°-os egyenlet közelítő jellegéből adódó hibát, hanem a teljes algoritmus hibáját adja. A hibaszámításokat elvégeztük a 15°-os és a 45°-os algoritmusra is. A hibaszámítások rámutattak arra, hogy a 45°-os egyenlet előnyeit nem sikerül igazán kihasználni, ha nem tudjuk fokozni a differenciálhányadosok közelítésének pontosságát.

В процессе развития метода миграции по волновому уравнению для продолжения вниз с 15 – ти градусным приближением удалось вывести более точные уравнения. Об этом было опубликовано несколько работ (IV, V). Миграция по дисперсному уравнению содержащего частные производные третьей степени уравнения для 45 – ти градусного приближения обещала хорошие результаты. В нашем предприятии это уравнение решалось по методу конечных разностей в области X, z, t . Между тем, требующий большего количества времени метод 45 – ти градусного приближения не дал ожидаемых результатов. В предыдущей, занимающейся этой темой статье (VI) был описан способ исследования погрешностей решения уравнения 15 – ти градусного приближения. В этой работе рассматривается такой метод вычисления погрешностей, который во-первых более нагляден, во-вторых определяет не только погрешности вытекающие из характера 45 – ти градусного приближения, но и погрешности полного алгоритма. Расчёты были проведены для алгоритмов 15 – ти градусного и 45 – ти градусного приближения. Результаты показали, что преимущества 45 – ти градусного приближения нельзя использовать в полной мере, не увеличивая точности приближения производных.

During the development of the algorithm of wave equation migration, a more exact equation was found capable for downward continuation larger than 15° dips. Such equations were published in several papers (IV, V). Those 45° equations containing third order partial derivatives promised good results on the base of their dispersion equations. We have solved this equation by the method of finite differences in the x, z, t domain. This 45° methods which are far more time consuming, have not resulted significant improvement of the results.

In the author's previous paper (VI) an error estimation was described for the solution of the 15° equation. In this paper a generalized error estimation procedure is published, which evaluates the error of the whole algorithm, not only of the error of the approximations made by neglecting of some terms. The method has a fine visual meaning. The results show, that the advantages of the 45° equation can only be exploited, if the derivatives are computed much more exactly.

A hullámegyenletes migráció lényeges lépése a felszínen észlelt hullámtér fokozatos lefelé folytatása. Ez azt jelenti, hogy a z mélységben adott hullámtér értékekből előállítjuk ezeket a $z + \Delta z$ mélységben.

Megvizsgáltuk, hogy milyen hibákkal valósul meg a 15°-os és a 45°-os közelítésű egyenlet megoldása során. A vizsgálatot a z irányú extrapoláció átvi-

* Geofizikai Kutató Vállalat

teli függvényének segítségével végeztük el különböző paraméterek mellett.

A felszínen észlelt adatoknak a dátumsíkra történő redukciónál, a statikus korrekciónál is lefelé folytatást végzünk. Itt feltételezzük, hogy a dátumsík és a felszín között a hullámok pontosan függőleges irányban haladnak felfelé. A korrekció során az észlelt adatokat siettetjük, egy pozitív időtolást hajtunk végre, hiszen a dátumsíkon észlelve minden reflexió korábban érkezett volna be. Az adatokat ezzel extrapoláltuk a felszínről a dátumsíkra.

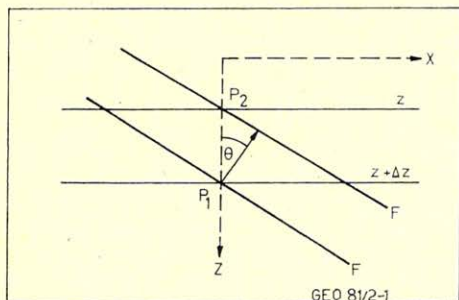
A hullámegyenletes migráció végrehajtásakor az összegzett időszelvény adatait egyre mélyebb és mélyebb dátumsíkokra extrapoláljuk. Az extrapolációt a hullámegyenletről levezetett különböző közelítésű, parciális differenciálegyenletek véges differencia módszerrel történő megoldásával végezzük. Hogy ennek a műveletnek a hibáját meghatározzuk, először megfogalmazzuk a helyes extrapolációt ferdén beérkező síkhullámok esetén. A migráció művelete ugyanis dőlt reflektáló felületekről beérkező hullámok esetén fontos.

Egy $v/2$ sebességű, homogén közegben a vertikálissal θ szöget bezáró irányban, felfelé haladó síkhullám az alábbi U függvény:

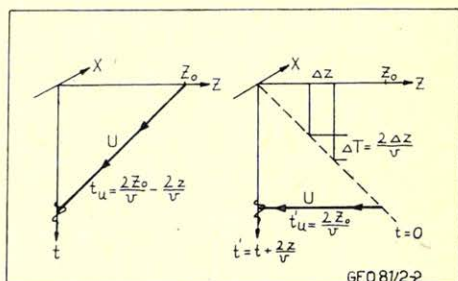
$$U = \exp i\omega \left(t - \frac{2x}{v} \sin \theta + \frac{2z}{v} \cos \theta \right) \quad (1)$$

Vizsgáljuk az U hullámot az x, z síkban, az $x = 0$ függőleges mentén elhelyezkedő z és $z + \Delta z$ mélységű P_2 és P_1 pontban (1. ábra). Az U hullámtér F -fel jelölt frontja a P_1 pontba $\Delta t = 2z \cos \theta / v$ idő múlva érkezik be. A θ szögű hullám Δz vastagságú rétegen való áthaladási ideje függ θ szögtől is! Ha az U hullám terjedését akarjuk leírni a Δz vastagságú rétegen keresztül, akkor a $z + \Delta z$ síkon levő adatok Δt -vel való késleltetésével kapnánk meg a z síkon észlelhető adatokat. A feladat azonban az U hullám lefelé folytatása. A helyes extrapolációt akkor végeznénk, ha a z síkon adott adatokat Δt -vel siettetnénk. Így juthatunk a $z + \Delta z$ síkon észlelhető adatokhoz. A szükséges időtolás azonban θ -tól is függ! Mivel az időszelvények lefelé folytatásakor a reflexiók beérkezési szögét nem ismerjük, a siettetést, az időtolást két összetevővel valósítjuk meg.

A t időváltozó helyett bevezetjük a $t' = t + 2z/v$ időváltozót. Ennek a transzformációnak a hatását a 2. ábrán illusztrálom. Az ábra baloldalán t_u -val jelöltük a $v/2$ sebességű közegben a Z_0 mélységű reflektáló felületről, pontosan vertikálisan felfelé haladó hullám menetidejét a mélység függvényében. A transzformált koordináta-rendszerben, az ábra jobboldalán, a felfelé haladó hullám menetideje



1. ábra. Puc. 1. Fig. 1.



2. ábra. Puc. 2. Fig. 2.

z -től függetlenné válik, $t'_u = konstans$. Itt a z és a $z + \Delta z$ mélységben levő észlelő azonos t' időpontban észleli a vertikálisan a felfelé haladó hullámot. Az extrapolációt a z síkról a $z + \Delta z$ síkra, ebben a koordinátarendszerben végezzük el, mert a pontosan vertikálisan felfelé haladó hullám itt z -től független. Az időváltozó ilyen transzformációjával az adatokon végrehajtunk egy a dőlésszögtől független, statikus korrekcióhoz hasonló $\Delta \tau$ időtolást. Ennek nagysága a Δz vastagságú réteg vertikális áthaladási ideje $\Delta \tau = 2\Delta z/v$. Ez a lefelé folytatáskor alkalmazott teljes időtolás egyik összetevője.

Ha a lefelé folytatást úgy végeznénk el, hogy csak ezt az időtolást alkalmazzuk, akkor Δz lépésként a Θ szögű síkhullámok esetén az alábbi időtolás hibát követnénk el:

$$DT_1 = \frac{2\Delta z}{v} (\cos \Theta - 1). \quad (2)$$

Az alkalmazott teljes időtolásnak azonban van egy másik, bonyolultabb összetevője is.

Clairbout és Johnson [1] a Z transzformáció formalizmusát alkalmazva levezették a 15° -os egyenlet, véges differencia módszerrel történő megoldásánál megvalósuló z irányú, egyetlen extrapolációs lépés átviteli függvényét. Hasonló gondolatmenettel levezettük ezt a 45° -os közelítésű egyenleten alapuló módszerre is. A 15° -os és 45° -os közelítésű, lefelé folytatásra alkalmas egyenletek a következő alakúak:

$$U_{xx} + \frac{4}{v} U_{zt} = 0 \quad (3)$$

$$U_{ttz} + \frac{v}{4} U_{xxt} - \frac{v^2}{16} U_{xxz} = 0. \quad (4)$$

A parciális differenciálhányados képzést alsó index jelöli.

A differenciálhányadosok legegyszerűbb, véges differencia közelítéseit véve, az alábbi átviteli függvényeket kapjuk:

$$F(Z)_{15} = \frac{(1 - aT) - (1 + aT)Z}{(1 + aT) - (1 - aT)Z} \quad (5)$$

és

$$F(Z)_{45} = \frac{(1 - aT + bT) - (2 - 2bT)Z + (1 + aT + bT)Z^2}{(1 + aT + bT) - (2 - 2bT)Z + (1 - aT + bT)Z^2} \quad (6)$$

ahol

$$a = \frac{v \Delta z \Delta t}{16 \Delta x^2}; \quad b = \frac{v^2 \Delta t^2}{64 \Delta x^2};$$

$$T = 2 \left(1 - \cos \frac{4\pi f \Delta x \sin \Theta}{v} \right) \quad \text{és} \quad Z = \exp i 2\pi f \Delta t.$$

Az a és b mennyiségek paramétereiktől függő konstansok, T az x irányú második differencia képzés átviteli függvénye, Z pedig a Δt mintavételi távolságnak meg-

felelő időtolás átviteli függvénye. Könnyen belátható, hogy (5) és (6), mindent átéresztő, rekurziós szűrők átviteli függvényei, mert

$$|F(Z)_{15}| = |F(Z)_{45}| = 1 \quad (7)$$

azaz

$$F(Z)_{15} = \exp i \Phi_{15}; \quad F(Z)_{45} = \exp \Phi_{45} \quad (8)$$

Ezek a szűrők egyetlen z irányú extrapolációs lépés során az adatokon csupán Φ_{15} illetve Φ_{45} fázistolást okoznak, ami f frekvencián $\Phi_{15}/2\pi f$, illetve $\Phi_{45}/2\pi f$ időtolást jelent. Ezek az időtolások azonban a T -n keresztül függenek a θ szögtől is. Hatásuk olyan, hogy az előbb említett, egyszerű, statikus jellegű időtolás hibáját csökkentik. Ezek az időtolások adják az extrapolációs módszerünkben megvalósuló, teljes időtolás másik összetevőjét.

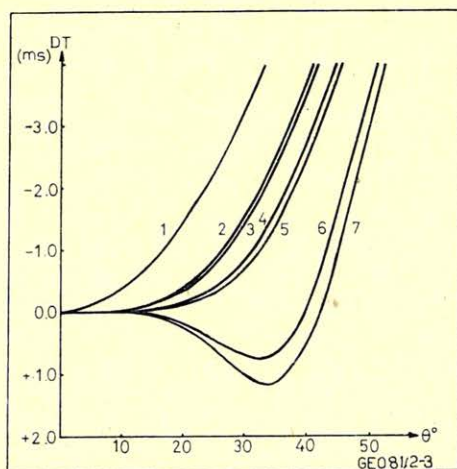
Mint láttuk a θ szögű hullámok helyes extrapolációjához $\Delta t = 2\Delta z \cos \theta / v$ időtolás szükséges. Különböző paraméterek mellett kiszámítottuk az ettől való eltéréseket az egyszerű, statikus tolás, majd a 15° -os és a 45° -os közelítésű módszer teljes időtolásának alkalmazása esetén. A 3. és 4. ábrán az 1,2 stb. sorszámú görbék a következő időtolás hibákat (DT) mutatják:

$$DT_1 = \frac{2\Delta z \cos \theta}{v} - \frac{2\Delta z}{v}$$

csak statikus tolás

$$DT_2 = DT_1 - \frac{\Phi_{15}}{2\pi f}; \quad \partial_{xx} \approx \frac{1}{\Delta x^2} T$$

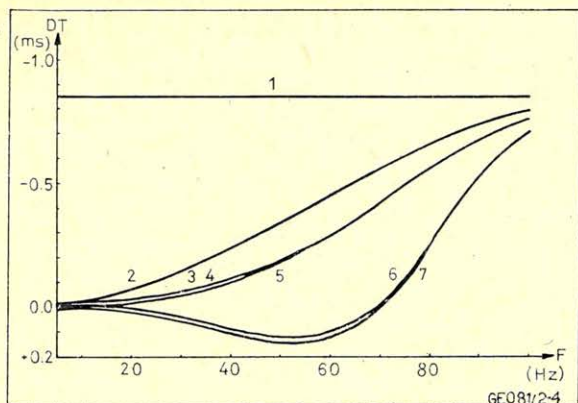
ahol $T = (1, -2, 1)$



3. ábra.

Рис. 3.

Fig. 3.



4. ábra.

Рис. 4.

Fig. 4.

$$\begin{aligned}
 DT_3 &= DT_1 - \frac{\Phi_{45}}{2\pi f}; & \partial_{xx} &\approx \frac{1}{\Delta x^2} T \\
 DT_4 &= DT_1 - \frac{\Phi_{15}}{2\pi f}; & \partial_{xx} &\approx \frac{1}{\Delta x^2} \frac{T}{1 + \frac{T}{12}} \\
 DT_5 &= DT_1 - \frac{\Phi_{45}}{2\pi f}; & \partial_{xx} &\approx \frac{1}{\Delta x^2} \frac{T}{1 + \frac{T}{12}} \\
 DT_6 &= DT_1 - \frac{\Phi_{15}}{2\pi f}; & \partial_{xx} &\approx \frac{1}{\Delta x^2} \frac{T}{1 + \frac{T}{6}} \\
 DT_7 &= DT_1 - \frac{\Phi_{45}}{2\pi f}; & \partial_{xx} &\approx \frac{1}{\Delta x^2} \frac{T}{1 + \frac{T}{6}}
 \end{aligned}$$

A végzett számításokból két összefüggést mutatunk be. A 3. ábrán a Θ szög függvényében ábrázoltuk az előbb említett időtolás hibákat. A paraméterek a következők voltak: $v = 2000 \text{ m/s}$, $f = 30 \text{ Hz}$, $\Delta x = 25 \text{ m}$, $\Delta z = 25 \text{ m}$ és $\Delta t = 0.004 \text{ s}$. A 45° -os egyenleten alapuló módszer hibája (DT_3 , DT_5 , DT_7) meglepő módon csak kevéssé kisebb mint a megfelelő 15° -os módszer hibája. Ez annak tulajdonítható, hogy bár maga a 45° -os egyenlet nagyobb szögekig adna lehetőséget a pontosabb extrapolációra, az alkalmazott közelítő differencia sémák hibái lerontják a pontosságot. Különösen látszik ez a 2. és 3. görbét vizsgálva. A 4. és 5. görbéket úgy kaptuk, hogy a ∂_{xx} derivált közelítésének javítására a

Claerbout által [2] levezetett operátort használtuk. Ez a hibákat egyenletesen és hatásosan csökkentette a teljes szögtartományban. A 6. és 7. görbék számításánál a Loewenthal és mások által [3] javasolt operátort használtuk a ∂_{xx} közelítésére. Ekkor a hibák csak bizonyos szögek felett csökkentek és a hibák kisebb szögek-nél ellenkező előjelűek lettek. Ez összefüggésben van azzal, hogy ezt az operátort alkalmazva nem kapunk mindig stabil differencia sémát a (3), illetve a (4) egyenletek közelítése során.

A 4. ábrán bemutatjuk az időtolás hibák frekvencia függését. A paraméterek: $\Theta = 15^\circ$, $v = 2000 \text{ m/s}$, $\Delta x = 25 \text{ m}$, $\Delta z = 25 \text{ m}$ és $\Delta t = 0.004 \text{ s}$. Az egyszerű, statikus jellegű tolás hibája (DT_1) természetesen nem függ a frekvenciától. Az azonos dőlésszögű, különböző frekvenciájú síkhullámokra az extrapolációs módszereink időtolás hibája azonban a frekvenciával nő. Ezt felfoghatjuk úgy is, hogy a lefelé folytatás olyan hatást okoz, hogy a hullámok terjedési sebessége függni fog a frekvenciától. A modell és terepi anyagokon végzett feldolgozásoknál tapasztalhatjuk ennek hatását a ferdén beérkező hullámok diszperziójában.

A hibagörbék alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy a 45° -os közelítésű, x, z, t -ben véges differencia módszer nem hoz jelentős javulást a 15° -os közelítésű módszerhez képest. Jelentős javulást lehet azonban elérni, ha a differenciasémák pontosságát javítjuk. A ∂_{xx} közelítésének javítása jelentős hibacsökkenést eredményezett és ennek a jobb közelítésnek az alkalmazása nem is növeli a számításgigényt. A (3) és (4) egyenletben szereplő többi differenciáhányados közelítésének javítása még nem megoldott feladat és valószínűleg csak komolyabb számításgigény növekedéssel érhető el.

A dolgozatban ismertetett hibaszámítási módszer egyik előnye az, hogy nem csupán az egyenletek közelítő jellegéről ad kvantitatív összefüggéseket, hanem a teljes migrációs algoritmus hibáját kapjuk meg. A másik előnye, hogy a hiba igen szemléletes, mert különböző hullámfrontok időtolás hibájaként fejeztük ki.

IRODALOM

- [1] Claerbout, J. F., Johnson, A. G.: Extrapolation of Time Dependent Waveforms along Their Path of Propagation., 1971. Geophysical J. of R. Astr. Soc. V. 26. p. 285 – 295.
- [2] Claerbout, J. F.: Fundamentals of Geophysical Data Processing.; 1976. McGraw – Hill Book Co.
- [3] Loewenthal D. et al.: The Wave Equation Applied to Migration.; 1976. Geophysical Prosp. V. 24. n. 2.
- [4] Berkhout A. J.: Steep Dip Finite-Difference Migration.; 1979. Geophysical Prosp. V. 27. p. 196 – 213.
- [5] Stolt R. H.: Migration by Fourier Transform.; 1978. Geophysics, V. 43. p. 23 – 48.
- [6] Göncz Gábor: A hullámegyenletes migrációval kapcsolatos vizsgálatok és tapasztalati eredmények. 1979.; Magyar Geofizika, XX. évf. 1. sz.

Könyvszemle

J. F. Claerbout: Fundamentals of Geophysical Data Processing; with applications to petroleum prospecting (A geofizikai adatfeldolgozás alapjai, kőolaj kutatási alkalmazásokkal. (McGraw-Hill Inc. New York, 1976., 274 oldal.

Mulasztást pótlunk amikor egy 1976-ban megjelent könyv ismertetését most közöljük. Az igazán jó könyvek azonban a tudomány területén sem avulnak el.

A geofizikai adatfeldolgozás, számítógépek felhasználása a geofizikai mérési adatok elemzésére. Az utóbbi évtizedekben a geofizikai adatfeldolgozás hatalmas iparágá fejlődött. Ezt a geofizikai mérések óriási száma tette szükségessé. Csupán *egyetlen szeizmikus, terepi csoport havonta kb. $4 \cdot 10^8$ bít információt ad.* Az ilyen hatalmas tömegű mérési adatok kiértékelése, értelmezése – azaz feldolgozása – szükségessé teszi, hogy a számítógépek segítségével alkalmazzuk a fizika, a matematikai statisztika, a numerikus matematika eredményeit.

Ezt a mindössze 274 oldalas könyvet, szerzője inkább *tankönyvnek*, semmint monográfiának szánta, mégis ragyogóan foglalja össze benne a szükséges alapismereteket, az előbb említett eredményeket és ezek alkalmazási lehetőségeit.

A könyv 11 fejezetből áll.

Az *1. fejezet* az időfüggvények mintavételezésével, majd az idősorozatok transzformációival foglalkozik. Ismerteti a Fourier és Z transzformációt, a korrelációt, a spektrum fogalmát, a Hilbert transzformációt.

A *2. és 3. fejezet* ismerteti a realizálható függvények sajátosságait, a digitális szűrés elvét, a szűrőtervezés módszereit. Bevezeti a minimumfázisúság fogalmát és módszereket mutat be az adott spektrumú minimumfázisú időfüggvény meghatározására.

A *4. fejezet* a matematikai statisztika eredményeit felhasználva a geofizikai mérések felbontó-képességét tárgyalja.

Az *5. fejezet* alapokat ad a további fejezetekhez, azáltal, hogy röviden bemutatja a matrixokkal végezhető fontos műveleteket.

A *6., 7. és 8. fejezet* ismerteti a legkisebb négyzetek módszerének jelentőségét, majd ennek felhasználásait, jósló és alakszűrők, dekonvolúciós szűrők tervezésére, és az egycsatornás, direkt és inverz, szeizmikus feladat megoldására.

A *9. fejezet* a vízszintesen rétegzett, akusztikus közegek matematikai-fizikai egyenleteit tárgyalja a reflexiós szeizmika szemszögéből.

A *10. fejezet* az előző fejezet parciális differenciálegyenleteinek alkalmazási lehetőségeit adja, a hullámterjedés numerikus szimulációjához.

A *11. fejezet* forradalmian új lehetőségeket tárgyal. A hullámterjedést jó közelítéssel leíró, skalár hullámegyenlet közelítő megoldásain alapuló feldolgozási módszereket ismertet. Ide tartozik a hullámegyenletes migráció, a sebességmeghatározás a lefelé folytatás alapján és a többszörösök eltávolításának új módszere.

A könyv utolsó három fejezete azt a kutatási területet mutatja be, ahol a szerző úttörő munkásságot végzett.

A fejezetek tartalmának ez a rövid ismertetése senkit ne riasszon el. A szerző tárgyalásmódja igen szellemes, stílusa élvezetes és a könyv valóban tankönyvként is használható. Az egyes fejezetek végén igen jó gyakorlatokat találunk. Ezek tele vannak érdekes ötletekkel. A könyv végén a tárgymutató szintén megkönnyíti a könyv használatát. Egyetemi tanulmányaim óta ez volt a szakirodalomban az a könyv, amiből a legszívesebben tanultam, mert nem csupán matematikát és módszereket találtam benne, hanem újszerű gondolatokat is. A könyvet nagyon ajánlom a geofizikai és nemcsak a szeizmikus adatfeldolgozással foglalkozó kollégák figyelmébe.

Göncz Gábor

Könyvismertetés

A mű címe: Schlumberger, the history of a technique

Szerzők: Louis ALLAUD és Maurice MARTIN

Megjelent: 1977-ben, John Wiley and Sons kiadásában, 333 oldal.

A szelvényezés vagy mélyfúrási geofizika évfordulójára készült ez a könyv. 1927-ben volt ugyanis az első, valóban mélyfúrási geofizikai mérésnek tekinthető művelet.

A könyv műfaja nehezen definiálható. Történeti munka, de tele van precíz, lényegyet megfogalmazó szakmai adatokkal. Ugyanakkor olvasmányos, sőt helyenként szinte izgalmas is, mindenestre regényszerű.

A könyv jelentős része, több mint egynegyede felszíni geofizikával foglalkozik, bemutatva a két zseniális *Schlumberger-fivér* e téren végzett tevékenységét. Mégis nem ez a könyv fontosabbik része. Mint a szerzők a zárórészben mondják, a Schlumbergerék által az évszázad első negyedében elért felszíni geofizikai eredmények jelentősek voltak ugyan, de ha csak ezt végezték volna, akkor a nevük alig-alig lenne több egy bibliográfiai adatról. A mélyfúrási geofizikában azonban alapvető jelentőségű tevékenységük. Nem is azért, mintha az összes eljárás az ő találmányuk lett volna, hanem azért, mert egyáltalán behozták az olajiparba a szelvényezést, a mélyfúrási geofizikát. Nem véletlen, hogy nálunk is, de Texasban is sokszor hallani, hogy a szelvényezést „slumbergerezésnek” nevezik. Ez a név összeforrt ezzel a munkával, ezzel az iparral. A könyv éppen azt világítja meg, hogyan alakult ki ez a munka, ez a tevékenység, és hogyan lett a mélyfúrási geofizikai szelvényezés a mélyfúrási kutatás legfontosabb ismeretszerző módszercsoportja.

A két testvér közül az idősebb, *Conrad* kezdte el a geofizikai kutatásokat, első szabadalmát már 1912-ben bejelentette. A másik fivér 1919-ben kapcsolódott be bátyja munkájába. A fejlődést mindig kitűnő gondolataik indították meg, de rendkívüli aktivitásuk nélkül nem érhetek volna el ilyen sikert. A szerzők érdekesen világítják meg, milyen szerencsés együtttest képezett a két Schlumberger-fiú meg legszorosabb munkatársaik. *Conrad* fizikus volt, akinek életeleme és legfontosabb tevékenysége a kísérletezés volt. *Marcel* ezzel szemben a gyakorlati kidolgozást, a beruházást, szervezést szerette. Érdekes módon mindketten tartottak a matematikától (mint a könyv írja), mert „ez a geofizikai problémák túlzott egyszerűsítéséhez vezet”. A könyv idézi ezzel kapcsolatban *Conrad* egy írását:

„...Az ilyen problémákkal foglalkozó számítások mind közvetlenül az elektrosztatikából származnak. . . . Tág lehetőségeik vannak itt a kezdő matematikusoknak saját szórakoztatásukra, A felmerülő kérdések maguk felsőoktatási szintűek vagy pedig szükségtelenül annyira bonyolultak hogy megoldásuk még bonyolultabb formulák homályába vész, akkor meg a legjobb lapozni egyet”.

Persze kellett a matematika is, neves munkatársak (*Doll, Stefanescu, Maillet* stb.) gondoskodtak az elméleti munka előrevitelétől. A szellem azonban a gyakorlati alkalmazás és az ebből kapható kutatási eredmény fontosságát hangsúlyozta mindig. Ennek ellenére azonban a Schlumberger vállalat folyamatosan gondoskodott és gondoskodik arról, hogy alkalmazottai tájékozódjanak az elméletekről és a gyakorlati eredményekről egyaránt. Külön kihangsúlyozzák azonban a szerzők, hogy *Conrad* és *Marcel* kitartottak azon hitük mellett, hogy az elméleti levezetések a hipotézisek túlzott leegyszerűsítéséhez vezet, és hogy a terepi mérések és a segítségükkel kapható eredmények a legbiztosabb alkotó részei a döntéseknek. *Conrad* megjegyzése (amit egy észlelőjének mondott): „Ha talál valamit a talajban, amit a mérések nem mutattak, akkor inkább higgyen a talajnak, mint a méréseknek”, jól jellemzi reális felfogásukat.

A könyv egyébként a műszaki fejlődés szempontjából is rendkívül érdekes. Megtudhatjuk belőle az egyes eljárások kialakulásának főbb fázisait (beleértve a nem Schlumberger-eredetűeket is), a műveletek alkalmazásának legfontosabb fejlődését, a mélyfúrási geofizika nemzetközi elterjedésének fő lépéseit és így tovább. Egyszóval teljes képet kaphatunk a szelvényező és perforáló technika teljes kifejlődéséről, — de természetesen a cég szemüvegén keresztül.

Igen érdekes olvasmány.

Jesch Aladár

MGE Tudománytörténeti Bizottság

СОДЕРЖАНИЕ

<i>М. Вермеш:</i> Адаптивная деконволюция сейсмических сигналов	87
<i>Л. Гили, Д. Кох, Б. Ковач, З. Надь:</i> Цифровая аппаратура-сумматор для инженерно-сейсмических работ	107
<i>Г. Гёнюз:</i> Погрешности волновой миграции для 15 – ти и 45 – ти градусного приближения по методу конечных разностей	113
Обзор журналов и кинги.....	112, 119, 120
Новости в общества Венгерских геофизиков	106

CONTENTS

<i>M. Vermes:</i> Adaptive deconvolution of seismic signals	87
<i>Gili, L., Koch, Gy., Kovács, B., Nagy Z.:</i> A summing type digital seismic equipment for engineering applications	107
<i>G. Göncz:</i> On the error of the 15° and 45° wave equation migration method using finite difference approximation.	113
Review of Books and Papers	112, 119, 120
News about the Association	106

MAGYAR GEOFIZIKA

A szerkesztőség címe: 1368 Budapest VI., Anker köz 1. Telefon: 429-754

Kiadja a Lapkiadó Vállalat, 1073 Budapest, Lenin körút 9–11. Telefon: 429-350. Levélcím: 1906 Budapest. Pf. 223

Felelős kiadó: Siklósi Norbert igazgató

81.369. Állami Nyomda, Budapest. Felelős vezető: Bresztovszky Péter igazgató

Terjeszti a MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

Egyesületi tagoknak tagdíj ellenében

Megjelenik évente hatszor

Index: 26 507

Hobot Josef