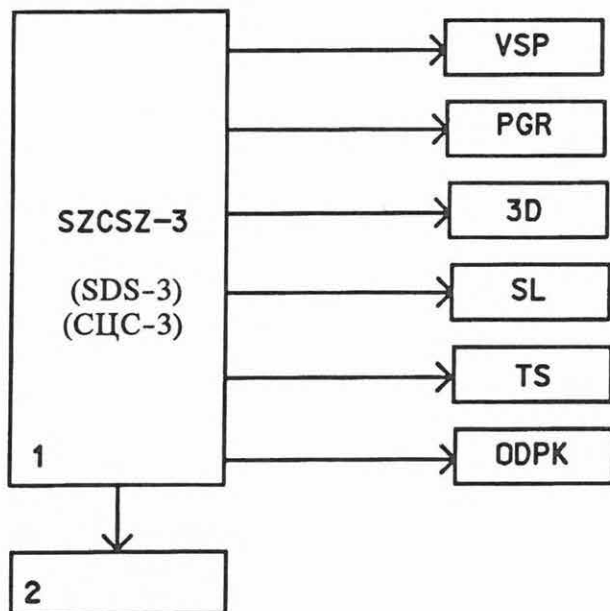


### 2. 1. 1 A szeizmikus adatfeldolgozás helyzete

Kaszás Miklós, *Táborszki Gyula*

Az ELGI szeizmikus adatfeldolgozása a szovjet CGE-vel (Kőolajipari Minisztérium, Központi Geofizikai Expedíció) közösen kifejlesztett SzCSz-3 feldolgozó rendszerre alapozódik [ELGI 1983. Évi Jelentése, pp. 55-61]. Az elmúlt időszakban a programrendszer további bővítését és fejlesztését végeztük el.

A rendszert kiegészítettük migrációs programokkal, az összegzés előtti migrációval, a dőlő határfelületre vonatkozó normálkorrekcióval és a frekvenciatartománybeli sebesség-szűrés programjával, melyek az ELGI-ben kifejlesztett speciális processzort használják. Több, az igényeknek megfelelő alrendszer került beépítésre (33. ábra).



## 2. 1 SEISMIC METHODOLOGICAL AND INSTRUMENTAL RESEARCH

### 2. 1. 1 Present state of seismic data processing

Miklós Kaszás, Gyula Táborszki

Seismic data processing in ELGI is based on the SDS-3 system developed in cooperation with the Soviet CGE (Ministry of Petroleum Industry, Central Geophysical Expedition), see ELGI's Annual Report, 1983, pp.139-142. In the past years the completion and development of this system has been carried out.

The processing system were complemented with prestack migration, DMO and FK filter programs based on the special processor developed by ELGI. Several subsystems were connected to the basic system to meet the requirements (*Fig. 33*).

- The 'VSP' subsystem provides the processing of the one component offset VSP data.
- The geological section estimation (PGR) subsystem was complemented by programs for computing impedance, porosity and pressure sections.
- The subsystem '3D' provides a means for the processing of areal seismic data measured along a regular field geometry. Among others spatial migration, automatic static correction, dip determination and special filtering of time slices are also included.



33. ábra. Az ELGI jelenlegi szeizmikus feldolgozó rendszerének blokkvázlata. A műveletek magyarázata a szövegben



*Fig. 33.* Block diagram of the recent seismic processing system of ELGI. Abbreviations explained in text



*рис. 33.* Блок-схема системы обработки сейсмических данных в ЭЛГИ (разъяснение операций см. в тексте)

- A VSP alrendszer lehetőséget biztosít az egykomponenses észlelési távolság szerinti VSP mérések feldolgozására.
- A PGR alrendszert kibővítettük a szeizlog, a porozitás és a nyomás szelvények számításával.
- A 3D alrendszer lehetőséget nyújt szabályos hálózat mentén mért térbeli szeizmikus anyagok feldolgozására. Tartalmazza többek között a térbeli migrációs eljárást, a térbeli automatikus statikus korrekció javító eljárást, a dőlésmeghatározó eljárást és az időmetszetek speciális szűrését is.
- Az SL alrendszer a görbevonalú mérési anyagok feldolgozására való. Tartalmazza a mérési geometria leírását, a kiértékelési vonal számítását, a kiértékelési vonallal párhuzamos sávokban a csatornák közös referenciapontos gyűjtését, a szintek dőlésének meghatározását és a sávok optimális összegzését.
- A TS (totális szeizmika) alrendszer lehetőséget ad szabálytalan térbeli szeizmikus mérési anyag feldolgozására, valamint egy adott területen mért szeizmikus szelvények térbeli szeizmikus feldolgozására.
- Az ODPK alrendszer egy univerzális szeizmikus szintkövető és térkép-rajzoló rendszer. A szeizmikus szelvényeken végrehajtott automatikus szintkövetésből kapott adatokból a program segítségével izovonalas térkép szerkesztődik.

Megjelenítő programok (2) készültek a COROLPRESS színes plotterhez és a VERSATEC fekete-fehér és színes plotterhez. Ezek lehetővé teszik a szeizmikus attribútumok (amplitúdó, frekvencia, fázis) és a szeizmikus csatornák, valamint a szeizlog szelvények és az akusztikus mélyfúrási adatok együttes színes megjelenítését.

A most használt számítóközpont (34. ábra) egy IBM 4361 mod.5 (8 MB-os) processzoron alapuló konfiguráció, összesen kb. 7 GB háttértárral (több vezérlőn keresztül), 8 mágnesszalagos egységgel, kiterjedt — lokális és remote — telekommunikációs rendszerrel üzemel. A lyukkártyák használatát teljesen kiküszöböltük: a kötegelt munkákat vagy a távadatfeldolgozó rendszeren keresztül, vagy a kártyák helyett használt mágneslemezek segítségével lehet a gépbe beadni. A mágnesszalagos egységeknél a 6250 bpi sűrűség a legáltalánosabban alkalmazott. A felhasznált operációs rendszer az IBM MVS (a telekommunikációs rendszerben az NCP) rendszer.

34. ábra. Az intézeti számítóközpont jelenlegi felépítése

Fig. 34. Present structure of the mainframe computer of ELGI

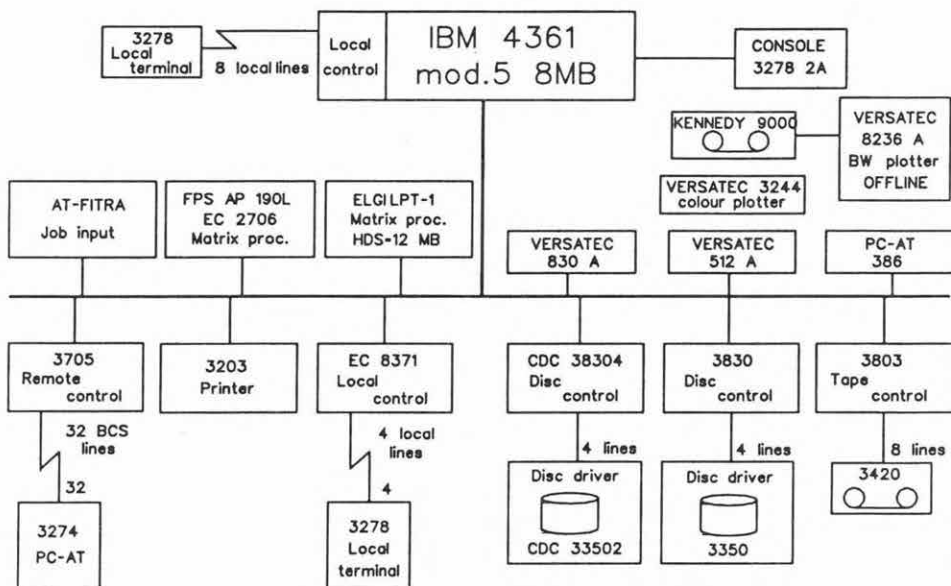
рис. 34. Структура вычислительного центра ЭЛГИ



- The subsystem 'SL' is included to process curved line seismic acquisition data. This subsystem incorporates a description of the shot—receiver geometry, the computation of the interpretation line, the common reference point trace gathers in strips parallel to the line of interpretation, and the determination of the dip and optimum stack data.
- The subsystem 'TS' (total seismics) facilitates the processing of irregular areal acquisition and the 3D processing of seismic profiles measured on a given area.
- The subsystem 'ODPK' is universally automatic for horizon detection and mapping. Detection data are used to construct isoline maps.

Special display programs (2) are available for the COROLPRESS colour plotter and for the VERSATEC black & white and colour plotters. These programs enable the seismic attributes (amplitude, frequency, phase) together with seismic traces and the impedance sections integrated with sonic well log data to be displayed in a coloured presentation form.

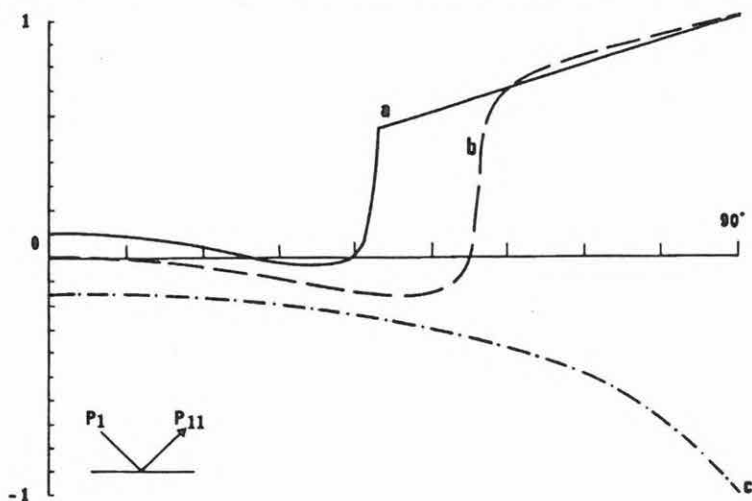
The currently operating computer system (*Fig. 34*) is based on an IBM 4361 mod 5. CPU (with 8 MB RAM) altogether with approx. 7 GB DASD (Direct Access System Devices) — through manifold controls —, 8 tape drivers, and with extended local and remote-system telecommunication. Punched cards are completely eliminated; batch jobs are input to the system either through the telecommunication system or by the floppies utilized instead of cards. Typical density on tapes is 6250 bpi. IBM MVS (plus NCP in the telecommunication system) is used as operating system.



## 2. 1. 2 Az észlelési távolságtól függő amplitúdóváltozás vizsgálata

Takács Ernő

Az elmúlt évben megkezdtük azokat a vizsgálatainkat, amelyek a szeizmikus amplitúdó észlelési távolságtól való függésével kapcsolatosak (amplitude versus offset — AVO). Ennek gyakorlati jelentősége abban áll, hogy elemzésével módunk nyílna arra, hogy a szeizmikus mérési anyagból következtetéseket vonjunk le a rétegtelítettségre vonatkozóan [OSTANDER 1984]. Az eljárás hazai kidolgozásával kismélységű gáztelített homokkő rétegek és forró gőz tárolók kimutatását célozzuk. A módszer elméleti alapját az képezi, hogy a szeizmikus határfelületen létrejött hullámok amplitúdója általános esetben függ a rétegek sűrűségétől, a  $P$  és az  $S$  hullámok sebességétől, valamint a hullám beesési szögétől (észlelési távolságtól) is. A  $P$  és az  $S$  hullám sebességének viszonyát a Poisson szám fejezi ki, amelynek értéke igen érzékeny a rétegtartalomra. Ezért, ha a mérési anyagból meg tudjuk határozni az amplitúdó-észlelési távolság függvényt, akkor a görbe alakjából információt nyerhetünk a rétegtelítettségre. Az eddigiek során modellszámításokat végeztünk a jelenség vizsgálata céljából. A két réteg határfelületén kialakuló hullámok amplitúdóját (az egyes hullámtípusokra vonatkozó reflexiós és transzmissziós együtthatókat) a Zoeppritz egyenlet írja le [ČERVENÝ et al. 1971, WATERS 1981]. A 35. ábrán a mátrix egyenlet segítségével különböző akusztikus impedancia különbségek esetére kiszámítottuk a reflexiós koefficiens változásait a  $\nu$  beesési szög függvényében a gyakorlat szempontjából legfontosabb  $P_1$  beeső és  $P_{11}$  reflektált hullámra. A rétegek paramétereit különböző agyag/homokkő modellek lehetséges értékei szerint vettük fel. Az a és b görbén a kritikus szögnél megjelenik a refraktált hullám, és megállapíthatjuk, hogy a reflexiós koefficiens értéke a gyakorlatban előforduló szögtartományon belül akár előjelet is válthat. A



## 2. 1. 2 Amplitude versus offset analysis

*Ernő Takács*

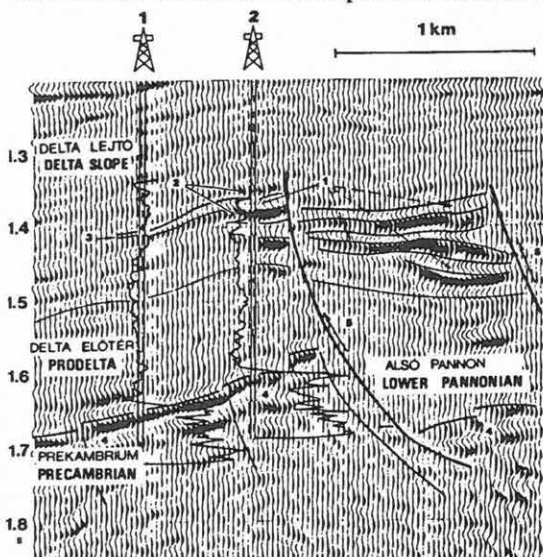
In the past year we started to study the seismic amplitude versus offset relations (AVO). The practical aspect of this analysis is the possibility of drawing conclusions from seismic data on layer saturation [OSTANDER 1984]. Domestic experience and processing results could greatly help in the detection of gas filled sands and hot vapour reservoirs of moderate depth range. The theoretical foundation of this method is that reflected seismic energy depends on density,  $P$  and  $S$  velocities, and incident angle (offset). The ratio of the  $P$  and  $S$  velocities is given by the Poisson's number, which is very sensitive to the layer content. Consequently, if one can determine the amplitude values from measured seismic reflection data as a function of the offset, the shape of the curve can give very useful information on layer saturation. Model studies have been carried out to analyse this phenomenon. The amplitude at the boundary of two layers (coefficients of reflection and refraction) is given by the Zoeppritz equation [ČERVENÝ et al. 1971, WATERS 1981]. The changes of the reflection coefficient are shown in Fig. 35. For different acoustic impedances the changes of different reflection coefficients were calculated by the matrix equation. The calculation is made as a function of the incident angles ( $\nu$ ) and takes into consideration the most important incident and reflected waves ( $P_I$  and  $P_{II}$ ). The layer parameters were taken into account by possible values of shale and sandstone models. The refracted wave appears at the critical angle and in the range of practically significant values the reflection coefficient can change its sign (curves a and b). On the seismic sections generally one part of the amplitude anomalies can be explained by the constructive

↩ 35. ábra. A reflexiókoefficiens változásai a beesési szög függvényében agyag/homokkő határfelületen.  
(a)—fedőjéhez képest nagy impedanciájú homokkő; (b)—fedőjéhez képest közel nulla impedanciakülönbségű homokkő; (c)—fedőjéhez képest kis impedanciájú homokkő

↩ Fig. 35. Reflection coefficients versus incident angle for a shale/sand interface.  
(a)—high impedance sands; (b)—near zero impedance contrast sands; (c)—low impedance sands

↩ рис. 35. Изменения коэффициента отражения в зависимости от углов вхождения волн на поверхности раздела глина-песчаник.  
(a)—песчаник с высоким по сравнению с кровлей импедансом; (b)—песчаник, почти не отличающийся от кровли по импедансу; (c)—песчаник с низким по сравнению с кровлей импедансом

szeizmikus szelvényeken gyakran tapasztalható amplitúdó-anomáliák egy részének fizikai magyarázata van (konstruktív interferencia), más részük a rétegtartalom változásainak a következménye is lehet. A 36. ábrán bemutatott relatív szeizlog szelvényen az 1.4 s környékén megjelenő bright spot mélységében a 2. számú fúrás gáztároló homokkővet harántolt, amelyet agyagos rétegek zárnak közre. Feltételezésünk szerint az amplitúdó anomáliát a rétegtartalom változása okozza. A 37. ábrán az amplitúdóváltozásokat ábrázoltuk agyag/vízzel telített



36. ábra. Relatív szeizlog szelvény a fúrásokban feltüntetett szónikus sebesség görbékkel

Fig. 36. Relative seislog section with sonic velocity curves

рис 36. Профиль относительного акустического импеданса с нанесенными акустическими кривыми

homokkő (a) és agyag/gázzal telített homokkő (b) modellekre a beesési szög függvényében. A modellek  $P$ -hullám sebességeit és sűrűségeit a 2. számú fúrásban mért karotázis szelvények alapján, a Poisson-számokat pedig irodalmi adatok alapján vettük fel. Látható, hogy a görbe alakja érzékeny a réteg telítettségére. Az adott észlelési rendszer mellett a kérdéses mélységből közelítőleg  $30^\circ$  maximális beesési szögre lehet számítani. Az összegszelvény egy csatornájának a várható amplitúdójára úgy tudunk következtetni, ha kiszámítjuk a 37. ábra függvényeinek átlagát a  $0^\circ$ – $30^\circ$  intervallumban. Mivel az agyag/gázos homokkő modellre lényegesen nagyobb értéket kapunk mint az agyag/vízzel telített esetben, a szelvény nagy amplitúdójú szakasza összefüggésbe hozható a gáztelítettséggel.

A továbbiakban tervezzük az  $A(x)$  amplitúdó függvény meghatározását a mélységpont szerint válogatott különböző észlelési távolságú terepi csatornákból [MAZZOTTI 1990]. Az AVO értelmezés további alapjai lehetnek az ún. AVO attribútum szelvények, amelyek kiemelik a szelvény azon szakaszait, amelyek markáns észlelési távolság függést mutatnak [TSINGAS et al. 1991].

37. ábra. A reflektált hullám amplitúdójának változásai a beesési szög függvényében különböző rétegtelítettségek esetén

(a)—agyag/vízzel telített homokkő; (b)—agyag/gázos homokkő



interference of amplitudes, while the other part is possibly due to the layer saturation changes. As shown in Fig. 36 at vertical two way reflection time 1.4 s a bright spot appears on the seislog section where well No. 2 indicates gas bearing sandstone rocks sealed by argillaceous layers. It can be supposed that the amplitude anomaly is due to the change of layer saturation. In Fig. 37 amplitude changes are presented as a function of incident angle using shale/water saturated sandstone (a) and shale/gas saturated sandstone (b) models.  $P$ -wave velocities and densities were known from well log data from well No. 2, the Poisson's ratio was considered on the basis of literature data. It is obvious that the shape of the curve is sensitive to the layer saturation. In reference to the given shot-receiver geometry a maximum incident angle of 30 degrees can be predicted. To predict the expected amplitude value of one channel of the stacked section the average of the functions displayed in Fig. 37 should be calculated in the 0-30 degree interval. Since the shale/gaseous sandstone model can be characterized by a higher value compared

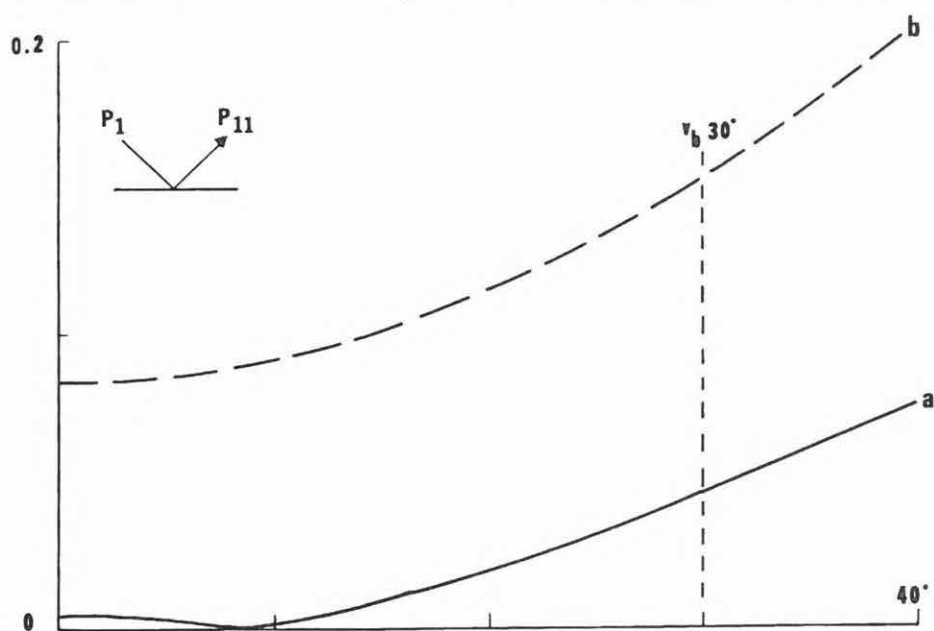


Fig. 37. Amplitudes of reflected wave versus incident angle for different layer saturations

(a)—shale/wet sand; (b)—shale/gas sand

рис. 37. Изменения амплитуд отраженных волн в зависимости от угла вхождения при различных насыщенностях.

(a)—глина-водонасыщенный песчаник, (b)—глина-газоносный песчаник



- ČERVENÝ V., RAVINDRA R. 1971 : Theory of seismic head waves. University of Toronto Press, Toronto. 312 p.
- MAZZOTTI A. 1990: Prestack amplitude analysis methodology and application to seismic bright spots in the Po Valley, Italy. *Geophysics* 55, pp. 157-166
- OSTANDER W. J. 1984: Plan-wave reflection coefficients for gas sands at non-normal angles of incidence. *Geophysics* 49, pp. 1637-1648
- TSINGAS C., KANASEWICH E. R. 1991: Seismic reflection amplitude versus angle variations over a thermally enhanced oil recovery site. *Geophysics* 56, pp. 292-301
- WATERS K.H. 1981: Reflection seismology, a tool for energy resource exploration. Wiley, New York. 377 p.

### 2. 1. 3 Vertikális szeizmikus (VSP) feldolgozás személyi számítógépen

*Molnár Imre*

A szeizmikus mérési anyagok feldolgozásához és a szelvények értelmezéséhez elengedhetetlen a megfelelő pontosságú sebességfüggvény ismerete. Igazán megbízható mélységazonosítás és a többszörös reflexiók kiszűrése csak VSP mérés segítségével oldható meg. Annak, hogy ennek ellenére a szeizmikus mérési gyakorlatban mégsem alkalmazzák rutinszerűen a reflexiós mérések velejárójaként, — a megfelelő fúrások hiányán túl — anyagi oka is van. Külön erre a célra igénybevehető speciális VSP műszer nélkül a szeizmikus csoportok sokcsatornás berendezését lehetett csak igénybevenni, ami főlegesen megdrágította a mérést. Ezért az ELGI 1988-ban kifejlesztett egy hordozható, ESS-01-08/VSP jelű 8 csatornás VSP műszert [Évi Jelentés, 1988-1989, pp. 150-152]. További probléma még, hogy a VSP mérések eredményére már a reflexiós anyag feldolgozásának kezdetén szükség van, ezért használhatósága a feldolgozás gyorsaságának függvénye.

Ilyen megfontolásokból került sor az IBM AT és ezzel kompatibilis számítógépekre kifejlesztett sekélyszeizmikus programcsomag következő elemeként (a reflexiós, tomográf és refrakciós feldolgozó programok mellett) a *VSP feldolgozó program* kifejlesztésére. A program egy könnyen kezelhető menüből lehetővé teszi a VSP adatok feldolgozását a terepi felvételek csatornáinak szerkesztésétől a teljes feldolgozási vertikum interaktív végrehajtásával a végső, "korridor" összegcsatorna képzéséig, amely (tetszőleges léptékben) a reflexiós szelvénybe illeszthető. A feldolgozható VSP adatok főbb paraméterei: maximális csatornaszám 256, maximális csatornahossz 2048 minta, maximális szondamélység 3200 m, adatformátum 2 byte integer.

A főmenü a szükséges bemeneti/kimeneti műveleteken, a tetszőleges csatornák kigyűjtésén és szerkesztésén kívül a következő főbb funkciók elvégzését kínálja (modellszelvény: 38. ábra):

with the saturated shale/water case, that part of the section displaying higher amplitudes can be related to the gas saturation effect. The determination of the amplitude function  $A(x)$  is planned to be the next step in our studies from the depth point trace gathers of different offset ranges [MAZOTTI 1990]. The interpretation of AVO data can be complemented by AVO attribute sections showing significant dependences on offsets [TSINGAS et al 1991].

### 2. 1. 3 Processing of Vertical Seismic Profiling (VSP) data on personal computer

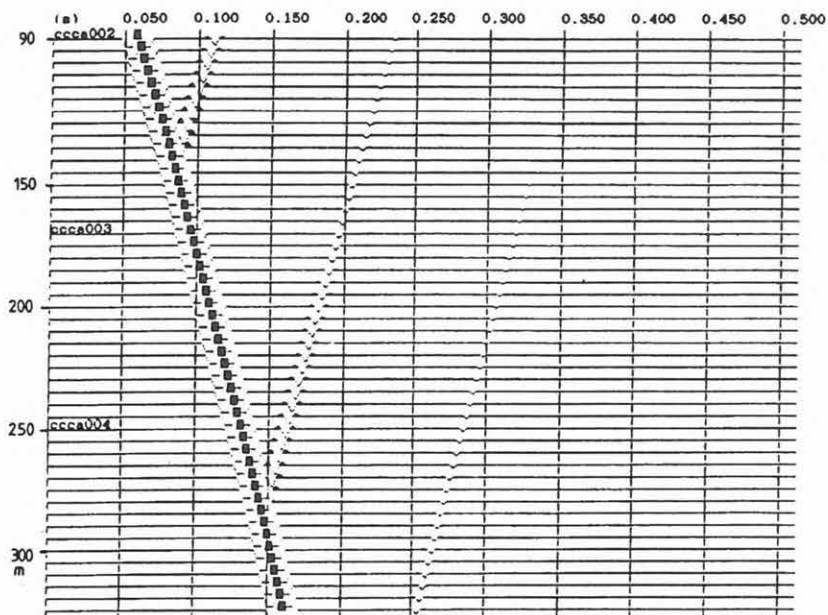
*Imre Molnár*

Knowledge of a sufficiently correct velocity function is essential for the processing and interpretation of seismic data. Reliable depth calculation and the identification of multiple reflections cannot be carried out without VSP data. Apart from the problem of a deep borehole, it is mainly financial reasons that are responsible for it not having been extensively used in routine reflection surveys. Without special VSP equipment only multichannel seismographs can be used for VSP data acquisition, and this would considerably increase the exploration costs. To overcome these difficulties, in 1988–89 ELGI developed the ESS-01-08/VSP type 8 channel portable equipment [Annual Report of ELGI 1988–89, pp. 268–269]. Taking it into consideration that reflection data processing needs VSP results from the beginning, the rapid interpretation of VSP data is of great importance.

As a subsequent part of the shallow seismic program package for IBM AT compatible personal computers, the *VSP processing program* was developed based on the foregoing considerations (together with reflection, tomographic and refraction processing programs). The program system provides a possibility to choose from a very flexible menu a wide range of interactive operations from the editing of channels up to creating the 'corridor' stacks to be inserted in the seismic time sections by an arbitrary scale. The main parameters of the processable VSP data are as follows: maximum number of channels 256, maximum channel length 2048 samples, maximum depth of sonde 3200 m, integer data format 2 bytes.

Besides the necessary input/output operations such as arbitrary trace gathers and editing, the main menu system offers the following operational functions (model section *Fig. 38*):

- signal shaping on field records by means of a monitor geophone signal to eliminate signal changes due to the fluctuation of generating conditions;
- interactive picking of uphole time for shot point statics;
- in the case of 3-component far-offset measurements the computation of arbitrary oriented channels based on the amplitude components of the direct waves;

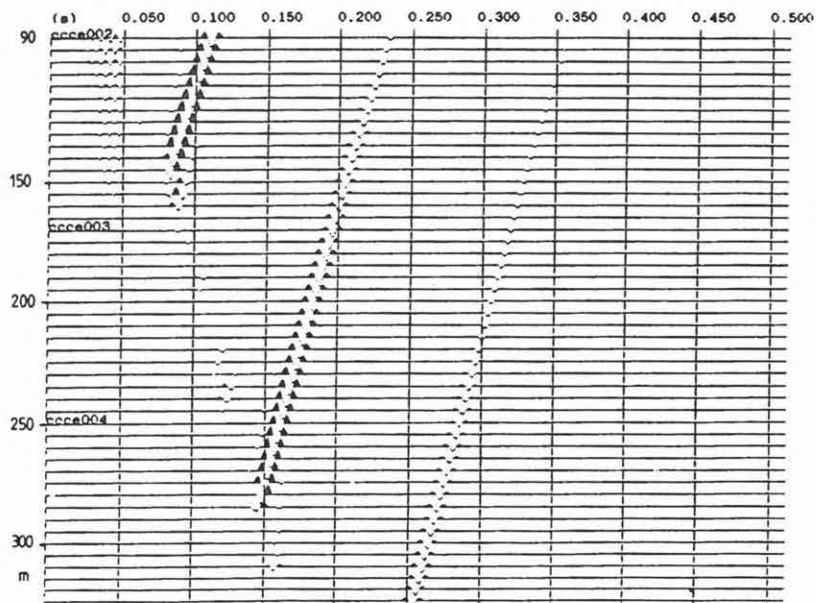


38. ábra. 4 rétegű VSP szelvénymodell többszörösök nélkül

Fig. 38. Four-layered VSP section model without multiples

рис. 38. Четырехслойный модель VSP без многократных отражений

- jelalak-formálás a terepi felvételeken, a monitorgeofon jelének felhasználásával a gerjesztési feltételek ingadozásaival kapcsolatos jelalak-változások kiküszöbölésére;
- robbantóponti statikus korrekció a felidő csatorna első beérkezéseinek interaktív bejelölésével;
- 3-komponenses távoli mérés esetén tetszőlegesen irányított csatornák számítása a direkt hullám amplitúdókomponensei alapján;
- impulzus dekonvolúció;
- spektrumanalízis;
- frekvenciaszűrés;
- sebességszűrés  $f$ - $k$  tartományban;
- le- és felmenő hullámtér szétválasztása  $f$ - $k$  vagy medián szűrővel (39. ábra);
- kétszeres menetidőszelvény képzése (40. ábra);
- súlyozott összegszelvény számítása (41. ábra) a le és felmenő hullámtérből, a reflexiók pontos mélységazonosításához;
- "korridor" vagy teljes összegcsatorna számítása a 40. ábrán interaktívan kijelölt csatornaszakaszokból (42. ábra).

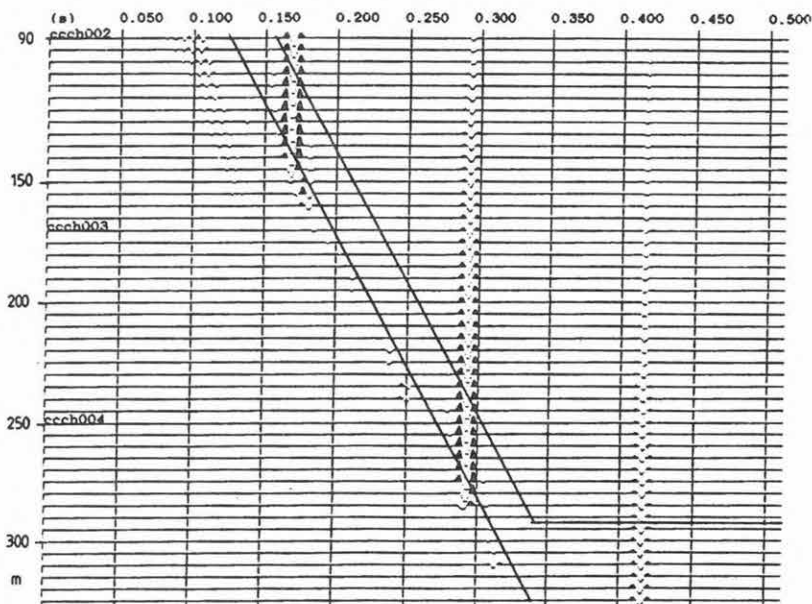


39. ábra. A felmenő hullámter  $f$ - $k$  szűrés után

Fig. 39. Upgoing wavefield filtered with median filter

рис. 39. Восходящее волновое пространство после  $f$ - $k$  фильтрации

- spike deconvolution;
- spectral analysis;
- frequency filtering;
- velocity filtering in the  $f$ - $k$  domain;
- decomposition of the downgoing and upgoing wave fields by median filters (an example can be seen in Fig. 39);
- construction of the two-way time section (Fig. 40);
- computation of the weighted stack section from the down- and upgoing wavefields for exact depth calculation (Fig. 41);
- computation of 'corridor' stack, or final stack from interactive chosen channel sequences (Fig. 42).



40. ábra. Kétszeres menetidő szelvény a reflektált hullámokból a "korridor" összeghez felhasznált csatornarészekkel

Fig. 40. Two-way time section with parts of channels used for 'corridor' stack

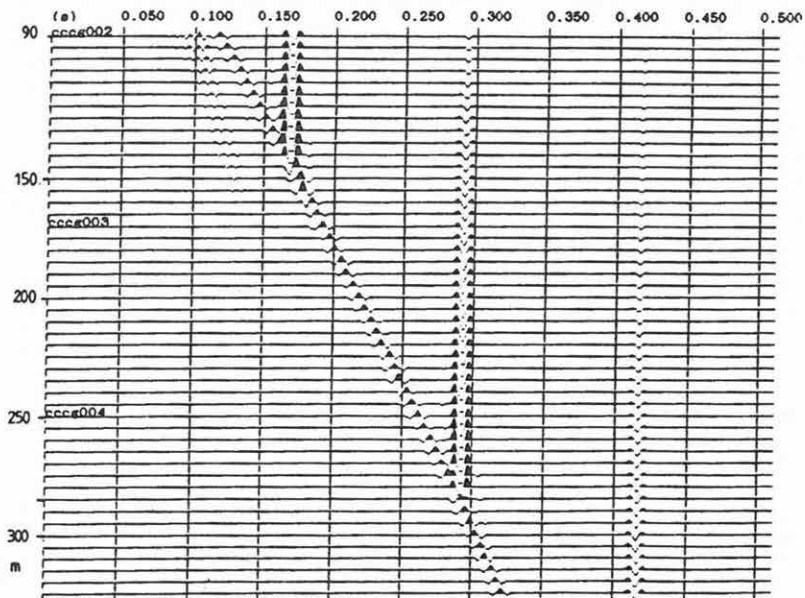
рис. 40. Двухкратный разрез из отраженных волн с фрагментами каналов, использованных при суммировании по коридору

## 2. 1. 4 Refrakciós adatfeldolgozás személyi számítógépen

Lukácsy József, Scholtz Péter

Az elmúlt években számos, az IBM PC-re írt refrakciós feldolgozó szoftver jelent meg a szeizmikus gyakorlatban. Az ELGI sok sekélyszeizmikus mérést végez, ezért 1990-ben kifejlesztettünk egy, a refrakciós szeizmogramokat hagyományos módon feldolgozó programot. A program alkalmazkodik a különböző terítési rendszerekhez, legyen az korrekciós mérés vagy nagyfelbontású szerkezetkutatás. Bizonyos lövési elrendezés esetén több terítésnyi adat egy rendszerként kezelhető. A menetidő-görbéket grafikusán jelenítjük meg. A görbéken kölcsönös menetidőt és sebességet számolhatunk, illetve különbségi menetidőt és egyesített menetidőt szerkeszthetünk (43. ábra).

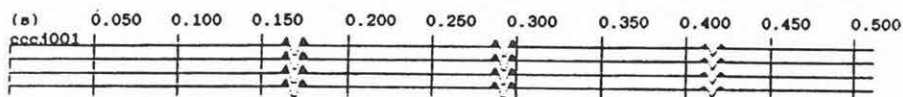
A kiértékelési eljárások közül a plusz- minusz illetve a hullámfront módszert választottuk. A hullámfront eljárás csak megfelelő bázis/mélység arány esetén állít



41. ábra. Súlyozott összeg a le- és felmenő hullámokból. (A direkt hullámok hozzáadása 0,02 együtthatóval szorozva)

Fig. 41. Weighted stack section of down- and upgoing waves (adding direct waves multiplied by coefficient 0.02)

рис. 41. Взвешенное суммирование низ- и восходящих волн (доли прямых волн умножены с коэффициентом 0.02)



42. ábra. "Korridor" összegcsatorna

Fig. 42. 'Corridor' stack channel

рис. 42. Суммированный по корридору канал

elő mélységszelvényt, és érzékeny a zajokra, viszont megbízható szelvényt eredményez. A mélységszelvényt grafikusán ábrázoljuk, a megjelenítés léptéke változtatható. A szelvényről nyomtatott másolat készíthető (44. ábra).

Statikus korrekciót a mélységszelvény ismeretében számíthatunk. A funkció kimenetét a nagygépes feldolgozás által igényelt formátumra alakítottuk. A feldolgozás során lehetőség van a visszamenőleges módosításra. Ha szükséges, a már kiértékelt terítésekről új modellt alkothatunk, jellemző paramétereit megváltoztathatjuk. A "kézi" feldolgozással szemben előnyt jelent, hogy az elsőbeérkezés-beelölés, menetidőgörbe szerkesztés, valamint a mélységszámítás munkaigényes rutinjait programból valósítjuk meg. A modellalkotás a menetidőgörbe, az értelmezés a szelvény ismeretében továbbra is a feldolgozó lehetősége és felelőssége.

## 2. 1. 5 A végeelemes modellezés alkalmazása

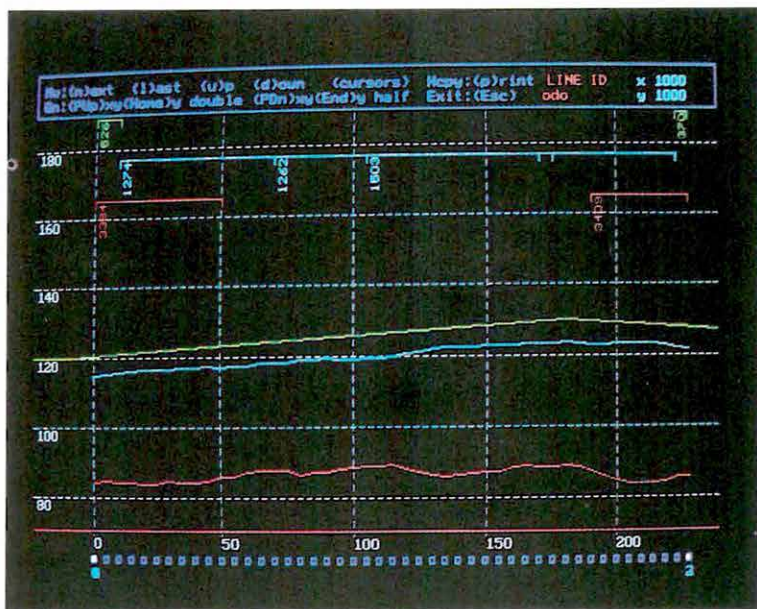
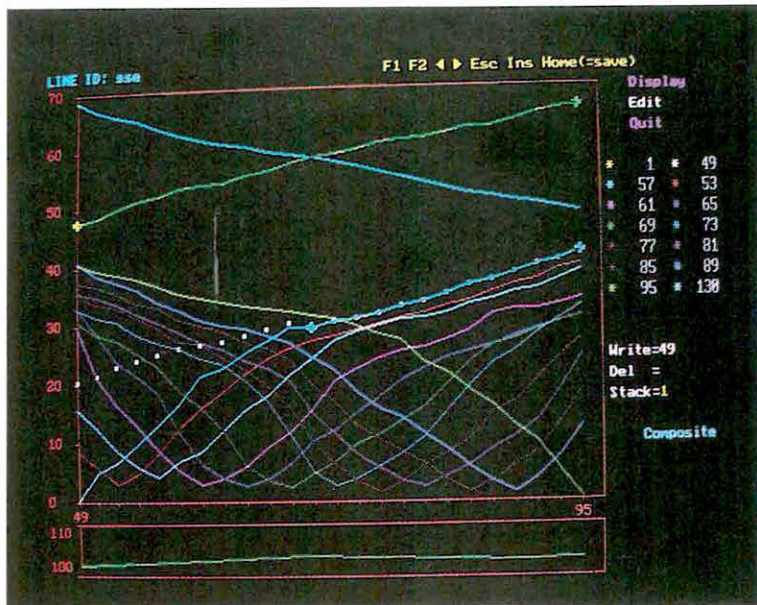
*Detzky Gergely, Angyal László*

A modern matematika és a számítástechnika integrált eredményei révén egyre inkább napi gyakorlattá válhat a végeelemes modellezés, ami kiválóan alkalmazható a műszaki-földtudományi problémák elemzésében is. Az ELGI végeelemes modellezéssel kapcsolatos tevékenysége néhány évvel ezelőtt egy személyi számítógépen futó program fejlesztésével kezdődött. A módszert először egy mérnökszeizmikus minivibrátor tervezéséhez használtuk. Később kétdimenziós fal rezonanciáját vizsgáltuk modellszámítással és méréssel valós objektumon, megállapítandó, hogy kisebb épületek sajátfrekvenciái beleesnek-e a vibroszeizmikus sávba [ELGI 1988–1989. Évi Jelentése, pp. 146–150]. Az utóbbi időben hozzáférhetővé váltak olyan professzionális programcsomagok is, amelyekkel hatékonyan lehet végeelemes modellszámításokat végezni. Ezek egyikével, a COSMOS rendszerrel (Structural Research and Analysis Corp. Santa Monica, USA) végeztük az alábbi kísérleti számításokat.

A modell maximálisan 8000 elemből állhat 5000 szabadsági fokkal. A COSMOS program főbb moduljai a grafikus előkészítő, az elektromágneses, a statikai, a dinamikai a kinetikai és áramlástani számító modul és a grafikus megjelenítő. A felhasználó a programmal egy kényelmes menün keresztül kommunikál. Beépített, bővíthető anyagtáblázatok és a lehetséges véges elemek széles választéka áll rendelkezésre. A modellszámítások eredményeinek megjelenítése a grafikus CAD rendszerekben megszokott színvonalon lehetséges. A mértékrendszer megválasztása a felhasználó feladata. Az eredmények megjelenítésénél a mértékegység nem kerül feltüntetésre. A modellekhez mi az SI rendszert használtuk és ennek megfelelően az elmozdulást m-ben, az erőt N-ban, a nyomást és feszültséget  $N/m^2$ -ben, a frekvenciát Hz-ben mértük.

A következő ábrák a COSMOS rendszer képernyőfotói. A keret felső részén a főmenü vagy az aktuális adatállomány azonosítói, a jobb oldalon a választható







43. ábra. Egyesített menetidőgörbe szerkesztése

Fig. 43. Construction of a composite time-distance curve

рис. 43. Составление объединенного годографа

44. ábra. Kétréteges refrakciós mélységsvény

Fig. 44. Two layer refraction depth profile

рис. 44. Двухслойный разрез КМПВ по глубине

## 2. 1. 4 Processing of refraction data on personal computers

*József Lukácsy, Péter Scholtz*

Numerous items of seismic refraction data processing softwares have appeared in seismic practice in recent years. Owing to the growing amount of shallow seismic surveys, in 1990 we developed a program package for the conventional processing of refraction seismograms. This program can handle the different refraction spread configurations from simple static correction setup to high resolution structural measurement. With suitable shot configuration the acquisition data of several spreads can be considered as a unique system. Time–distance curve can be represented graphically. Reciprocal times, velocities and composite curves can be directly calculated (*Fig. 43*).

For depth profile construction the plus–minus method and the wavefront method are used. The wavefront method can be used only if there is an effective base/depth ratio for depth construction. It is also noise sensitive but it generally gives reliable results. The depth profile can be displayed graphically in any arbitrary scale. Hardcopy printout is available (*Fig. 44*).

Static corrections can be calculated from depth results. Output data are compatible with different computer formats. During the elaboration of data any kind of modification is possible. If necessary, a new model can be constructed from intermediate depth results and characteristic parameters can be changed. In comparison with time consuming manual interpretation methods it is very advantageous that the picking of first arrivals, depth calculation and time–distance data can directly be obtained from a programmed computer routine. At its disposal the interpreter has a wide range of modification facilities relating to initial models within the limits of a given time distance data set.

## 2. 1. 5 Application of finite–element modelling

*Gergely Detzky, László Angyal*

The method of finite element modelling (FEM) as a result of modern mathematics and computer technology is an extraordinary tool for analysing problems in the applied Earth Sciences. The activities in FEM began some years ago in ELGI on a PC base. The method was first used to design a mini–vibrator for engineering seismics. Later the resonance characteristics of a two dimensional wall were analysed by model computation with measurements on real objects. It was found that the eigenfrequencies of smaller buildings are within the VIBROSEIS band [Annual Report of ELGI 1988–89. pp. 267–268]. In recent times professional program packages have become available which can be used for efficient finite–

grafikus funkciók emlékeztető piktogramjai, alul pedig az éppen végrehajtott parancs látható. A program a modell mellett minden ábrán feltünteti az ábrázolt fizikai mennyiségnek a skála egyes színeihez tartozó tényleges értékét.

### *Épületek földrengésállóságának vizsgálata*

A témának az ad aktualitást, hogy a nagyobb létesítmények (atom- és vízi erőművek, veszélyes anyagokkal működő üzemek, hulladéktárolók) földrengések esetén bekövetkező viselkedését az eddigieknél is gondosabban kell elemezni. Első lépésben arra az egyszerű kérdésre kerestünk választ, hogy egy nagyobb méretű épület sajátfrekvenciáit tudjuk-e észlelni meglévő szeizmikus műszereinkkel. A modellezés tárgyául Intézetünk hatemeletes épületét választottuk.

A test előzetes geometriai definíciójához, melyet esetünkben az épület un. drótmodellje jelenít meg (45. ábra), hozzárendelhetők a globális fizikai paraméterek (sűrűség, Young-modulus, Poisson állandó, gravitációs gyorsulás stb). A modell teljes meghatározásához hozzátartoznak a peremfeltételek. Ezek után statikus modellnél számíthatók a testben fellépő elmozdulások, erők, feszültségek, dinamikus modellnél a rendszer sajátrezgéseishez tartozó frekvenciák és az előbbi mennyiségek relatív értékei rezgés közben a modell különböző pontjaiban.

Az épület különböző modális rezgésállapotaihoz tartozó elmozdulásokat a program nagyított (megválasztható) léptékben jeleníti meg (46. ábra). Látható, hogy az alapmódus frekvenciája a hagyományos szeizmikus műszerek frekvenciatartományának alsó határán van. Nagyobb létesítmény esetén csak olyan célműszerrel oldható meg a közvetlen regisztrálás, melynek átviteli sávja alacsonyabb (<1 Hz) frekvenciákat is lefed.

### *Bányatér kőzetfeszültségi modellezése*

A bányászati tevékenység megváltoztatja a kőzetekben a feszültségeloszlást. A feszültségek felhalmozódása és hirtelen felszabadulása a bányatérben váratlan omlásokat, rengéseket okozhat. A már végrehajtott fejtési műveletek nyomán kialakuló anomális feszültségállapotok kimutatására az ELGI-ben jól bevált geofizikai módszerek állnak rendelkezésre, melyekről már korábban beszámoltunk [KÖRMENDI et al. 1986]. A környező kőzetekben a bányaműveletek alapján valószínűsíthető feszültségtér jobb prognosztizálása még tovább növelheti a bányabiztonságot.

A példánkban egy egyszerű statikus bányamodell látható, ahol a merev fekűn 5 m vastag szén és azt lefedő 20 m vastag mészkő települését feltételeztük. A 200x200 m-es blokk felső felületén 175 m vastag átlagos sűrűségű üledékes kőzetnek megfelelő litosztatikusság nyomás hat. A szénben egymástól 80 m-re lévő két 5 m széles párhuzamos bányavárat által közrefogott teleprész felét a frontfejtés

element computer modelling. The following experimental work was carried out by using one of these programs named the COSMOS system (Structural Research and Analysis Corp. Santa Monica, USA)

The model can accommodate 8000 elements with 5000 degrees of freedom. The main modules are: graphic preprocessor, electromagnetic, static, dynamic, kinetic and fluid mechanics computing modules with graphic display. The user can communicate with the program by a convenient interface. A wide range of possible finite elements and extendable built-in tables for different materials is available. The results can be displayed by a CAD-like graphic system. The choice of the measuring system depends on the user. Displays do not indicate the measuring units. For our model calculations we used the SI system so displacement was measured in m, force in N, pressure and tension in  $N/m^2$ , frequency in Hz.

The figures represent the screen photos of the displays. At the upper part of the frame the main menu or the actual data set appears; on the right are the pictograms of the optional graphic functions; the lower part shows the command being executed. On all figures the program portrays the real values belonging to the colour scale of the displayed physical quantity.

### *Investigation of the resistance of buildings to vibrations*

The up-to-dateness of this subject is due to the requirement that the behaviour of large establishments (atomic and hydro power plants, factories operating with dangerous materials, waste containers) with regard to earthquake resistance should be analysed much more carefully. In the first step an important question arises, viz. whether the eigenvibrations of a large building can be analysed using available seismic equipment. As a subject of our analysis the seven-storey building of our Institute was chosen.

The geometric definition of the body is given by the wire model of *Fig. 45*, to which global physical parameters (density, Young's modulus, Poisson's ratio, gravity acceleration, etc) can be related. For the full definition of the model the boundary conditions should also be known. In the case of a static model the interior displacements, forces and tensions, in the case of a dynamic model the frequencies belonging to the eigenvibrations and the relative values of the former quantities can be computed at different points of the model during the vibration.

The displacements relating to the different vibration conditions are displayed on a larger scale (arbitrary selection is possible) (*Fig. 46*). It can be seen that the first modal frequency is located at the lower limit of the conventional seismic equipment domain. During the analysis of a large building, direct registration can be done only with equipment of a lower frequency band ( $<1$  Hz).

lefejtette. A lefejtett terület felett a fedőösszlet besüllyed és a kőzetek deformációja mellett a modellben előáll egy anomális feszültségtér. Az eredő állapot komponensei a program segítségével grafikus formában megjeleníthetők. A 47. ábra a bányatér modelljében létrejövő függőleges irányú elmozdulásokat mutatja. Sötétbarna színnel (legkisebb elmozdulás) jelenik meg a szénréteg, a világos színek a fedő mészkőréteg különböző elmozdulású zónáit jelzik. A modellen ellenőrizhető, hogy az adott szituációban kialakul-e veszélyes feszültségzóna. Ha például növeljük a fedő mészkő merevségét, szimulálható a bányászatban közismert veszélyes helyzet, miszerint csak a hosszan aláfejtett fedőben lép fel olyan feszültség, amely azt képes leomlasztani. Az omlásveszélynek kitett nagy kőzettömeg mérete mellett a modellből becsülhető a szénrétegben a frontfejtés közelben megnövekedett nyírófeszültség is. A 48. ábrán az eltávolított fedő alatt a szénben kialakuló y normálirányú nyírófeszültség van feltüntetve. Látható, hogy a világoskék színnel jelentkező anomális feszültség a front körül koncentrálódik.

Ennek a modellnek a viselkedését egyébként hagyományos eszközökkel, egyszerű módon is lehet számítani. A modellezés igazi előnyei természetesen az ennél bonyolultabb geometriájú esetekben mutatkoznak meg.

### *Földtani szerkezetek elemzése*

A földtani szerkezetek közvetlen vizsgálatára, leképezésére a leghatékonyabb módszerek egyike a szeizmika. A szeizmikus értelmezés eredményeként kapott szerkezeti kép realitásának, megbízhatóságának vizsgálatához lényeges, hogy a földtani struktúrát ne "állóképnek", hanem egy dinamikus folyamat jelenlegi állapotának tekintsük. A tektonikai mozgások bonyolultságából következően a jelenségek analízisében itt is hatékonyan alkalmazható a végeselemes modellezési eljárás.

A tektonikai elemek állapotát több komponens együttesen alakítja. A bemutatott kétdimenziós testek esetében külön vizsgáltuk egy normál vető mentén ható vertikális, és a lemeztektónikai mozgások okozta horizontális erők hatását, miközben mindegyik esetben figyelembe vettük a nehézségi erőt. A 49. ábrán a hat számozott blokkból álló általánosan alkalmazott test drótmodellje látható, melyben a peremfeltételeknek megfelelően a jobb oldali él horizontálisan, az alsó pedig mindkét irányban rögzített. A négyzetháló osztása 1 km-es. A különböző verziókat a peremfeltételek kiegészítésével és a blokkokhoz tartozó anyagtulajdonságok változtatásával származtattuk. Az 50. ábra modelljében csak gravitáció hat egy olyan testre amelynek 3. blokkja egy nagyságrenddel puhább a többinél. Látható, hogy a 3. blokk nagyarányú tömörödése folytán létrejött torzulás a nyírófeszültség  $\tau(x,z)$  terében helyi anomáliák kialakulásához vezet. Ezek a helyek a liztrikus vetők legvalószínűbb kifejlődési zónái.

Az 51. ábra egy olyan test modelljét mutatja, amelynek fekéjében 1 km amplitúdójú vertikális vető látható. A felvetett blokk középső részén lokálisan





45. *ábra.* Az ELGI épületének drótmmodellje

*Fig. 45.* Wire model of the ELGI building

*рис. 45.* Проволочная модель здания ЭЛГИ

46. *ábra.* Az ELGI épületmodelljének dinamikus rezgésformái  
(első négy módus)

*Fig. 46.* Model forms of dynamic vibration of the ELGI building  
(the first four modes)

*рис. 46.* Формы колебаний динамической модели здания ЭЛГИ  
(первые четыре моды)

47. *ábra.* Bányatérseg statikai modellje (z irányú elmozdulás [m])

*Fig. 47.* Static model of a mining area (displacements toward the  
direction [m])

*рис. 47.* Статическая модель горного пространства (смещение по оси z, м)

48. *ábra.* A modellezett szénrétegben haladó frontfejtés környezetében  
kialakult feszültségtér (y normálirányú síkban ható z irányú nyírófe-  
szültség [ $\text{N/m}^2$ ])

*Fig. 48.* Stress field produced in the environment of longwall operations in a  
modell of a coal seam (z direction shear stress [ $\text{N/m}^2$ ] operating in y  
normal direction plane)

*рис. 48.* Поле напряжений в окрестностях очистного забоя в модели-  
руемом угольном пласте (скальывающее напряжение в направ-  
лении y, действующее в нормальной плоскости x,  $\text{H/m}^2$ )

The stress distribution in rocks is altered by mining activities. The accumulation of stresses and their sudden release can cause unexpected collapses and quakes. The stress condition anomalies due to previous workings can be detected by well proved geophysical methods developed by ELGI [KÖRMENDI et al. 1986]. A better forecast of the stress distribution in rocks is a useful means of increasing safety in the mine.

Our experiment is based on a simple static mining model, where the rigid layer is overlain by a 5 m thick coal seam and 20 m thick limestone. On the upper surface of a 200x200 m dimension block the lithostatic pressure is equivalent to a 175 m thick sedimentary rock load with an average density value. In the coal seam there are two parallel galleries 80 m apart. The diameter of each gallery is 5 m. One half of the coal seam between the galleries is exploited by the advancing face. Over the area of the exploitation the rock complex is sunk and in addition to the rock deformation an anomalous stress condition is produced. The components of the resultant state can be displayed in graphic form. The vertical displacements produced in the model are represented in *Fig. 47*. The dark brown colour (least displacement) indicates the coal seam, the bright colours are related to the different zones of displacement in the limestone layer. The development of a dangerous stress zone can be checked in reference to a given configuration. If, for example, the rigidity of the limestone layer is increased, one can simulate the well known problem when the stresses produced by long mining operation may result in a collapse. The model experiment helps to assess the dimensions of the rock mass exposed to the danger of collapse and the increasing shear stress produced in the coal seam. The  $y$  direction normal shear stress of the coal seam developing under the removed cover is represented in *Fig. 48*. The bright blue coloured stress anomaly is concentrated around the coal face.

The behaviour of the model could also be analysed with conventional routines using simple computation. The principal advantage of the modelling can be realised only in the case of geometrically more complex situations.

### *Analysis of geological structures*

Seismics is one of the most effective methods for analysing geological structures. The structural picture derived from seismic interpretation cannot be considered to be 'static' but as an actual representation of a dynamic process. As a consequence of the complexity of tectonic movements the finite-element method is considered to be a very effective tool for studying these processes.

The state of the tectonic elements is influenced by several components. In our two dimensional analysis we have separately taken into consideration the influence of the vertical force along a normal fault and the horizontal force caused



jelentkező (sötét) feszültséganomáliából következtethetünk a fővetőt kísérő másodlagos törések helyére és irányára.

A 52. ábra horizontális irányú erő hatását szemlélteti. A modell 2., 3. és 6. blokkja közepes szilárdságú, a másik három blokk kemény. Az alapon mérhető litosztatikus nyomással azonos nagyságú, egyenletes eloszlású nyomás hat az  $x$  tengely irányában, a test bal oldali élén annak belseje felé. A szintvonalak a horizontális elmozdulás mértékét jelzik. Az ilyen és hasonló rendszerek komplex viselkedésére jellemző példa, hogy a várttól eltérően gyakorlatilag az egész 5. blokk éppen a külső erőhatással ellentétes irányban mozdul el (az 5. blokk színei mind negatív  $x$  irányú elmozdulásértékeket jelölnek).

Ez a néhány egyszerű modell csupán a szóbanforgó technika szerkezetföldtani alkalmazhatóságát hivatott érzékelteni, és természetesen a felhasznált program lehetőségeit messze nem használja ki. A teljesebb statikai analízishez minden verzió esetében komplexen vizsgálni kellene az elmozdulás, valamint a nyíró- és normál-feszültség összes komponensét. A későbbiekben tervezzük 3D modellek vizsgálatát elsősorban az oldaleltolódásos tektonika elemzése céljából. A földrengek gyakoriságának és energiájának prognózisa szempontjából további kutatási téma lehet a ma is aktív zónák mentén rugalmas energiákat akkumuláló és azokat időnként felszabadító feszültségtér szimulációja. Mivel az adott eljárás univerzális, alkalmas más fizikai terek modellezésére is, például a napjainkban mind aktuálisabbá váló geotermikus energia hasznosítása kapcsán felvetődő hőtani problémák megoldásában.

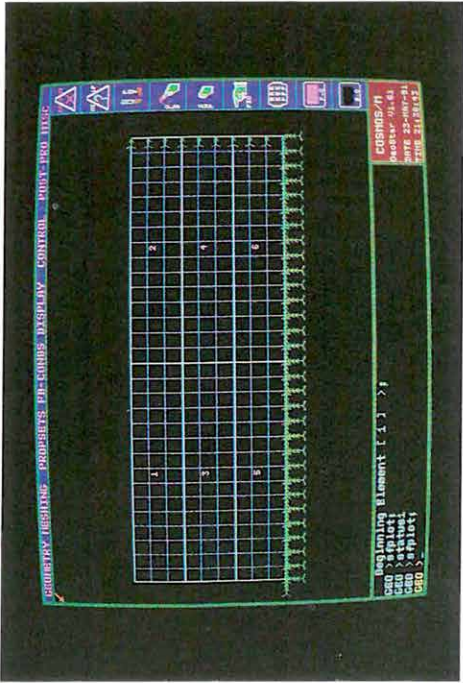
## Reference/Hivatkozás

KÖRMENDY A., BODOKY T., HERMANN L., DIANISKA L., KÁLMÁN T. 1986: Seismic measurements for safety in mines. Geoph. Prosp. 34, 7, pp. 1022–1037

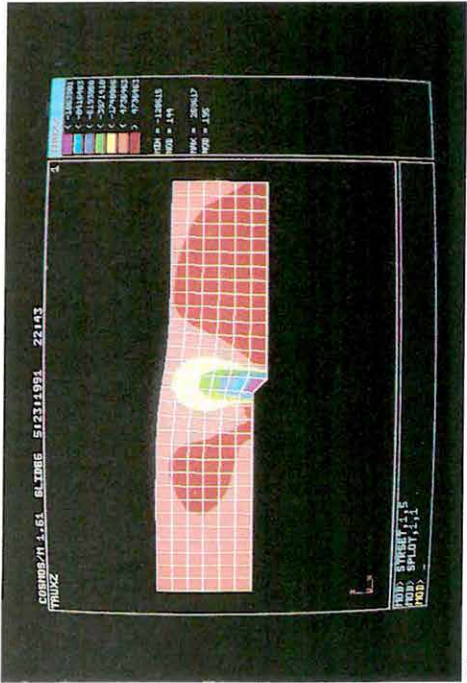
### 2. 1. 6 Sebességtomográfia longitudinális és transzverzális hullámokkal

*Hermann László, Dianiska László, Jankovics Bálint (Bakonyi Bauxitbánya Vállalat), Prónay Zsolt, Törös Endre*

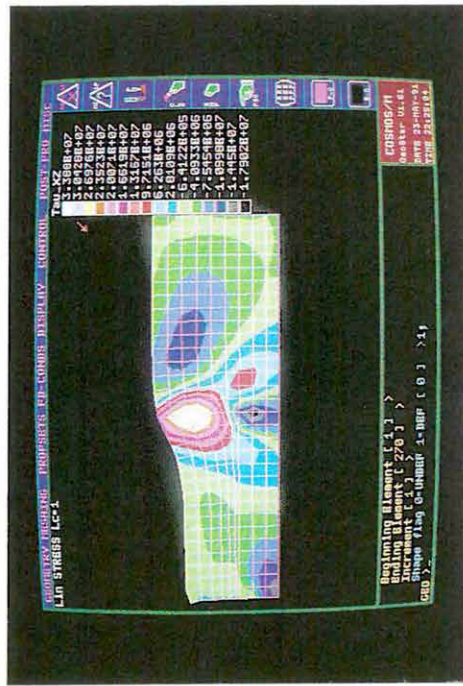
Ismeretes, hogy a geofizikai gyakorlatban már rutinszerűen alkalmazott  $P$ -sebességtomográfiánál többlet információt adó, a transzverzális ( $S$ ) hullámok terjedési idejét is felhasználó — a továbbiakban  $P/S$  — tomográfia mérés technikai szempontból nem mindig könnyen megvalósítható többletkövetelményeket támaszt: törekedni kell a hangsúlyozott transzverzális hullámkeltésre és a többkomponens észlelésre.



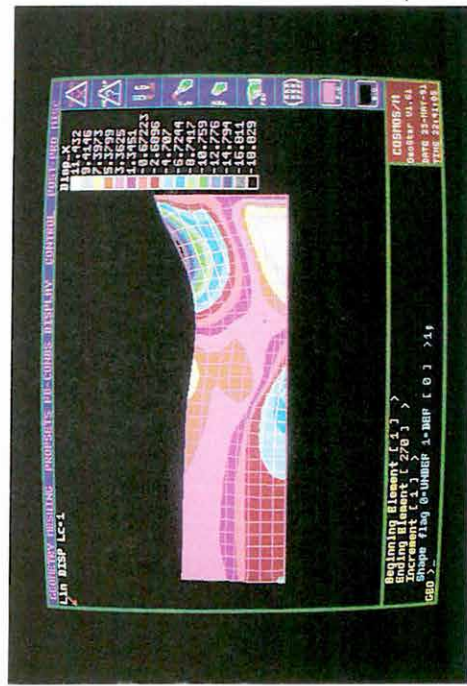
49



51



50



52

49. ábra. Kétdimenziós tektonikai modell (blokkok és 1 km méretű elemek)

Fig. 49. Two dimension tectonic model (blocks and 1 km sized elements)

рис. 49. Двумерная тектоническая модель (блоки и элементы размером в 1 км)

50. ábra. Gravitációs deformáció modellje ( $x$  normálirányú síkban ható  $z$  irányú nyírófeszültség [ $\text{N/m}^2$ ])

Fig. 50. Model of gravitational effect ( $z$  direction shear stress in  $x$  normal direction plane [ $\text{N/m}^2$ ])

рис. 50. Модель эффекта от силы тяготения (скальывающее напряжение в направлении  $z$ , действующее в нормальной плоскости  $x$ ,  $\text{Н/м}^2$ )

51. ábra. A fekében lévő normál vető modellje ( $x$  normálirányú síkban ható  $z$  irányú nyírófeszültség [ $\text{N/m}^2$ ])

Fig. 51. Model of a normal fault in the basement ( $z$  direction shear stress in  $x$  normal direction [ $\text{N/m}^2$ ])

рис. 51. Модель сброса в подошве (скальывающее напряжение в направлении  $z$ , действующее в нормальной плоскости  $x$ ,  $\text{Н/м}^2$ )

52. ábra. Vízszintes irányú erőhatás modellje ( $x$  irányú elmozdulás [ $\text{m}$ ])

Fig. 52. Model of a horizontal force effect (displacement in the  $x$  direction [ $\text{m}$ ])

рис. 52. Модель горизонтально действующей силы (смещение в направлении  $x$ , м)

by plate tectonic movements, both in the presence of gravity. The wire-model of the generally used body consists of 6 numbered blocks (*Fig. 49*) where in accordance with the boundary conditions, the right side edge is horizontally fixed, whereas the lower one is fixed in both directions. The square network is scaled by 1 km. Different versions had been defined by altering additional boundary conditions and properties of the materials involved. In the model represented by *Fig. 50* only gravity has an effect upon the body whose material in block No. 3 is one order softer. It can be observed in the space of the shear stress field  $\tau(x,z)$  that local anomalies are produced by torsions due to large-scale compaction in block No. 3. It can be supposed that these indications are related to the development zones of the listric faults.

*Fig. 51* represents a model with a 1 km amplitude vertical fault in its basement. In the middle part of the upthrown block a stress anomaly (dark colour) can be observed which is a probable zone of secondary fractures following the main fault.

The next example shows the influence of a horizontal force (*Fig. 52*). Blocks 2, 3, and 6 of the model are of medium solidity, the other three blocks are hard. On the left side of the body there is a uniformly distributed pressure, operative in the  $x$  direction, approximately equal to the lithostatic pressure at the basement. Contour lines indicate the horizontal displacement. A typical example of complex behaviour of this and similar systems is that block No. 5 moves in just the opposite direction of the external forces (the colours indicate negative values of displacements in  $x$  direction).

These examples serve only to show the applicability of the technique in structural geology. Software capabilities can provide the solution of much more complex problems. For a more complete static analysis it is necessary to study all components of the displacement and the shear and normal stresses. 3D model studies are planned as a means of analysing the tectonic problems of lateral displacements. From the viewpoint of earthquake occurrence and prediction the modelling of the stress field of an active zone where elastic energies are accumulated and released from time to time could be an other subject to be studied. The universality of the described method provides a means for modelling other physical fields — among others the problems of the increasingly more timely application of geothermal energy.

## 2. 1. 6 Velocity tomography by longitudinal and transversal waves

László Hermann, László Dianiska, Bálint Jankovics (Bakony Bauxite Mining Enterprise), Zsolt Prónay, Endre Törös

It is a known fact that  $P/S$  tomography in comparison with wave tomography provides more information but presents special requirements from the

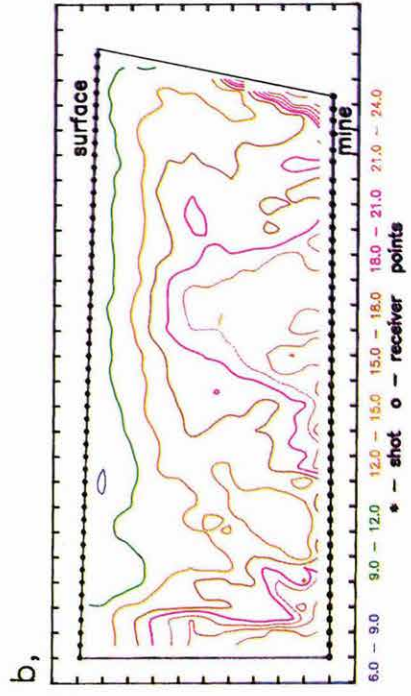
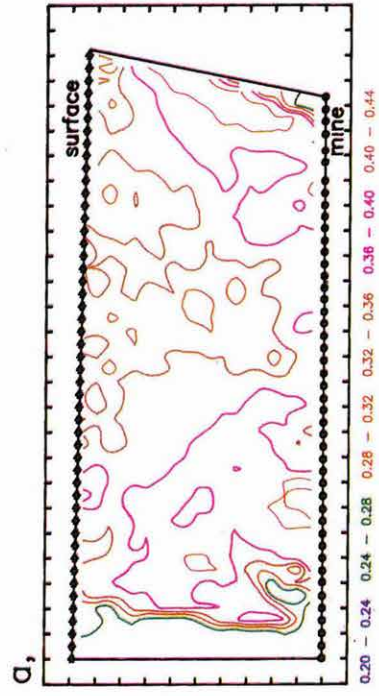
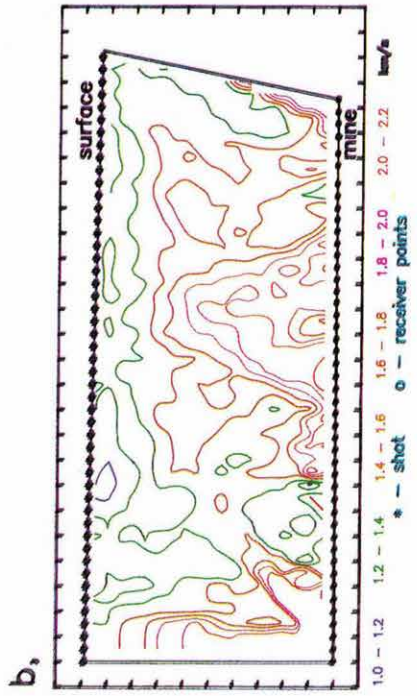
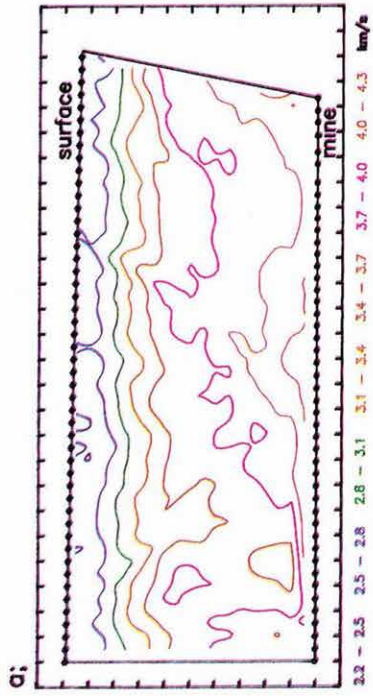


A Bakonyi Bauxitbánya Vállalat csabpusztai mélyművelésű üzemében gondot jelent a fedő összlet (Ugodi Mészkő Formáció) vízveszélyessége. A vízáadó szakaszok fellazult, töredezett zónákhoz köthetők. Ezek detektálására alkalmas eszköz lehet a közeg rugalmas tulajdonságait leképező *P/S* tomográfia. Ezért a Vállalat megbízásából kísérleti méréseket végeztünk a fellazult zónák kimutatására, amelyek egyben lehetővé tették az eredetileg széntelephullám-mérésekre kifejlesztett kétkomponenses szondák használhatóságának vizsgálatát is.

**Mérés:** A tomográf átvilágítást a közel szintes felszín és egy vízszintes, a felszín alatt kb. 100 m-es mélységben kihajtott, egyenes vágat között végeztük. A kétkomponenses érzékelőket a vágatfalba fűrt vízszintes, egymástól 5 m-re lévő 1 m-es mélységű lyukakban helyeztük el. Adatgyűjtésre két szimultán működte-tett ELGI ESS-24M digitális mérnökszeizmikus műszert használtunk. Megkísér-eltük a felszínen az SH hullámgerjesztést a mérés síkjára merőlegesen elhelyezett, talajra leszorított vízszintes deszka végeinek kalapácsos megütésével, de nem kaptunk kiértékelhető beérkezéseket, így a méréssorozatot 15 dkg-os, lefojtott töltetek robbantásával hajtottuk végre. A felszínen és a vágatban a sebességelosz-lások peremértékeinek meghatározására kiegészítő kisrefrakciós méréseket vé-geztünk.

**Adatfeldolgozás:** A sebességtérképeket a kétkomponenses felvételeken be-jelölt első beérkezési időkből (2136 P és 1704 S adat) görbült sugárutas SIRT (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) algoritmussal számítottuk személyi számítógépen. Az induló — horizontálisan homogén — sebességmező-ket az említett kisrefrakciós mérések adatait is felhasználva konstruáltuk. A sebességmátrixok rácsközét 5 m-re választottuk (1375 mátrix elem); a feldolgo-zásban mindkét esetben 5 iterációs lépést hajtottunk végre. A sebességmátrixokból az ismert összefüggéseket alkalmazva Poisson szám és Young modulus mátrixo-kat számítottunk  $2.7 \text{ t/m}^3$  homogén sűrűségét feltételezve.

**Eredmények:** Az egymástól függetlenül számított sebességeloszlások (53. ábra) struktúrája megnyugtatóan hasonló; a mélységgel növekvő értékű sebességmezők a vágatközépnél jelentkező nagysebességű tartomány mindkét oldalán sebességsökkenést jeleznek — ezek függőleges lehatárolása a dominán-san vertikális sugárutak következtében elmosódó. Az *S*-térkép széleinél fellépő "anomáliák" oka az, hogy ezeken a területeken a rossz jel/zaj viszony miatt nem tudtuk azonosítani a transzverzális beérkezéseket. Az alapvető struktúra a rugal-massági paraméter térképeken (54. ábra) jól követhető és egyértelműen kijelöl-hetőek a "laza", vízveszélyes tartományok (nagy Poisson arány, kis Young modu-lus). A *P/S* tomográfia eredményeinek szorosabb, esetleg számszerűsíthető kap-csolata a konkrét kőzetállapottal csak további információk alapján lesz meghatá-rozható.



53. *ábra.* Szeizmikus sebességtomográfia a csabpusztai bauxitbánya egyik vágata és a felszín között  
a—*P*-sebességmező; b—*S*-sebességmező

*Fig. 53.* Seismic velocity tomography between a gallery of Csabpuszta bauxite mine and the surface  
a— velocity field of *P*-waves and; b— of *S*-waves

*рис. 53.* Сейсмическая скоростная томография между шахтой Чабпуста и поверхностью  
a— скоростная область *P*, b— скоростная область *S*

54. *ábra.* Dinamikus rugalmassági paraméterek. Csabpusztai bauxitbánya  
a— Poisson-szám; b— Young modulus

*Fig. 54.* Elasticity parameter maps. Csabpuszta bauxite mine  
a— Poisson's ratio; b— Young's modulus

*рис. 54.* Динамические упругие параметры. Шахта Чабпуста  
a— число Пуассона; b— модуль Янга

viewpoint of the measuring technique. These requirements are: transversal wave generation and multicomponent observation.

In the Csabpuszta mine (Bakony Bauxite Mining Enterprise) the danger of water inrush presents a problem because of the roof rock complex (Ugod Limestone Formation). The water inlet areas can be related to incompact, fractured zones. For the detection of these areas *P/S* tomography could be a very useful method, since it maps the elastic properties of the medium. For this reason we carried out experimental measurements to detect the incompact zones. Here we have studied the possible use of two component sondes originally developed for 'in-seam' seismic surveys.

*Field survey.* The tomographic transmission was carried out between the quasi-horizontal surface and a 100 m deep straight gallery. The two component sensors were located in 1 m deep boreholes in the wall of the gallery spaced at 5 m from one another. Data acquisition was performed by two, simultaneously operating ELGI ESS-24M engineering seismic instrument. SH type wave generation was attempted by hammer strikes at both ends of a wooden plank fixed perpendicularly to the plane of the measurements. No interpretable arrivals were received so the experiments were continued by shooting small 15 dkg damped explosive charges. Additional refraction measurements were made on the surface and in the gallery to determine the margin values of the velocity distribution.

*Data processing.* Velocity maps were computed using first arrivals of the two component seismograms (2136 P and 1704 S data) by the curved raypath SIRT algorithm (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) on a personal computer. The starting — horizontally homogeneous — velocity fields were computed using data from the above-mentioned refraction measurements. Grid point intervals of the velocity matrix were chosen to be 5 m (1373 matrix elements). During the processing 5 iteration steps were used in both cases. With the application of known formulae the Poisson's ratio and Young's modulus matrices were calculated for a presumed homogeneous density of  $2.7 \text{ t/m}^3$ .

*Results.* The structure of the velocity distributions calculated independently from one another is quite similar (Fig. 53). With increasing depths the velocity fields show a velocity decrease on both sides of the high velocity domain at the central part of the gallery. The vertical delimitation of these phenomena is indistinct due to the presence of dominant vertical rays. The 'anomalies' at the border of the S map are due to the small signal/noise values of same areas where the identification of the transversal arrivals was impossible. The fundamental structure on the elasticity parameter maps (Fig. 54) can be well recognized and the 'incompact' and water dangerous areas can be determined (high Poisson's ratio, small Young's modulus). Detailed connections between the results of *P/S* tomography and the real lithological conditions can only be determined by further information.



## 2. 1. 7 A kismélységű fúrólukak közötti szeizmikus átvilágítás lyukszondáinak fejlesztése

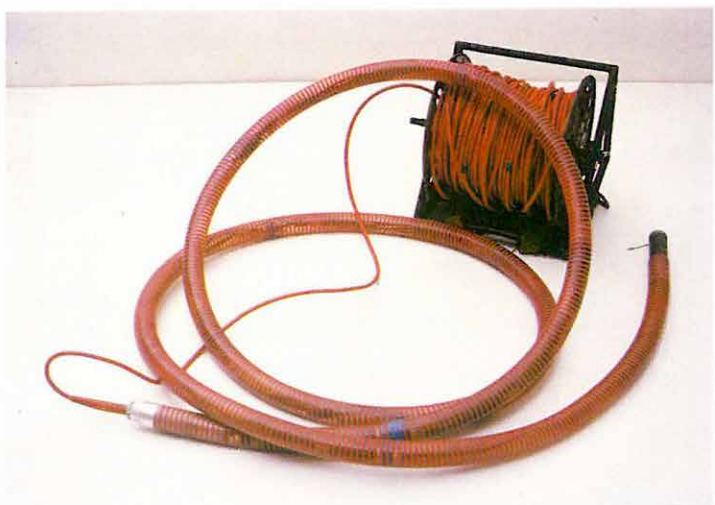
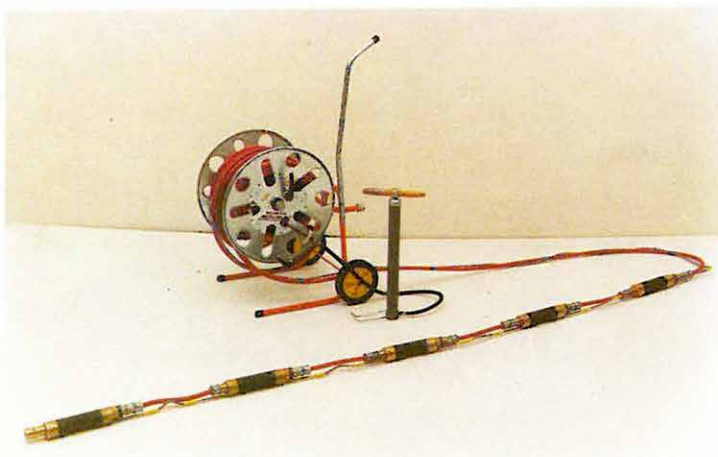
Hermann László, Prónay Zsolt, Szabados László, Takács Sándor, Törös Endre, Zeke László

A kismélységű fúrólukak közötti szeizmikus átvilágítás gyakorlati haszna nyilvánvaló. Jobb felbontóképességet érhetünk el, a tomográfikus sebesség- és abszorpciós térképek új információt jelentenek a felszíni szeizmikus mérésekhez képest. A dinamikus közetparaméterek in-situ meghatározásának egyedül lehetséges módja ugyancsak a longitudinális és transzverzális testhullámok terjedési sebességének fúrólukak közötti mérésén alapul. A fejlesztést indokolja továbbá az is, hogy a kismélységű fúrólukak vagy a mérnökgeofizikai szondázások után visszamaradó fúrások eddig elvesztek a szeizmikus információszerzés számára, éppen az eszközök és a módszer hiánya miatt.

A 20–30 m mélységű (és egymástól kb. ugyanilyen távolságra lévő) fúrólukak közötti szeizmikus információszerzés megvalósítását tűztük ki célul elsőként. Az ilyen fúrólukak jellemzője, hogy kis átmérőjű, zömmel száraz fúrások, amelyek beomolhatnak, kavernásodhatnak. A laza üledékes kőzetekben fúrt lyukakat vékonyfalú PVC csővel beléscsővezve tesszük alkalmassá a szeizmikus mérésre. A beléscső és a kőzet közötti gyűrűs teret a jó mechanikai csatolás érdekében a talajvízszint felett cementálni kell. Ugyancsak a jó mechanikai csatolást szolgálja az adó és vevő szondák falhoz szorítása. A szeizmikus hullámok forrása fúrólukkímélő, gyorsan ismételhető és nagyfrekvenciás kell legyen. A vevőoldalon követelmény a több geofonból álló szondafűzér kialakítása, mert ha egy rezgéskeltéshez több csatorna (sugárút) is tartozik, a rezgéskeltések száma csökkenthető. A vevőszonda lehet az olcsóbb hagyományos geofon, vagy az irányérzékenyebb piezoelektromos érzékelő. A feladatok döntő többségénél elegendő a mérnökseizmikus célra kialakított szeizmikus adatgyűjtő berendezés alkalmazása. A kismélységű fúrásokban történő mérések céljára egy hullámgenerátort (sparkert) és két szondafűzért fejlesztettünk ki.

Az *SpD1 típusjelű nagyfeszültségű generátor* (55. ábra) 24 V-os akkumulátorról üzemel. Bekapcsoláskor a generátor 500  $\mu$ F, 3000 V-os kondenzátorának feszültsége addig nő, míg eléri az előre beállított szintet. A műszer kimenete egy szikraszonda, amelyen keresztül a kondenzátor energiája elektromosan vezető közegben kisül. A 43 mm átmérőjű szondafej cserélhető, a csatlakozó kábel hossza 30 m. A forrás szeizmikus energiája kb. egy emberi kalapácsütésnek felel meg, domináns frekvenciája 400 Hz körüli.

A *CH-3K típusjelű szonda* (56. ábra) alkalmas a becementált 50 mm átmérőjű PVC csőben, vagy más, hasonló átmérőjű, állékony fúrólukban történő szeizmikus észlelésre. A szondafűzér 5 szondatagból áll, egyenként 3 komponenses, az egyes szondatagok távolsága 0,5 m. Az érzékelők 40 Hz-es sajtáfrekvenciájú geofonmagok. A szondák pneumatikusan falhoz szoríthatók, nyitott állapotban 43 mm átmérőjűek.



55. *ábra.* Az SpD1 jelű szeizmikus generátor (sparker)

*Fig.* 55. SpD1 type seismic generator (sparker)

*pus.* 55. Сейсмический генератор типа SpD1 (спаркер)

56. *ábra.* A CH-3K típusjelű háromkomponenses geofonfűzér

*Fig.* 56. CH-3K type three component geophone string

*pus.* 56. Трехкомпонентная цепочка сейсмоприемников типа CH-3K

57. *ábra.* A PH1 típusjelű hidrofonfűzér

*Fig.* 57. PH1 type hydrophone string

*pus.* 57. Цепочка гидрофонов типа PH1

## 2. 1. 7 Sonde developments for seismic cross-hole measurement

*Endre Törös, László Hermann, Zsolt Prónay, László Szabados, Sándor Takács, László Zeke*

The practical advantage of seismic cross-hole measurements between shallow holes is obvious. A higher level of resolution and new information can be gained from tomographic velocity and absorption maps in comparison with seismic surface measurements. In situ determination of dynamic rock parameters can only be carried out by using velocity data of longitudinal and transversal body waves between boreholes. A further reason for this development is that shallow boreholes or holes used for engineering geophysical tests can now be exploited to a greater extent to get more seismic information.

The first step to be realized was the acquisition of information from boreholes between 20 and 30 m deep (with the same distances between them on the surface). These boreholes are generally of small diameter and the majority of them are dry, and are thus exposed to destruction by becoming cavernous. These boreholes can be made suitable for seismic tests by casing them with thin-walled PVC tubes. The concentric circular space between the casing and the rock wall should be cemented above water level for good mechanical coupling. For the same reason the transmitter and receiver sondes should be clamped to the wall. A repeatable and high frequency source is needed which does not damage the hole. On the receiver side a string can be used consisting of several sensors to reduce the required number of repeated impulse generations. As receiver sonde, conventional geophones or direction-sensitive piezoelectric sensors can be used. For the majority of experiments engineering seismic acquisition equipment seems to be sufficient. For shallow experimental work a wave generator (sparker) and two sensor strings were developed.

The *SpD1-type high voltage generator* (Fig. 55) is fed by a 24 V accumulator. The condenser of 500  $\mu\text{F}$ , 3000 V will produce an increasing voltage until a preset value. The output is a sparker sonde where the energy of the condenser discharges into the electrically conductive medium. The 43 mm diameter sonde head is changeable, the connecting cable length is 30 m. The seismic energy of the source is approximately equivalent to a hammer strike by a human. The dominant frequency is about 400 Hz.

The *CH-3K type sonde* (Fig. 56) can be used in 50 mm diameter PVC tubes or in shallow wells of similar diameter. The string consists of 5 members, each of them having 3 components; the distance between each member is 0.5 m. The sensors are of 40 Hz natural frequency geophones. The sondes can be clamped pneumatically to the wall, their diameter in the open state is 43 mm.

The *PH1 type sonde* (Fig. 57) filled with oil, contains 11 hydrophone sensors. In fluid-filled wells these can be used for one component registrations. The distance between the sensors is 0.5 m, the sonde-wall is a flexible plastic tube with a diameter of 43 mm.

A PH1 típusjelű szondában (57. ábra) 11 db, műszerolajban úszó hidrofon-érzékelő van. Folyadékkal telített fúrólyukakban egykomponenses felvételek készítésére alkalmas. Az érzékelők távolsága 0,5 m, a szondafal hajlékony műanyagcső, külső átmérője 43 mm.

A 58. ábrán bemutatott felvétel része egy fúrólyuk-átvilágítási célú mérés-sorozatnak. Forrásként a bemutatott sparkert, vevőként a PH1 szondát alkalmaztuk. A sparkerral 20 m-es állandó mélységben 10 egymás utáni rezgéskeltést végeztünk. A rezgéskeltések közötti időben a forrástól kb. 25 m-re lévő, vízzel telített fúrólyukban a vevőszondát elmozdítottuk úgy, hogy folyamatos szelvényképet kapjunk. A felvételek az ESS 01-24M műszerrel készültek.

A szeizmogram alapján az eszközök alkalmasak a sekélymélységű fúrólyuk-átvilágítás céljaira. Ugyanakkor értelmezésük és a teljes hullámkép tomográf feladatú feldolgozása egy sor új, a továbbiakban megoldandó problémát vet fel.

58. ábra. Felvétel fúrólyuk-átvilágítási mérésekből

Fig. 58. Seismogram of cross-hole experiments

рис. 58. Запись межскважинного просвечивания



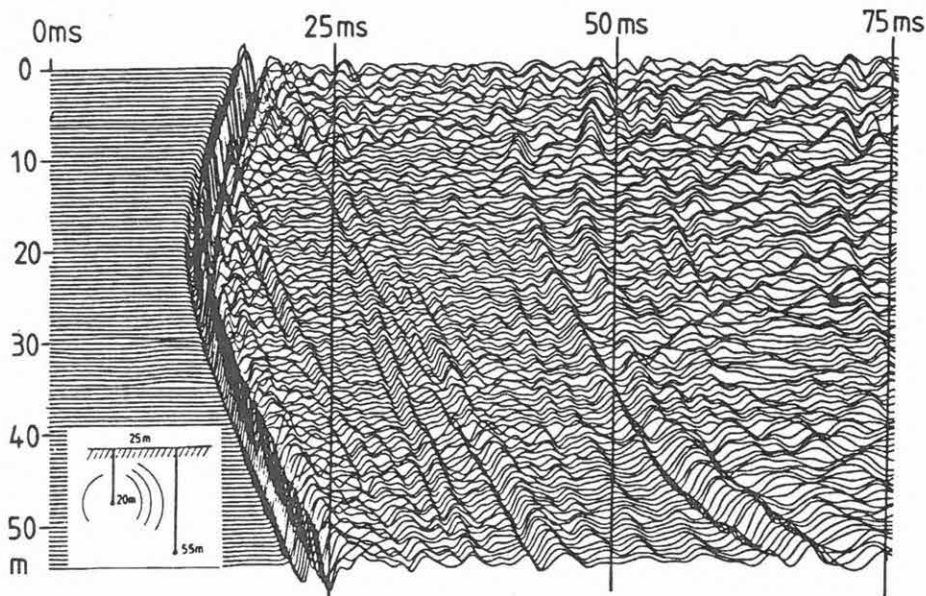
## 2. 1. 8 A "GTS-150" geofon paraméter ellenőrző műszer

Kengyel Miklós, Kútvölgyi Ferenc

A geofonok paramétereinek rázópad nélküli gyors meghatározására és ellenőrzésére fejlesztettük ki a GTS-150 műszert (59. ábra). A műszer alkalmas terepi csoportok bázisán vagy központi karbantartó laboratóriumokban a sebességérzékeny egyedi és csoportos geofonok egyenáramú ellenállásának, impedanciájának, saját frekvenciájának, csillapításának, torzításának, érzékenységének és szigetelési ellenállásának mérésére. A mért adatokat hét szegmensű kijelzőkön látjuk, de a beépített nyomtatón sorszámozott vizsgálati jegyzőkönyv is készíthető. A mikroprocesszor vezérlésű berendezés teljesen automatikusan méri a paramétereket. Az eljárások (funkciók) a következők:

*Egyenáramú ellenállás mérés az összehasonlítás elvével.* A méréshatár váltása automatikus. A mérés felbontása 0,1 illetve 1 ohm.

*Váltóáramú ellenállás (impedancia) mérése szintén az összehasonlítás elvével, hasonlóan az egyenáramú ellenállás méréshez.* A mérést a geofon önfrekvenciájára beállított váltakozó árammal végezzük úgy, hogy a szinuszos jel 90°-os



The registration seen on *Fig. 58* forms a part of a cross-hole experiment series. The source is the above-mentioned sparker while the receiver is a PH1 sonde. At a constant depth of 20 m the sparker released 10 consecutive impulses. During the time intervals between impulses in a water filled shallow well — about 25 m distance from the source — the receiver sonde was moved to get a continuous section. The registrations were made by ESS 01-24M equipment.

On the basis of the seismogram it can be seen that the equipment detailed can conveniently be used for cross-hole measurements. Nevertheless the interpretation and the processing of the whole cross-hole wavefield raise further problems.

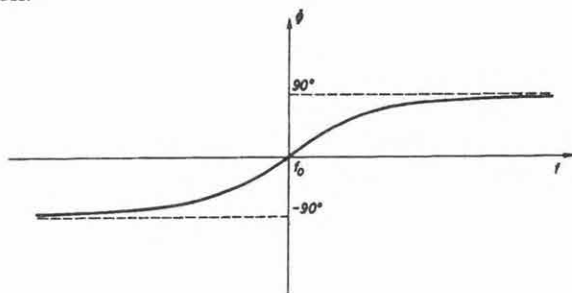
## 2. 1. 8 The 'GTS-150' geophone tester

*Miklós Kengyel, Ferenc Kútvolgyi*

The GTS-150 was developed for the checking and quick determination of geophone parameters without shakatables (*Fig. 59*). The equipment provides a means for routine testing of velocity-sensitive geophones and groups in the laboratory and the field, measuring direct current resistivity, impedance, natural frequency, damping, distortion, sensitivity and insulation resistivity. The mea-

csúcán mintát veszünk. A méréshatár-váltás itt is automatikus. A felbontás 0,1 illetve 1 ohm.

**Önfrekvencia mérése.** A geofon önfrekvenciáját fokozatos közelítéses eljárással vezérelt szinuszgenerátorral határozzuk meg. Ez a generátor 3–150 Hz között 0,01 Hz lépésekben képes meghajtó jelet előállítani. A mérés a geofon fázisviszonyainak vizsgálatán alapul (60. ábra). A gerjesztő jelet és a geofon válaszjelét egy fáziskomparátor áramkörre vezetjük, melynek kimenete vezérli a szukcesszív approximációs regisztert. A gerjesztő frekvenciát addig változtatjuk, míg az A/D konverter mind a 14 bitjét be nem állítottuk a geofon önfrekvenciájának megfelelően.



60. ábra. A geofon fázismenete a rezonancia környezetében

Fig. 60. Phase characteristics near to resonance

рис. 60. Фазовый ход сейсмоприемника в обстановке резонанса

**Csillapítás mérése.** Meghatározása a következő formula szerint történik:

$$B_i = \frac{\ln A_1/A_2}{\sqrt{\pi^2 + (\ln A_1/A_2)^2}} \cdot 100 \quad [\%]$$

ahol  $A_1$  és  $A_2$  egymásra következő amplitúdók (61. ábra).

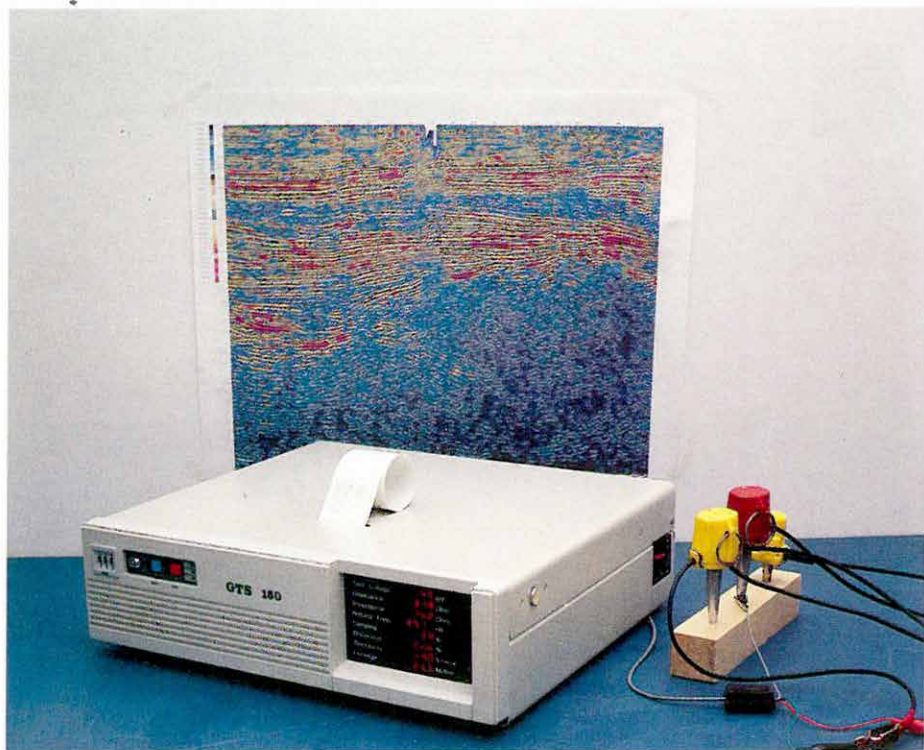
Az  $A_1$  és  $A_2$  amplitúdó értékek megállapításához a geofont önfrekvenciáján gerjesztjük, majd a gerjesztést lekapcsolva megmérjük az  $A_1$  amplitúdó értékét. Az erősítés értékét addig szabályozzuk, mígnem az  $A_1$  amplitúdó egységnyi nem lesz. Ezután megmérjük az  $A_2$  amplitúdó értékét. Egy PROM-ban rögzített táblázatból az egységnyi  $A_1$  értékhez tartozó  $A_2$  különböző értékei szerint a fenti képlet alapján közvetlenül az aktuális  $B_i$  csillapításértéket olvasunk ki.

**Torzítás mérése.** A torzítás meghatározása a kis torzításokra (<10 %) érvényes közismert formula szerint történik:

$$K_2 = \frac{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}} \cdot 100 \quad [\%]$$

ahol  $U_0$  az alapharmonikus amplitúdója és  $U_1 \dots U_n$  a felharmonikusok amplitúdója. A gerjesztett geofon válaszjeléből és egy rendkívül kis torzítású digitális







59. ábra. Geofon paraméter ellenőrző műszer

Fig. 59. Geophone tester

рис. 59. Фотография прибора по проверке параметров сейсмоприемников

sured parameters are indicated by a seven-segmented indicator, and a serially numbered protocol is given by an incorporated printer. The microprocessor driven device automatically measures the parameters. The functions are as follows:

*Measurement of direct current resistivity by the comparison principle.* Limit changes are automatic. Resolution: 0.1 and 1 ohm.

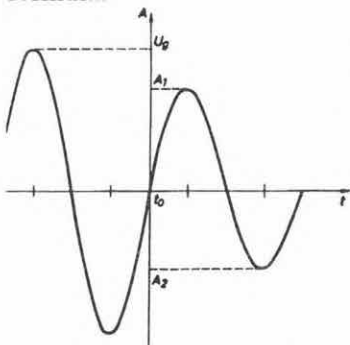
*Measurement of AC resistivity (impedance) by the comparison principle* similar to DC resistivity measurement. The measurement is made by an AC current where the frequency is the natural frequency of the geophone. Samples are taken from peak amplitude values of the 90° sinusoidal signal. The change of the measuring limit is also automatic. Resolution: 0.1 and 1 ohm.

*Measurement of the natural frequency.* A method of successive approximation is used. The driving signal is fed by a sine wave generator in the 3–150 Hz range by 0.01 Hz steps. This test is based on the analysis of phase characteristics (Fig. 60). Driving and response signals are fed to a phase comparator circuit. Its output drives the approximation register. The driving frequency is changed until it fits all the 14 bits of the A/D converter in accordance with the natural frequency.

*Measurement of damping.* Its determination is carried out by the following formula:

$$B_t = \frac{\ln A_1/A_2}{\sqrt{\pi^2 + (\ln A_1/A_2)^2}} \cdot 100 \quad [\%]$$

where  $A_1$  and  $A_2$  are consecutive amplitude values (Fig. 61). To determine  $A_1$  and  $A_2$  values the geophone is driven by its natural frequency and  $A_1$  is measured. Then the amplitude value will be regulated until the value of  $A_1$  becomes unity, after which the value of  $A_2$  is measured. The actual damping value ( $B_t$ ) is given by a programmable ROM table in conformity with the values of  $A_2$  using the above formula.



61. ábra. A csillapítás meghatározása az amplitúdóviszonyok alapján

Fig. 61. Determination of damping by amplitude relations

рис. 61. Определение затухания на основании амплитудных соотношений

*Measurement of distortion.* Distortion determination is carried out by the well known formula valid for small values of distortions:

$$K_2 = \frac{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}} \cdot 100 \quad [\%]$$

szinuszgenerátor alapjeléből hibafeszültséget képezünk. Ezt a feszültségértéket erősítjük és értékét meghatározzuk. A megfelelő súlyozás után az A/D kimeneti bit kombinációja a  $K_2$  torzítás értékét adja.

Az *érzékenység meghatározása* a már mért, illetve gyári katalógusokban rendelkezésre álló paraméterek alapján történik. Az érzékenység számításának alaképlete (például SH-100 Service Manual, Sensor Nederland, 1988)

$$G = \sqrt{2\pi \cdot \frac{f_0 m A_1}{I}} \exp \left( \frac{\arctg \left( \frac{\sqrt{1 - B_t^2}/B_t}{2\sqrt{1 - B_t^2}/B_t} \right)}{2\sqrt{1 - B_t^2}/B_t} \right)$$

ahol  $A_1$  az amplitúdó,  $I$  az áram,  $B_t$  a csillapítás,  $m$  tömeg és  $f_0$  a rezonancia-frekvencia. A fenti formula a

$$G = \sqrt{\frac{a_0 f_0 n Z_0 m}{a_1}} y(B)$$

alakra hozható, ahol

$a_0$  és  $a_1$  — a csillapításmérésnél szereplő alap és az  $A_1$  normálásához beállított erősítésértékek,

$f_0$  — a rezonancia-frekvencia,

$n$  — a mérésben résztvevő geofonok száma (csoportgeofonok esetén),

$Z_0$  — a geofon impedanciája,

$m$  — a lengő tömeg súlya és

$$y(B) = 2\pi \exp \left( \frac{\arctg \left( \frac{\sqrt{1 - B_t^2}/B_t}{\sqrt{1 - B_t^2}/B_t} \right)}{\sqrt{1 - B_t^2}/B_t} \right)$$

Az  $y(B)$  értékeit a csillapításméréshez hasonlóan egy PROM-ba égetett táblázat tartalmazza. Az  $n$  és  $m$  értékét a felhasználónak kell megadnia.

A *szigetelési ellenállást* a geofontekercs és egyéb szerelvényei közt egyen-árammal, feszültségosztásos eljárással mérjük meg.

*Vizsgáló feszültség beállítás.* A felhasználó az adott terepi viszonyoknak megfelelő jeltartományban működteti, azaz vizsgálja a geofont. A teljes tartomány szélesebb, mint a geofonok működési tartománya, ezért a beállítás esetleg csak több próbálkozás után sikerül. Lehetőség van a vizsgáló feszültség automatikus beállítására. Ilyenkor a mérés a geofon számára elviselhető maximális meghajtás mellett történik, ami a jel/zaj viszony javulása miatt a mérés pontosságát is előnyösen befolyásolja.

where  $U_0$  is the amplitude value of the fundamental harmonic,  $U_1...U_n$  are the upper harmonic values. An error voltage is produced by the response signal of the geophone and by the base signal of a small distortion sine generator. This error voltage is amplified and measured. After approximate weighting the A/D output bit combination provides the  $K_2$  distortion value.

*Determination of sensitivity* is carried out by already measured parameters or by parameters provided by the instrument manual. The fundamental formula to calculate sensitivity (e.g. SH-100 Service Manual, Sensor Nederland, 1988) is given as

$$G = \sqrt{2\pi \cdot \frac{f_0 m A_1}{I}} \exp \left( \frac{\arctan(\sqrt{1 - B_t^2}/B_t)}{2\sqrt{1 - B_t^2}/B_t} \right)$$

where  $A_1$  is for amplitude,  $I$  for current,  $B_t$  for damping,  $m$  for mass and  $f_0$  for the resonance frequency. The above formula can be written as

$$G = \sqrt{\frac{a_0 f_0 n Z_0 m}{a_1}} y(B)$$

where

$a_0$  and  $a_1$  are basic values for the damping measurement and amplification values for the normalization of  $A_1$ ,

$f_0$  — indicates the resonance frequency,

$n$  — gives the number of geophones (in the case of geophone patterns),

$Z_0$  — indicates the impedance,

$m$  — indicates the weight of the swinging mass and

$$y(B) = 2\pi \exp \left( \frac{\arctan(\sqrt{1 - B_t^2}/B_t)}{\sqrt{1 - B_t^2}/B_t} \right)$$

$y(B)$  values are given by a programmable ROM table. The  $n$  and  $m$  values are given by the user.

*The insulation resistivity* between the geophone coil and the other components is measured by direct current method using the voltage divider procedure.

*Setting of test voltage.* The user may carry out the tests in accordance with the most favourable field conditions by employing a convenient signal domain. The available signal domain is wider than the geophone performance range so the best setting of the signal level can be realized by several trials. In this case the test is done by a supportable maximum voltage level favourable for the enhancement of the signal-to-noise ratio and for the precision of the test.

*A GTS-150 geofonvizsgáló műszaki adatai:*

Mérési eljárás	Tartomány	Felbontás	Pontosság
DC ellenállás	20-16000 ohm	1 ohm	0,5%
AC ellenállás	20-16000 ohm	1 ohm	0,5%
Önfrekvencia	3-150 Hz	0,01 Hz	0,1%
Csillapítás	0-87%	0,5%	0,5%
Torzítás	0-10%	0,01%	0,1%
Érzékenység	0-1000 V/m/s	0,1 V/m/s	1%
Szigetelés	0-15,5 Mohm	0,1 Mohm	5%
Mérési idő	5-20 s (frekvencia függő)		
Táplálás	220 V/50 W, 50 Hz		
Súly	10 kg		
Méret	50x18x40 cm		

*Technical data of the GTS-150 geophone tester:*

Test procedure	Range	Resolution	Accuracy
DC resistivity	20-16000 ohm	1 ohm	0.5%
AC resistivity	20-16000 ohm	1 ohm	0.5%
Natural frequency	3-150 Hz	0.01 Hz	0.1%
Damping	0-87%	0.5%	0.5%
Distortion	0-10%	0.01%	0.1%
Sensitivity	0-1000 V/m/s	0.1 V/m/s	1%
Insulation	0-15.5 Mohm	0.1 Mohm	5%
Testing time	5-20 s		
Power supply	220 V/50 W, 50 Hz		
Weight	10 kg		
Size	50x18x40 cm		