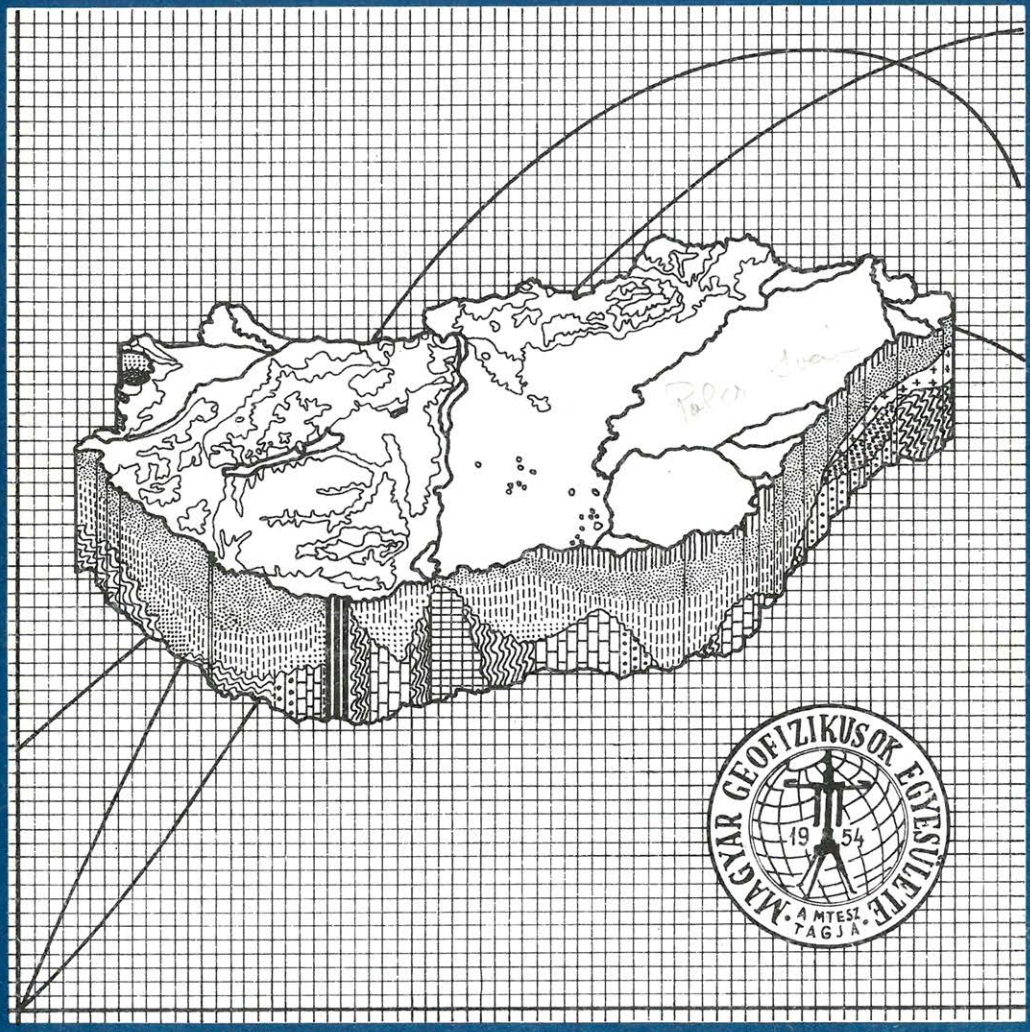
MAGYAR GEOFIZIKA

3-4



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA
BUDAPEST, 1986. XXVII. ÉVFOLYAM, 3–4. SZÁM

MAGYAR GEOFIZIKA
a MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE folyóirata

XXVII. évfolyam 3–4. szám

HU ISSN 0025—0120

TARTALOMJEGYZÉK

Vermes Mátyás: Akusztikus impedencia becslése szeizmikus csatornák spektrumának extrapolációjával 92

Bodri Bertalan: A Hold árapályáról 124

Márton Péter – Gömöri János: Kísérletek archeomágneses mérések alkalmazására égetett agyagobjektumok keltezésében 143

Egyesületi hírek 77

Lapszemle B/3

СОДЕРЖАНИЕ

Вермеш М.: Оценка акустического импеданса с помощью экстраполяции спектра сейсмического канала 92

Бодри Б.: О лунных приливах 124

Мартон П. – Гёмёри Я.: Применение опытных археомагнитных измерений для определения возраста образцоо обоженной глины 143

Новости в обществе Венгерских геофизиков 77

О бзор журналов B/3

CONTENTS

Vermes M.: Estimation of the acoustic impedance by using the extrapolation of seismic traces 92

Bodri B.: On the tides of the Moon 124

Márton P. – Gömöri J.: Experiments for applications of archaeomagnetic measuements for determination of the age of baked clay structures 143

News about the Association 77

Review B/3

Főszerkesztő: Zelei András

Szerkesztőbizottság: Deres János, Kilényi Éva, Meskó Attila, Rádler Béla, Verő József

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

sági vonatkozásai, valamint a földtani kutatások eredményességének fontossága az egész népgazdaság számára.

A nagyszerű hangulatban eltöltött két nap eseményeit dr. Deres János zárszava fejezte be.

Összefoglalóképpen megállapíthatjuk, hogy az ankét elérte kitűzött céljait, és a sok hasznos információ mellett jobban láthatjuk munkánk gazdasági – társadalmi vonatkozásait is.

Ez az Ifjúsági Ankét ismét bebizonyította az ilyen jellegű rendezvények szükségességét, sikeres volta pedig elismerés az előadók számára.

Imre Tamás

Lapszemle

A **La Recherce** nevű francia tudományos ismeretterjesztő magazin 1985. évi szeptemberi száma érdekes cikket közöl a vízszintesig ferdített mélyfúrások alkalmazási lehetőségeiről, gazdasági jelentőségéről. A vízszintesig ferdített fúrások létesítésére már eddig is több kísérlet történt Kínában, a SZU-ban és az USA-ban. E kísérleteket azonban sehol sem követte ipari alkalmazás. Az eljárás gazdasági jelentősége rendkívül nagy, hiszen a világon számos olyan szénhidrogén előfordulás ismert, amely hagyományos vertikális kutakkal nem, vagy csak alig hozzáférhető.

A *Rospo Mare*-i kőolajmezőn (Adriai tenger) az Elf Aquitaine csoport kutatói vízszintes fúrás alkalmazása mellett döntöttek. A nehéz olajat tartalmazó telepek itt közvetlenül nagynyomású vízzel telített rétegek felett helyezkednek el. A hagyományos technikával mélyített vertikális kutak azonban a környezetükben gyorsan kialakuló depressziós tölcsérek következtében hamar elvizesedtek. A probléma megoldását a produktív zóna tetején vízszintesig elferdített fúrás jelentette. Egyrészt így a fúrás termelő szakasza megfelelő távolságban maradt a vízzel telített zónától, ill. a depressziós tölcsértől, másrészt a fúrás a termelő zónát jóval nagyobb intervallumban harántolta és így kisebb nyomáskülönbség is elegendő volt a megfelelő szintű olajhozam eléréséhez.

A gyakorlatban gyakran fordulnak elő kis vastagságú telepek, amelyek csak sok, egymástól nem nagy távolságra levő vertikális termelőkút segítségével művelhetők le. Előfordulnak kisebb porozitású, vertikálisan repedezett tárolók is, amelyekből a hagyományos technikával az olajtartalomnak csak egy része nyerhető ki.

A napjainkban alkalmazott eljárások a függőlegessel maximálisan 60°-os szöget bezáró kutak mélyítését teszik lehetővé. A 90°-ig ferdített fúrások kiképzése számos műszaki-technikai nehézséget vet fel. Az elferdített szakaszon könyök alakú csőillesztést, valamint olyan turbinát alkalmaznak, amely csak a fúrófejet forgatja. Sok problémát jelent a fúrás előre meghatározott trajektóriájának tartása az előre meghatározott rétegben. A trajektória módosításokat a könyök alakú csőillesztések cserélgetésével valósítják meg. Ez a művelet minden egyes alkalommal a teljes csőköteg kiszerelését igényli, amely a fúrás költségeinek további növekedését vonja maga után.

Talán meglepő, hogy nem is a fúrás lemélyítése, hanem termelésbe állítása a nehezebb feladat. A tároló paramétereinek megállapítása hagyományos kábelvontatású karottázs műszerek segítségével a vízszintes szakaszon nyilván nem valósítható meg. Egy újonnan kidolgozott rendszer segítségével *(SIMPHOR)* a műszereket a fúrófej közelében helyezik el. Így a fúrás előrehaladása során folyamatosan figyelemmel kísérhetik a réteg paramétereinek változását.

A Rospo Mare-i vízszintesig ferdített kút napi hozama *450* m^3/nap, A kút hozama 20-szorosan, míg költségei csak 2,3-szeresen múlják felül (az elvizesedés veszélye nélkül) a környéken mélyített hagyományos vertikális kutakét.

Az első siker és a további lehetőségek (városok alatti olajmezők letermelése, a kőolajtermelő platformokról mélyítendő fúrások számának csökkentése) minden bizonnyal virágzó jövőt biztosítanak a vízszintes fúrások ipari alkalmazásának.

M. Gy.

Tisztújító küldöttgyűlés
1986. március 21.

A Magyar Geofizikusok Egyesülete a Flamenco szállodában rendezte meg tisztújító küldöttgyűlését. Az elnökségben helyet foglalt *Kónya Albert* akadémikus, a MTESZ társelnöke, *dr. Jéki László*, a MTESZ főtitkárhelyettese, *Bese Vilmos* örökös tiszteletbeli elnök, *Molnár Károly*, az egyesület elnöke, *dr. Deres János*, az egyesület főtitkára és *dr. Müller Pál* igazgató.

Molnár Károly az elnökség meghívott tagjain kívül köszöntötte *Hámor Gézát*, a Magyarhoni Földtani Társulat elnökét, majd a következő szavakkal nyitotta meg a közgyűlést:

Tisztelt Tisztújító Közgyűlés!

Kedves Barátaink, Kedves Vendégeink!

Egyesületünk életében ma ismét olyan esemény előtt állunk, amelyen a választott vezetőségnek számot kell adnia az elmúlt 5 éves tevékenységéről, az elvégzett munkán belül is főképpen azon célkitűzések teljesítéséről, amelyeket megválasztásunkkor feladatul kaptunk.

Munkánk értékelésénél célszerű áttekinteni a földtani kutatás elmúlt 5 éves időszakának eredményeit is, hisz szűkebb szakmánk erőfeszítései népgazdasági szinten csak akkor mérhetők, ha a különböző célú geofizikai kutatások a földtani ismereteken túlmenően konkrét nyersanyagtalálatokhoz is hozzájárultak.

Rövid értékelésemhez jól felhasználható információkat kaptam a III. 20-án tartott országos földtani ankéton, ahol IpM, KFH, valamint a különböző szakágak vezető szakemberei elemezték a VI. 5 éves terv kutatásai eredményeit, fogalmazták meg a VII. ötéves terv feladatait.

Jó érzés volt hallani a méréseinket felhasználók korreferátumaiból a geofizika szerepének, jelentőségének és szükségességének a hangsúlyozását és a készletnövekmények elérésében játszott jelentőségét.

A földtani kutatásokra felhasznált mintegy 20 mrd Ft 426 mrd Ft „in situ" értékű nyersanyagot fedezett fel, többek között 51 mt szénhidrogént, 414 mt szenet, 17 mt bauxitot.

Hiszük, hogy ezen eredmények eléréséhez egyesületünk a maga sajátos eszközeivel is hozzájárult.

Rendezvényeink, a nemzetközi és a társegyesületekkel való kapcsolataink, oktató tevékenységünk, valamint minden olyan összejövetelünk, amely lehetőséget adott a különböző ágazatokban dolgozó kutatók vélemény- és tapasztalatcseréjére, elősegítette kutató módszereink színvonalának reális megítélését, célirányos műszer- és módszerfejlesztési feladatok megfogalmazását és az egyre nehezedő földtani kutatási feladatok minél teljesebb megoldásában való részvételünket.

Jóleső érzéssel nyugtázhatjuk, hogy az elmúlt időszakban a geofizika a legtöbb területen modernizálta eszközeit, az ELGI pedig jelentős tőkés és rubel exportot is teljesített. Nagyrendezvényeinkkel, köztük is elsősorban az 1985-ös EAEG konferencia megrendezésével, a világ geofizikusai előtt is méltó elismerést és megbecsülést szereztünk nemcsak a magyar geofizikának, de talán nem hangzik nagyképűen, a magyar hazának is.

Mindez annak eredményeként valósulhatott meg, hogy egyesületünkben mindenki a közösen kitűzött célok eléréséért tevékenykedett.

Gyümölcsöző együttműködés, segíteni akarás alakult ki a budapesti és vidéki csoportok között. Törekvéseinket a MTESZ vezetése maximálisan támogatta és ha társegyesületeinkhez fordultunk, kérésünk mindig meghallgatásra talált.

Befejezésül szeretnék köszönetet mondani tagságunknak odaadó munkájáért, és egyben üdvözölni azokat a vendégeinket, akik eddigi segítőkész munkájuk mellett mostani jelenlétükkel is megtisztelték küldöttközgyűlésünket.

Az elnök megállapította a határozatképességet majd ismertette a jelölőbizottság névsorát.

Elnök: *Rádler Béla.* Tagjai: *Karas Gyula, Szabó Zoltán, Pályi András, Steiner Gyula, Csigó József, Kánnár Tibor, dr. Verő József, dr. Egerszegi Pál.*

Ezt követően javaslatot tett a szavazatszámláló bizottság tagjaira, melyet a küldöttgyűlés egyhangúan megválasztott. Elnöke: *dr. Szemerédy Pálné.*

Tagjai: *Buda Gáborné, Albu István, dr. Kiss Károly, dr. Komlósi Zsolt* lettek.

A küldöttgyűlés ugyancsak egyhangúan elfogadta az elnöknek a napirendre tett javaslatát. Jegyzőkönyv hitelesítők: *dr. Bodoky Tamás, Rumpler János.*

Dr. Sebestyén Károly megemlékezett a legutóbbi közgyűlés óta elhunyt tagtársainkról, akik emlékének a résztvevők egy perces néma felállással adóztak.

Az elmúlt év során eltávozott közülünk:

Iván László (49) geofizikus-mérnök a Mecseki Ércbányák Vállalat Kutató-Mélyfúró üzemének részlegvezetője,

Földy Gyula (81) az ELGI nyugalmazott főkönyvelője,

Kriván Pál (58) az ELTE Földtani Tanszékének docense,

dr. Tárczy-Hornoch Antal (86) akadémikus, nyugalmazott egyetemi tanár, egyesületünk társelnöke,

Vadnay László, (56) a Geofizikai Kutató Vállalat rendészeti csoportvezetője.

Az elnök ezután *dr. Deres János* főtitkárt kérte fel, aki beszámolójában az alábbiakat mondta:

Tisztelt Küldöttgyűlés, kedves Meghívottak!

Egyesületünkben az 1985 augusztusában, Országos Elnökségi ülésen elfogadott ütemterv szerint, megtörtént az elmúlt választási periódus értékelése, a szakosztályok és területi csoportok vezetőségeinek újraválasztása, s sok hasznos javaslat is elhangzott, melyeket a következő vezetőségnek kell megszívlelni és lehetőség szerint megvalósítani.

A főtitkári beszámoló feladata most az, hogy a kisebb szervezeti egységek értékelését is felhasználva elemezzen, összegezzen, s végül mindezt összevesse a célkitűzésekkel.

Ezen munkám megkönnyítése, s a tagság jobb informálása érdekében ezúttal is összeállítottuk és valamennyi küldöttünkhöz már eljuttattuk azt az írásos mellékletet, amely tevékenységünk számadatait tartalmazza. Ezen kívül valamennyi tagtársunk megkapta már az 1985. évi beszámolót és az 1986. évi működési tervet, melyeket Országos Elnökségünk 1985 decemberében megtárgyalt és jóváhagyott.

A beszámolási időszakban tudományos, szakmai és társadalmi tevékenységünket, munkamódszereinket a XII. pártkongresszus határozataiból, a VI. ötéves terv céljaiból a tudomány-, a közművelődési és oktatási politika követelményeiből adódó feladatokhoz igyekeztünk igazítani. A legfontosabb tennivalókat az egyesület 1981. évi tisztújító küldöttközgyűlésén elfogadott határozatok, valamint az MTESZ XIII. közgyűlésén és az 1983. júniusi Országos Elnökségi ülésen hozott határozatok szerint átdolgozott cselekvési program tartalmazza.

A kitűzött célok megvalósításában az elmúlt időszakban figyelemre méltó eredmények születtek.

A beszámolási időszakban mindvégig kitartottunk azon — alapszabályunkban is rögzített — elvünk mellett, mely szerint az egyesület legfelső szerve a közgyűlés, amely az egyesület életét érintő lényeges kérdésekben dönt. Eltérően néhány más egyesülettől, nem éltünk azon jogszabályba rögzített lehetőséggel, miszerint nem kötelező minden évben közgyűlést tartani. Esztendőről esztendőre, február vagy március hónapban írásban és szóban beszámoltunk tagságunknak, részletes költségvetési jelentést adtunk és ismertettük következő évi terveinket.

A beszámolókat vita és határozathozatal követte, majd legaktívabb tagjaink és a legjobb geofizikai szakcikkek szerzői jutalomban részesültek.

1984-ben megemlékeztünk az MGE alapításának 30 éves évfordulójáról és 82 alapító tagunknak emléklapot adtunk át.

A közgyűlések után hangulatos baráti találkozón vettünk részt.

A beszámolási időszakban évente 2—4 alkalommal ülésezett az Országos Elnökség. Elfogadta a legutóbbi tisztújító küldöttközgyűlésen elhangzott kritikát, gondot fordítottunk arra, hogy az aktuális szervezeti problémákon túl áttekintsük és megtárgyaljuk a minket érdeklő országos jelentőségű kérdéseket is. Két ízben foglalkoztunk a geofizikát is innolváló földtani kutatási tervekkel, melyeket a Központi Földtani Hivatal elnöke — 1981-ben dr. Fülöp József, 1984-ben dr. Dank Viktor — ismertetett. Az elnökség megvitatta a Bányageofizikai Bizottság (1982-ben) és az Általános Geofizikai — és a Mélyfúrási Geofizikai Szakosztály (1983-ban) munkáját. Külön foglalkozott legfontosabb külföldi kapcsolatainkkal (1984. EGS, 1985. EAEG). Két ízben tartottunk kihelyezett ülést, 1984 májusában Sopronban az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézetében, 1985 júliusában a Geofizikai Kutató Vállalatnál.

Az Eötvös Loránd Emlékérmet a beszámolási időszakban egy ízben, 1983-ban adtuk ki dr. Stegena Lajos tagtársunk munkásságát értékelve vele.

Egyesületünk három tagja kapott kiemelkedő társadalmi munkájáért MTESZ díjat: 1981. Lakatos Sándor, 1983. Deres János és 1985. dr. Müller Pál személyében.

Országos Elnökségünk, élve az alapszabály 13. § (7). pontjában foglalt jogával, új kitüntetéseket alapított, melyeket ma nyújtunk át első ízben. Ezek:

Egyed László-*emlékérem: a geofizika területén kifejtett kiemelkedő szakmai munka, oktatási vagy szakírói tevékenység elismerésére. Kétévenként két emlékérem odaítélését tervezzük.*

Renner János- *emlékérem: a legalább 10 éves tagsággal rendelkező, hosszú időn kiemelkedő társadalmi munkát végző, vagy az egyesületi élet szervezésében, fejlesztésében érdemeket szerző, esetleg jelentős tudománytörténeti kutatómunkát végző vagy a geofizikai szaknyelv ápolásában kitűnt tagtársaink elismerésére. Évente két emlékérem kerül majd kiadásra.*

Munkánk egyik lényeges eleme nemzetközi geofizikai szimpóziumok szervezése. 1981-ben Lipcsében, majd Pozsonyban, Balatonszemesen, Várnában, s végül 1985-ben Moszkvában tartottuk legnagyobb rendezvényünket, melyek szervező bizottsága 1984-ben Kuba képviselőivel bővült. A szimpóziumnak kissé megmerevedett formáját sikeresen törték meg a bolgár főrendezők Várnában a poszter szekcióval. Egyébként általában 2 szekcióban kb. 80 előadás hangzott el mintegy 400 – 500 fő előtt, orosz és angol nyelven. Bevált kezdeményezésünk – az előadások teljes szövegének megjelentetése – ma már szerves része a rendezvénynek. Az eddigi legnépesebb szimpózium a 30., a tavalyi moszkvai volt. A résztvevők és vendégek száma meghaladta az 1500 főt. (Ebből 108 magyar).

Ezek után – bármilyen nehéz is – röviden kell szólnom a Kutató Geofizikusok Európai Szövetségének, az EAEG-nek 47., Budapesten megrendezett konferenciájáról. Az 1980-ban mindenki megelégedettségére megrendezett EGS – ESC konferencia után nemzetközi szervező munkánk az EAEG felé fordult. 1981-ben Velencében már 14 fős delegáció képviselte egyesületünket és kihasználva az előző évi elméleti geofizikai konferencia jó hírét, ajánlatot tett egy EAEG konferencia budapesti megrendezésére. 1982-ben is utazott MGE-delegáció Cannes-ba, ahol az EAEG elnöksége az 1985. évi rendezés jogát nekünk ítélte. Még ez évben megalakult a szervezőbizottság, a szervezési tapasztalatok megszerzésére és a tudományos hatásfok növelése érdekében pedig megállapodást kötöttünk 6 fő kiküldetésére az 1983-as oslói és az 1984-es londoni konferenciára.

A konferencia előkészítése fokozatosan az egész magyar geofizikus társadalmat megmozgatta. A sok önzetlen társadalmi aktíva mellett jogi tag vállalataink és bázisintézményeink rendkívül nagyvonalú segítséget adtak.

A rendezvényen 45 országból mintegy 2300 fő vett részt. Négy szekcióban 184 előadás hangzott el. A műszerkiállításon közel 100 cég mutatta be legújabb fejlesztési eredményeit.

Külön gondot fordítottunk arra, hogy megkönnyítsük a szocialista országok képviselőinek részvételét.

A rendezvényről sok közlemény, riport tudósított. (Az utolsó, egész oldalas geofizikai tárgyú cikk idén februárban jelent meg a Népszabadságban). A külföldi szakmai lapok is elismerően írtak a konferenciáról és a rendezésről.

A rendkívül nagy erkölcsi hasznon és az üzleti kapcsolatokból eredő közvetett anyagi eredményen kívül javunkra kell elkönyveljük még a következőket:

A konferencia az ilyen rendezvényeknél Nyugat-Európában szokatlanul nagy társadalmi munkahányad miatt jelentős anyagi eredményt is hozott. Egyesületünk 1985-ben 3,5 millió forintial járult hozzá az MTESZ bevételeihez, ugyanakkor tagjai számára több évre megteremtette az eddiginél lényegesen nagyobb mértékű tőkés kiutazás anyagi alapjait. Ostendébe mintegy 30 fős MGE delegáció utazhat az idén. Jövőre Belgrádban, cserealapon 25 magyar geofizikust látnak vendégül a jugoszláv rendezők. Mód nyílott más geofizikai szervezetek munkájába való szorosabb bekapcsolódásra is, ami újabb nemzetközi konferenciák rendezési jogának elnyerését jelentheti.

Ezek után igazságtalan lennék, ha nem emelném ki, hogy a 11 tagú szervezőbizottság munkáját **Molnár Károly** *és* **dr. Müller Pál** *irányították. Valamennyiünk nevében megköszönöm áldozatos munkájukat.*

Nem hanyagoltuk azonban el hagyományos belföldi nagyrendezvényeinket sem. 1981-ben Szolnokon, 1982-ben Nagykanizsán, 1984-ben Sopronban tartottuk vándorgyűlésünket (1983-ban a balatonszemesi szimpózium, 1985-ben az EAEG konferencia miatt nem volt vándorgyűlés). A vándorgyűlések szervezésében a Magyarhoni Földtani Társulat és az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület helyi szervezetei is bekapcsolódtak. A résztvevők száma mindig meghaladta a 130 főt.

Nagyrendezvényeink között tartjuk számon a Geofizikus Ifjúsági Napok — Ifjú Szakemberek Ankétja évente váltakozó rendezvényeit is. A résztvevők száma itt megközelíti a 100 főt.

Az 1981-ben, 1983-ban és 1985-ben megrendezett előadóüléseken 19 — 19, illetve 24 előadás hangzott el, 13, 12, illetve 13 ifjú kollégánk adott első ízben elő országos fórumon. A legjobb előadók kiválasztása a zsürinek nehéz, de kellemes gondot okozott. Nagy ügyesség és merészség jellemezte az Ifjúsági Bizottságot a közbeeső évek gazdaság-, kutatás- és ifjúságpolitikai témáinak és ezek előadóinak kiválasztásánál. Egy-egy magasszintű, érdekes előadást bizony még az Országos Elnökség is megirigyelhetett fiataljainktól. Rendszeres a munkakapcsolat az MTESZ Központi Ifjúsági Bizottságával, folyamatosan segítik az egyetemi hallgatókat.

Az elmúlt öt évben több nagysikerű országos rendezvényt tartottak szakosztályaink és bizottságaink is. Ezek közül időhiány miatt csak kiragadott példaként említek egy-egyet. 1981-ben a Mélyfúrási Geofizikai Szakosztály és az Oktatási Bizottság rendezésében „Karotázs szelvények digitális rögzítése és számítógépes feldolgozása"; 1982-ben a Bányageofizikai Bizottság rendezésében „A geofizikai kutatások eredményei a borsodi szénmedencében"; 1983-ban a Közgazdasági Bizottság, a Mélyfúrási Geofizikai Szakosztály és a Magyarhoni Földtani Társulat Gazdaságföldtani Szakosztálya közös rendezésében „Kutatáspolitikai ülés"; 1984-ben Tatabányán Bányageofizikai ankét, Csopakon 4 napos Mélyfúrási geofizikai szeminárium; 1985-ben Balatonszemesen 3 napos Bányageofizikai módszertani továbbképzés és műszerkiállítás volt.

A beszámolási időszakban ezen kívül az Általános Geofizikai Szakosztály 38, a Felszíni Geofizikai Szakosztály 30, a Mélyfúrási geofizikai Szakosztály 26, a bizottságok 86 előadóülést, vagy előadássorozatot rendeztek.

Meg kell említsem hat tanfolyamunkat is, melyek fontos, aktuális témákkal foglalkoztak, s értéküket a kiadott jegyzetek (könyvek!) is növelik.

Nagyrendezvényeink egy részét közreműködőkkel együtt szerveztük. A társegyesületeken kívül partnerünk volt 1 — 1 esetben az MTA Mélyfúrásgeofizikai, ill. Bányageofizikai Albizottsága is.

Ezúttal a területi csoportok előadó üléseiről is adtunk statisztikai adatokat az írásos mellékletben. Jellemző vidéki kollégáinknál a nagy kooperációs készség, a jó és közvetlen kapcsolat a városi, megyei MTESZ szervezetekkel és a társegyesületek helyi csoportjaival. Több helyen kiépült a kontaktus az MTA regionális bizottságaival, geofizikusaink állandó szereplői a megyei, városi műszaki rendezvényeknek.

Rövidebbre kell fogjam beszámolómat a bizottságok vonatkozásában, pedig a tevékenységükről 86 előadás, több tanulmány, tanfolyam és felmérés tanúskodik. Bevált gyakorlat az is, hogy az MTESZ által kezdeményezett anyagokat bizottsági szinten

készítjük elő. A legutóbbi beszámolási időszakban létrehozott két új bizottságunk – a Bányageofizikai és a Tudománytörténeti – teljes értékű tagjai az egyesület szerveinek. Munkájukat nagy buzgalommal végzik, mintha későbbi megalapításukból eredő lemaradást igyekeznének bepótolni.

Egyesületünk sajátos munkaterületének megfelelően vállal részt a MTESZ tevékenységében. Titkáraink és bizottságvezetőink állandó aktív résztvevői a különböző szövetségi szintű bizottságoknak, képviselik érdekeinket és segítséget nyújtanak reális állásfoglalások kialakításában. Az MTESZ eredményesen halad előre a reálértelmiség érdekeinek képviseletében, kiharcolta, hogy szava legyen a párt, az állami és a társadalmi szervek előtt, egy sor országos hatáskörű szervvel kötött együttműködési szerződést és sikerrel bővíti külföldi kapcsolatait is. Az eddig végzett munka eredményei, előmenetele reális alapot teremtettek a végrehajtás lendületének fenntartásához, munkánk gyengeségeinek kiküszöböléséhez.

Tisztelt Küldöttek!

Beszámolóm végére értem, kérem, hogy mentsenek fel azon kötelezettségem alól, hogy a határozati javaslatokat ismertessem és indokoljam. Bízom benne, hogy valamennyien találtak módot arra, hogy az előzetesen írásban szétosztott javaslatokkal megismerkedjenek. A határozati pontokba foglalt tennivalók a beszámolási időszakban végzett munka folytatását, a megváltozott körülményekhez való jobb alkalmazkodást jelentik.

A főtitkári beszámoló után Ujfalusy Antalnak, az ellenőrző bizottság elnökének értékelése következett, melyből részleteket közlünk:

Tisztelt Közgyűlés!

Az ellenőrző bizottság feladata, összhangban az Egyesület alapszabályával:

- *az Egyesület alapszabályszerű működésének*
- *a közgyűlési határozatok és az Országos Elnökség által hozott határozatok végrehajtásának*
- *a rendelkezésre álló eszközöknek az alapszabályban meghatározott célokra, különösen a tudományos célokra történő hatékony és célszerű felhasználásának*
- *az állami előírások és a MTESZ belső szabályzatai szerint az Egyesület pénzügyi gazdálkodásának figyelemmel kísérése és ellenőrzése.*

Mindezeket most a megbízatásunk lejártakor azért szeretném kihangsúlyozni, hogy az elmúlt öt év során a számvizsgáló bizottságból átalakuló ellenőrző bizottság milyen fő szempontok figyelembevételével kíván a közgyűlésnek számot adni Egyesületünk tevékenységéről.

Az Egyesületünk szakmai és gazdálkodási tevékenysége az elmúlt öt év során dinamikusan fejlődött. Ennek volt köszönhető, hogy a feladatainkat a kitűzött szempontok alapján tudtuk ellátni. Ki ne emlékezne még arra a jelenlevők közül, hogy öt évvel ezelőtt még közgyűlési beszámolók sem voltak, nyilvánvalóan az ellenőrző bi-

zottság működési lehetőségének hiánya miatt. Ma viszont nyitva állnak előttünk az Egyesület szekrényei, a könyvelési és egyéb adatok, lefűzött határozatok, résztveszünk a jelentősebb bizottsági, az összes ügyvezető elnökségi ülésen. Mindez az egyesület jól szervezett, függetlenített titkárságának és a szerintünk megfelelően választott ügyvezető társadalmi vezetőinek köszönhető leginkább. Az egyesület függetlenített titkárnője, Buda Gáborné minden esetben készséggel és felkészülten állt rendelkezésünkre az elmúlt évek folyamán.

Mindenki kézhez kapta a főtitkári beszámolót, ahol a beszámoló végén az 1981—85 évek pénzügyi tevékenységét ismertettük, táblázatban összefoglalva a legfontosabb pénzügyi mutatóinkat. Ezek részletezésétől így ezen a helyen most eltekintünk, hisz az emelkedő pénzügyi bevételek, amik elsősorban a nagy rendezvényeinkből származnak és az a tény, hogy önfenntartók vagyunk, állami költségvetési támogatást az 5 év alatt nem vettünk igénybe, önmagukért is beszélnek és alátámasztják megállapításunkat, hogy az elmúlt évek dinamikus egyesületi életet mutatnak.

Mivel minden statisztika, amint azt az egyéb MTESZ statisztikák esetén is tapasztaltuk, mutatós ugyan, de sokszor a lényeget takarja, szeretnénk néhány olyan adatra, érdekességre rávilágítani, ami az egyesület tevékenységét jobban tükrözi.

A Magyar Geofizikusok Egyesülete a MTESZ 34 egyesülete között taglétszámát tekintve a 33. helyen áll 1985. évben. Mégis a közel 25 milliós bevételével az előkelő 6. helyet foglalja el. Csak olyan egyesületek előznek meg bennünket mint pl. az Agrár Egyesület a közel 22 ezres taglétszámával, a Gépipari Tudományos Egyesület, az Elektrotechnikai Egyesület, a Bányászati Egyesület, a SZVT. Összehasonlításként említem meg, hogy a MTESZ 1986. évi bevétele 350 millió Ft körüli. Tehát jelentős mértékben növeltük a bevételt a Magyar Természettudományi Egyesületek Szövetsége keretén belül.

Ezt követően méltatta a tavalyi EAEG konferencia jelentőségét, erkölcsi és anyagi sikerét, a szervezők munkáját. Majd ismertette a rendezvényköltségekre vonatkozó adatokat és a Magyar Geofizika megjelentetésével kapcsolatos 1985. évi kiadásokat, majd beszámolóját az alábbi szavakkal fejezte be:

Végezetül összegezve az egyesület öt év alatti munkáját a legjellemzőbb az, hogy velünk együtt még azok is szívesen sütkéreztek az 5 év alatt elért sikerek melegében, akik talán kezdetben az egyesület jelentőségében kételkedtek.

Lehet-e nagyobb öröm a leköszönő ellenőrző bizottság számára, ha ismételten megállapíthatja, hogy egyesületünk az elmúlt 5 év folyamán nem csak az alapszabályoknak megfelelően működött, hanem egy lelkes gárda munkájának eredményeképpen ennél többet is tett nem csak a magyar geofizikus társadalom, hanem hazánk javára is.

Az előző küldöttgyűlésen elhangzott fegyelmi bizottsági beszámolóhoz hasonlóan rövid volt *Kremszner Miklós* elnöké is. A beszámolási időszakban egyetlen tagtársunk ügyében sem kellett a bizottságnak eljárnia.

Molnár Károly elnök ezt követően felkérte a jelenlevőket az elhangzott beszámolók megvitatására és hozzászolásaik megtételére.

Dr. Szabadváry László elsőként felszólalva megállapította, hogy dinamikusan fejlődött az MGE az elmúlt öt év alatt, nőtt a nemzetközi jó hírünk is. Negatívumként említette, hogy a fiatal generáció bekapcsolása az egyesületbe nem kielégítő.

Dr. Ferenczy László az Ifjúsági Bizottság elnöke megköszönte a munkához kapott támogatást, mely a fiatalok beilleszkedését és szakmai életük beindítását segítette. Számokkal illusztrálta az ifjúsági rendezvények népszerűségét és a fiatal szakemberek szakmai aktivitását.

Dr. Korvin Gábor felszólalásában a szakértői névjegyzék összeállítására megindított akció állásáról kért tájékoztatást.

Dr. Fábiáncsics László válaszolva a felszólalásra elmondta, hogy a különböző intézményeknél megkezdték a megbízatások szervezésére irányuló munkát. Visszajelzést eddig azért nem adtak, mert eddig egyetlen intézménytől sem érkezett megrendelés szakértői munkára. Ezt követően beszélt a Közgazdasági Bizottság munkájáról. A kérdéshez hozzászólva *dr. Deres János* rámutatott, hogy – eltérően más egyesületektől – az MGE-ben nincsenek hagyományai a szakértői munkának. Az egyesületnek is szüksége lenne a bevételre és a tagok igénye is megvan. Az MTESZ megalakította az Országos Szakértői Tanácsot. Ez kidolgozta a megbízások elfogadásának, végrehajtásának és ügyintézésének rendjét, a kalkuláció módját. A jelentkezéseket számon tartják. Elmondotta, hogy nem vállalati munkák átvételének szándékáról van szó – ezt vagy munkaköri feladatként vagy VGMK-ban kell elvégezni – hanem kooperációt igénylő, interdiszciplináris jellegű feladatokról.

Molnár Károly felhívta a jelenlevők figyelmét, hogy igen sok múlik azon, hogy a geofizikusok megfelelő tájékoztatást adjanak saját vállalataiknál. Meg kell találni a témákat és tudatosítani az új lehetőségeket.

Dr. Jéki László köszöntötte a közgyűlés résztvevőit. Elismeréssel szólt az EAEG sikeréről. „Csúcsokat javított a mérhető és nem mérhető területeken." Dícsérte a csapatmunkát kiemelve azt, hogy közben a mindennapi munka is zökkenőmentesen ment. A MTESZ-ről elmondta, hogy tevékenységünk új vonása erősödött az elmúlt öt évben. Sok szerv kérte és kéri a szövetség véleményét, ötéves tervek anyagai, pártkongresszusra való készülés során stb.. Elmondta, hogy a műszaki fejlesztés fontosságának hangsúlyozása meghallgatásra talált, javult a műszaki értelmiség megbecsülése, bővültek a nemzetközi kapcsolatok. Az egyesületek maximális önállóságát kívánják biztosítani a jövőben és ehhez a feltételeket megteremteni. Kiemelte, hogy a Szövetség kezdeményezéseinek igen jó partnere volt az MGE vezetősége. Sok sikert kívánt a megválasztandó új vezetőségnek. Megköszönvén a jó munkát, a MTESZ Országos Elnöksége nevében jutalmat nyújtott át egyesületünk főtitkárának és elnökének.

Dr. Ádám Antal az Általános Geofizikai Szakosztály elnöke a szakosztály munkáját értékelve elmondta, hogy az öt év során *38* előadást rendeztek, az átlagos hallgató létszám viszont igen alacsony volt. Jónak minősítette a különböző nemzetközi szervezetekkel kialakított kapcsolatokat.

Molnár Dezső a bányageofizika terén folyó munkát ismertette. Jelezte, hogy a soron következő miskolci vándorgyűlésen már *15* fő fog részt venni a felhasználók részéről. Megköszönte az MGE-nek, hogy elősegítette a geofizikának a bányában való elterjedését.

A kérdéshez hozzászólva *Molnár Károly* elnök azt jósolta, hogy a jövőben további dinamikus fejlődés várható. Folyamatban van a kapcsolatok kialakítása csehszlovák, tervbe véve pedig lengyel intézményekkel.

Utolsó felszólalóként *Hursán László* az észak-magyarországi csoportban a posztgraduális képzésről kialakult elképzelésekről beszélt. Idén tervezik a mélyfúrási geofizikai szakmérnök képzés újbóli beindítását. Kérte az egyesület segítségét abban, hogy a vezetők minél több jelentkező részvételéhez járuljanak hozzá és a megszerzett diplomát erkölcsileg és anyagilag becsüljék meg. Beszámolt arról, hogy folyik a tematika összeállítása és kérte, hogy ha elkészült, a Mélyfúrási Szakosztály vitassa meg. A technikus képzésről is szólt, megállapítva, hogy szükségszerű volt az érettségizettek számára megteremteni ezt a lehetőséget.

A kérdéshez *Molnár Károly* hozzáfűzte, hogy a technikus képzés jó lehetőség a majdani oktatóknak és az egyesületnek is. Hasznos munkáért jó jövedelemforrás. A szakmérnök képzésről szólva megállapította, hogy egységesen jó tematikát igen nehéz összeállítani. A második évben lehetővé kell tenni a szakosodást.

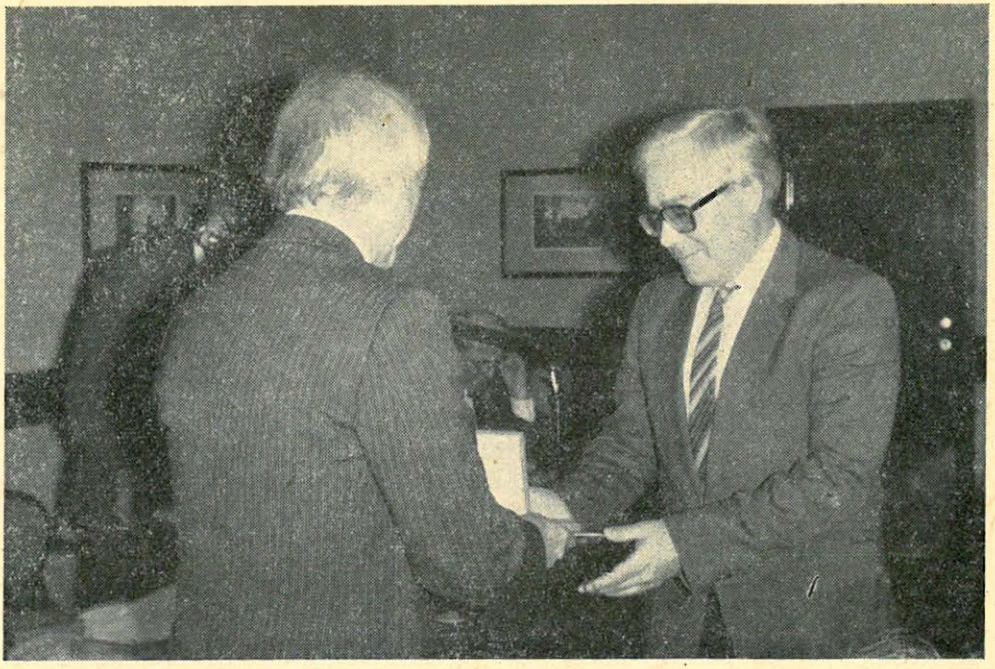
Bejelentette, hogy az előzetesen szétküldött határozati javaslatra nem érkezett módosító javaslat, ezért azt és az elhangzott beszámolót szavazásra bocsátotta. A küldöttek mindkettőt egyhangúlag elfogadták.

Ezt követően a küldöttközgyűlés *Bese Vilmos* örökös tiszteletbeli elnököt köszöntötte *70.* születésnapja alkalmából majd

Molnár Károly
Dr. Deres János
Dr. Bencze Pál egyesületünk új tiszteleti tagjai vehették át az oklevelet.

Az idén először ítélte oda az Országos Elnökség az **Egyed László** illetve **Renner János** egyesületi emlékérmet.

Molnár Károly elnök az első Egyed Lászlóról elnevezett emlékérmet a jelenlevő özvegynek nyújtotta át.



Az emlékérem első tulajdonosai:

Dr. Csókás János
Dr. Meskó Attila
Dr. Pozsgay Károly
Dr. Verő József

A **Renner János**-emlékérmet az alábbiak kapták:

Dr. Ádám Oszkár
Hursán László
Rádler Béla
Dr. Szabó János
Dr. Szemerédy Pálné

Az 1985. évi legjobb dolgozat címet az alábbiak nyerték el:

Az új tudományos eredményt tartalmazó dolgozat kategóriájában:

Vermes Mátyás „Rétegsor-meghatározás karotázsszelvények számítógépes feldolgozásával" (Magyar Geofizika XXVII. évf. 5–6. szám) című dolgozatával.

A legjobb gyakorlati kutatási eredményt tartalmazó dolgozat kategóriában:
Dr. Pogácsás György „A Pannon-medence neogén üledékeinek szeizmikus sztratigráfiai vizsgálata (Geofizikai Közlemények 30. évf. 4. szám) című dolgozatával.

Emléklapot kaptak azon jogi tag vállalatok vezetői, akik a beszámolási periódusban jelentős segítséget nyújtottak az egyesületnek:

Dr. Dózsa Lajos v. ig. MAT
Dr. Hingl József v. ig. KV

Mérei Emil v. ig. Mecseki Szénbányák
Trombitás István v. ig. KFV
Tóka Jenő v. ig. MÉV
Dr. Vándorfi Róbert v. ig. h. OKGT
Zsuffa Miklós v. ig. Nógrádi Szénbányák

Egyesületi munkájukért emléklapot kaptak:

Dr. Ferenczy László
Kánnár Tibor
Ribi Elemér
Dr. Szarka László
Dr. Tarcsay György
Tóth József
Zelei András

A jutalmak átadása után az egyesület főtitkára megköszönte *Buda Gáborné* ügyvezető titkárnak és a titkárság dolgozóinak fáradhatatlan munkájukat, majd *Molnár Károly* elnök bejelentette, hogy a vezetőség lemond. Az elnöklést *Bese Vilmos* vette át és felkérte *Rádler Bélát*, hogy ismertesse az új országos elnökség, ellenőrző- és fegyelmi bizottságra kialakult javaslatot.

A jelölőbizottság elnöke beszámolójában azzal egészítette ki a szavazásra bocsátott névsorokat, hogy az alapszabály értelmében az országos elnökségnek választás nélküli tagjai az egyesület örökös elnöke, az Eötvös-emlékérem tulajdonosai, az egyesület tiszteleti tagjai, a szakosztályok titkárai, a vidéki csoportok titkárai. A szavazatok összeszámlálása alatt a jelenlevők *dr. Theodor Krey: Jel/zaj viszony a szeizmikus észlelésben, a múltban, a jelenben és kitekintés a jövőbe* című érdekes előadását hallgathatták meg.

Dr. Szemerédy Pálné ismertette a szavazás eredményét. A megválasztott Országos Elnökség a Tisztújító Közgyűlés után megtartotta ülését. A jelölőbizottság javaslatát *Rádler Béla* terjesztette elő. A szavazások eredményeként és az alapszabály értelmében az egyesület tisztségviselői 1986 – 90-es időszakban:

Országos Elnökség

Az ALAPSZABÁLY 12.§-a értelmében választás nélküli tagjai:

az egyesület örökös tiszteleti elnöke:
Bese Vilmos

az Eötvös-emlékérem tulajdonosai:
Dr. Ádám Antal, *dr.* Barta György, *dr.* Sebestyén Károly, *dr.* Stegena Lajos

az egyesület tiszteleti tagjai:

Dr. Ádám Oszkár	Dr. Csókás János	Dr. Dank Viktor
Dr. Fülöp József	Jesch Aladár	Dr. Müller Pál
Nagy Zoltán	Dr. Oszlaczky Szilárd	Dr. Posgay Károly
Dr. Szilárd József	Dr. Takács Ernő	Tóka Jenő
Dr. Tolmár Gyula	Tóth Géza	Dr. Vándorfi Róbert
Molnár Károly	Dr. Deres János	Dr. Bencze Pál

a szakosztályok titkárai:

Dr. Bodoky Tamás — Dr. Komlósi Zsolt — Dr. Tarcsay György

a vidéki csoportok titkárai:

Dr. Ferenczy László — Gerzson István — Marton Tibor

Dr. Kiss Bertalan — Dr. Szarka László

választott tagok:

Dr. Aczél Etelka
Dr. Baráth István
Bádonyi Géza
Dr. Barlai Zoltán
Czeglédi István
Dr. Fabiáncsics László
Hursán László
Karas Gyula
Kánnár Tibor
Dr. Kókai János
Kónya Albert
Kovács Béla
Kremszner Miklós
Kubina István
Lakatos Sándor
Dr. Meskó Attila
Miklós Gergely
Dr. Morvai László
Nemesi László
Nyerges Lajos
Pályi András
Dr. Pogácsás György
Rádler Béla
Ráner Géza
Rumpler János
Dr. Somogyi József
Suba Sándor
Dr. Szabadváry László
Dr. Szabó János
Szabó Zoltán
Dr. Szemerédy Pál
Szongoth Gábor
Tirkala Ferenc
Dr. Tóth Péter
Ujfalusy Antal
Véges István
Verbőci József
Zelei András
Zsitvay Szilárd

Örökös tiszteleti elnök: Bese Vilmos

Elnök: Molnár Károly

Társelnökök: Dr. Barta György, dr. Csókás János, dr. Müller Pál

Főtitkár: Dr. Deres János

Titkárok: Dr. Baráth István, Nagy Zoltán, Pályi András, Ráner Géza, Rumpler János

Szakosztályok vezetősége:

Általános Geofizikai Szakosztály,	*Elnök:*	Dr. Ádám Antal
	Titkár:	Dr. Tarcsay György
Felszíni Geofizikai Szakosztály,	*Elnök:*	Rádler Béla
	Titkár:	Dr. Bodoky Tamás
Mélyfúrási Geofizikai Szakosztály,	*Elnök:*	Lakatos Sándor
	Titkár:	Dr. Komlósi Zsolt

Magyar Geofizika felelős szerkesztő: Zelei András

Bizottságok vezetősége:

Ellenőrzőbizottság:	vezető:	Ujfalusy Antal
	tagok:	Szeidovitz Győzőné
		Szulyovszky Imre
	póttagok:	Albu István, Nagy Zoltánné
Fegyelmi bizottság:	vezető:	Kremszner Miklós
	tagok:	Hobot József, Ribi Elemér
	póttagok:	Kónya Albert, Martinecz Sándor
Közgazdasági bizottság:	elnök:	Dr. Márföldi Gábor
	titkár:	Dr. Fabiáncsics László
Műszertechn. bizottság:	vezető:	Kubina István
	titkárok:	Czifra Ferenc, Horváth Flórián
Oktatási bizottság:	elnök:	Dr. Stegena Lajos
	titkár:	Gadó Károly
Tudományos bizottság:	elnök:	Dr. Posgay Károly
	titkár:	Véges István
Ifjúsági bizottság:	elnök:	Tóth József
	titkár:	Cziller Eszter
Történeti bizottság:	elnök:	Szabó Zoltán
	titkár:	Jesch Aladár
Gazdasági bizottság:	vezető:	Miklós Gergely
Robbantástechnikai Szakcsoport:		(közös az OMBKE-vel)
	vezető:	Kánnár Tibor
Bányageofiz. bizottság:	elnökök:	Dr. Csókás János
		Dr. Szabó János
	titkár:	Berta Zsolt
Nemzetközi Kapcsolatok bizottsága:	vezető:	Dr. Baráth István
Szeniorok bizottsága:	elnök:	Tóth Géza
	titkár:	Dr. Szemerédy Pálné

A tisztújító közgyűlést a már hagyományossá vált és szokásosan jó hangulatú baráti vacsora zárta. Ezen részt vett *dr. Dank Viktor* a KFH elnöke is, akit 60. születésnapja alkalmából *Molnár Károly* elnök köszöntött.

MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

Tisztújító küldöttgyűlés

1986. március 21.

Határozat

1. *Egyesületünk az alapvető népgazdasági célok megvalósítása érdekében dolgozik. Feladatunk az, hogy az egyesületi munka sajátos eszközeivel segítsük elő a tervek megvalósítását, biztosítsuk minden területen a földtani-geofizikai kutatás magas színvonalát, támogassuk az információk hatékony cseréjét, a megújulást előremozdító gondolatok megvalósulását. Ebben a szerteágazó feladatkörben szeretnénk eredményesen hozzájárulni az irányító főhatóságok és bázisintézményeink jó munkájához.*

2. *A geofizikai szakterületek fejlődése ma már új, magasabb rendű kapcsolatokat igényel, az összefüggések feltárása új területeket nyit meg. Ez a közeljövőben még inkább igényli a szakosztályok, területi csoportok és bizottságok együttműködését. Erősíteni és bővíteni kívánjuk kapcsolatainkat a társegyesületekkel, különösen a konkrét feladatok központi egyeztetésében.*

3. *A közelmúlt nagy nemzetközi rendezvényei bizonyítják, hogy tagságunk lelkes összefogása komoly feladatok sikeres megoldását biztosítja. Erre alapozva célszerű további nagy nemzetközi rendezvények előkészítését megkezdeni.*

4. *A világbanki kölcsönhöz kapcsolódó képzési program jelentősen bővíthetné oktatási, továbbképzési lehetőségeinket. Szeretnénk, ha a nemzetközi továbbképzési munkába hazánk is aktívabban bekapcsolódna. Jobban ki kell használnunk a külföldi előadók meghívásának lehetőségét is.*

5. *Területi csoportjaink rangos munkát végeznek, nemzetközileg ismert központok alakulnak ki. Sokat oldódott egyesületi életünk Budapest-centrikussága. A jövőben még magasabb szintre kell emelnünk a szakosztályok, bizottságok és területi csoportok kapcsolatait.*

6. *A MTESZ társadalmi szervezetté való alakulása pozitív változást jelent a szövetség munkájában. A reálértelmiség helyzetének javítása és a műszaki haladás meggyorsítása érdekében kifejtett tevékenység támogatása a mi feladatunk is.*

7. *A közeljövőben egyesületünkben is növekedni fog a nyugdíjasok létszáma. Tudományos-szakmai tapasztalataik közkinccsé tétele és sajátos problémáik megoldásában való segítségnyújtásra megfelelő szervezeti keretet kell létrehozni (Seniorok Bizottsága).*

8. *Napjainkban ismét egyre több helyen ismerik fel az emberi tényező fontosságát. E területen egyesületünkben is van tennivaló. Pezsgőbb, kollegálisabb egyesületi életet kell teremtsünk. Nagyobb szerepet kell biztosítsunk a klubéletnek, a vitafórumoknak.*

Akusztikus impedancia becslése szeizmikus csatornák spektrumának extrapolációjával

VERMES MÁTYÁS*

A dolgozatban tárgyalt eljárás célja a szeizmikus összegcsatornák alapján becslést adni az akusztikus impedancia függvényre. A szeizmikus csatornák Fourier-transzformáltját komplex autoregresszív folyamatnak tekintjük, megbecsüljük a folyamat együtthatóit, majd ezek ismeretében extrapoláljuk a spektrumot. A kiterjesztett spektrumú csatornákból számított szeizlog szelvény jellemzi a közeg akusztikus impedanciáját. Az eljárás lehetővé teszi az impedanciára vonatkozó, egyéb forrásból származó információ felhasználását, ami a kapott eredmény megbízhatóságát némileg javítja.

Цель обсуждаемого в статье метода – на основании сейсмического общего канала дать оценку функции акустического импеданса. Считая фурье-преобразование сейсмического канала комплексным авторегрессивным процессом, можно оценить коэффициенты этого процесса, а зная коэффициенты, экстраполировать спектр. Расчитанный по каналам расширенного спектра сейсмический разрез характеризует акустический импеданс породы. Метод дает также возможность использования относящейся к импедансу информации, полученной из других источников, что в некоторой степени улучшает надежность полученных результатов.

The aim of the process presented in the paper to use seismic stacking traces for the estimation of the acoustic impedance function. The Fourier – transformed seismic traces are considered as complex autoregressive time series, the coefficients of the time series are estimated and by using the estimated coefficients the spectra is extrapolated. The seislog section calculated from the traces of broadened spectra is characteristic to the acoustic impedance of the geologic section. The procedure makes it possible to use information coming from other source to slightly upgrade the reliability of the result.

Bevezetés

A reflexiós szeizmika egyik fő célja az akusztikus impedancia mélységtől való függésének feltárása. A feladat alapvető nehézsége abban rejlik, hogy a rendelkezésünkre álló csatornaadatok spektruma sávkorlátozott. Mivel egy szeizmikus csatorna spektruma általában 10 és 50 Hz közé esik, az akusztikus impedancia dekonvolúciót követő rekurzív meghatározása olyan csatornát eredményez, melynek spektruma ugyancsak sávkorlátozott, lásd [10] és [11]-et. A visszaállított impedancia szelvény magas és alacsony frekvenciás összetevői a geológiai értelmezés számára kritikusak. Különösen fontos az alacsony frekvenciás komponens megfelelő figyelembe vétele. [5] e célból közeli mélyfúrásokból származó akusztikus karotázs és szeizmikus sebességanalízis eredményeinek felhasználását javasolja.

A közelmúltban számos olyan dolgozat jelent meg, amely közvetlenül a szeizmikus csatorna alapján kísérli meg az impedancia függvény teljessávú visszaállítását. A [3] műben ismertetett módszer lényege a következő. Egy impedancia modellre megoldva a szeizmikus direktfeladatot, kiszámítják a szintetikus szeizmogramm és a valódi szeizmogramm közti eltérést. Ezután a modellen olyan

* Geofizikai Kutató Vállalat, Budapest

változtatásokat eszközölnek, amely a két szeizmogramm közti eltérést csökkenti. Az eljárást iterativan addig ismétlik, míg az eltérés megfelelően kicsivé nem válik. Az algoritmus a nyugati szakirodalomban „általánosított lineáris inverzió" néven ismert módszeren alapszik. A probléma egy másik lehetséges megközelítésében a hiányzó alacsony és magas frekvenciás adatokat a spektrum extrapolációjával, kiterjesztésével pótolják. Az exptrapolációnál a sávhatárolt szeizmikus jelalak által vélhetően torzítatlanul átengedett spektrumszakaszból indulnak ki. Ez az eredeti gondolat az itteni összefüggésekben a szerző tudomása szerint először a [6] műben került nyilvánosságra. A [6]-ban leírt módszer alapeszméje az, hogy a csatorna spektrumát komplex autoregresszív folyamatnak tekintik, megbecsülik a folyamat autoregressziós együtthatóit, majd ezek felhasználásával kiterjesztik a spektrumot a kis és nagy frekvenciák irányába. Ez az eljárás szoros kapcsolatban áll a maximális entrópiájú spektrumbecsléssel (lásd [7]-et). Mint ismeretes, a MEM akkor használható előnyösen, ha egy feltehetően vonalas spektrumú – azaz különböző frekvenciájú szinuszoidok szuperpozíciójából álló – idősor időben rövid szakaszából kívánjuk becsülni a spektrumot. Ilyen esetben a nullákkal kiegészített idősor egyszerű Fourier transzformációval számított spektrumában a spektrumvonalak összemosódnak. Ezt a kedvezőtlen hatást a MEM az idősor mindkét irányú kiterjesztésével, vagyis az idősor hosszának mesterséges növelésével csökkenti. Az extrapoláció az idősor meglevő szakaszából kiinduló legkisebb négyzetes értelemben optimális jóslás révén valósul meg, ily módon a spektrumot torzító idegen információ bevitele minimális lesz. Ezekután belátható, hogy a szeizmikus csatorna spektrumának [6]-ban tárgyalt kiterjesztése és a maximális entrópiájú spektrumbecslés duális problémák, abban az értelemben, hogy bennük az időtartomány és frekvenciatartomány szerepe felcserélődik. A spektrum autoregresszív kiterjesztésével foglalkozik még a [16] és részben a [9] mű. Előbbiben több ponton is javítják a [6]-ban leírt eljárást. A javítások közül legfontosabb a spektrum szimmetria tulajdonságainak figyelembe vétele az alacsony frekvenciák irányába történő extrapolálásnál, valamint az akusztikus karotázs, sebességanalízis stb. által szolgáltatott információ kihasználása. Jelen dolgozatban a [6] és [16] cikkben kifejtett módszert fogjuk követni.

Ígéretesnek látszik a [9] dolgozatban tárgyalt eljárás. Itt a spektrum kiterjesztésének – matematikai apparátusát tekintve – az eddigiektől teljesen különböző megoldását ismertetik. E cikkben olyan minimális l_1 normájú reflektivitás sorozatot keresnek, melynek spektruma a torzítatlannak vélt frekvenciasávban (pl. 10–40 Hz) egy adott hibánál kisebb eltéréssel közelíti az eredeti spektrumot. A lineáris programozást ilyen formában először a [4] cikkben alkalmazták dekonvolúciós feladatra. A spektrum kiterjesztésén alapuló eljárások közül az utóbbi tűnik a legkedvezőbbnek. Az l_1 norma természetéből adódóan a módszer viszonylag stabil, pl. az egyébként gyengén meghatározott reflektivitás sorozatban nem keletkeznek egymás után következő, ellentétes előjelű, nagy értékű reflexiós együtthatók. A lineáris programban egyszerűen figyelembe vehetjük az egyéb forrásból származó impedanciára vonatkozó információt is. Meg kell azonban jegyezni, hogy a lineáris programhoz tartozó szimplex táblázat tipikus mérete kb. 200×500, ezért a GKV-nál jelenleg használatban levő 64K központi memóriájú számítógépen az eljárás hatékonyan nem valósítható meg. Jelen dolgozat első részében ismertetjük a témánk megértéséhez szükséges matematikai eszközöket. Míg az A pontban tárgyalt komplex optimumszűrő egyenlet ismerete csak a levezetések precíz követéséhez kell, a B pontban szereplő lineáris differenciaegyenletek elmélete témánk lényegének megértéséhez nélkülözhetet-

len. Ezért minden komolyan érdeklődő olvasónak javasoljuk az 1.B pont áttanulmányozását. A második részben az [1] cikk alapján röviden összefoglaljuk a reflektivitás függvény és az akusztikus impedancia közötti kapcsolatot. A dolgozat harmadik részében a [6] és [16] cikkek nyomán ismertetjük a spektrum autoregresszív kiterjesztésének algoritmusát. A következő negyedik pontban olyan módszereket tárgyalunk, amelyek az akusztikus impedanciára vonatkozó kiegészítő információt is figyelembe veszik. Végül láthatunk néhány további példát szintetikus és terepi – stacking és VSP – csatornák feldolgozására.

1. Matematikai alapok

1. A Komplex optimumszűrők

A dolgozat 3. részében két ízben is felhasználjuk a komplex optimumszűrő egyenlet determinisztikus változatát. A következőkben ennek rövid levezetését ismertetjük.

Legyen a szűrés *bemenete* $\{x_i\}$ és a szűrés *kívánt kimenete* $\{y_i\}$ két komplex számsorozat. Itt szándékosan nem rögzítjük, hogy milyen indexű tagok szerepelnek a sorozatokban, úgy gondoljuk, hogy az optimumszűrőegyenlet konkrét alkalmazásakor meg fogjuk tudni állapítani az indexhatárokat. Feltesszük viszont, hogy a sorozatok végesek. A feladat olyan komplex $f_i (i = 0, 1, \ldots, M)$ szűrőegyüttható meghatározása, melyekkel a lineáris szűrés *tényleges kimenete*

$$z_k = \sum_{i=0}^{M} x_{k-i} f_i \tag{A.1}$$

legkisebb négyzetes értelemben optimálisan közelíti az y_k kívánt kimenetet. Az optimalitás kritériuma tehát:

$$S = \sum_k \left| z_k - y_k \right|^2 = \min \tag{A.2}$$

Az optimalitás szükséges feltétele, hogy S-nek az f_i mennyiségek szerinti parciális deriváltjai eltűnjenek.

$$\frac{\partial S}{\partial Ref_i} = 0, \qquad \frac{\partial S}{\partial Imf_i} = 0 \qquad i = 0, 1, \ldots, M \tag{A.3}$$

Az eltérés S mértékének alábbi részletes kifejezésébe

$$S = \sum_k \left\{ [Re(z_k - y_k)]^2 + [Im(z_k - y_k)]^2 \right\} \tag{A.4}$$

behelyettesítve z_k valós és képzetes részét

$$\left.\begin{aligned} Rez_k &= \sum_{i=0}^{M} Rex_{k-i} Ref_i - Imx_{k-i} Imf_i \\ Imz_k &= \sum_{i=0}^{M} Rex_{k-i} Imf_i + Imx_{k-i} Ref_i \end{aligned}\right\} \tag{A.5}$$

adódik a következő

$$\frac{\partial S}{\partial Ref_i} = \sum_k 2[Re(z_k - y_k)Rex_{k-i} + Im(z_k - y_k)Imx_{k-i}] = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial Imf_i} = \sum_k 2[Re(z_k - y_k)(-Imx_{k-i}) + Im(z_k - y_k)Rex_{k-i}] = 0$$

$$i = 0, \ldots, M \tag{A.6}$$

valós egyenletpárokból álló egyenletrendszer. A valós egyenletpárokat *komplex* egyenletté összevonva:

$$\sum_k (z_k - y_k)\bar{x}_{k-i} = 0 \quad i = 0, \ldots, M. \tag{A.7}$$

A komplex konjugálást felülvonással jelöltük.
(A.7)-ből átrendezéssel és az összegzés sorrendjének felcserélésével kaphatjuk:

$$\sum_l \sum_k (x_{k-l}\bar{x}_{k-i})f_l = \sum_k y_k\bar{x}_{k-i} \tag{A.8}$$

Bevezetve az

$$r_{yx}(i) = \sum_k y_k\bar{x}_{k-i} \tag{A.9}$$

determinisztikus korrelációs sorozatot (A.8) az alábbi alakra hozható:

$$\sum_{l=0}^{M} r_{xx}(i-l)f_l = r_{rx}(i) \tag{A.10}$$

(A.10) összesen $2(M+1)$ darab egyenletet jelent ugyanennyi ismeretlenre. Az optimum-szűrőegyenletet mátrix alakban felírva:

$$R_{xx}f = r_{yx} \tag{A.11}$$

ahol R_{xx} a bemenet autokorrelációjából felépített hermitikus, Toeplitz típusú mátrix, f a komplex elemekből álló optimumszűrő, r_{yx} a bemenet és a kívánt kimenet komplex keresztkorrelációs vektora. A dolgozatban bemutatott példák előállítása során számos alkalommal került sor az (A.11) egyenletrendszer megoldására. A megoldást minden esetben a Levinson féle rekurzió komplex változatával végeztük [2].

1.B Lineáris állandó együtthatós differenciaegyenletek vizsgálata

Az $\{x_n\}_{n=0}^{\infty}$ komplex értékű sorozatra vonatkozó, p-ed rendű, lineáris, állandó együtthatós differenciaegyenletnek nevezzük az alábbi kifejezést.

$$x_n = \sum_{j=1}^{p} x_{n-j}a_j + e_n, \quad n = p, p+1, \ldots \tag{B.1}$$

Ha egy $\{x_n\}$ megoldássorozat első p eleme rögzített, azaz

$$\{x_n\}_{n=0}^{p-1} = \{c_n\}_{n=0}^{p-1}, \tag{B.2}$$

akkor ezt a tényt úgy fejezzük ki, hogy a sorozat eleget tesz a $\{c_j\}_{j=0}^{p-1}$ kezdeti feltételeknek. Számunkra különösen érdekes lesz a p-ed rendű *homogén* differenciaegyenlet vizsgálata, amikor is a (B.1) jobb oldalán álló $\{e_n\}$ gerjesztő függvény azonosan nulla.

$$x_n = \sum_{j=1}^{p} a_j x_{n-j}, \qquad n = p, p+1, \ldots \tag{B.3}$$

Azonnal észrevehetjük, hogy mind a (B.1) mind a (B.3) egyenletnek tetszőleges kezdeti feltételek mellett létezik megoldása és a megoldás egyértelmű, hiszen ha már ismert $x_0, x_1, \ldots x_{p-1}$, akkor a (B.1) vagy (B.3) képlet egyértelműen előírja, hogyan folytatódik a sorozat.

Ennek megfelelően természetesen nem a megoldások numerikus előállítása érdekel bennünket, hanem a következő kérdések: Adott $\{x_n\}$ sorozat előállítható-e (B.1) vagy (B.3) megoldásaként, és ha igen, mennyi a differenciaegyenlet p-rendje, és mik az a_j együtthatók? Milyen feltételek biztosítják a megoldások stabilitását? (A differenciaegyenletet stabilnak mondjuk, ha a kezdeti feltételek hatása $n \to \infty$ esetén elenyészik.)

E kérdések megválaszolása érdekében általánosságban fogjuk vizsgálni (B.1) és (B.3) megoldássorozatainak tulajdonságait. Alapvető fontosságú az a tény, hogy a p-edrendű lineáris homogén differenciaegyenlet megoldásai p dimenziós lineáris teret alkotnak. Annak belátásához, hogy a megoldások összessége valóban lineáris tér, elég azt ellenőrizni, hogy ha $\{x_n\}$ és $\{y_n\}$ megoldása (B.3)-nak, akkor tetszőleges k_1 és k_2 konstansokkal a

$$k_1\{x_n\} + k_2\{y_n\} = \{k_1 x_n + k_2 y_n\}$$

sorozat is megoldás. A dimenziószámra vonatkozó állítás igazolásához az alábbi gondolatmenet vezet. Láttuk, hogy tetszőleges $\{c_j\}_{j=0}^{p-1}$ kezdeti feltételrendszer egyértelműen meghatározza (B.3)-nak egy $\{x_n\}_{n=0}^{\infty}$ megoldását. Nyilvánvaló, hogy bármely megoldás is egyértelműen meghatározza a hozzá tartozó kezdeti feltételeket, ezért a kezdeti feltételek és a megoldások közötti megfeleltetés kölcsönösen egyértelmű. Ezenkívül a tekintett megfeleltetés lineáris, azaz ha a $\{d_j\}_{j=0}^{p-1}$ kezdeti feltételekhez tartozó (B.3)-at kielégítő megoldás $\{y_n\}$, akkor tetszőleges k_1, k_2-vel a $k_1\{x_n\} + k_2\{y_n\}$ sorozat szintén kielégíti (B.3)-at, méghozzá a $\{k_1 c_j + k_2 d_j\}_{j=0}^{p-1}$ kezdeti feltételekkel. E meggondolások azt mutatják, hogy a homogén egyenlet megoldásainak tere *izomorf a kezdeti feltételek terével*, utóbbi pedig nem más, mint a p dimenziós koordinátatér. A keresett dimenziószám tehát p.

A dimenziószám tisztázása a következők miatt fontos. Eredményünk szerint elegendő (B.3)-nak p darab lineárisan független megoldását megkeresni, ha ez sikerül, akkor ezek lineáris kombinációjaként (B.3) *valamennyi* megoldását előállíthatjuk. A (B.3) egyenlet valamely p számú lineárisan független megoldását a differenciaegyenlet alaprendszerének nevezzük.

Ezek után keressük (B.3) megoldásait

$$x_n = z^{-n} \tag{B.4}$$

alakban. (B.4)-et (B.3)-ba helyettesítve és z^n-val szorozva:

$$K(z) = 1 - a_1 z - a_2 z^2 - \ldots - a_p z^p = 0 \tag{B.5}$$

A $K(z)$ polinomot a differenciaegyenlet *karakterisztikus polinomjának* nevezzük.

Egy $\{x_n\}$ megoldás akkor lehet (B.4) alakú, ha z gyöke a karakterisztikus polinomnak. Jelölje (B.5) gyökeit r_j ($j = 1, \ldots, p$), mivel többszörös gyökök is lehetnek, $r_{j1} = r_{j2}$ is előfordulhat. Különböző gyökökhöz tartozó $\{r_{j1}^{-n}\}$ és $\{r_{j2}^{-n}\}$ megoldások mindenesetre lineárisan függetlenek. Ennek belátásához tekintsük a következő egyenletrendszert:

$$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \ldots & a_p \\ 1 & 0 & & 0 \\ & 1 & & \cdot \\ & & \cdot & \cdot \\ & & & \cdot \\ & & & r_j^{-1} \\ & & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_j^{1-p} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_j^{-p} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ r_j^{-2} \\ r_j^{-1} \end{bmatrix} \tag{B.6}$$

(B.6) első egyenlete azt fejezi ki, hogy $\{r_j^{-n}\}$ megoldása (B.3)-nak, a $2, \ldots, p$-edik egyenletek triviálisak. (B.6) szerint a bal oldalon szereplő mátrix r_j^{-1} sajátértékéhez tartozó sajátvektora $(r_j^{1-p}, \ldots, r_j^{-1}, 1)^T$. Felhasználva azt a mátrixelméleti tételt, mely szerint különböző sajátértékekhez tartozó sajátvektorok lineárisan függetlenek adódik az állítás. Ez a bizonyítás azt is mutatja, hogy az ún. Wandermonde-féle determináns csak akkor lehet zérő, ha van két megegyező oszlopa (sora). Ennek a gyakran alkalmazható tételnek az elemi úton történő bizonyítása meglehetősen hosszadalmas. Ha a karakterisztikus polinom minden gyöke egyszeres, akkor tehát megvan a keresett p lineárisan független megoldás. Megmutatjuk, hogyan juthatunk további megoldásokhoz többszörös gyökök esetén.

Legyen a $K(z)$ polinom r_j gyökének multiplicitása $m_j \geq 1$, ekkor megadható m_j számú, az r_j gyökhöz tartozó, független megoldás. Mivel r_j gyöke $K(z)$ deriváltjainak az $m_j - 1$-ed rendűig bezárólag, ezért tetszőleges n-nel a $K(z)/z^n$ függvényre is érvényes:

$$\frac{d^m}{dz^m}\left[K(z)/z^n\right]\Big|_{z=r_j} = 0, \quad m = 0 \ldots m_{j-1}. \tag{B.7}$$

A deriválásokat elvégezve, majd r_j t behelyettesítve előállnak a keresett megoldások.

$$\frac{d^m}{dz^m} z^{-n}\Big|_{z=r_j} = \sum_{l=1}^{p} a_l \frac{d^m}{dz^m} z^{-(n-l)}\Big|_{z=r_j} \tag{B.8}$$

$m = 0$ esetén visszakapjuk a már ismert $x_n = r_j^{-n}$ megoldást. Az $m = 1$ eset az

$$x_n = -n r_j^{-(n+1)} \tag{B.9}$$

megoldást szolgáltatja. Általánosságban az r_j m_j-szeres gyökhöz az

$$x_n = \frac{d^m}{dz^m} z^{-n} \Big|_{z=r_j} \qquad m = 0 \ldots m_j - 1 \tag{B.10}$$

m_j darab megoldás tartozik. Tekintve, hogy a gyökök multiplicitásának összege p, előállítottuk a homogén differenciaegyenlet p darab lineárisan független megoldását. (A függetlenség bizonyítása most bonyolultabb, mint csupa egyszeres gyök esetén, ezért eltekintünk tőle.)
Jelölje

$$\left\{ x_n^{(j)} \right\}_{n=0}^{\infty} \qquad j = 1, \ldots, p$$

a homogén egyenlet egy alaprendszerét. Ekkor (B.3) tetszőleges megoldása előáll

$$x_n = \sum_{j=1}^{p} k_j x_n^{(j)} \tag{B.11}$$

alakban, ahol a k_j együtthatókat az $\{x_n\}$-re kirótt kezdeti feltételekből határozhatjuk meg. Ha a (B.10) alakú megoldásokat választjuk alaprendszernek és feltételezzük, hogy $K(z)$-nek csupa egyszeres gyöke van, akkor a k_j konstansokra az alábbi egyenletrendszert kapjuk.

$$\begin{bmatrix} 1 & \ldots & 1 \\ r_1^{-1} & & r_p^{-1} \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ r_1^{1-p} & & r_p^{1-p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ k_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ c_{p-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_{p-1} \end{bmatrix} \tag{B.12}$$

A (B.6) utáni bizonyításból következik, hogy a (B.12) baloldalán álló Wandermonde-féle determináns nem zéró, ezért (B.12) tetszőleges jobb oldal mellett egyértelműen megoldható. Amennyiben a differenciaegyenlet a_j együtthatói valósak, lehetőség van arra, hogy valós megoldásokból álló alaprendszert készítsünk. Valós együtthatók esetén ugyanis a karakterisztikus polinom nem valós gyökei komplex konjugált párokat alkotnak. Ezért, ha $\{x_n\}$ egy (B.10) alakú (nem valós) megoldása (B.3)-nak, akkor megoldás az $\{\bar{x}_n\}$ konjugált sorozat is, e két sorozatot pedig helyettesíthetjük az alaprendszerben az $\{x_n + \bar{x}_n\}$ és $\{i(x_n - \bar{x}_n)\}$ *valós* megoldásokkal.

Példa:

Az eddig elmondottak illusztrálására tekintsük az alábbi differenciaegyenletet:

$$x_n = -2ix_{n-1} + x_{n-2}, \quad (x_0 = 1, \quad x_1 = -1) \tag{B.13}$$

ahol $i = \sqrt{-1}$. A karakterisztikus polinom:

$$K(z) = 1 + 2iz - z^2 = -(z-i)^2$$

aminek kétszeres gyöke i.

A két lineárisan független megoldás: $x_n^{(1)} = i^{-n}$, $x_n^{(2)} = ni^{-n-1}$

$$x^{(1)} = (1, -i, -1, i, 1, \ldots)$$

$$x^{(2)} = (0, -1, 2i, 3, -4i, \ldots)$$

A k_1, k_2 együtthatókra a kezdeti feltételek alapján felírhatjuk az

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -i & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

egyenletrendszert.
Ebből $k_1 = 1$, $k_2 = 1 - i$ adódik, így

$$x_n = x_n^{(1)} + (1-i)x_n^{(2)}$$

a keresett megoldás.

Tegyük most fel, hogy az $\{y_n\}$ sorozat kielégíti a (B.1) inhomogén egyenletet, és $\{x_n\}$ a homogén egyenlet megoldása. Ekkor az $\{x_n + y_n\}$ sorozat szintén kielégíti az inhomogén egyenletet. Az előbb láttuk, hogyan konstruálható meg a homogén egyenlet tetszőleges kezdeti feltételnek eleget tevő megoldása. Ezen a módon a (B.1) egyenlet tetszőleges $\{y_n\}$ megoldásához és tetszőleges $\{c_j\}_{j=1}^{p-1}$ számokhoz elkészíthetjük a homogén egyenlet olyan $\{x_n\}$ megoldását, hogy az $\{x_n + y_n\}$ sorozat eleget tegyen a $\{c_j\}$ kezdeti feltételeknek. Ezt az elvet úgy szokták kifejezni, hogy az inhomogén egyenlet általános megoldása előáll a homogén egyenlet általános megoldásának és az inhomogén egyenlet egy tetszőleges partikuláris megoldásának összegeként.

Egy lineáris differenciaegyenletet akkor nevezünk (aszimptotikusan) stabilnak, ha bármely két $\{x_n\}$ és $\{y_n\}$ megoldássorozatra $\lim_{n\to\infty} |x_n - y_n| = 0$, azaz a kezdeti feltételek hatása $n \to \infty$ esetén elenyészik.

Tegyük fel, hogy a (B.3) homogén egyenlet minden megoldása zéróhoz konvergál. Ekkor az inhomogén egyenlet tetszőleges $\{x_n\}$ és $\{y_n\}$ megoldásaira felírva (B.1)-et és a két egyenletet egymásból kivonva adódik, hogy $|x_n - y_n| \to 0$, azaz a differenciaegyenlet stabil. Megfordítva, ha a differenciaegyenlet stabil, akkor a homogén egyenlet bármely két megoldására $|x_n - y_n| \to 0$. $\{y_n\}$-nek az azonosan nulla sorozatot választva látjuk, hogy $x_n \to 0$.

Beláttuk tehát, hogy a differenciaegyenlet pontosan akkor stabil, ha a homogén egyenlet minden megoldása zéróhoz konvergál, midőn n tart végtelenhez. Ez utóbbi feltétel viszont pontosan akkor teljesül, ha a karakterisztikus polinom minden gyöke a zárt egységkörön kívül fekszik. Amennyiben $K(z)$-nek vannak gyökei az egységkörön, de ezek egyike sem többszörös, akkor (B.3)-nak vannak ugyan nem zéróhoz tartó megoldásai, de ezek még korlátosak. Ha a karakterisztikus polinomnak van gyöke az egységkör belsejében, illetve többszörös gyöke van az egységkörön (mint példánk esetében), akkor a homogén egyenletnek van nem korlátos megoldása.

2. Reflektivitás függvény – impedancia függvény

E dolgozatban a vízszintes rétegzettségű homogén rétegekből álló közeg és a vertikálisan áthaladó hullám egyszerű modelljét fogjuk használni. Jelölje *ka-*

adik réteg sűrűségét ϱ_k, a longitudinális hullám terjedési sebességét v_k, ekkor a réteg akusztikus impedanciája $\xi_k = \varrho_k v_k$. A k-adik és $k+1$-edik réteg határán a nyomáshullámra vonatkozó reflexiós együttható esetünkben

$$c_k = \frac{\xi_{k+1} - \xi_k}{\xi_k + \xi_{k+1}} \tag{2.1}$$

A $\{c_k\}$ sorozatot a közeg reflektivitás sorozatának (függvényének) nevezzük. A rétegek homogenitásának feltételezése azt jelenti, hogy a valóságban inhomogén közeg akusztikus impedanciáját egy-egy rétegre átlagoljuk, ezért a (2.1)-gyel definiált reflektivitás sorozat sohasem jellemezheti teljes részletességgel a közeget.

A reflexiós együtthatók sorozatának gyengén meghatározott volta abban is megnyilvánul, hogy egymástól lényegesen különböző (de ugyanazokhoz a réteghatárokhoz tartozó) reflektivitás sorozatok származhatnak nagyon hasonló impedancia függvényekből. E kedvezőtlen tulajdonságok ellenére is a reflexiós szeizmika természetéből adódóan szükséges a reflektivitás függvény fogalmának használata. A [9] dolgozat ezért azt javasolja, hogy a reflektivitás sorozat szeizmogramm alapján kapott közelítéséből állítsuk elő az akusztikus impedancia függvény becslését (ez a szeizlog módszer, lásd még az [1], [5], [10], [11], [12], [16] dolgozatokat), és az itt még mindig fellépő határozatlanságot egyéb információ, pl. akusztikus és sűrűség log, sebességanalízis felhasználásával csökkentsük.

A (2.1) egyenlet átrendezésével az akusztikus impedanciára az alábbi rekurzív kifejezés adódik:

$$\xi_{k+1} = \xi_k \frac{1 + c_k}{1 - c_k} \tag{2.2}$$

A (2.2) egyenlet alapján számítják az akusztikus impedanciát pl. a [10] és [11] dolgozatokban. A szakirodalomban több képlet is ismert (2.2) közelítő számítására (lásd [1]-et). Taylor sorba fejtve a (2.2) jobboldalán álló törtet ellenőrizhetjük, hogy a kapott sor c_k második hatványáig megegyezik $\exp\{2c_k\}$ c_k szerinti hatványsorával.

$$\frac{1 + c_k}{1 - c_k} \cong 1 + 2c_k + 2c_k^2 + \ldots \cong \exp\{2c_k\} \tag{2.3}$$

Feltételezve, hogy a C_k reflexiós együttható elegendően kicsi, írhatjuk

$$\frac{\xi_{k+1}}{\xi_k} = \exp\{2c_k\} \tag{2.4}$$

Ebből

$$\log(\xi_k/\xi_1) = 2\sum_{j=1}^{k} c_j \tag{2.5}$$

ahol ξ_1 a legfelső réteg akusztikus impedanciája. Az [1] dolgozatban részletesen megvizsgálják a (2.4), illetve (2.5) közelítő képlet alkalmazhatóságát, és úgy találják, hogy $|c_k| \leq 0.4$ teljesülése esetén a közelítés által okozott hiba nem jelentős, pl. (2.4) relatív hibája 5 százalék alatt marad. E megfontolások után a reflektivitás sorozat és az akusztikus impedancia függvény közötti átszámítást a

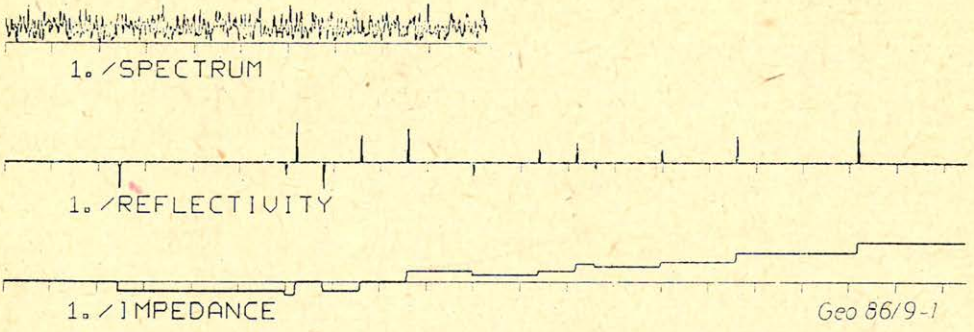
(2.5) képlettel végezhetnénk. Mivel azonban a gyakorlatban egy helyesen skálázott impedancia függvény előállítására egyelőre nincsen remény, az impedancia grafikon ábrázolásakor el fogunk tekinteni a (2.5)-ben szereplő (monoton) logaritmus függvénytől, valamint a ξ_1 és 2 szorzótényezőktől, és az impedancia függvény helyett a reflektivitás sorozat összegsorozatát ábrázoljuk az összegzési határ függvényében.

A dolgozatban kevés kivétellel olyan ábrák fognak szerepelni, amelyek három függvényt tartalmaznak. Ezek közül a második mindig a reflektivitás sorozatot, illetve ennek a jelalakkal konvolvált változatát (tehát a szeizmogrammot), esetleg az utóbbinak valamilyen dekonvolvált változatát fogja ábrázolni. Mindezen csatornákat a reflektivitás közelítésének tekintjük, ezért az ábrák második csatornája alatt a REFLECTIVITY felirat látható. Az ábrákon szereplő harmadik (alsó) függvény a második csatorna (a reflektivitás) összegsorozata az összegzési határ függvényében. A korábban mondottak értelmében ennek grafikonja az impedancia függvény grafikonjához hasonló, ezért a harmadik csatorna alatt az IMPEDANCE felirat szerepel. Az első (legfelső) függvény a második csatorna amplitúdóspektrumát, azaz a diszkrét Fourier transzformált abszolút értékét ábrázolja.

Az *1.* és *2. ábrán* bemutatjuk azt a modellcsatornát, amelyen illusztrálni fogjuk a spektrum kiterjesztésének algoritmusát.

Az *1. ábra* második csatornáján látható impulzussorozat a reflektivitás függvény, a harmadik csatorna az akusztikus impedancia. A *2. ábra* második csatornáját – mint az a spektrumok összevetéséből nyilvánvaló – a reflektivitás sávátereszto szűrésével kaptuk. Ez egy olyan szeizmogrammnak felel meg, melyben a jelalak a sávátereszto szűrő impulzusválasz függvénye (zérófázisú).

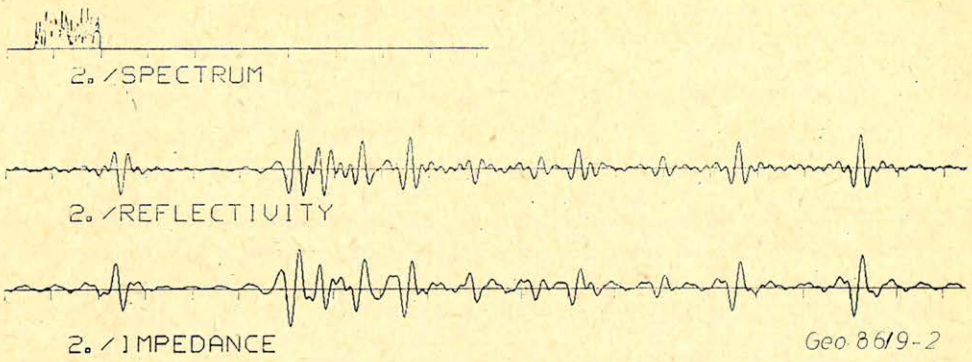
A *2. ábra* harmadik csatornája a szeizmogrammból számított szeizloggal ([10], [11]) azonosítható.



1. ábra. A spektrum extrapoláció bemutatására használt szintetikus szeizmogramm sávszűrés nélkül,

Рис. 1. Используемые для демонстрации экстраполяции спектра синтетические сейсмограммы без полосовой фильтрации.

Fig. 1. Unfiltered synthetic seismogram for presentation of the spectrum extrapolation.



2. ábra. Az 1. ábrán látható modell szeizmogramm sávszűrt változata.

Рис. 2. Вариант показанной на предыдущем рисунке модельной сейсмограммы с полосовой фильтрацией.

Fig. 2. Filtered version of the synthetic seismogram shown in Fig. 1.

A következő részben a *2. ábra* spektrumának kiterjesztésével megkíséreljük a sávkorlátozott szeizmogrammból visszaállítani az *1. ábrán* szereplő impedancia függvényt.

3. A szeizmikus csatorna spektrumának extrapolációja

Kiindulási alapunk a szokásos konvolúciós modell. Jelölje a szeizmikus csatorna adatait $\{x_k\}_{k=1}^{N}$, a reflektivitás függvényt $\{c_k\}_{k=1}^{N}$ és a jelalakot $\{w_l\}_{l=0}^{L}$, ekkor

$$x_k = \sum_{l=0}^{L} c_{k-l} w_l. \tag{3.1}$$

A $\{w_l\}$ jelalakról feltesszük, hogy az előzetes feldolgozás (pl. dekonvolúció, alakszűrés) eredményeként zérófázisú, amplitúdóspektruma pedig valamely f_L és f_H frekvenciák közti sávban egységnyi (lásd a *3. ábrát*).

A reflektivitás sorozat Fourier transzformáltjának

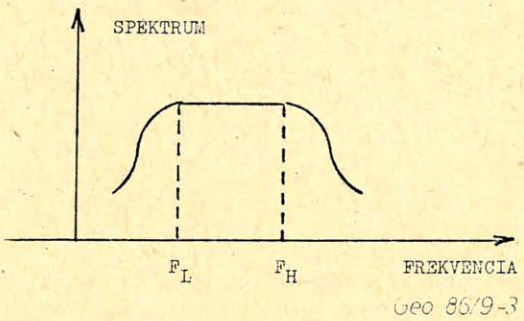
$$C(f) = \sum_{k=1}^{N} c_k e^{i\frac{2\pi}{N}fk}, \qquad f = 1 - \frac{N}{2}, 2 - \frac{N}{2}, \ldots, N - \frac{N}{2} \tag{3.2}$$

képletéből látjuk, hogy $C(f)$ komplex szinuszoidok összege (ez természetesen igaz minden diszkrét Fourier transzformáltra). Feltesszük, hogy a reflexiók száma lényegesen kisebb a csatorna N mintaszámánál, ezért csak viszonylag kevés c_k reflexiós együttható különbözik jelentősen nullától. Így (3.2)-ben nem kell minden tagot figyelembe venni, van olyan p számú ($p \ll N$) domináns tag, amely összege már megfelelően közelíti (3.2)-t. E feltevéssel azt mondhatjuk, hogy amennyiben a csatorna legfeljebb p darab reflexiót tartalmaz, akkor a reflektivitás so-

rozat spektruma p darab komplex szinuszoid szuperpozíciójával közelíthető. (3.1) frekvenciatartománybeli megfelelője

$$X(f) = C(f) \cdot W(f) \tag{3.3}$$

azt mutatja, hogy az $X(f)$ spektrum az f_L, f_H frekvenciasávban megegyezik $C(f)$-fel, tehát szintén komplex szinuszoidok összege. Mármost eljárásunk lényege az lesz, hogy a csatorna $X(f)$ spektrumának $f_L < f < f_H$ szakaszán megkeressük az említett szinuszos komponenseket, majd ezeket folytatva az f_L-nél kisebb, illetve az f_H-nál nagyobb frekvenciák irányába extrapoláljuk a spektrumot. A kiterjesztett spektrumtól azt várjuk, hogy megfelelően közelítse $C(f)$-et, illetve – mivel $C(f)$ csak gyengén meghatározott – ennek egy olyan egyszerű változatát, amely feltételezésünkkel összhangban viszonylag kevés reflexiót tartalmaz.



3. ábra. Feltevésünk szerint a jelalak zérófázisú, és amplitúdóspektruma az f_L és f_H frekvenciák között egységnyi.

Рис. 3. Предполагается, что форма сигнала имеетнулевую фазу, а его амплитудный спектр – единичный между частотами ϕ_L и ϕ_H.

Fig. 3. Zero phase wavelet having boxcar amplitude spectra between f_L and f_H is supposed.

Az 1.B pontban láttuk, hogy egy homogén lineáris differenciaegyenlet megoldása – feltéve, hogy a karakterisztikus polinom gyökei egynél nagyobb abszolutértékűek és egyszeresek – exponenciálisan csillapított komplex szinuszoidok összegeként áll elő. Ugyanis, ha $x_n = z^{-n}$, ahol $z = r(\cos \varphi + i \sin \varphi)$ a $K(z)$ karakterisztikus polinom gyöke, akkor egyszerű átalakítással az

$$x_n = r^{-n}(\cos n\varphi - i \sin n\varphi) \quad r > 1 \tag{3.4}$$

alakhoz jutunk.

Ezekután feladatul tűzzük ki olyan $a_1, \ldots, a_p$ együtthatók keresését, amelyeknek megfelelő differenciaegyenlet a következő tulajdonságú. Az $X(f)$ spektrum $fL < f < f_H$ szakasza előáll a differenciaegyenlet megoldásaként méghozzá *átlagnégyzetes értelemben minimális* e_n *gerjesztőfüggvénnyel (hibával)*. Ez a feladat a geofizikai szakirodalomban – különböző megfogalmazásokban – gyakran szerepel.

Első megfogalmazás (valószínűségi szemléletmód):

Tekintsük $X(f)$-et p-ed rendű autoregresszív folyamatnak és becsüljük meg az $a_1, \ldots, a_p$ autoregressziós együtthatókat.

Második megfogalmazás (dekonvolúció):

Tervezzünk az $X(f)$ komplex sorozathoz komplex spike dekonvolúciós operátort.

Az általunk választott differencia egyenlet reprezentáció és az autoregresszív folyamattal való modellezés közti különbség a determinisztikus és statisztikus felfogás különbségéből ered.

Amint azt [2] és [7] tárgyalja, a keresett $a_1 \ldots a_p$ együtthatókat a következő egyenletrendszer megoldásával kaphatjuk meg,

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_{-1} & \ldots & r_{-p} \\ r_1 & r_0 & & \\ . & & . & \\ . & & . & \\ . & & . & \\ r_p & & & r_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ -a_1 \\ . \\ . \\ . \\ -a_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v \\ 0 \\ . \\ . \\ . \\ 0 \end{bmatrix} \tag{3.5}$$

ahol a baloldali mátrix az $X(f)$ sorozatból képzett konjugált szimmetrikus Toeplitz típusú autokorrelációs mátrix, melynek egy általános $r_i = r_{xx}$ (i) elemét az 1.A pont (9) képlete definiálja. Az ismeretlenek $a_1 \ldots, a_p$ valamint v. (3.5) megoldása a Levinson-rekurzió komplex változatával történik. A baloldalon szereplő $(1, -a_1, \ldots, a_p)$ vektor az egységnyi jóslási távolságú jóslási hiba dekonvolúciós operátor, ami nem más, mint a keresett differenciaegyenlet karakterisztikus polinomjának együtthatói.

Az $a_1, \ldots, a_p$ együtthatók ismeretében a spektrum kiterjesztése egyszerűen elvégezhető az alábbi rekurzív képlettel.

A magas frekvenciák irányába:

$$X(f) = \sum_{i=1}^{p} X(f-i)a_i, \quad f = f_H, f_H + 1, \ldots, f_{NYQ} = \frac{N}{2} \tag{3.6}$$

Az alacsony frekvenciák irányába történő kiterjesztésnél a jósló operátor időben megfordított, komplex konjugált változatát használjuk:

$$X(f) = \sum_{i=1}^{p} X(f+i)\bar{a}_i, \quad f = f_L, f_L - 1, \ldots, 0 \tag{3.7}$$

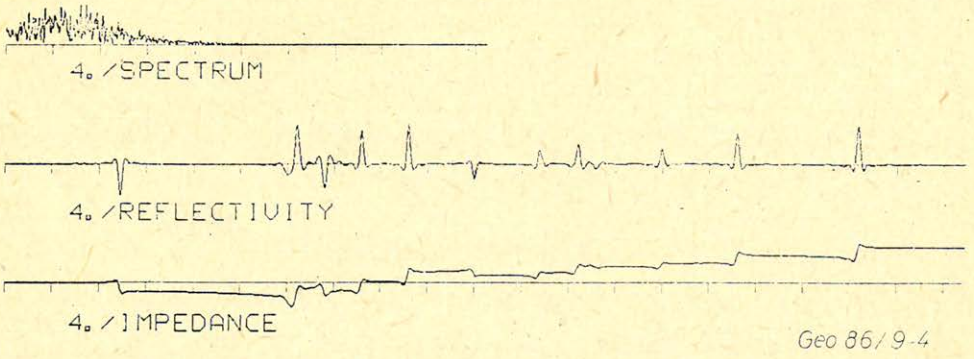
Mivel $X(f)$ valós sorozat diszkrét Fourier transzformáltja, figyelembe kell vennünk, hogy a periodikus spektrum valós része páros, képzetes része páratlan, emiatt $X(O)$ és $X\left(\frac{N}{2}\right)$ valós. Ezeket a feltételeket a megfelelő képzetes részek utólagos kinullázásával elégítjük ki. Algoritmusunkat a 2. részben bemutatott modellcsatornára *(2. ábra)* alkalmaztuk, a differenciaegyenlet rendje $p = 20$ volt.

Az (3.5), (3.6), (3.7) egyenletek – ahogyan később tárgyalásra kerülő egyenleteink is – komplex mennyiségekre vonatkoznak. A dolgozatban szereplő valamennyi példát a számítógép komplex aritmetikáját felhasználva állítottuk elő. Megemlítjük azonban, hogy a komplex tárgyalásmód nem szükségszerű. A szeiz-

mikus csatorna komplex spektruma helyett kiindulhatunk a csatorna valós koszinusz (szinusz) transzformáltjából, és erre alkalmazhatjuk a spektrum kiterjesztésének algoritmusát, ekkor a (3.5), (3.6), (3.7) egyenlet valós lesz. A koszinusz (szinusz) spektrum használata ekvivalens azzal a feltételezéssel, hogy a szeizmikus csatorna páros (páratlan) függvény. Tekintve, hogy a csatorna negatív időkhöz tartozó értékei érdektelenek, a szimmetria feltételezése nem jelenti az általánosság csorbítását. Ha a reflektivitás sorozat p számú impulzust tartalmaz, akkor ennek koszinusz spektruma p darab koszinuszhullám összegéből áll, mely egy legalább $2p$-ed rendű valós együtthatós differenciaegyenlet megoldásaként állítható elő. A valós aritmetika használata ily módon a differenciaegyenlet rendjének megduplázódása árán lehetséges. A valós algoritmussal a dolgozatban szereplő példákhoz teljesen hasonló eredmény érhető el.

Az itt bemutatott algoritmussal lényegében megegyező eljárást először a [6] dolgozatban publikáltak. A szerzők [6]-ban az $a_1, \ldots, a_p$ együtthatókat nem az általunk használt (3.5) egyenletrendszer megoldásával, hanem az ún. Burg algoritmussal (lásd [7]-et) számították. Bár a Burg algoritmus felbontóképessége jobb, az általunk választott megoldás nagy előnye, hogy kevésbé érzékeny a differenciaegyenlet p rendjének megválasztására. Tapasztalataink szerint a módszer stabilizálása az alkalmazhatóság szempontjából döntő fontosságú. A (3.5) egyenletrendszer megoldását javasolja [16] is.

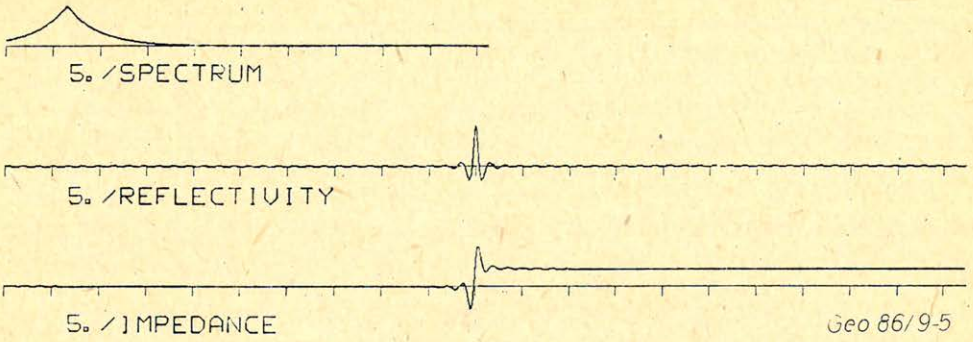
[2]-ben bizonyítást nyer, hogy a (3.5) egyenletrendszer megoldásvektorából képzett $K(z) = 1 - a_1 z - a_2 z^2 \ldots - a_p z^p$ polinom minden gyöke az egységkörön kívül van, a spike dekonvolúciós operátor tehát minimumfázisú. Az 1.B pont idevonatkozó állítása szerint differenciaegyenletünk stabil, és így a spektrum (3.6) és (3.7) útján történő kiterjesztése (3.4) szerint exponenciálisan lecsengő megoldást ad. Valóban a *4. ábrán* megfigyelhetjük a spektrum lecsengését az $f < f_L$ és $f_H < f$ tartományokon. Ez a lecsengés nincs összhangban eredeti célkitűzésünkkel, miszerint a reflektivitás sorozat (nem lecsengő) szinuszoidokból álló spektrumát kívántuk kiterjeszteni. A lecsengés által okozott hibát szemléltetjük a következő *5. ábrán*.



4. ábra. A spektrum kiterjesztésének eredménye a spektrum szimmetriájának figyelembe vétele nélkül.

Рис. 4. Результат экстраполяции спектра без учета спектральной симметрии.

Fig. 4. The result of spectra extrapolation leaving the symmetry of the spectra out of consideration



5. ábra. Exponenciálisan lecsengő spektrumú jelalak.

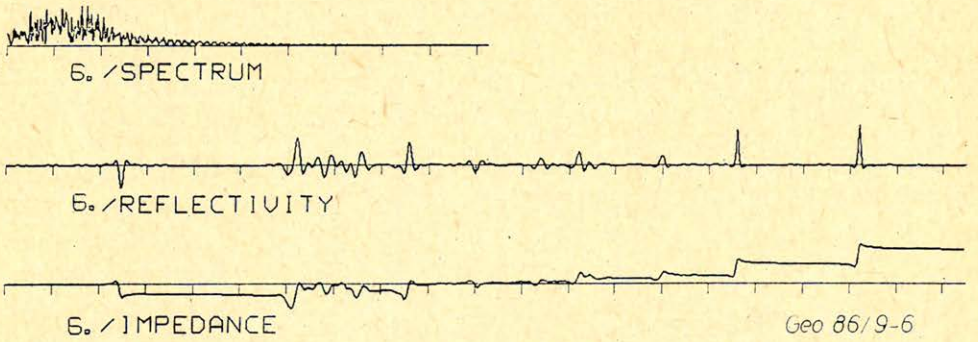
Рис. 5. Форма сигнала с экспоненциально убывающим спектром.

Fig. 5. Wavelet having exponentially diminishing spectra.

Mint látható, az exponenciálisan lecsengő amplitúdóspektrumnak – a kívánt impulzus helyett – egy kissé elmosódott jelalak felel meg. Algoritmusunk érdekes sajátossága, hogy a különböző frekvenciájú szinuszoidok lecsengése általában különböző, ezért a bemeneten levő egyforma jelalakhoz különböző kimeneti jelalakok tartoznak.

Ezt a nemlineáris tulajdonságot a *6. ábrán* figyelhetjük meg. Felvetődik a kérdés, hogy a lecsengés mértéke függ-e a szinuszos komponens frekvenciájától, illetve a szinusznak megfelelő impulzus idejétől.

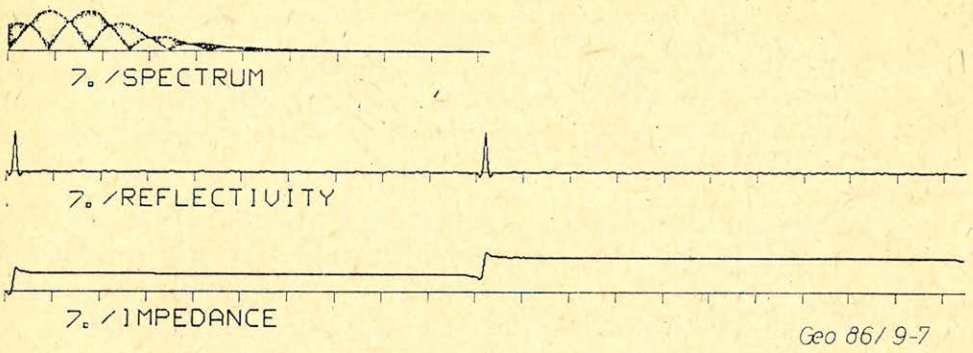
Egy kis és egy nagy időhöz tartozó impulzus spektrumát előbb a *2. ábrán* látható módon alul- és felülvágtuk, majd az átengedett részt kiterjesztettük. A kiterjesztett spektrum és az impulzusoknak megfelelő kis mértékben elmosódott jelalakok láthatók a *7. ábrán*.



6. ábra. Előfordulhat, hogy a művelet során a különböző időhöz tartozó hullámok eltérő módon transzformálódnak.

Рис. 6. Может случиться, что в процессе операции волны, которыеотносятся к разным временам, преобразуются по-разному.

Fig. 6. It can happen that in the course of the method wavelets belonging to different times are transformed on different way.



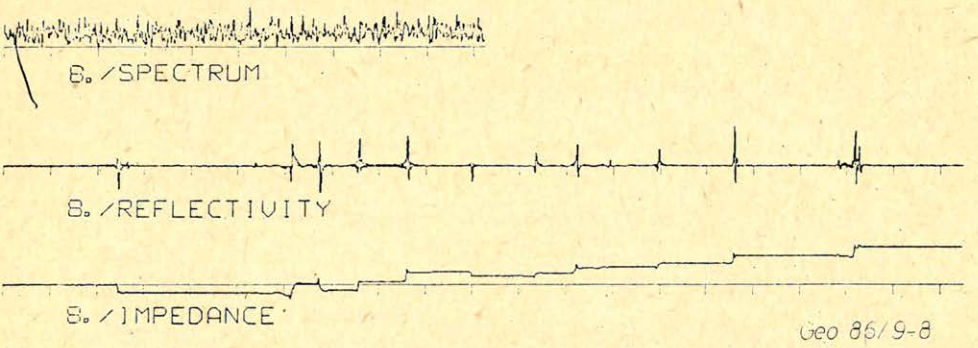
7. ábra. Ez az ábra azt bizonyítja, hogy a kimeneti jelalak nem függ szisztematikusan az időtől.

Рис. 7. Рисунок показывает, что форма выходного сигнала систематически не зависит от времени.

Fig. 7. This figure proves that the output wavelet is not the systematic function of the time.

A két jelalak közötti eltérés alig észlelhető, a kimeneti jelalakok szisztematikus időfüggésére vonatkozó feltevésünk tehát szerencsére nem igazolódik. Tapasztalataink szerint a jelalakok *6. ábrán* látható váltczékonyságával akkor kell számolnunk, ha a differenciaegyenlet p rendjét nem választottuk elég nagyra. A *6. ábra* esetében $p = 10$ volt.

Az 1.B pontban láttuk, hogy abban az esetben, amikor a $K(z)$ karakterisztikus polinom gyökei között többszörös gyökök is előfordulnak, a differenciaegyenlet alaprendszerében fellépnek lineárisan (általában polinomiálisan) súlyozott megoldások is. Ha a megoldás előbb tárgyalt exponenciális lecsengésének mértéke csekély, akkor ez a lineáris súlyozás – időtartományban ennek differenciálás felel meg – észrevehetővé válik. A jelenséget a *8. ábrán* figyelhetjük meg.



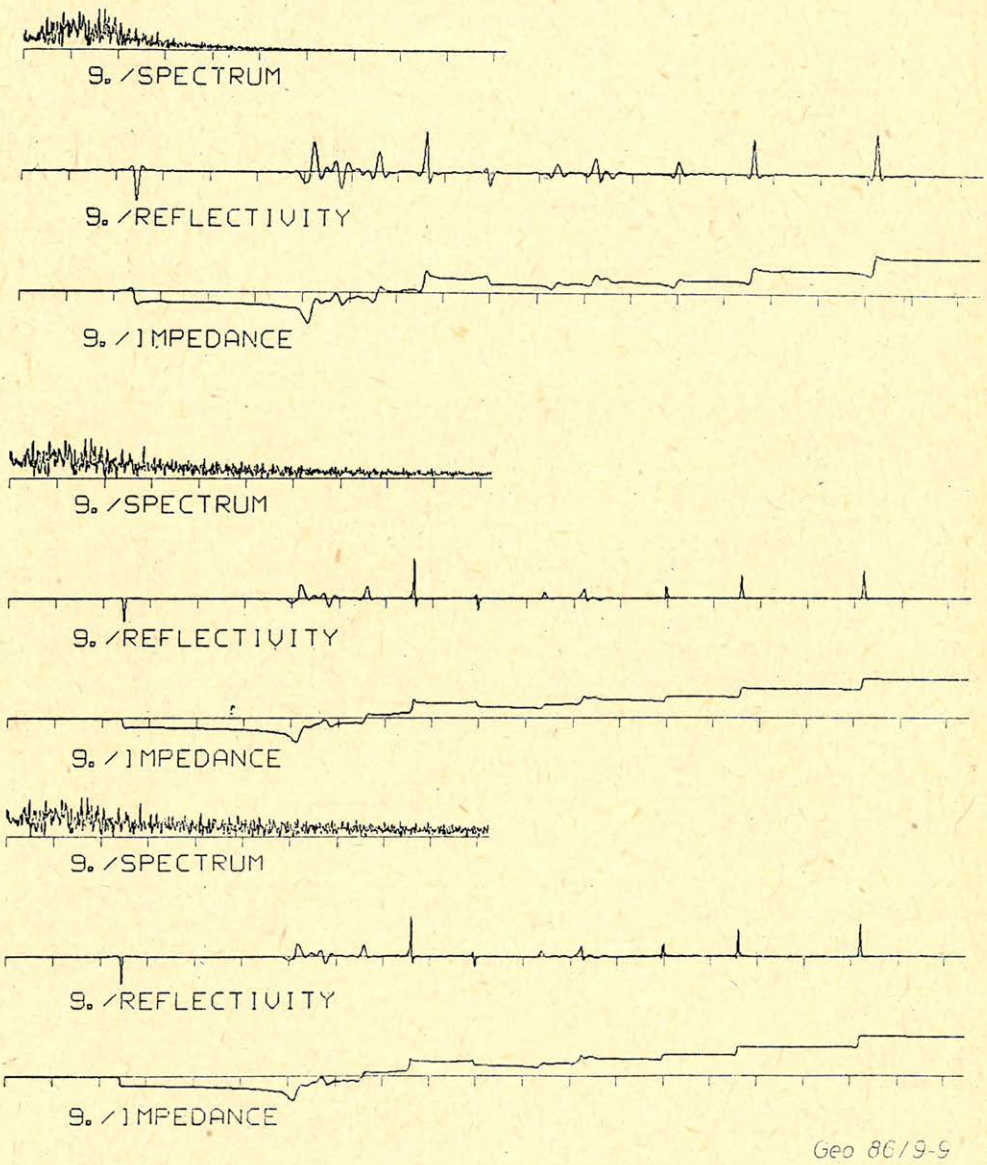
8. ábra. A spektrum kiterjesztésének eredménye a differencia egyenlet rendjének túlzottan nagyra választásával.

Рис. 8. Результат экстраполяции спектра при задании слишком высокого порядка дифференциального уравнения.

Fig. 8. The result of the spectra extrapolation is shown when the chosen degree of the difference equation unreasonably high.

A *8. ábrán* látható differenciálásra emlékeztető hatás akkor lép fel, ha a differenciaegyenlet feleslegesen nagy. Esetünkben $p = 50$ volt.

Mivel az extrapolációs algoritmus bemenete és kimenete egyaránt a komplex spektrum, lehetőség van a művelt iteratív alkalmazására. Az egyszer már kiterjesztett spektrumot mégegyszer kiterjeszthetjük. A spektrum $f_L < f < f_H$ szaka-

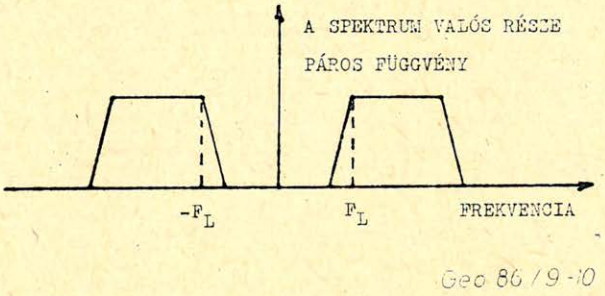


9. ábra. A spektrum iteratív kiterjesztésének eredménye 1, 2 és 3 iterációslépés után.

Рис. 9. Результат итерационной экстраполяции спектра после 1, 2 и 3 итерационного шага.

Fig. 9. The result of the spectra extrapolation after 1,2 and 3 iteration steps.

sza minden iterációs lépés után változatlan marad, lépésenként újra számoljuk viszont a (3.5)-ben szereplő r_i autokorrelációs együtthatókat. Néhány iterációt végrehajtva azt tapasztaljuk, hogy a spektrum lecsengése egyre lassabb, ami az időtartománybeli felbontottság növekedésével jár. A spektrum viselkedéséből arra következtetünk, hogy a karaktirisztikus polinom gyökei az iteráció során egyre közelebb kerülnek az egységkör határához. A *9. ábrán* a spektrum kiterjesztésének eredménye látható *1,2* és *3* iterációs lépés után. A bemenet most is a *2. ábrán* bemutatott modellcsatorna volt.



10. ábra. A szimmetrikus spektrum.

Рис. 10. Симметричный спектр.

Fig. 10. Symmetrical spectra.

Extrapoláció a spektrum szimmetriájának figyelembe vételével

A spektrum (3.5), (3.6), 3.7) egyenletek által meghatározott kiterjesztésénél, nem használtuk ki a spektrum szimmetriatulajdonságait. A képzetes rész páratlanságát pl. csak az $X(0)$ egyenkomponens képzetes részének önkényes kinullázásával állítottuk helyre. A [16] dolgozat olyan eljárást alkalmaz, amely figyelembe veszi a periodikus spektrum szimmetriáját. Tekintve, hogy a szeizmikus csatorna spektruma a $0-250$ Hz teljes frekvenciasávnak általában csak a $10-40$ Hz-es szakaszán különbözik jelentősen zérótól, a [16]-ban ajánlott javítás elsősorban az alacsony frekvenciák irányába történő extrapoláció esetén érdekes. A gyakorlatban f_H és f_{NYQ} távolsága túl nagy ahhoz, hogy a szimmetria figyelembevétele jelentős javulást eredményezzen. A *10. ábrán* az $X(f)$ spektrum valós részét látjuk. Az ábra jól érzékelteti azt a szituációt, miszerint feladatunk a spektrum $-f_L$ és $+f_L$ közötti „hézagának" a szimmetriát figyelembe vevő feltöltése.

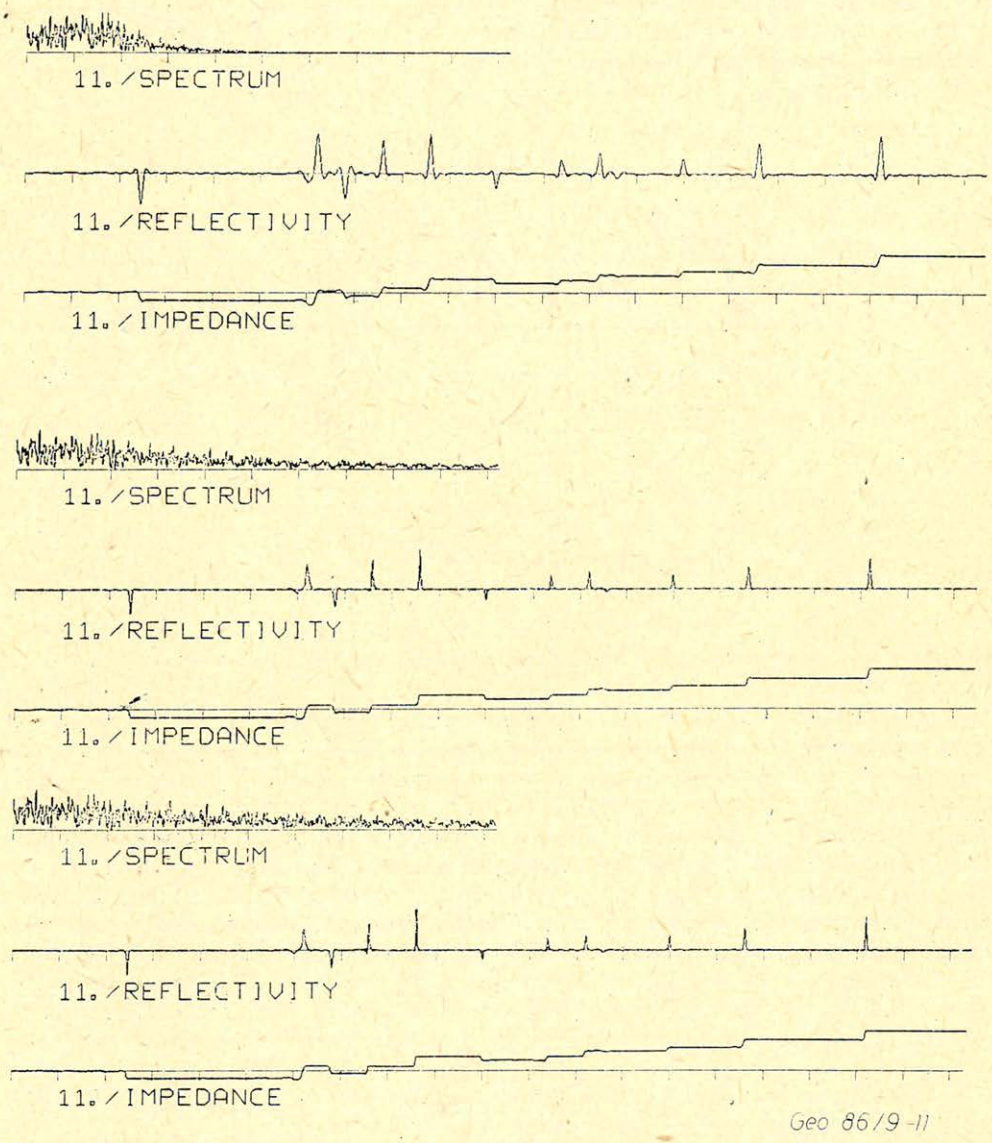
Jelöljük az (5) egyenlegrendszerből származó $(1, -a_1 \ldots -a_p)$ dekonvolúciós operátort $\{g_i\}_{i=0}^{p}$-vel és alkalmazzuk ezt a spektrumra:

$$e_f = \sum_{i=0}^{p} X(f-i)g_i, \quad f = f_L, \ldots 0, \ldots, f_L + p. \tag{3.8}$$

Célul tűzzük ki az $X(f)/(f = -f_L - p, \ldots, f_L + p)$ spektrumértékek olyan megválasztását, hogy az e_f eltérések abszolútértékének négyzetösszege mini-

mális legyen. Ezt egy olyan *optimumszűrőtervezési feladatnak* tekintjük, ahol a bemenet $\{g_l\}$, a kívánt kimenet az azonosan nulla sorozat, a szűrő pedig $\{X(f)\}$. Az 1.A pont szerint az optimumszűrő egyenlet alakja:

$$\mathbf{R}_{gg}\overline{X} = \overline{0} \tag{3.9}$$



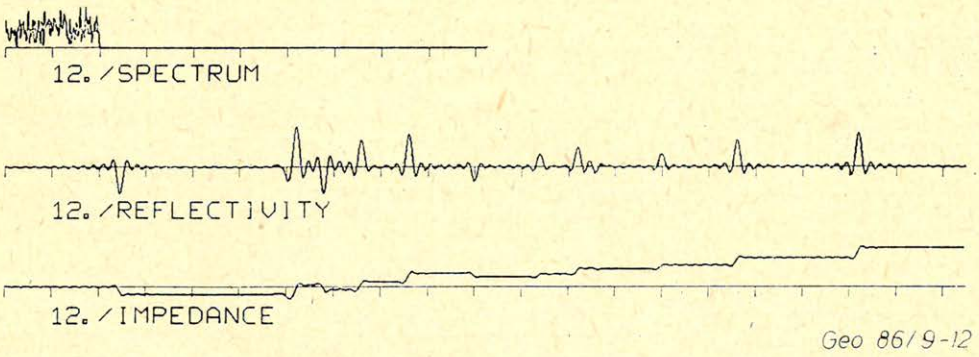
11. ábra. A spektrum kiterjesztésének eredménye a szimmetria figyelembe vételével 1, 2 és 3 iteráció után.

Рис. 11. Результат экстраполяции спектра с учетом симметрии после 1, 2 и 3 итерации.

Fig. 11. The result of spectra extrapolation after 1, 2 and 3 iterations taking the symmetry into consideration.

ahol $\mathbf{R}_{gg}$ a $\{g_i\}$ dekonvolúciós operátor autokorrelációs mátrixa. A jobboldalon a nulla vektor áll, mivel a bemenet és a kívánt kimenet (azonosan nulla) keresztkorrelációja nulla. Jelölje $\mathbf{R}_{gg}$ elemeit ϱ_i, akkor (3.9)-et részletesen kiírva kapjuk (3.10)-et.

$$\begin{bmatrix} \varrho_0 & \varrho_{-1} & \cdots & \varrho_{-p} & & & \\ \varrho_1 & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ \varrho_p & \varrho_0 & \varrho_{-1} & \varrho_{-p} & & & \\ & \varrho_1 & \varrho_0 & & & & \\ & & & & & & \\ & & & G & & & \\ & & & & & & \\ & \varrho_p & & \varrho_0 & & \varrho_{-p} & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \varrho_{-1} \\ & & & & & & \\ & & & \varrho_p & \cdots & \varrho_1 & \varrho_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X(-f_L-p) \\ \\ \\ X(-f_L) \\ \\ \\ X(0) \\ \\ \\ X(f_L) \\ \\ \\ X(f_L+p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \\ \\ 0 \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ 0 \end{bmatrix} \tag{3.10}$$



12. ábra. Extrapoláció csak az alacsony frekvenciák irányába.

Рис. 12. Экстраполяция в направлении только низких частот.

Fig. 12. Extrapolation just into the direction of the lower frequencies.

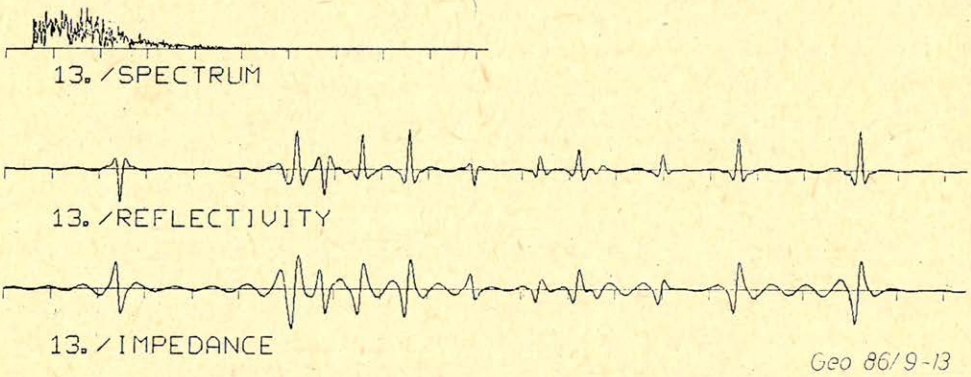
Valójában csak az $X(-f_L), \ldots, X(f_L)$ spektrumelemek ismeretlenek, mert az $(-f_L, f_L)$ intervallumon kívül a spektrumot torzítatlannak tekintjük. Ezért a felső és alsó p darab egyenletet elhagyjuk, azaz töröljük az $\mathbf{R}_{gg}$ mátrix és a jobboldali nullvektor felső szaggatott vonal feletti és alsó szaggatott vonal alatti sorait.

Jelöljük az $\mathbf{R}_{gg}$ mátrix megmaradó sorainak a függőleges szaggatott vonalak közé eső részét $\mathbf{G}$-vel. $\mathbf{G}(2 \cdot f_L + 1) \times 2f_L + 1)$-es komplex Toeplitz típusú mátrix. A megmaradó sorok $\mathbf{G}$-n kívüli elemeinek a sor-oszlop szorzásnál keletkező járulékát átvisszük a jobboldalra, így a következő egyenletrendszerhez jutunk:

$$\begin{bmatrix} & & \\ & \mathbf{G} & \\ & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X(-f_L) \\ \vdots \\ X(0) \\ \vdots \\ X(f_L) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \\ \mathbf{b} \\ \\ \end{bmatrix} \tag{3.11}$$

A jobboldali $\mathbf{b}$ vektor elemeinek konkrét felírásától itt eltekintünk, megjegyezzük azonban hogy a (3.10) egyenletrendszer szimmetriájából látható, hogy $\mathbf{b}$ valós része páros, képzetes része páratlan. $\mathbf{G}$ és $\mathbf{b}$ szimmetriája miatt a (3.11) megoldásával kapott $X(-f_L) \ldots X(f_L)$ spektrum is rendelkezik a kívánt szimmetriával. (3.11) megoldására egyébként ismét a Levinson rekurzió komplex változata használható. [16]-ban kimutatják, hogy a (3.11) útján kapott megoldáshoz úgy is eljuthatunk, hogy a spektrum $[-f_L, f_L]$ hézagát a negatív és a pozitív frekvenciák felől is extrapoláljuk és a kétféle extrapolált értéket optimális súlyozással összegezzük.

Az alább bemutatandó példákban a spektrum kiterjesztését az alacsony frekvenciák felé (3.11) megoldásával, a magas frekvenciák felé a (3.6) képlettel



13. ábra. Extrapoláció csak a magas frekvenciák irányába.

Рис. 13. Экстраполяция только в направлении высоких частот.

végeztük. Mint korábban, most is lehetséges az extrapoláció műveletének iteratív ismétlése.

A *11. ábrán* a már ismert modellcsatorna feldolgozásának eredménye látható *1*, *2* és *3* iterációs lépés alkalmazásával.

Itteni eredményünket a *9. ábrával* összehasonlítva, az alacsony frekvenciák határozottan jobb visszaállítását tapasztaljuk.

A következő *12. ábrán* látható példa úgy készült, hogy csak az alacsony frekvenciák felé extrapoláltunk. A *13. ábrán* a magas frekvenciák irányába végzett extrapoláció eredménye látható.

Az impedanciagörbéket összehasonlítva levonhatjuk azt a következtetést, hogy az értelmezés számára az alacsony frekvenciás komponensek visszaállítása fontosabb, mint a magas frekvenciás komponenseké. Ezen a véleményen van többek között [9] és [16] is.

4. Extrapoláció kiegészítő információ felhasználásával

A [16] cikkben kidolgoztak egy olyan módszert, amely alkalmas az impedanciára vonatkozó kiegészítő információk figyelembe vételére. Tegyük fel, hogy bizonyos $k = k_1, k_2, \ldots, k_m$ időkre ismert a $\xi(k)/\xi(1)$ hányados, vagyis az első (legfelső) és a k-adik réteg akusztikus impedanciájának viszonya. A 2.5. képlet szerint ez azt jelenti, hogy feltételeket tudunk megadni bizonyos

$$\eta_k = \sum_{l=1}^{k} c_l, \quad k = k_1, \ldots, k_m \tag{4.1}$$

részletösszegekre. Ha például ismert ξ_N, a kristálycs aljzat akusztikus impedanciája, akkor ez egy feltételt ad a reflexiós együtthatók összegére.

(4.1)-be helyettesítve az inverz Fourier transzformáció képletét adódik:

$$\eta_k = \sum_{l=1}^{k} \frac{1}{N} \left[\sum_{f=1-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} C(f) e^{-i\frac{2\pi}{N} fl} \right], \quad k = k_1, \ldots, k_m. \tag{4.2}$$

Jelölje most $X(f)$ az exptrapolált spektrumot, és bontsuk fel $X(f)$-et két részre az alábbi módon.

$$X_1(f) = \begin{cases} X(f), & \text{ha} \quad f_L < |f| \\ 0 \quad , & \text{ha} \quad |f| \leq f_L \end{cases} \tag{4.3a}$$

$$X_2(f) = \begin{cases} 0 \quad , & \text{ha} \quad f_L < |f| \\ X(f), & \text{ha} \quad |f| \leq f_L \end{cases} \tag{4.3b}$$

Ekkor $X(f) = X_1(f) + X_2(f)$, és $X_2(f)$ jelenti a spektrum alacsony frekvenciák irányába kiterjesztett részét. Feltételeink szerint a kiterjesztett spektrum a reflektivitás sorozat spektrumának közelítése, ezért írhatjuk:

$$\eta_k \cong \frac{1}{N} \sum_{l=1}^{k} \sum_{f} [X_1(f) + X_2(f)] e^{-i\frac{2\pi}{N} fl} \tag{4.4}$$

Jelölje $X_1(f)$ inverz Fourier-transzformáltját $x_l^{(1)}$, akkor (4.4)-ből átrendezéssel kapjuk:

$$\eta_k - \sum_{l=1}^{k} x_l^{(1)} = \sum_f X_2(f)\left(\frac{1}{N}\sum_{l=1}^{k} e^{-i\frac{2\pi}{N}fl}\right) \tag{4.5}$$

A (4.5) baloldalán álló mennyiséget jelölje β_k, a jobboldali zárójelben levő kifejezést pedig jelöljük $\gamma_k(f)$-fel. E jelölésekkel az impedanciára vonatkozó kiegészítő ismereteinkből a

$$\beta_k = \sum_{f=1-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} \gamma_k(f) X_2(f), \quad k = k_1 \ldots k_m. \tag{4.6}$$

alakú egyenleteket nyerjük. A β_k együtthatók kiszámításához az $f_L < |f|$ spektrumtartomány inverz Fourier-transzformáltját és a η_k feltételeket használjuk, $\gamma_k(f)$ a csatornaadatoktól függetlenül előállítható. Ezekután feladatul tűzzük ki olyan $X_2(f)$ spektrum meghatározását, amellyel a (3.8)-ban definiált e_f eltérések négyzetösszege minimális:

$$S = \sum_{f=-f_L}^{f_L+p} |e_f|^2 = \min \tag{4.7}$$

és egyidejűleg teljesülnek a (4.6) feltételi egyenletek. A feltételes szélsőérték keresés feladatát Lagrange multiplikátorok (λ_k) bevezetésével oldjuk meg. A szélsőérték létezésének szükséges feltétele:

$$\frac{\partial}{\partial X(f)}\left\{S + \sum_k \lambda_k\left[\sum_l \gamma_k(l) X_2(l) - \beta_k\right]\right\} = 0, \quad f = -f_L, \ldots, 0, \ldots, f_L. \tag{4.8}$$

(A deriválás az $X(f)$ mennyiség valós és képzetes része szerint értendő). A (4.6) és (4.8) egyenletek az $X(-f_L) \ldots X(f_L)$, $\lambda_{k1} \ldots \lambda_{km}$ ismeretlenekre a következő egyenletrendszert adják:

$$\left[\begin{array}{c|c} \mathbf{G} & \begin{matrix} \gamma_{k1}(-f_L) & \cdots & \gamma_{km}(-f_L) \\ \vdots & & \vdots \\ \mathbf{H} & & \\ \gamma_{k1}(f_L) & \cdots & \gamma_{km}(f_L) \end{matrix} \\ \hline \begin{matrix} \gamma_{k1}(-f_L) & \cdots & \gamma_{k1}(f_L) \\ \vdots & \mathbf{H}^T & \vdots \\ \gamma_{km}(-f_L) & \cdots & \gamma_{km}(f_L) \end{matrix} & \mathbf{0} \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} X(-f_L) \\ \vdots \\ X(0) \\ \vdots \\ X(f_L) \\ \hline \lambda_{k1} \\ \vdots \\ \lambda_{km} \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c} \mathbf{b} \\ \hline \beta_{k1} \\ \vdots \\ \beta_{km} \end{array}\right] \tag{4.9}$$

ahol a **G** és **b** mátrixok jelentése ugyanaz, mint (3.11)-ben. Megfelelő mátrixjelölésekkel (4.9) az alábbi egyszerűbb formát ölti:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{G} & \mathbf{H} \\ \mathbf{H}^T & \mathbf{0} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{b} \\ \beta \end{bmatrix} \tag{4.10}$$

Jelölje most a (3.11) egyenletrendszerből kapott megoldást z. Ekkor közvetlen ellenőrzéssel belátható, hogy z-ből a (4.10)-ben szereplő x vektort a következő képlettel kapjuk meg:

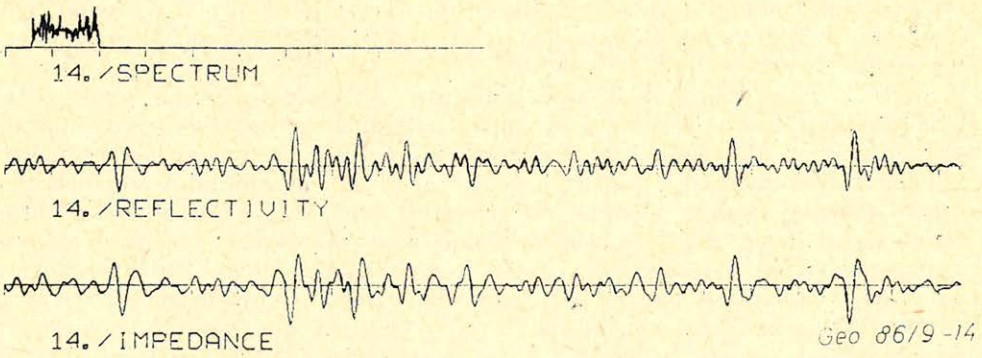
$$\mathbf{x} = \mathbf{z} - \mathbf{G}^{-1}\mathbf{H}[\mathbf{H}^T\mathbf{G}^{-1}\mathbf{H}]^{-1} \cdot (\mathbf{H}^T\mathbf{z} - \beta) \tag{4.11}$$

A spektrum (4.10), illetve (4.11) alapján történő számítása a gyakorlatban meglehetősen nehéz. A (4.10) egyenletrendszer mátrixának előállítása bonyolult, és a mátrix nem rendelkezik a megoldást könnyítő Toeplitz tulajdonsággal. A (4.11) képlet alkalmazása a $\mathbf{G}^{-1}$ mátrix kiszámítását igényli, így akár a (4.10), akár a (4.11) formulát használjuk, az egyenletrendszer méretének köbével arányos számú művelet elvégzésére van szükség.

A továbbiakban ismertetünk egy olyan eljárást, amellyel a feladat kevesebb művelettel is megoldható. Eszközünk ismét a jól bevált Levinson rekurzió lesz. Tegyük fel kezdetben, hogy az akusztikus impedanciára vonatkozó apriori információnk egyetlen adat: a legalsó és a legfelső réteg impedanciájának hányadosa. Mint erről már korábban szóltunk, ez az ismeret ekvivalens a reflexiós együtthatók összegének ismeretével, amely összeg nem más, mint $X(0)$ a keresett spektrum egyenfrekvenciához tartozó eleme.

$$X(0) = \sum_{l=1}^{N} c_l \tag{4.12}$$

Ha most újra megvizsgáljuk a (3.11) egyenletrendszert, azt találjuk, hogy annak középső sora – $X(0)$ ismert lévén – felesleges. Alkalmazhatnánk ismét a (3.11) előállításakor használt *felesleges sorok elhagyása* trükköt, ezzel azonban elrontanánk a baloldalon maradó mátrix Toeplitz szimmetriáját. Célszerűbb ezért



14. ábra. Torzított spektrumú zajos modellszeizmogramm.

Рис. 14. Модельная сейсмограмма с шумом, имеющая искаженный спектр.

Fig. 14. Noisy synthetic seismogram of distorted spectra is shown.

a következő utat követni. Olyan $X(-f_L) \ldots X(f_L)$ megoldást állítunk elő, amelynek $X(0)$ eleme előre rögzített, és amely kielégíti (3.11)-t esetleg a középső egyenlet kivételével. A keresett $X(0)$ spektrum kiszámításához először megoldjuk (3.11)-et, jelölje most ennek megoldását $\mathbf{x}_1(f)$.

$$\left[\mathbf{G}\right]\left[\mathbf{x}_1(f)\right] = \left[\mathbf{b}\right] \tag{4.13}$$

Ezután (4.13) jobboldalát helyettesítjük egy olyan vektorral, amelynek középső eleme egy, az összes többi zéró, az így kapott egyenletrendszer megoldását jelölje $\mathbf{x}_2(f)$.

$$\begin{bmatrix} & & \\ & \mathbf{G} & \\ & & \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \\ \mathbf{x}_2(f) \\ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix} \tag{4.14}$$

Legyen

$$C = \left(X(0) - X_1(0)\right)/X_2(0) \tag{4.15}$$

ekkor könnyen belátható, hogy az

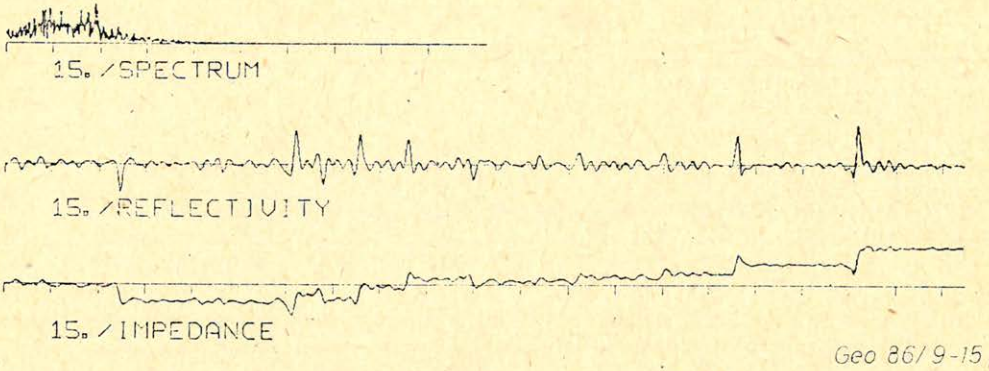
$$\mathbf{x}(f) = \mathbf{x}_1(f) + C\mathbf{x}_2(f) \tag{4.16}$$

spektrum nulla frekvenciához tartozó eleme éppen a (4.15)-ben szereplő előre rögzített $X(0)$.

Megmutatjuk, hogyan vezethetjük vissza az imént megoldott speciális esetre azt az általános feladatot, amikor több apriori feltételt is figyelembe kívánunk venni. Tegyük fel, hogy az akusztikus impedancia több mélységben is rendelkezésre áll, ezzel több időablakban adott a reflexiós együtthatók összege. Számítsuk ki minden időablakra a **b** vektort. Az eljárás ugyanaz, mint (3.11) előállításánál, kivéve, hogy a (3.10) képlet baloldalán szereplő mátrix **G**-n kívüli elemeit most az adott időablakból számított $X(f_L+1) \ldots X(f_L+p)$ spektrumértékekkel szorozzuk. Az így kapott **b** vektorral oldjuk meg minden időablakra a (4.13) egyenletet. Egy időablak kiterjesztett spektrumát (4.16) szolgáltatja, ahol C kiszámításakor $X(0)$ helyére a reflexiós együtthatóknak az adott időablakra vett – ismertnek feltételezett – összegét írjuk. $\mathbf{x}_2(f)$ minden időablakra ugyanaz, ezért (4.11)-et csak egyszer kell megoldani. Végül az egyes időablakok spektrumának összeadásával megkapjuk a teljes csatorna kiterjesztett spektrumát. Eredményünk szerint, ha az akusztikus impedancia $m+1$ értéke ismert, akkor m-szer kell megoldanunk (4.13)-at és egyszer (4.14)-et. A (4.10) megoldás tehát a Levinson rekurzió $m+1$-szeri alkalmazásával is megkapható. Tekintve, hogy a Levinson rekurzió műveletigénye az egyenletrendszer méretének négyzetével arányos, a gyakorlatban előforduló kis m értékek mellett az utóbb ismertetett

algoritmus gazdaságosabb. Megemlítjük végül, hogy a gyakorlatban az a tipikus eset, amikor a szeizmikus csatorna jellemzőinek időbeli változása miatt célszerű a csatornát időablakokra bontani és az egyes időablakokat külön kezelni. Ilyenkor a **G** mátrixot is minden időablakra külön előállítjuk, valamint megoldjuk a (4.13) és (4.14) egyenletrendszereket.

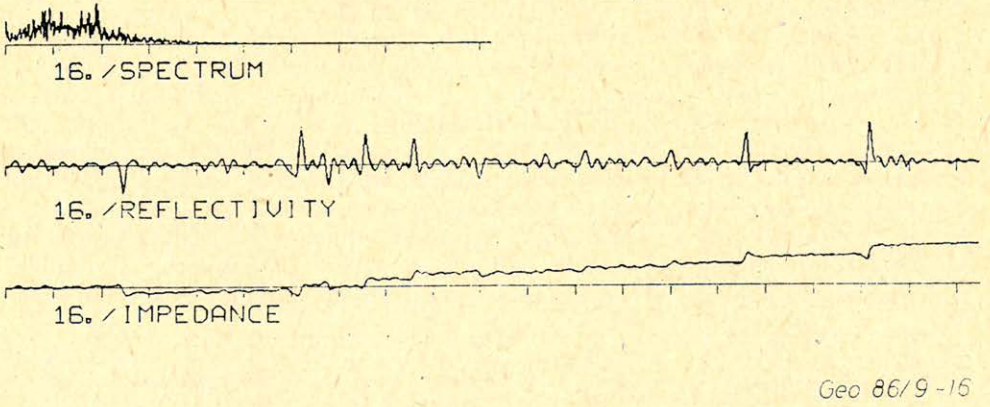
A kiegészítő információ figyelembevételének jelentőségét zajjal terhelt modellcsatorna feldolgozásával mutatjuk be. A *14. ábra* modellcsatornája annyiban



15. ábra. A 14. ábra modellcsatornáján végzett spektrum extrapoláció eredménye kiegészítő információ felhasználása nélkül.

Рис. 15. Результат экстраполяции спектра, проведенного с модельным каналом рис. 14, без использования дополнительной информации.

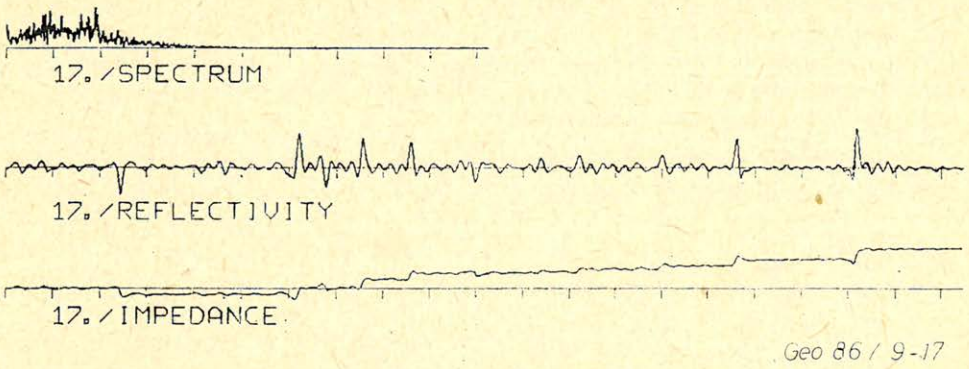
Fig. 15. The result of spectra extrapolation carried out on the synthetic trace of Fig. 14 without using additional ingormation.



16. ábra. A spektrum extrapolációját követően a reflektivitás sorozat egyenfrekvenciáját beállítottuk a helyes értékre.

Рис. 16. После экстраполяции спектра постоянной частоте серии отражений было присвоено правильное значение.

Fig. 16. Having extrapolated the spectra the dc frequency of the reflexivity series is set to the correc value



17. ábra. Spektrumkiterjesztés a reflektivitás sorozat összegének ismeretében.

Рис. 17. Экстраполяция спектра, зная сумму серии отражений.

Fig. 17. Spectra extrapolation if the sum of the reflectivity series is known.

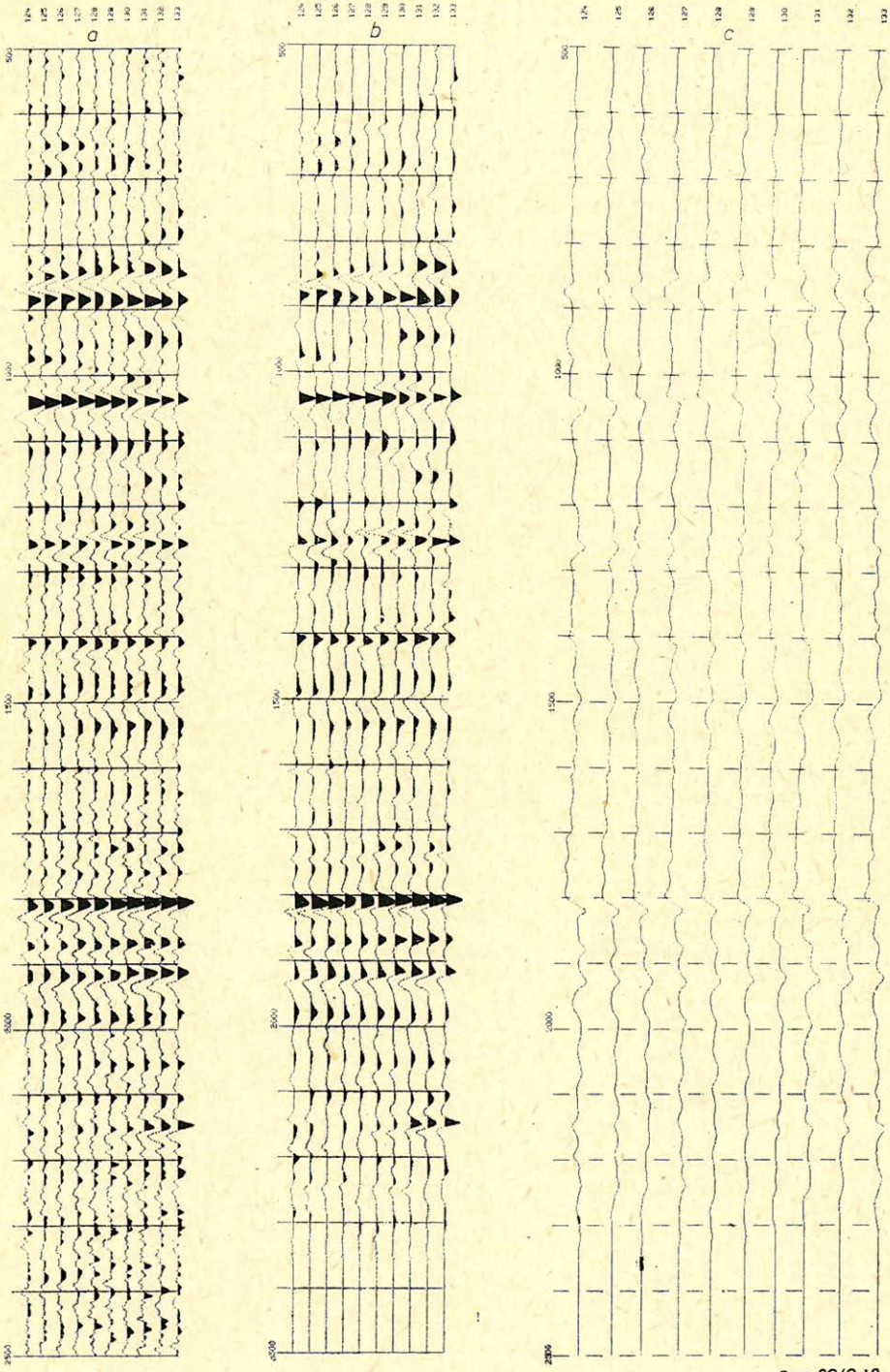
különbözik az eddig használt csatornától, hogy a Fourier transzformáltjához korrelálatlan zajt adtunk, és az alacsony és magas frekvenciák levágása után a megmaradó spektrumot még egy haranggörbével csonkítottuk. A *15. ábrán* látható impedanciagörbe előállításánál nem használtunk fel semmilyen kiegészítő információt. Ugyanígy nem használtuk a kiegészítő információ figyelembevételét célzó algoritmust a *16. ábra* görbéinak számításakor sem, viszont a reflektivitás sorozat egyenfrekvenciáját beállítottuk a helyes értékre. Ennek hatása az impedanciagörbéhez adódó lineáris függvényben mutatkozik meg. A *17. ábra* a reflektivitás sorozat összegének ismeretében (4.16) kiszámításával készült. A *16.* és *17. ábra* impedanciagörbéinek figyelmes vizsgálata meggyőz a (4.13)–(4.16) egyenletekkel meghatározott módszer korrektségéről.

A dolgozat hátralevő részében szeizmikus összegszelvényen és VSP anyagon végzett kísérleti feldolgozás eredményét mutatjuk be. A *18. a. ábrán* az *EnG–38*-as stacking szelvény tíz csatornájának *500–2500* ms-os időablaka látható. A *18.b ábra* a csatornák spektrumának kiterjesztésével készült. A spektrum extrapolációt az *500–1150*, *1150–1650*, *1650–2500* ms-os időablakokban függetlenül végeztük. Az extrapolációban felhasználtuk az időablakok határain ismert hullámterjedési sebességet. A sebességértékeket a közeli *Endrőd–É–5* fúrásban végzett VSP mérésekből számítottuk [15]. Egyéb információ hiányában a kőzetsűrűséget állandónak tekintettük, ekkor az akusztikus impedancia a hullámterjedési sebességgel arányos. Az intervallumsebességek által adott kiegészítő

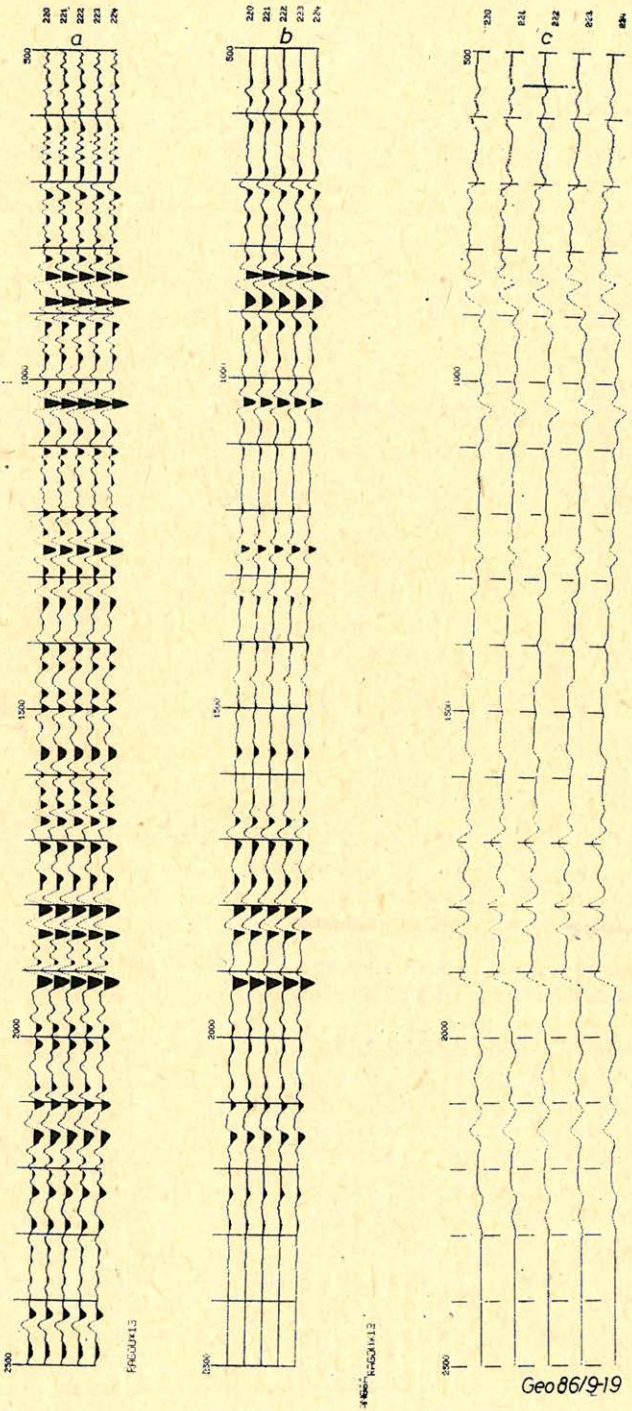
18. ábra. a) Az EnG–38-as összegszelvény 10 csatornája. *b)* Az előbbi szelvényrészlet a spektrum extrapolációja után. *c)* Az akusztikus impedancia becslése.

Рис. 18. а) 10 каналов суммарного профиля EnG–38.
б) Отрезок предыдущего профиля после экстраполяции спектра.
с) Оценка акустического импеданса.

Fig. 18. a) 10 traces from stacking section EnG–38. *b)* The above mentioned 10 traces after the spectra extrapolation.
Fig. 18. a) 10 traces from stacking section EnG–38. *b)* The above mentioned 10 traces after the spectra extrapolation. *c)* The estimation of the acoustic impedance.



Geo 86/9-18


a
b
c
500
1000
1500
2000
2500
Geo 86/9-19

19. ábra. a) Az Endrőd – É – 5 fúrásban mért VSP alapján számított felfelé haladó hullámtér. *b)* A felfelé haladó hullámtér a spektrum extrapolációja után: *c)* Az akusztikus impedancia becslése.

Рис. 19. а) Распространяющееся вверх волновое пространство, расчитанное на основании VSP, измеренных в скважине Эндрэд-сев. – 5. *б)* Распространяющееся вверх волновое пространство после экстраполяции спектра. *с)* Оценка акустического импеданса.

Fig. 19. a) Upgoing wavefield valculated from VSP measured in the well Endrőd – É – 5. *b)* Upgoing wavefield after spectra extrapolation. *c)* Estimation of the acoustic impedance.

---

információt a (4.13 – 4.16) képletekkel leírt módon használtuk fel. A *18.c ábra* csatornái a *18.b* csatornák integrálsorozatai az összegzési határ függvényében. Amint azt a 2. fejezetben láttuk ez a szeizlog szelvénnyel azonosítható, és bizonyos korlátok között az impedancia becslésének tekinthető. Az *Endrőd – É – 5* fúrásban mért VSP feldolgozásával készültek a *19.a. b. c.* és *20. a. b. c. ábrák.* A felfelé haladó hullám halmozott összegzésével készült csatornákat láthatjuk a *19.a ábrán.* Mivel a halmozott összeg első *220* csatornája az ábra minden összegcsatornájában közös, ezért e csatornák majdnem azonosak. Hasonló módon a *20.a ábrát* a lefelé haladó hullám halmozott összegzésével állítottuk elő. Mindkét ábra *b.* és *c.* részét ugyanolyan feldolgozási lépésekkel készítettük, mint amit a *18. ábra* esetében leírtunk.

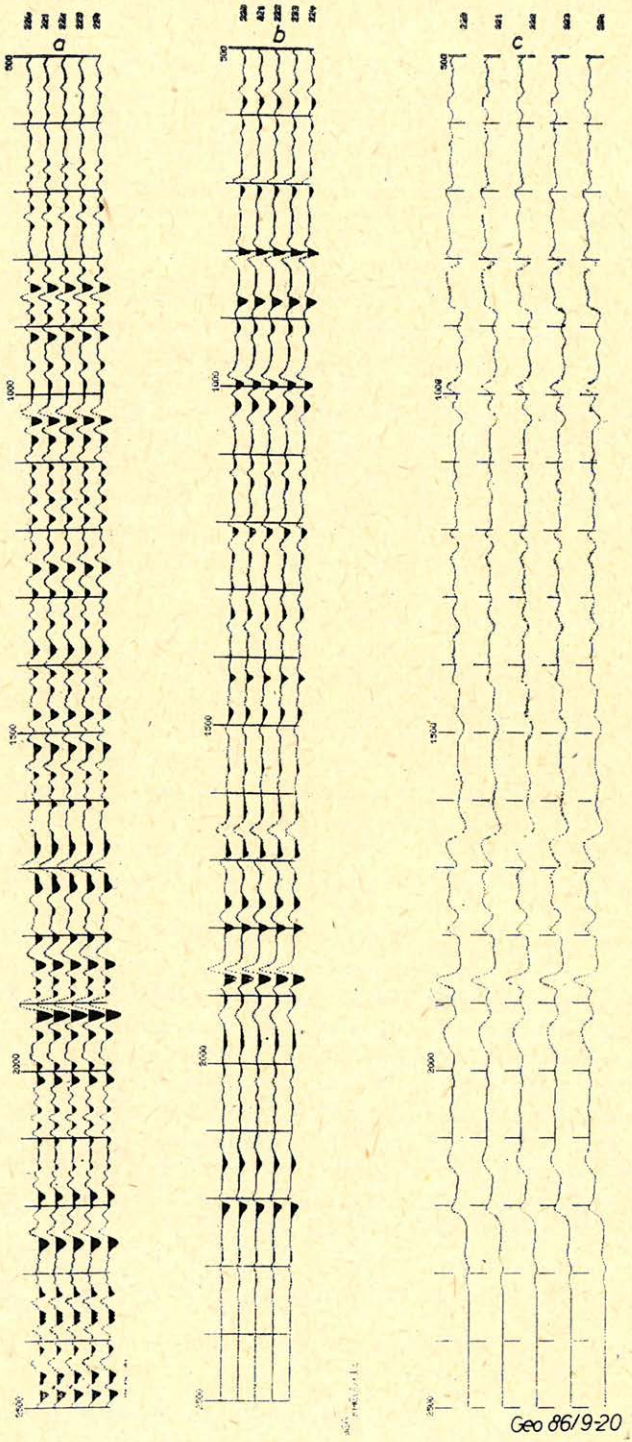
Mint már említettük egyelőre nem elérhető az a cél, hogy az impedancia szelvény abszolút értékben is helyesen írja le a közeget. Ehelyett megelégszünk azzal, ha a szeizlog csatornák lefutása az impedancia függvényhez hasonlít. Fontos volna meghatározni, hogy e szerényebb célkitűzés milyen megbízhatósággal valósul meg. Mivel e kérdés megválaszolásához nem áll rendelkezésünkre egzakt matematikai módszer, a megbízhatóságot modellszeizmogrammok és valódi mérési anyag kísérleti feldolgozásának tapasztalatai alapján vagyunk kénytelenek megítélni. E sorok írójának nézete szerint a szintetikus csatornák feldolgozásának eredménye még a zajos és torzított spektrumú esetben is feltétlenül ígéretes. A valódi szeizmikus anyag feldolgozásából a következő tapasztalatokat szűrhetjük ki. A szelvények kiterjesztett spektrumú változata megfelel egy nagyon jó minőségű dekonvolvált szelvénynek. (Kár, hogy a spektrum extrapolációja jóval költségesebb művelet, mint a dekonvolúció.) Sajnos az impedanciaszelvények túl nagy változékonyságot mutatnak az anyag előzetes feldolgozásától függően. Ezért az alkalmazás fontos feltétele megtalálni azt az előfeldolgozási eljárást, mely után a művelet bemenete a lehető legjobban megfelel a 3. fejezetben leírt feltételeknek. Lényeges a szimmetrikus jelalak előállítása, valamint a reflexiók helyes amplitúdóviszonyainak megőrzése. Összefoglalásként megállapíthatjuk, hogy a spektrum extrapoláció különösen jól illeszkedik a szeizlog szelvény előállításának művelete elé. Mivel a módszer lehetőséget nyújt az akusztikus impedanciára vonatkozó ismereteink beépítésére, a spektrum extrapoláció az impedancia szelvény megbízhatóságát biztosan növeli.

IRODALOM

[1] *Berteussen, K. A., Ursin, B., 1983,* Approximate computation of the acoustic impedance from seismic data, Geophysics, v. 48, p. 1351 – 1358.

[2] *Claerbout, J., 1976,* Fundamentals of Geophysical Data Processing, McGrow-Hill, p. 53 – 57.

[3] *Cooke, D. A., Schneider, W. A., 1983,* Generalized linear inversion of reflection seismic data, Geophysics, v. 48, p. 665 – 676.



Geo 86/9-20

20. ábra. a) Az Endrőd – É – 5 fúrásban mért VSP alapján számított lefele haladó hullámtér *b)* A lefelé haladó hullám a spektrum extrapolációja után. *c)* Az akusztikus impedancia becslése

Рис. 20. а) Распространяющееся вниз волновое пространство, расчитанное на основании VSP, измеренных в скважине Эндрэд-сев. – 5.
б) Распространяющееся вниз волновое пространство экстраполяции спектра.
с) Оценка акустического импеданса.

Fig. 20. a) Downgoing wavefield calculated from VSP measured in well Endrőd – É – 5. *b)* Downgoing wavefield after spectra extrapolation. c) Estimation of acoustic impedance.

---

[4] *Levy, S., Fullagar, P., 1981,* Reconstruction of a sparse spike train from a portion of its spectrum and application to high resolution decovolution, Geophysics, v. 46, p. 1235 – 1243.

[5] *Lindseth, R. O., 1979,* Synthetic sonic logs – A process for stratigraphic interpretation, Geophysics, v. 44, p. 3 – 26.

[6] *Lines, L. R., Clayton, R. W., 1977,* A new approach to vibroseis deconvolution, Geophysical Prospecting, v. 25, p. 417 – 433.

[7] *Meskó Attila* (szerkesztő): A gyakorlati geofizika néhány új módszere c. egyetemi jegyzet 4. fejezete, *Kis Károly:* A maximum entrópia spektrum, Tankönyvkiadó, Budapest, 1982.

[8] *Oldenburg, D. W., Levy, S., Whittall, K. P., 1981,* Wavelet estimation and deconvolution Geophysics, v. 46, p. 1528 – 1542.

[9] *Oldenburg, D. W., Scheuer, T., Levy, S., 1983,* Recovery of the acoustic impedance from reflection seismograms, Geophysics, v. 48, p. 1318 – 1337.

[10] *Szulyovszky Imre, 1982,* Connection between pseudo-velocity log and sonic log, Eötvös Loránd Geophysical Transactions, v. 28, 0. 59 – 71.

[11] *Szulyovszky Imre, 1984,* Pszeudo akusztikus impedancia szelvény analízis karotázs adatok felhasználásával, Magyar Geofizika, v. 25, p. 97 – 105.

[12] *Tal-Virsky, B. B., Tabakov, A. A., 1983,* High-resolution prediction of acoustic impedances below bottom-of-hole, Geophysical Prospecting, v. 31, p. 225 – 236.

[13] *Taylor, H. L., Banks, S. C., McCoy, J. F., 1979,* Deconvolution with the l_1 norm, Geophysics, v. 44, p. 39 – 52.

[14] *Treitel, S., 1974,* The complex Wiener filter, Geophysics, v. 39, p. 169 – 173.

[15] *Vermes Mátyás, 1984,* Intervallumsebesség függvény számítása függőleges szeizmikus szelvényezés (VSP) adataiból, Magyar Geofizika (megjelenőben).

[16] *Walker, C., Ulrych, T. J., 1983,* Autoregressive recovery of the acoustic impedance, Geophysics, v. 48, p. 1338 – 1350.

A Hold árapályáról

BODRI BERTALAN*

Jelen dolgozatban bemutatásra kerülő algoritmus lehetővé teszi a merev Hold árapályának ~0.1%-os megbízhatósággal történő számítását. Ezt a számítási pontosságot a Hold lézeres távmérései jelen pontossági szintje, valamint a holdárapály és holdszerkezet közötti kapcsolat bizonyos speciális vonásai indokolják.

Rugalmas Hold árapályát vizsgálva ismertetjük a Hold eddigi legrészletesebb, radiálisan heterogén szerkezeti modelljére számított árapály elmozdulások és feszültségek tér- és időbeli változásának sajátságait, utalásokkal a feszültségek holdrengésekkel való kapcsolatának problémájára.

A részletes szerkezeti modell és a szeizmikus hullámok csillapodási jellemzőinek ismeretében kvantitatív becslést adunk a dagálysúrlódásos energiadisszipáció mértékére és eloszlására a Holdban. Ez utóbbi vizsgálatot az a körülmény indokolja, hogy a korábbi hasonló számítások csak homogén vagy hipotetikus kétrétegű szerkezeti modellre és feltételezett disszipációs paraméterekre vonatkoznak.

Представленный в настоящей работе алгоритм дает возможность расчитывать приливы в жесткой Луне с точностью ~ 0.1%. Такая точность расчетов обусловлена уровнем точности лазерных измерений расстояния Земля-Луна. Столь же высокая точность расчетов лунных приливов требуется и для изучения связей между приливами и внутренним строением Луны.

В работе исследуются также приливы в упругой Луне. Представлены расчеты временных и пространственных вариаций приливных смещений и напряжений для наиболее точной из существующих в настоящее время моделей Луны. Обсуждается возможность связи между приливными напряжениями и глубинными лунотрясениями.

На основе детальной модели строения Луны и данных по затуханию в ней сейсмических волн расчитана степень диссипации приливной энергии, а также распределение диссипации в теле Луны. Эти последние расчеты представляют собой дальнейшее развитие более ранних исследований, когда расчет диссипации энергии проводился для однородной или двухслойной моделей Луны, а численные значения параметров диссипации были выведены по косвенным данным.

An algorithm, yielding a relative calculational accuracy of ~ 0.1% for the theoretical tides of a rigid moon, is presented. This precision is motivated by the present level of accuracy of lunar laser ranging and also by certain features of the elastic response of the moon to tidal forcing.

Concerning the tides of the elastic moon, tidal displacements, and the spatial and temporal variations of the lunar tidal stresses are calculated using the latest, radially heterogeneous model of the satellite structure. The possible relation between tidal stresses and deep moonquakes is also discussed.

On the basis of the detailed structural model and the data on seismic wave attenuation within the satellite, the variation of present tidal energy dissipation rate in the moon is calculated. The latter investigation has been carried out because earlier similar calculations are based on homogeneous or hypothetic heterogeneous structural models and assumed dissipation paramcters.

Bevezetés

Mivel a Hold lézeres távméréseinek megbízhatósága jelenleg a cm-es pontossági szinthez közeledik, hamarosan indokolttá válik az eddigieknél pontosabb holdárapály-korrekciók alkalmazása a mérések eredményeiben. A holdfelszín árapály elmozdulásainak intervalluma ugyanis eléri a mintegy *100* cm-es értéket. Kielégítő pontosságú árapály-korrekciók számításához tehát szükséges a Hold árapályának egalább *0,5*%-os, vagy ennél is nagyobb relatív pontossággal való ismerete. Jelen dolgozatban olyan algoritmust mutatunk be, amely lehetővé

* ELTE, Geofizikai Tanszék

teszi a merev Hold árapályának (pontosabban az árapálykeltő potenciálnak és a potenciál megfelelő deriváltjainak) *0.1 – 0,2%*-cs megbízhatósággal történő számítását, ami több, mint egy nagyságrenddel meghaladja más szerzők (pl. *Harrison, 1963*) korábbi sorfejtéseinek pontosságát. A holdi gravitációs tér árapály variációinak nagy pontossággal való ismeretét más körülmények is indokolják, ezek ismertetésére később részletesebben kitérünk.

Az Apollo holdszeizmikus kísérletek érdekes, sok tekintetben meglepő információt szolgáltattak a Hold szeizmicitásáról. Az *1970* és *1977* közötti időszakban észlelt több ezer holdrengés regisztrátumait analizálva kiderült, hogy a rengések túlnyomó többsége (több mint *99%*-a) nagy mélységben, a mintegy *800* km és *1000* km mélységhatárok közötti zónában pattan ki. Ezek a rengések igen kis erősségűek, a Richter-skálán mért magnitudójuk értéke mindössze *0,5 – 1,3*. A rengési hipocentrumok helyzete a Hold belsejében éveken át gyakorlatilag változatlan, azonkívül a kipattanásokban világos időbeli szabályszerűség mutatható ki. Ez a szabályszerűség abban áll, hogy a legtöbb holdrengés minimális perigeum- és maximális apogeum-távolság, valamint maximális szélességi és hosszúsági holdlibrációk idején fordul elő, vagyis olyan időpontokban amikor a Holdra ható árapálykeltő erő szélső értékeket ér el. Égi mechanikai megfontolások alapján kimutatható, hogy az ilyen helyzetek *13,6* nap, *27,2* nap, *206* nap és mintegy *6* év periódusokkal ismétlődnek, így ez a magyarázata a holdrengések gyakoriságának időspektrumában fenti periódusokon megfigyelt maximumoknak. Megjegyezzük, hogy a Holdon az előbbiektől eltérő típusú rengéseket is regisztráltak, amelyekre a kis fészekmélység (*25 – 300* km), viszonylag nagy energia (*4 – 5*-ös magnitudó) és az igen ritka előfordulás (az összes holdrengések kevesebb mint *1%*-a) jellemző. Ez utóbbi rengések tektonikus eredetűek, a holdárapállyal semmilyen kapcsolatot nem mutatnak.

Ismeretes, hogy az árapály feszültségek változásának sajátságai a Holdban, vagy bármely más bolygó belsejében jelentős mértékben függnek az adott bolygó szerkezetétől. Ezért annak kvantitatív vizsgálata során, hogy az árapálykeltő erő milyen szerepet játszik a holdrengések kiváltásában, az árapály feszültségeket reális holdszerkezeti modellekre szükséges számítani. A dolgozat második részében ismertetésre kerülő számítások a Hold eddigi legrészletesebb, radiálisan heterogén szerkezeti modelljére vonatkoznak.

A Holdon végzett szeizmikus mérések adatokat szolgáltattak a szeizmikus hullámok csillapodási tulajdonságairól is. Ez utóbbi adatok, valamint a részletes szerkezeti modell ismeretében célszerűnek tartottuk továbbá elvégezni a Holdban ható dagálysúrlódás kvantitatív vizsgálatát. A korábbi hasonló számítások (*Kaula, 1963; Peale and Cassen, 1978*) ugyanis csak homogén, vagy hipotetikus kétrétegű szerkezeti modellre és feltételezett disszipációs paraméterekre vonatkoznak.

Merev Hold árapálya

A W árapálykeltő potenciál a Hold bármely P pontjában a jól ismert

$$W(P) = \frac{GM}{c} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{r}{c}\right)^n P_n(\cos z), \tag{1a}$$

$$\cos z = \sin \varphi \sin b + \cos \varphi \cos b \cos (l - \lambda) \tag{1b}$$

összefüggések (pl. *Wilhelm and Zürn, 1984*) alapján számítható, ahol G a gravitációs állandó, M a Hold középpontjától c távolságra elhelyezkedő árapálykeltő égitest tömege, z a kérdéses égitest szelenocentrikus zenittávolsága az (r, φ, λ) szelenografikus koordinátákkal adott P pontban, $P_n(\cos z)$ n-ed fokú zonális gömbfüggvény, b és l pedig az árapályt kiváltó égitest szelenocentrikus ekvatoriális szélességét illetve hosszúságát jelölik.

Az r/c hányados számértékét megadva könnyen belátható, hogy *0,1%*-os számítási pontosság eléréséhez fenti gömbfüggvény-sorfejtésben a Földtől származó hatás esetén elegendő csak a másod- és harmadfokú tagokat, szoláris eredetű árapály esetén pedig csak a főtagot figyelembe venni. Az (1) kifejezésekben c, b és l időfüggő mennyiségek, amelyek olyan trigonometrikus függvények szerinti sorfejtésekkel adhatók meg, ahol a függvények argumentumaiban a Föld és a Nap Holdhoz viszonyított mozgását jellemző öt különböző szögparaméter valamilyen kombinációja szerepel. Ez utóbbi paraméterek viszont az időnek már explicit függvényei.

A c pillanatnyi Föld-Hold távolság és a c_0 közepes távolság inverz hányadosának időbeli változását leíró *Moutsoulas (1971)*-féle sorfejtés alkalmazásával és a sorfejtésben az $5 \cdot 10^{-5}$-nél nagyobb amplitúdójú tagokat megtartva, a c_0/c hányados jelen feladatban szereplő hatványaira a következő összefüggések vezethetők le:

$$\left(\frac{c_0}{c}\right)^3 = 1 + 0{,}0046 + 0{,}1461 \cos(s-p) + 0{,}0249 \cos 2(s-h) +$$
$$+ 0{,}0134 \cos 2(s-p) + 0{,}0044 \cos(s+p-2h) +$$
$$+ 0{,}0041 \cos(3s-2h-p) + 0{,}0017 \cos(2s-3h+p_s) +$$
$$+ 0{,}0013 \cos(s-3h+p+p_s) + 0{,}0010 \cos(s-p-h+p_s) +$$
$$+ 0{,}0010 \cos 3(s-p) - 0{,}0009 \cos(s-h) - 0{,}0008 \cos(s-p+h-p_s) -$$
$$- 0{,}0006 \cos(s+p) + 0{,}0005 \cos(3s-4h+p) - \qquad (2)$$
$$- 0{,}0004 \cos(h-p_s) + 0{,}0004 \cos 2(2s-p-h) +$$
$$+ 0{,}0003 \cos(2s-2p-4h) - 0{,}0003 \cos(2s-p_s-h) +$$
$$+ 0{,}0003 \cos 4(s-h) + 0{,}0002 \cos(3s-3h-p-p_s) -$$
$$- 0{,}0002 \cos(s+p-h-p_s) + \ldots .$$

$$\left(\frac{c_0}{c}\right)^4 = 1 + 0{,}0009 + 0{,}219 \cos(s-p) +$$
$$+ 0{,}0033 \cos 2(s-h) + 0{,}013 \cos 2(s-p) +$$
$$+ 0{,}004 \cos(s+p-2h) + \ldots . \qquad (3)$$

Mivel az (1a) kifejezésben szereplő r/c érték az n fokszám növekedésével gyorsan csökken, a $(c_0/c)^4$ mennyiséget viszonylag kisebb pontossággal ($\sim 10^{-3}$) is elegendő számítani. A trigonometrikus függvények argumentumaiban megjelenő paraméterek kifejezhetők *(Harrison, 1963)* mint

$$s = 270{,}43659^\circ + 481267{,}89057^\circ\, T + 0{,}00198^\circ\, T^2 + 0{,}000002^\circ\, T^3,$$
$$p = 334{,}3295^\circ + 4069{,}03403^\circ\, T - 0{,}01032^\circ\, T^2 - 0{,}00001^\circ\, T^3,$$
$$N = 259{,}18328^\circ - 1934{,}14201^\circ\, T + 0{,}00208^\circ\, T^2 + 0{,}000002^\circ\, T^3,$$
$$h = 279{,}69668^\circ + 36000{,}76892^\circ\, T + 0{,}00030^\circ\, T^2$$
$$p_s = 281{,}22083^\circ + 1{,}71902^\circ\, T + 0{,}00045^\circ\, T^2 + 0{,}000003^\circ\, T^3,$$

ahol T az *1899. december 31*-i 12^h greenwichi középidőtől kezdődően Julián-évszázadokban mért, kívánt számítási időpont. A Föld szelenocentrikus ekvatoriális koordinátáinak időbeli változása a következő sorfejtésekkel definiálható *(Moutsoulas, 1971)*:

$$
\begin{aligned}
-b = 10^{-4}[&895\sin(s-N)+49\sin(2s-p-N)-\\
&-48\sin(p-N)-30\sin(s-2h+N)+\\
&+10\sin(2s-2h+p-N)+8\sin(-2s+3p-2p_s+N)+\\
&+6\sin(3s-2h-N)+3\sin(3s-2p-N)+\\
&+2\sin(2s-p-2h+N)-2\sin(-s+2p-N)+\\
&+\sin(s-3h+p_s+N)+\sin(-s+2p-2h+N)+\\
&+\sin(4s-p-2h-N)-\sin(s-h-p_s+N)],
\end{aligned}
\tag{5}
$$

$$
\begin{aligned}
l = 10^{-4}[&1098\sin(s-p)+222\sin(s-2h+p)+\\
&+115\sin 2(s-h)+37\sin 2(s-p)+32\sin(-h+p_s)-\\
&-20\sin 2(s-N)+10\sin 2(-h+p)+10\sin(s+p-3h+p_s)+\\
&+9\sin(3s-p-2h)+8\sin(2s-3h+p_s)+7\sin(s-h-p+p_s)-\\
&-6\sin(s-h)+5\sin(-s+p-h+p_s)+\\
&+2\sin 3(s-p)+3\sin 2(N-h)-2\sin(3s-p-2N)+\\
&+2\sin(3s+p-4h)-2\sin(s+p-2N)+\\
&+\sin(2s+2p-4h)-\sin(s-h+p-p_s)-\\
&-\sin(2s-h-3p_s)-\sin(-h+p)+\sin(s-p_s)+\\
&+\sin(3s-p-3h+p_s)+\sin(4s-2p-2h)+\\
&+\sin 4(s-h)+\sin(-s-2h+3p)].
\end{aligned}
\tag{6}
$$

A kitűzött számítási pontosság eléréséhez elegendő, ha *Moutsoulas* eredeti összefüggéseiben itt csak azokat a tagokat vesszük figyelembe, amelyek együtthatói nem kisebbek mint *0,0001* radián.

A Föld zenittávolsága a Hold bármely pontjában a ponthoz tartozó $\bar{z}$ közepes zenittávolsághoz viszonyítva csak igen kismértékű ($\sim 6°$) időbeli változásokat mutat. A közepes zenittávolság a Hold felszínén a

$$\cos\bar{z} = \cos\varphi\cos\lambda \tag{7}$$

összefüggés szerint változik. A Föld helyzetének pillanatnyi eltérése a közepes zenittávolságnak megfelelő iránytól az optikai libráció b és l szögeivel adható meg. Mivel b és l kis mennyiségek, az árapálykeltő potenciál szögkoordinátáktól függő részét célszerű egy állandó (csak $\bar{z}$-től függő) tagra és egy időben változó komponensre felbontani. Az összetevőkre bontott, a potenciáltér szögkoordinátákkal kapcsolatos részét reprezentáló Legendre-polinomokra a következő összefüggések vezethetők le:

$$
\begin{aligned}
P_2(\cos z) = P_2(\cos\bar{z}) &+ b\left(\frac{3}{2}\sin 2\varphi\cos\lambda\right)+l\left(\frac{3}{2}\cos^2\varphi\sin 2\lambda\right)+\\
&+\frac{3}{2}b^2(1-\cos^2\bar{z}-\cos^2\varphi)-\frac{3}{2}l^2\cos^2\varphi\cos 2\lambda+\frac{3}{2}bl\sin 2\varphi\sin\lambda-\\
&-b^3\sin 2\varphi\cos\lambda-l^3\cos^2\varphi\sin 2\lambda-\frac{3}{2}lb^2\cos^2\varphi\sin 2\lambda-\frac{3}{4}bl^2\sin 2\varphi\cos\lambda,
\end{aligned}
\tag{8}
$$

$$P_3(\cos z) = P_3(\cos \bar{z}) - \frac{15}{2} b \sin\varphi \cos\lambda \left(\cos^2 \bar{z} - \frac{1}{5}\right) - \frac{15}{2} l \sin\lambda \cos\varphi \left(\cos^2 \bar{z} - \frac{1}{5}\right) -$$

$$- \frac{45}{4} b^2 \cos \bar{z} \left(\cos^2 \bar{z} - \frac{2}{3} \cos^2\lambda - \frac{1}{15}\right) - \frac{45}{4} l^2 \cos \bar{z} \left(\cos^2 \bar{z} - \frac{2}{3} \cos^2\varphi - \frac{1}{15}\right) + \quad (9)$$

$$+ \frac{45}{2} bl \sin\varphi \sin\lambda \left(\cos^2 \bar{z} - \frac{1}{15}\right).$$

Fenti összefüggések tehát teljes mértékben determinálják a földi árapálykeltő erőtér potenciáljának hely- és időbeli változásait a Holdon. Mivel a Nap árapálykeltő hatása a Holdon több mint két nagyságrenddel kisebb a földi hatásnál, a szoláris árapálykeltő potenciál számítására elegendő *Harrison (1963)* mintegy *10%*-os relatív pontosságot biztosító, közelítő összefüggéseit alkalmazni. A potenciáltér ismeretében a nehézségi gyorsulás árapály-variációi, valamint a függővonal elhajlás É – D és K – Ny irányú komponensei a

$$dg = \frac{\partial W}{\partial r}, \quad e_\varphi = -\frac{1}{rg} \frac{\partial W}{\partial \varphi}, \qquad (10)$$

$$e_\lambda = \frac{1}{rg \cos\varphi} \frac{\partial W}{\partial \lambda}$$

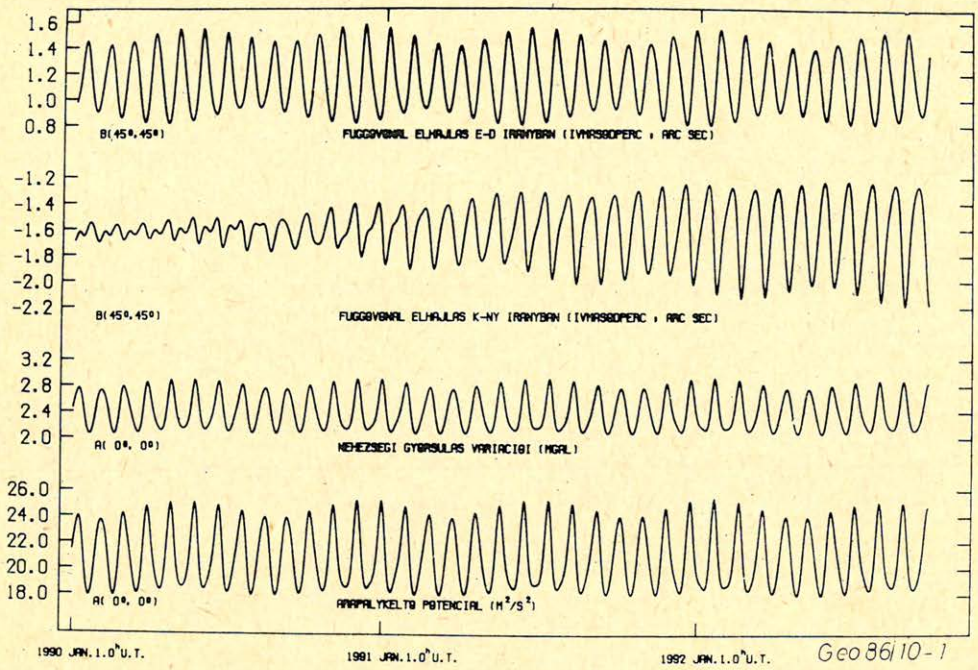
ismert összefüggések szerint számíthatók.

Az *1. ábrán* az árapálykeltő potenciál, a nehézségi gyorsulás, valamint a függővonal elhajlások fenti algoritmus alapján számított időbeli változása látható a holdfelszín különböző pontjaiban. A potenciál a holdkorong középpontjában a mintegy *21* m^2/s^2 konstans értékhez viszonyítva maximálisan kb. *3* m^2/s^2 eltéréseket mutat. A Hold szinkron forgásából származó konstans tag jelenléte a potenciálban a holdárapály olyan speciális jellemzője, amelynek vonatkozásában a jelenség alapvetően eltér a Föld árapályától. A nehézségi gyorsulás ugyanebben a pontban a *2,5* mgal közepes érték körül közel *1* mgal-os tartományban változik. A függővonal elhajlások a holdkorong középpontjától *45°*-ra eső helyeken maximálisak, a variációk intervalluma itt mindkét komponens esetében $\approx 1{,}0''$, a konstans elhajlások értéke *1,2″* (É – D irányban), illetve *– 1,6″* (K – Ny irányban).

Rugalmas Hold árapálya

Az elmozdulások és árapály feszültségek számításához szükséges a Hold szerkezeti modelljének ismerete. Jelen vizsgálatban egy a holdszerkezetet globálisan eléggé jól közelítő, a továbbiakban LM – 0-val jelzett homogén modellt *(Nakamura and Latham, 1969)*, és a finomabb szerkezeti sajátságokat is tükröző, az Apollo szeizmikus kísérletek eredményei alapján meghatározott, radiálisan heterogén szerkezeti modellt alkalmazunk. A d sűrűség és a v_p, v_s szeizmikus sebességek értékei a homogén modellben a következők:

$$d = 3340 \text{ kg/m}^3, \; v_p = 8{,}1 \text{ km/s}, \; v_s = 4{,}67 \text{ km/s}.$$



1. ábra. Az árapálykeltő potenciál, a nehézségi gyorsulás változásai, és a függővonal irányának variációi a holdfelszín A (0°; 0°), B (45°; 45°) pontjaiban az 1990 – 92 évekre vonatkozóan

Рис. 1. Приливный потенциал, ускорение силы тяжести и вариации наклонов на поверхности Луны в точках $A(0°;0°)$, $B(45°; 45°)$ за период *1990 – 1992* гг.

Fig. 1. Tidal potential, gravity perturbations, and deviations of the vertical at points A ($0°; 0°$) and B ($45°; 45°$) on the lunar surface for the years 1990 – 1992.

Az *LM – 761* jelzéssel ellátott heterogén szerkezeti modell *(Nakamura et al., 1976)* paramétereinek mélységbeli változását a *2. ábra* szemlélteti. A modell öt fő zónából tevődik össze, az egyes zónák kiterjedését az ábra vízszintes tengelyén jelöljük. A *60* km vastagságú kéreg (A-zóna) alsó határát a szeizmikus sebességek erőteljes növekedése jelzi. Főként a v_p sebesség gradiensének menete, illetve a transzverzális hullámok csillapodási sajátságainak változása alapján kijelölhető felső (B)- és középső (C)-köpeny a kéreggel együtt alkotja a Hold merev, mintegy *800 – 900* km-es mélységig terjedő litoszféráját. A litoszféra alsó határa közelében a holdanyag fizikai állapotában jelentős változások állnak be, a mélyrengések hipocentrumai itt koncentrálódnak. A sok tekintetben a földi asztenoszférára emlékeztető alsó köpenytartományban (D-zóna) a transzverzális hullámok erős elnyelődése részleges olvadásra utal. A rendelkezésre álló szeizmikus adatok alapján valószínű egy nagy sűrűségű (≈ 7500 kg/m³), vas-vasszulfid mag (E-zóna) létezése a Hold középponti részében. Ez utóbbi zóna sugárirányú kiterjedése *250* km az *LM – 761*-es modellben.

A szerkezeti modell ismeretében az árapálykeltő potenciál bármely n fokszámú harmonikusára olyan hat y_i ($i = 1, 2, \ldots, 6$) függvény határozható meg,

amelyek definiálják a Hold egységnyi potenciáltér hatására bekövetkező rugalmas reakcióját. Ezek a függvények a rugalmas egyensúlyi állapot hat elsőfokú lineáris differenciálegyenletre redukált

$$y_1' = -\frac{2\lambda y_1}{(\lambda+2\mu)r} + \frac{y_2}{\lambda+2\mu} + \frac{n(n+1)\lambda y_3}{(\lambda+2\mu)r},$$

$$y_2' = \left[-4dgr + \frac{4\mu(3\lambda+2\mu)}{\lambda+2\mu}\right]\frac{y_1}{r_2} - \frac{4\mu y_2}{(\lambda+2\mu)r} + \left[n(n+1)dgr - \right.$$

$$\left. - \frac{2\mu(3\lambda+2\mu)n(n+1}{\lambda+2\mu}\right]\frac{y_3}{r^2} + \frac{n(n+1)y_4}{r} - dy_6,$$

$$y_3' = -\frac{y_1}{r} + \frac{y_3}{r} + \frac{y_4}{\mu}, \tag{11}$$

$$y_4' = \left[dgr - \frac{2\mu(3\lambda+2\mu)}{\lambda+2\mu}\right]\frac{y_1}{r^2} - \frac{\lambda y_2}{(\lambda+2\mu)r} + \frac{2\mu}{\lambda+2\mu}[\lambda(2n^2+2n-1) +$$

$$+ 2\mu(n^2+n-1)]\frac{y_3}{r^2} - \frac{3y_4}{r} - \frac{dy_5}{r},$$

$$y_5' = 4\pi G d y_1 + y_6,$$

$$y_6' = -\frac{4\pi G d n(n+1)y_3}{r} + \frac{n(n+1)y_5}{r^2} - \frac{2y_6}{r}$$

rendszerének numerikus integrálásával számíthatók ki, a felszínre vonatkozóan a feszültségekre és a deformációval kapcsolatos gravitációs potenciálra felírható

$$y_2 = y_4 = 0,$$

$$y_6 = (2n+1)g - n(n+1)\frac{y_5}{r} \tag{12}$$

határfeltételek és a középpontban megadott, az y_i függvények regularitását jelentő feltételek mellett. Fenti egyenletekben μ, λ a Lamé-féle rugalmassági paraméterek, y_i' pedig a megfelelő függvény radiális deriváltját jelöli. Mivel az $r = 0$ pont a (11) egyenletek szinguláris pontja, az utóbbi határfeltételek matematikai megfogalmazása hosszabb eljárást igényelne. Erre jelen dolgozat keretében nem kívánunk kitérni, a probléma részletes vizsgálata a szerző egy korábbi tanulmányában *(Bodri, 1984)* adott.

Az *1. táblázat*ban az y_1, y_3 és y_5 függvények Love-számok néven ismert és rendre h, l, k-val jelölt felszíni értékeit, valamint a h és k számok árapály mérésekből meghatározható δ és γ kombinációinak számértékét tüntetjük fel a vizsgált holdmodellekre és másodfokú árapály ($n = 2$) esetére. Összehasonlítás céljából a táblázatban közöljük *Gilbert and Dziewonski (1975) 1066A* földmodelljére számított megfelelő értékeket is. Mivel a h és l számok a radiális, illetve tangenciális elmozdulásokban a deformált bolygó rugalmasságából eredően szorzótényezőként megjelenő mennyiségek, a táblázat adataiból kitűnik, hogy a holdfelszín egységnyi árapálykeltő potenciál hatására bekövetkező elmozdulásai kb. egy

1. táblázat

A Love-számok valamint a graviméteres és klinométeres amplitudóhányadosok értékei a vizsgált bolygómodellekre

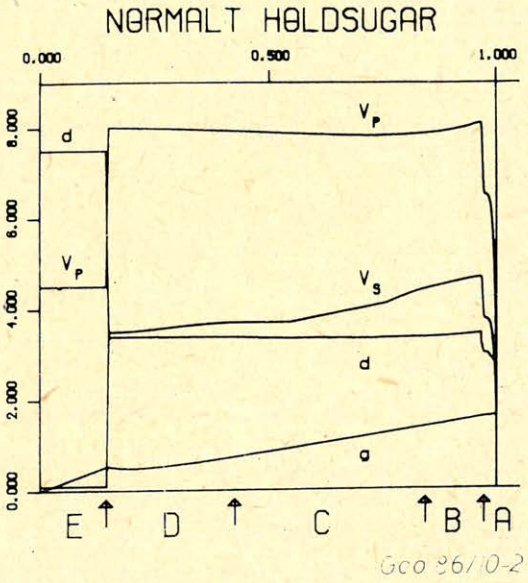
Таблица 1.

Числа Лява, а также гравиметрический и наклономерный амплитудные факторы для исследуемых моделей планет

Table 1.

Love numbers and the gravimetric and clinometric amplitude factors for the considered planetary models

Szerkezeti modell	h	l	k	δ	γ
Hold, LM – 0	0.0349	0.0097	0.0202	1.0046	0.9853
Hold, LM – 761	0.0503	0.0133	0.0281	1.0082	0.9778
Föld, 1066A	0.6092	0.0849	0.3013	1.1573	0.6921

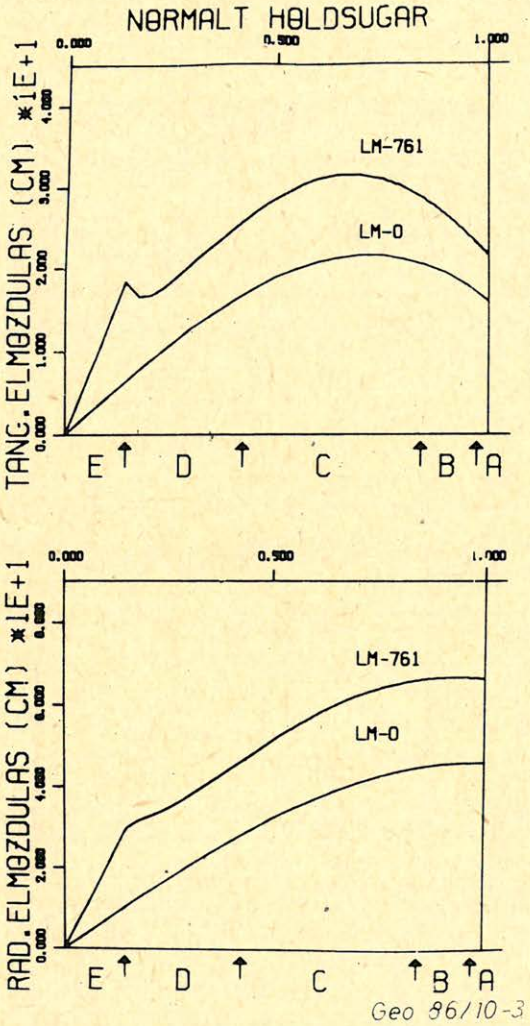


2. ábra. A sűrűség (*d*; g/cm³), a nehézségi gyorsulás (*g*; m/s²) és a szeizmikus hullámsebességek (v_p, v_s; km/s) mélységbeli változása *Nakamura et al. (1976)* holdmodelljében. A vízszintes tengely alatti jelek a modell fő zónáinak elhelyezkedésére utalnak

Рис. 2. Изменение плотности (d ; г/см³), ускорения силы тяжести (g ; м/сек²) и сейсмических скоростей (v_p, v_s ; км/сек) с глубиной в модели Луны Nakamura et al. (1976). Буквы под осью абсцисс указывают главные зоны в Луне.

Fig. 2. Variations of density (*d*; g/cm³), gravity (*g*; m/s²) and seismic shear and compressional wave velocities (v_s, v_p; km/s) with depth in the lunar model *LM – 761* of *Nakamura et al., 1976*. Symbols along the horizontal axis mark the separate major layers of the satellite

nagyságrenddel kisebbek a megfelelő földi elmozdulásoknál. Ugyanez vonatkozik a deformációval kapcsolatos, k-val arányos gravitációs potenciálra is. Másszóval a Hold az árapálykeltő erővel szembeni rugalmas reakció szempontjából merev testhez eléggé közeli tulajdonságokat mutat: A δ és γ tényezők értékei csak nagyon kevéssé érzékenyek a sűrűség és a nyírási modulus mélységbeli változásaira

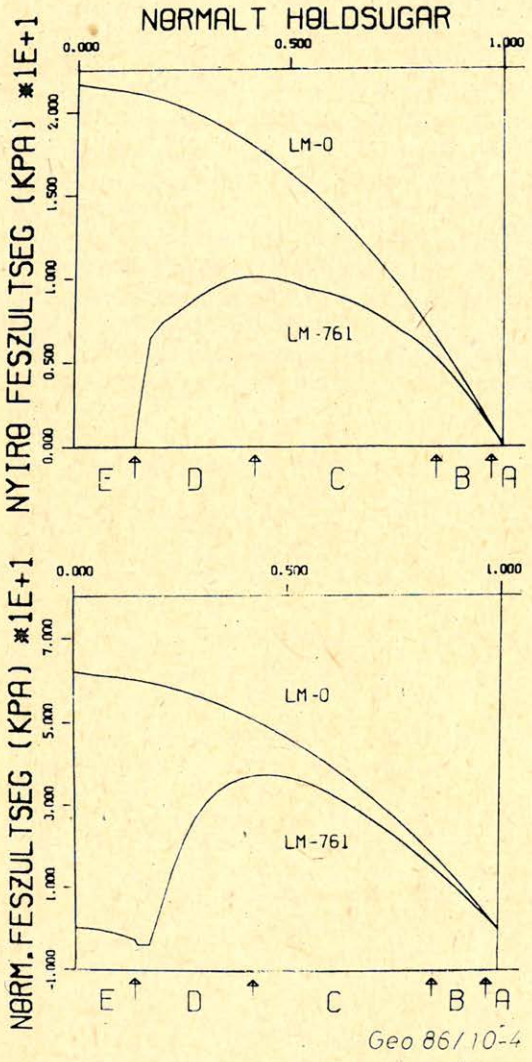


3. ábra. Árapály elmozdulások (10 cm egységekben) a Holdban a holdkorong középpontjába (radiális elmozdulás), illetve a középponttól *45°*-ra (laterális elmozdulás) irányított sugár mentén, *1990 jan. 1. 0^h* greenwichi középidőre *(G.M.T.)* vonatkoztatva

Рис. 3. Приливные смещения (в единицах *10* см) в центре диска Луны (радиальные смещения) и на расстоянии *45°* от центра диска (тангенциальные смещения) в момент *1* января *1990* года 0 часов мирового времени.

Fig. 3. Radial and lateral tidal displacements (in *10* cm units) along radii respectively at the center and at *45°* from the center of the lunar disk at *0^h G.M.T., January 1, 1990*

a Holdban. Ebből az a nem túl megnyugtató következtetés adódik, hogy a Hold rugalmas tulajdonságainak árapálymérésekkel történő ellenőrzésére mind a nehézségi gyorsulás variációit, mind a nivófelületek dőléseit igen nagy pontossággal kellene mérni. A táblázatból kiolvasható, hogy a Holdon a rugalmasságból származó effektus maguknak a mérendő mennyiségeknek mindössze $1-2\%$-át teszi



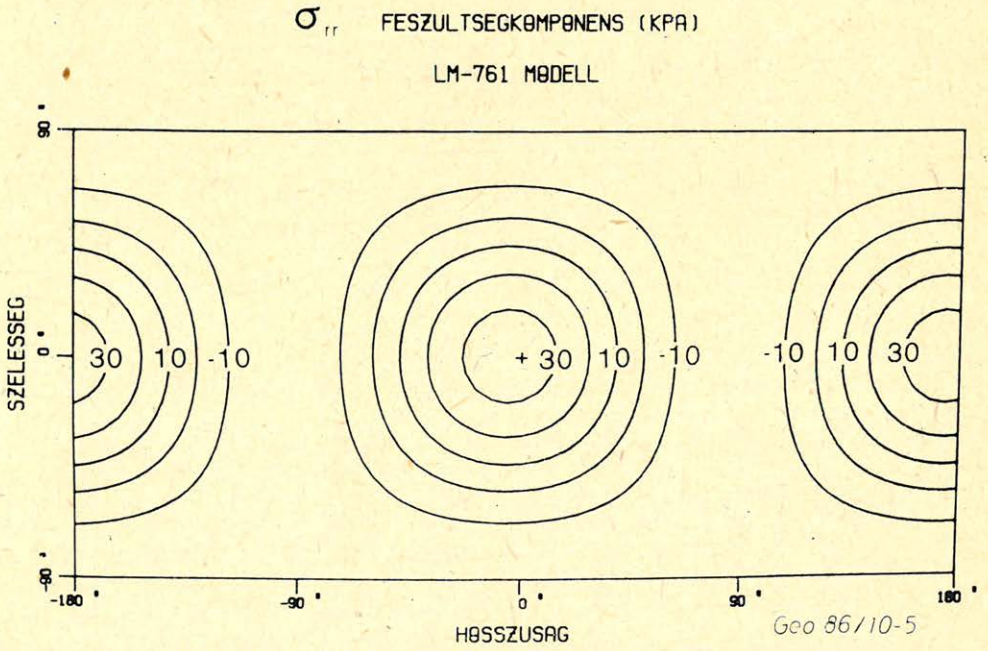
4. ábra. A maximális normális és nyírófeszültség (10 kPa egységekben) mélységbeli változása a holdkorong középpontjába irányított sugár mentén, *1990 jan. 1. 0^h G.M.T.* időpontban

Рис. 4. Изменение с глубиной максимального нормального и сдвигового напряжений (в единицах *10* кПа) в центре диска Луны в момент 1 января *1990* г. *0* часов МВ.

Fig. 4. Profiles of maximum radial and shear stresses (in *10* kPa units) along a radius at the center of the lunar disk at *0^h G.M.T., January 1, 1990*

ki. Ennek az effektusnak a megfehetősen szerény 10^{-1} relatív pontossággal történő meghatározásához pedig úgy a regisztrálás során, mint a merev Hold árapályának számításában szükséges a $0{,}1\%$-os relatív pontosságot biztosítani.

Az árapálykeltő potenciál és a rugalmas reakciót jellemző függvények ismeretében az elmozdulások és feszültségek kiszámíthatók az y_i függvények és a potenciál, illetve a megfelelő potenciálderiváltak szorzataiként. A vonatkozó összefüggések megtalálhatók pl. *Melchior (1975)* munkájában. A *3. ábrán* az *1990. jan. 1.* 0^h greenwichi középidőre *(G.M.T.)* számított árapály-elmozdulások mélységbeli változása látható a holdkorong középpontjába (radiális elmozdulás), illetve a korong középpontjától *45°*-ra (tangenciális elmozdulás) eső sugár mentén. A Hold felszínén az adott időpontban *−34* cm és *67* cm (*LM −761* modell) határok között változó függőleges elmozdulás a korong középpontjában éri el maximális értékét. A horizontális elmozdulás előtt a ponttól $\pm 45°$-ra eső helyeken a legnagyobb, értéke itt *22* cm. A felszíntől lefelé haladva az elmozdulások kezdetben növekednek, a radiális komponens értéke *100 − 150* km-es mélységben, a laterális elmozdulás pedig a középső köpenyben, *500 − 600* km-es mélységeken maximális. A középpontban mindkét elmozdulás zérusra csökken. A merevebb homogén modellben az elmozdulások kisebbek a heterogén modellre vonatkozó megfelelő értékeknél, az elmozdulások mélységbeli változásának jellegében azonban jelentős különbségek nem figyelhetők meg a két modell között (a köpeny



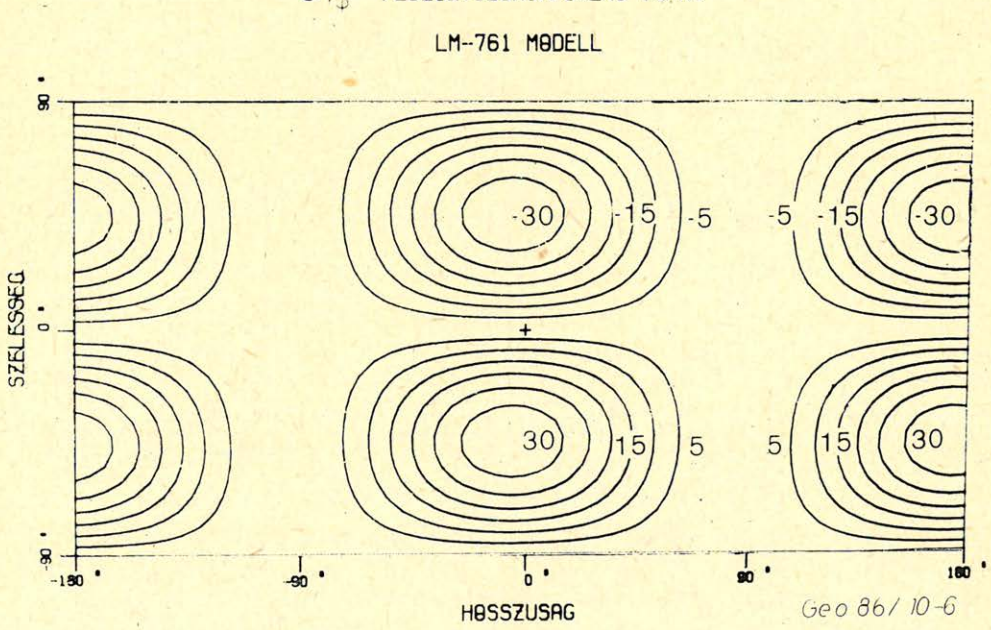
5. ábra. Az árapály feszültségi tenzor σ_{rr} komponensének laterális változása *900* km-es mélységben és *1990. jan. 1.* 0^h *G.M.T.* időpontban

Рис. 5. Компонента σ_{rr} тензора приливных напряжений на глубине *900* км *1* января *1990* г. в 0 часов МВ.

Fig. 5. Tidal stress tensor component at σ_{rr} 900 km depth at 0^h *G.M.T., January 1, 1990*

mag határ környezetében az *LM – 761*-es görbéken megjelenő *szabálytalanság* a nyírási modulus erős kontrasztjának a következménye). A maximális normális, illetve nyírófeszültség mélységbeli változása *(4. ábra)* viszont alapvetően eltérő a két modellben. A felszínen zérus feszültségek a homogén modellben a mélységgel monotonon növekedve, a középpontban érik el a maximális értékeiket. Az *LM – 761*-es modellben viszont mind a normális, mind a nyírófeszültség a litoszféra-asztenoszféra határ környezetében, vagyis a holdrengések kipattanásának mélységzónájában tetőzik. A mélység további növekedésével a feszültségek határozottan csökkennek. A kis merevségű magban a nyírófeszültség gyakorlatilag zérus, az addig tenziós jellegű normális feszültség pedig gyenge nyomófeszültségbe megy át. A *4. ábrán* látható továbbá, hogy az árapály feszültségek a Holdban mélységtől függetlenül igen kicsik, nagyságrendjük mindössze 10 kPa. Ekkora feszültségek nyilvánvalóan nem elegendőek csúszások, törések kiváltásához (és ezzel együtt rengések keltéséhez) az alsó litoszféra kőzeteiben, de esetleg töréseket aktiválhatnak a kőzetben előzetesen kialakult gyengeségi zónákban.

Az *5 – 7. ábrák* az árapály feszültségi tenzor *900* km-es mélységre (a holdrengések közepes mélységszintjére) és az *1990. jan. 1., 0*^{h} *G.M.T.* időpontra számított néhány jelentősebb komponensének laterális változását szemléltetik. A diagonális tenzorkomponensek (amelyek közül csak a σ_{rr} – komponenst mutatjuk be) szimmetrikusak az egyenlítő, valamint a *0°* és *90°* meridiánok síkjához vi-



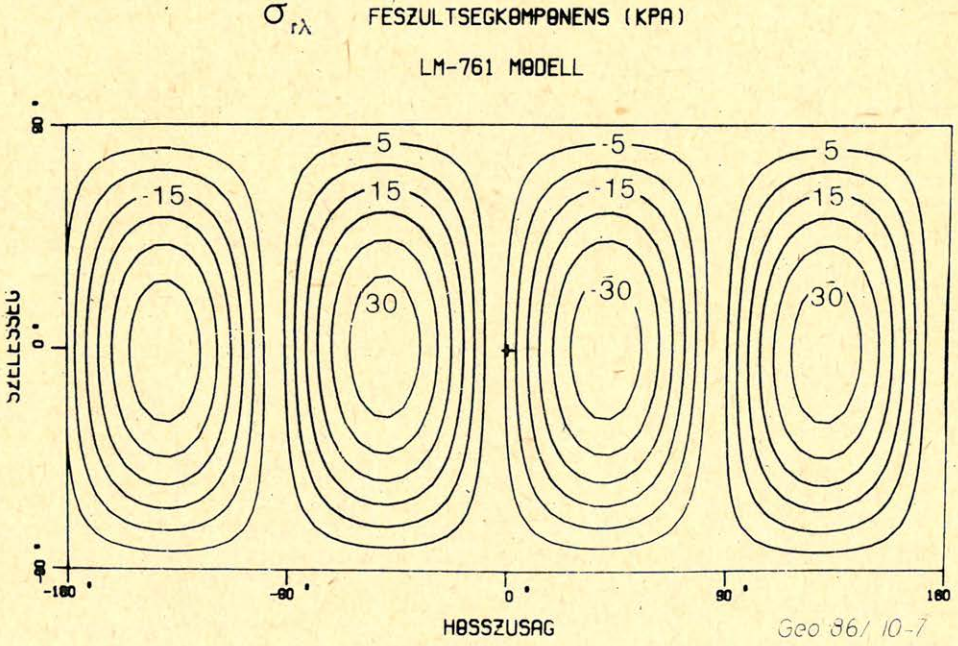
6. ábra. A $\sigma_{r\varphi}$ feszültségkomponens laterális változása *900* km-es mélységben és *1990. jan. 1. 0*^{h} *G.M.T.* időpontban

Рис. 6. Изменение компоненты $\sigma_{r\varphi}$ тензора приливных напряжений в зависимости от угловых координат на глубине *900* км *1* января *1990* г. в *0* часов МВ.

Fig. 6. Tidal stress tensor component at $\sigma_{r\varphi}$ 900 km depth at *0*^{h} *G.M.T., January 1, 1990*

szonyítva. Ezek a feszültségek a holdkorong középpontjában maximálisak és a középpont környezetében tenziós jellegűek. A középponttól távolodva csökkennek, a $\cos\varphi \cos\lambda \approx \cos 55°$ feltételt kielégítő pontokban zérussá válnak, majd nyomófeszültségbe mennek át és a limbuszon érik el negatív szélső értéküket. A $\sigma_{r\varphi}$ nyírófeszültség eloszlása szimmetrikus a $90°$ meridiánhoz és antiszimmetrikus az egyenlítőhöz viszonyítva. Ez a komponens az egyenlítő síkjában zérus és a $\pm 45°$ szélességeken, a nullmeridiánon szélső értékei vannak. A $\sigma_{r\lambda}$ komponens laterális változása megegyezik a $\sigma_{r\varphi}$ feszültség $90°$-kal elforgatott eloszlási képével. A $\sigma_{\varphi\lambda}$ feszültség nagyságrendekkel kisebb az egyéb feszültségkomponensek értékeinél. A holdrengések ismert szeizmikus övek mentén koncentrálódó epicentrumainak helyzete az ábrázolt feszültségkomponensek maximumaival nem mutat korrelációt. Ez a körülmény is arra utal, hogy a rengések keletkezésében az árapály mellett fontos szerephez kell jutniuk olyan tényezőknek, mint a kőzetben előzetesen kialakult gyenge zónák és/vagy feszültségkoncentrációt okozó inhomogenitások.

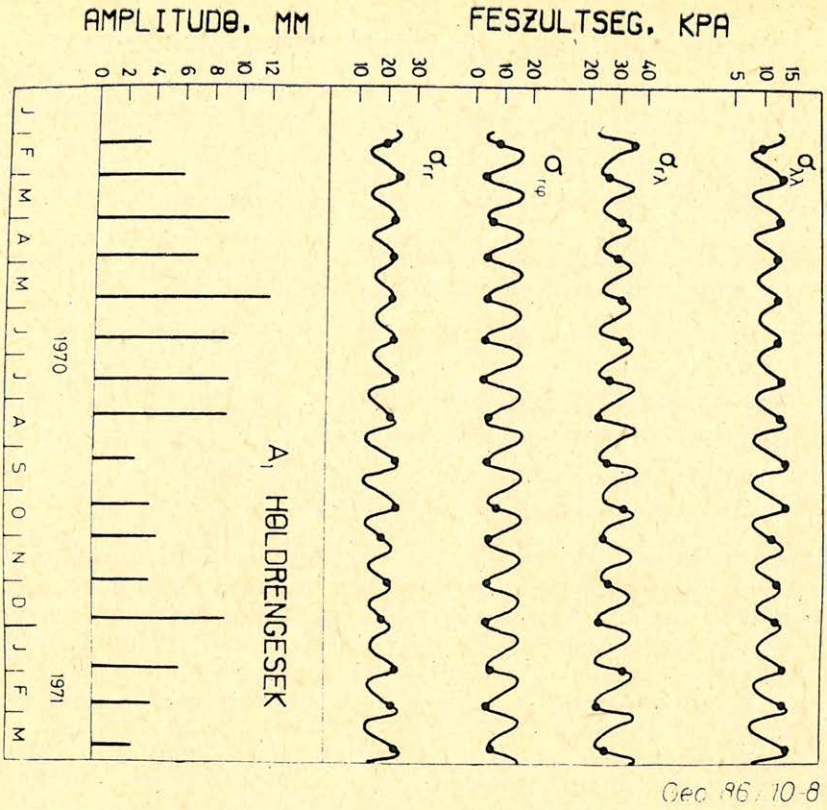
Az árapály feszültségek időbeli változásának problémájára rátérve, a *8. ábrán* az A_1 ($\varphi = 10 \cdot 8°$ *D*, $\lambda = 31 \cdot 3°$ *Ny*; $h = 900$ km) rengésfészekre számított néhány fontosabb feszültségkomponens változása látható az idő függvényében. A_1-jelű rengésfészek kivételesen aktív, az ábrán feltüntetett regisztrálási időszak folyamán az összes holdrengésnek mintegy 15%-a ezen a helyen pattant ki. A fe-



7. ábra. A $\sigma_{r\lambda}$ feszültségkomponens laterális változása *900* km-es mélységben és *1990. jan. 1.* 0^h *G.M.T.* időpontban

Рис. 7. Изменение компоненты $\sigma_{r\lambda}$ тензора приливных напряжений в зависимости от угловых координат на глубине *900* км *1* января *1990* г. в *0* часов МВ.

Fig. 7. Tidal stress tensor component at $\sigma_{r\lambda}$ 900 km depth at 0^h *G.M.T., January 1, 1990*



8. ábra. Az *LM –761* modellre számított néhány jelentősebb árapály feszültségkomponens időbeli változása az A_1 rengési hipocentrumban. A rengések kipattanási időit a feszültséggörbéken pontok jelölik.

Рис. 8. Временные вариации наиболее важных компонент тензора приливных напряжений в гипоцентре лунотрясений A_1, расчитанные для модели Луны *ЛМ –761*. Точками на кривых изменения напряжений обозначены моменты лунотрясений.

Fig. 8. Temporal variations of some more significant tidal stress tensor components calculated for model *LM –761* at moonquake focus A_1. The moonquake occurrence times are indicated as dots on the stress curves

szültséggörbék alatt a vízszintes tengelyen ábrázoljuk az A_1-rengések regisztrált amplitúdóit és kipattanási időpontjait *(Lammlein, 1977)* is. A feszültségek időbeli változását a kipattanási időkkel összehasonlítva megmutatható, hogy a rengések általában akkor jönnek létre amikor a Hold perigeumban van és a Föld zenittávolsága kisebb a közepes értéknél. Azonkívül a rengések minimális perigeum távolság és maximális szélességi és hosszúsági librációk idején a legerősebbek. A holdrengések kipattanásai világos korrelációt mutatnak a diagonális feszültségkomponensek és a $\sigma_{r\varphi}$ komponens szélső értékeivel, nem mondható el viszont ugyanez a $\sigma_{r\lambda}$ feszültségről. Feltételezve, hogy a holdrengések az alsó litoszférában árapálytól függetlenül kialakuló bizonyos gyenge zónákban keletkeznek, fenti korrelációs kapcsolat alapján megállapítható, hogy az A_1 hipocentrum környezetében ennek a zónának az ott áthaladó szélességkör mentén, vagyis keletnyugati irányban kell húzódnia.

Rugalmatlan Hold árapálya (dagálysúrlódás a Holdban)

A Föld és Nap tömegvonzása periodikusan ismétlődő árapály deformációkat kelt a Holdon. A holdanyag nem tökéletes rugalmassága miatt az alakváltozásba fektetett rugalmas energia egy része hővé alakul át. Ez utóbbi folyamat elvileg olyan járulékos hőforrás szerepét töltheti be, amely a radioaktív hőtermelést kiegészítve jelentős befolyással lehet a Hold jelenlegi termikus állapotára és hőtörténetére.

Ismeretes, hogy kis deformációk esetén a térfogategységre vonatkoztatott alakváltozási vagy deformációs munka kifejezhető mint

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i,j} e_{ij}\sigma_{ij}, \tag{13}$$

ahol e_{ij} a deformációs tenzor komponenseit jelöli. A Hooke-törvény alkalmazásával fenti kifejezés átírható a következő formába:

$$E = \frac{1}{4\mu}\sigma'_{ik}\sigma'_{ik} + \frac{1}{54K}\sigma_{ll}\sigma_{nn}, \tag{14}$$

ahol σ'_{ij} a deviátor feszültségi tenzor, μ a már korábban bevezetett nyírási modulus és K a kompressziómodulus. A rugalmas energia számítása során természetesen ez utóbbi összefüggésben az ismétlődő indexek szerint összegzést kell végezni. A (14) egyenlet a rugalmas energiát tiszta nyírással, illetve tiszta kompresszióval kapcsolatos összetevőkre felbontva adja meg. Ez a felbontás azért célszerű, mert a két különböző típusú rugalmatlan deformáció folyamán az energiadisszipáció mértéke erősen eltérő.

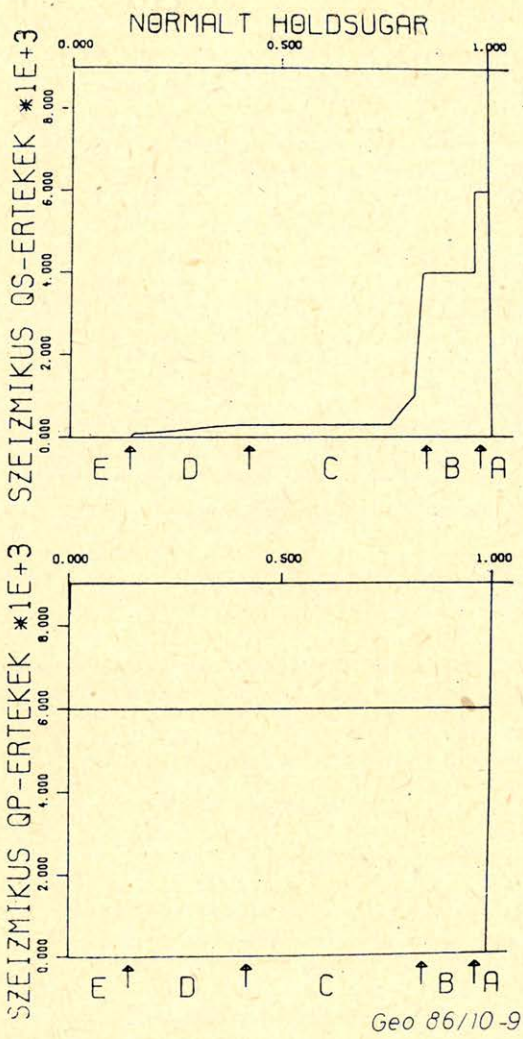
Periodikus folyamatok esetén az E deformációs energia egy periódusidő alatt hővé átalakuló ΔE hányada az általánosan ismert

$$\frac{2\pi}{Q_{s,p}} = \frac{\Delta E}{E} = \frac{1}{E}\oint \dot{E}dt \tag{15}$$

összefüggés alapján számítható, ahol Q_s és Q_p a közeg rugalmatlanságára nyírás, illetve kompresszió során jellemző, ún. jósági tényezők. Évtizedek geofizikai tapasztalata arra utal, hogy a földi kőzetekben Q gyakorlatilag frekvenciafüggetlen, ezért jelen számításban alkalmazhatók a holdszeizmikus mérésekből meghatározott Q_s- és Q_p- mélységprofilok *(9. ábra)*.

Mivel a szoláris árapály effektusok a Holdon a földi hatásnak *1%*-át sem érik el, a (14) összefüggésben szereplő feszültségek számítására elegendő csak a Föld árapálykeltő potenciálját és annak is csak a fő tagját figyelembe venni. *Kaula (1963)* módszerét követve, jelen feladatban az árapálykeltő potenciálnak a dolgozat első részében foglaltaktól alapvetően eltérő analitikus kifejezését alkalmazzuk. Ez utóbbi eljárás, nevezetesen a potenciálnak a Hold pályaelemein keresztül történő kifejezése lehetőséget nyújt a különböző periódusú árapály hullámok egymástól való elkülönítésére és az amplitúdókra vonatkozó nagyságrendi becslések alapján a domináns hullámok kiválasztására. *Kaula (1963)* kimutatta, hogy a Hold szinkron forgásából valamint, a holdpálya kis inklinációjából és excentricitásából adódóan az energiadisszipáció szempontjából számottevő négy különböző árapály hullám periódusa egyaránt egy anomalisztikus hónap (*27,55* nap) és, hogy ezek közül a nagyságrendileg legjelentősebb összetevő felírható mint

$$W_2 = \frac{21}{8}\frac{GM_\oplus}{a}\left(\frac{r}{a}\right)^2 e\cos^2\varphi\cos\left(\dot{M}t + \alpha - 2\lambda\right), \tag{16}$$



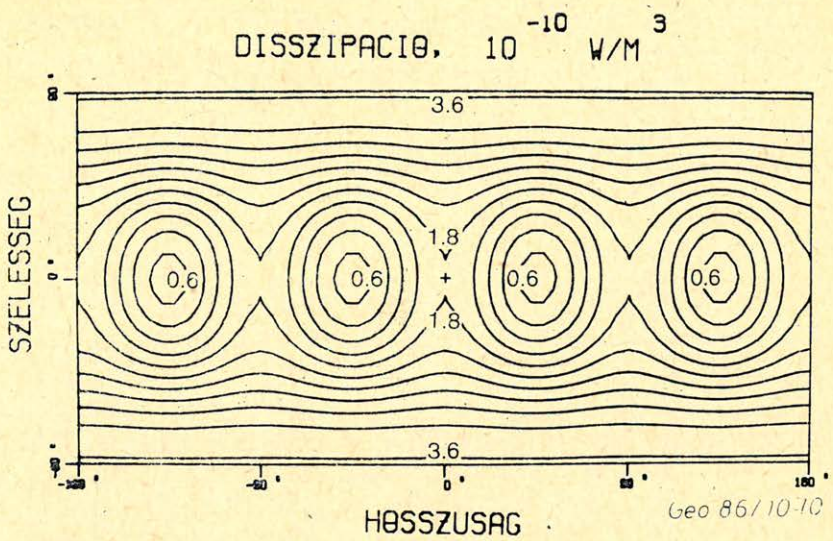
9. ábra. A Q_p, Q_s szeizmikus jósági tényezők (10^3 egységekben) mélységbeli változása az $LM-761$ modellben

Рис. 9. Изменение с глубиной сейсмической добротности Q_p и Q_s (в единицах 10^3) в модели Луны $LM-761$.

Fig. 9. Profiles of the seismic dissipation factors Q_p and Q_s (in 10^3 units) for lunar model $LM-761$

ahol $M_\oplus$ a Föld tömege, a és e a holdpálya félnagytengelye, illetve excentricitása, $\dot{M}$ a Hold közepes keringési szögsebessége, t az idő és $\varkappa$ az adott hullám fázisa.

Mivel a feszültségkomponensek a W_2 potenciálnak, vagy a szögkoordináták szerinti potenciálderiváltaknak lineáris függvényei, a számított deformációs energia egy konstans részből és arra rárakódó, $2\pi/\dot{M}$ periódusú szinuszoidális rezgé-



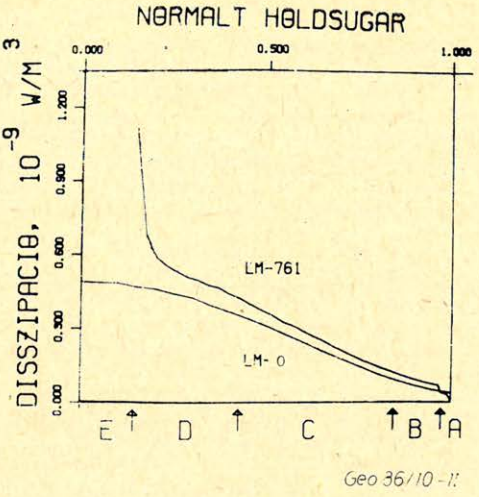
10. ábra. A jelenkori dagálysúrlódásos energiadisszipáció laterális változása a Holdban (*LM – 761* modell) *900* km-es mélységben. Az értékek 10^{-10} W/m³ egységekben adottak, az izovonalak értékköze $0{,}3 \cdot 10^{-10}$ W/m³

Рис. 10. Современное распределение приливной диссипации энергии в Луне на глубине *900* км (модель *ЛМ – 761*). Приливная диссипация дана в единицах 10^{-10} Вт/м³, расстояние между изолиниями – $0.3 \cdot 10^{-10}$ Вт/м³.

Fig. 10. Lateral variation of the present tidal energy dissipation rate in the moon (model *LM—761)* at 900 km depth. Contours are labeled in 10^{-10} W/m³, with $0.3\ 10^{-10}$W/m³, contour intervals,

sekből tevődik össze. A rezgési ciklus szerint átlagértéket képezve, a (15) egyenlet alapján meghatározható a Hold bármely $P(r, \varphi, \lambda)$ pontjában az anomalisztikus hónap és így természetesen az időegység alatti közepes energiadisszipáció nagysága.

A *10. ábra* a *900* km-es mélységre számított jelenlegi energiadisszipáció laterális eloszlását mutatja. A számítás az *LM – 761* modellre vonatkozik, $a = 60{,}27\ R_\oplus$, $e = 0{,}0549$, $i = 0°$, $Q_s = Q_p = 1$ értékek mellett. Látható, hogy a dagálysúrlódással kapcsolatos mechanikai energiaveszteség a Holdban igen kicsi, maximális értéke az adott mélységen mindössze néhányszor $10^{-10}\ W/m^3$. A disszipáció a Hold sarki zónáiban a legnagyobb, az egyenlítőhöz közeledve egyre csökken és az egyenlítő síkjában, a középponttól $45°$ szögtávolságra eső helyeken éri el minimumát. A közepes energiadisszipáció mélységbeli változása ΔE gömbhéjon történő integrálása és az integrált érték 4π-vel való leosztása után határozható meg. A *11. ábrán* a szögkoordináták szerint ily módon átlagolt disszipáció radiális változása látható. Homogén Holdban a disszipáció a középpontban maximális ($\approx 5 \cdot 10^{-10}/Q$ Wm^{-3}), innen távolodva egyre kisebb és a felszínen a középponti érték mintegy *10*-ed részére csökken. Az eredmények szerint tehát a dagálysurlódásos hőtermelés homogén Holdban még $Q_s = Q_P = 1$ esetén is mintegy két nagyságrenddel kisebb a radioaktív fűtés ($\sim 4 \cdot 10^{-8}$ Wm^{-3}) teljesítményénél. Az



11. ábra. A jelenkori energiadisszipáció mélységbeli változása az *LM – 0*, *LM – 761* modellekre vonatkozóan

Рис. 11. Изменение современной энергетической диссипации вдоль радиуса Луны для моделей *LM – 0* и *LM – 761*.

Fig. 11. Radial variation of the present dissipation rate for lunar models *LM – O* and *LM – 761*

LM – 761 modellre számított közepes disszipáció a felső és középső köpenyzónában gyakorlatilag nem különbözik a homogén Holdra vonatkozó megfelelő értékektől. Az alsó köpenyben viszont gyors növekedést mutat és a köpeny-mag határt elérve $(8-12)\cdot 10^{-10}/Q$ Wm^{-3} -re emelkedik; a lokális disszipáció tehát itt közel háromszorosa a homogén modellre adódó értéknek.

A *9. ábra* szerint a szeizmikus Q_s- tényező értéke az alsó köpenytartományban *100 – 300* között változik. Elvileg nem zárható ki annak a lehetősége, hogy az árapály frekvenciasávban a jósági tényező ennél egy nagyságrenddel kisebb legyen *(Lagus and Anderson, 1968)*. A radioaktív hőtermelés mértéke azonban még így is több százszorosa a jelenlegi dagálysúrlódás termikus hatásának.

A Föld-Hold rendszer történeti múltjában azonban, amikor is a Hold valószínűleg sokkal közelebb lehetett a Földhöz mint jelenleg, a holdi dagálysúrlódás termikus szempontból jelentős szerephez juthatott. Feltételezve, hogy az orbitális evolúció valamely stádiumában a holdpálya fél-nagytengelye a mainak fele volt és az egyéb pályaelemek értékei megegyeztek a jelenlegiekkel, fenti számítások eredményei szerint a dagálysúrlódás hőhatása az adott időszakban nagyságrendileg összemérhető a radioaktív hőtermeléssel. Mintegy *20* $R_\oplus$ Föld-Hold távolság esetén pedig a dagálysúrlódás határozottan domináns szerepet is játszhatott a Hold termikus állapotának kialakulásában.

Bodri B., 1984. Equations des Deformations de Marees En un Point Singulier. Marees Terrestres Bull. d'Informations, No. 91: 6023 – 6032.

Gilbert, F. and Dziewonski, A. M., 1975. An Application of normal mode theory to the retrieval of structural parameters and source mechanism from seismic spectra. Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A, 278: 187 – 269.

Harrison, J. C., 1963. An analysis of the lunar tides. J. Geophys. Res., 68: 4269 – 4280.

Kaula, W. M., 1963. Tidal dissipation in the Moon. J. Geophys. Res., 68: 4950 – 4965.

Lagus, P. L. and Anderson, D. L., 1968. Tidal dissipation in the earth and planets. Phys. Earth Planet. Interiors, 1: 505 – 510.

Lammlein, D. R., 1977. Lunar seismicity and tectonics. Phys. Earth Planet. Interiors, 14: 224 – 273.

Melchior, P., 1975. The Tides of the Planet Earth. Pergamon Press, Oxford – New York, 607 pp.

Moutsoulas, M. D., 1971. Librations of the Moon. In: Z. Kopal (Editor), Physics and Astronomy of the Moon. Academic Press, New York and London, pp. 36 – 69.

Nakamura, Y. and Latham, G. V., 1969. Internal constitution of the Moon: Is the lunar interior chemically homogeneous ? J. Geophys. Res., 74: 3771 – 3780.

Nakamura, Y., Latham. G. V., Dorman, H. J. and Duennebier, F. K. 1976. Seismic structure of the Moon: Asummary of current status. Proc. Lunar Sci. Conf. 7th: 3113 – 3121.

Peale, S. J. and Cassen, P., 1978. Contribution of tidal dissipation to lunar thermal history. Icarus, 36: 245 – 269.

Wilhelm, H. and Zürn, W., 1984. Tidal forcing field. In: K. Fusch and H. Soffel (Editors), Landolt – Börnstein New Series, Vol 2/a, Springer Verlag Berlin – Heidelberg – New York, pp. 261 – 279.

Kísérletek archeomágneses mérések alkalmazására égetett agyagobjektumok keltezésében

MÁRTON PÉTER – GÖMÖRI JÁNOS***

Sopronból, illetve Sopron közelében levő lelőhelyekről két római-kori és öt Árpád-kori égett agyagobjektum archeomágneses korának meghatározására tettünk kísérletet. Az eredményeket az 1. táblázat tartalmazza.

В работе сделана попытка определения археомагнитного возраста образцов из обожженной глины, два из которых были римского возраста, а пять-относились к раннему венгерскому средневековью. Объекты были извлечены из раскопок в Шопроне и его окрестностях. Результаты представлены в таблице 1.

Experiments have been carried out for determining the archaeomagnetic ages of several baked clay tructures from Sopron and its environment. The archaeomagnetic dates are in agreement with the archaeological ages as shown in Table 1.

Módszer

Az archeomágneses mérési eredmények regionális mennyiségi növekedése nyomán többen javasolták a módszer alkalmazását régészeti égett vagy égetett tárgyak és építmények datálására. Az egyik utóbbi javaslat, amely Egyiptom és az ősi Babilónia, illetve Elam területére vonatkozik, az archeomágneses kel tezést ott az i.e. *1600 – 1100* időtartamon belül tartja lehetőnek a korabeli agyagtárgyak archeomágneses intenzitásának megmérésével [1]. A módszer fizikai alapja az archeomágneses mérésekkel kimutatott monoton, mintegy *60%*-os helyi földmágneses intenzitásnövekedés az adott időszak folyamán. Nyugat-Európára (Anglia és Franciaország) viszonylag teljes archeomágneses (deklináció és inklináció) irányadatsorok [2], [3] időszámításunk kezdetétől fogva állnak rendelkezésre. Ezek közvetlenül alkalmazhatók keltezési alapadatok gyanánt, helybenmaradt égetett agyagleletek archeomágneses korának meghatározásában. Magyarországhoz legközelebb Ukrajnából és Bulgáriából ismerünk viszonylag hosszú archeomágneses (deklináció, inklináció és intenzitás) adatsorokat [4], [5], amelyek meghatározott időintervallumokon belül szintén felhasználhatók helyi leletek archeomágneses korának megbecslésére.

Nálunk az archeomágneses adatgyűjtés és a keltezési kísérletek párhuzamosan haladnak [6] u.i. a keltezésre használt archeomágneses eredményből alapadat válik, mihelyt kora más módszerrel megállapítást nyer. Jelenleg azonban még nem rendelkezünk elegendő alapadattal, ezért keltezéseink a legközelebbi ukrán, bulgár és francia eredmények segítségével történnek. Kísérleteinkben olyan helybenmaradt objektumokkal foglalkozunk, amelyek utolsó kiégése az elmúlt kétezer évre tehető. Kormeghatározásaink alapját a Budapestre interpolált inklinációsorozat (görbe) képezi. A deklinációk megbízható interpolálására nincs mód, úgyhogy ezek eredetileg mért görbéit közvetlenül használjuk fel.

* ELTE Geofizikai Tanszék, H – 1083 Budapest, Kun Béla tér 2.
** Liszt Ferenc Múzeum, H – 9401 Sopron, Május 1 tér 1.

Az archeomágneses mérésekhez szükséges orientált minták eredeti helyzetét naptájolás [7] és mágneses tájolás – lehetőség szerinti együttes – alkalmazásával rögzítjük. A mágneses mérésekre *JR–4* típusú kőzetmagnetométert használunk. Az ősi mágnesezettség izolálására és azonosítására termikus és váltakozó mágneses terű, lépésenként haladó lemágnesezést végzünk, amelynek eredményeit Zijderveld-diagrammokon [8] és sztereografikus projekción analizáljuk. A vizsgált objektumra vonatkozó archeomágneses irányt a függetlenül orientált mintákra meghatározott (legtöbbször már átlag –) irányok középirányaként definiáljuk. A statisztikai jellemzőket (K: pontossági paraméter, lényegében a szórás reciproka és α_{95}: a középirány konfidenciakörének sugara a 95%-os szinten) Fisher módszerével [9] becsüljük. Az inklinációra vonatkozó konfidenciaintervallum: $dI = \alpha_{95}$, míg ugyanaz a deklinációra: $dD = \frac{\alpha_{95}}{\cos I}$ ahol I a közepes inklináció értéke.

A következőkben az 1985-ben kiásott és mágneses kormeghatározási kísérletekre megmintázott anyag feldolgozásáról számolunk be.

Mintavétel és a mágnesezettség jellege

. Sopron, Vörös-sánc. Régészeti kor: Árpád-kor (XI. század). Három feltárásból *18* mágneses és részben naptájolással orientált mintát vettünk. A feltárások: a Fő tér 8. sz. ház udvarán *(1/a)*, a Templom utca 14-ben *(1/b)*. és a Városház utcai ásatási területen *(1/c)* voltak. A mintaszám egyenletesen oszlik meg a feltárások között.

2. Petőháza, Lésalja-dűlő. Római villa maradványai. A *22* db mágneses és naptájolóval orientált mintából öt-öt az északi kerítésfalba épített kemencealjból *(2/a)*, illetve a villa fűtőcsatornájának végében talált átégett párkányból *(2/b)* került ki. Kovácsműhelyek maradványaiból kilenc, a fűtőcsatorna tégláiból pedig három mintát vettünk. Az utóbbi 12 minta nem rendelkezett konzisztens mágnesezettséggel.

3. Répcevis, Görbe-árok mellett kiásott kohók és ércpörkölő. Régészeti kor: korai középkor. Napsütés híján *32* archeomágneses minta mágneses tájolással került begyűjtésre. A feltárás *1*. számú, vassalak mentes kohójának aljából *(3/a)* nyolc, a 2. számú alján leégett vassalakot tartalmazó kohóból *(3/b) 15* minta származik, amelyből négy oldalfalminta. A *3*. számú kohó és átégett környezete, valamint az ércpörkölő (öt, illetve négy minta) instabil mágnesezettségű mintákat szolgáltattak.

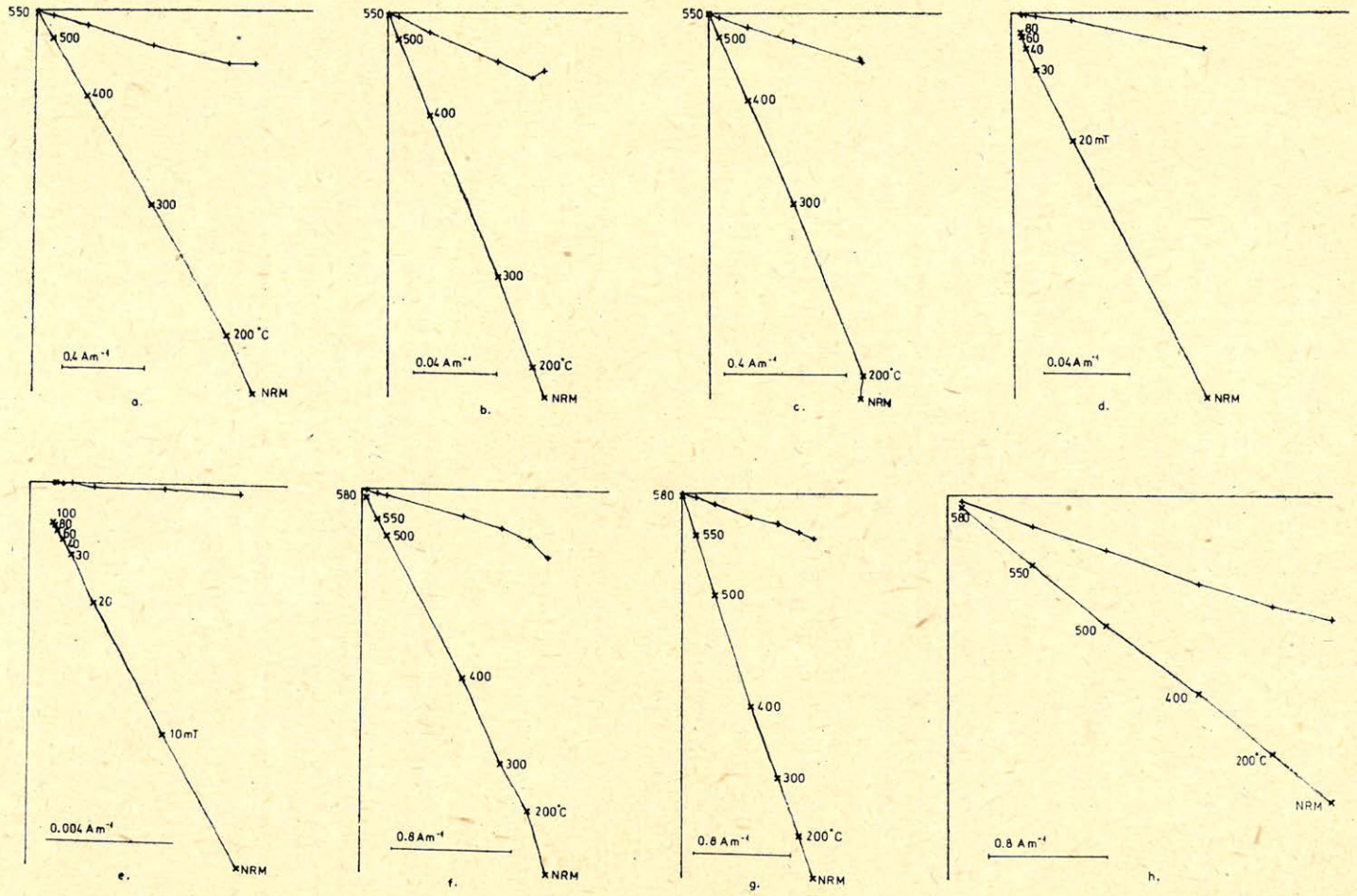
4. Olmód, salakmentes ikerkohó. Régészeti kor: *X–XII*. század. A lelőhely árnyékossága miatt a minták fekvését mágneses tájolással rögzítettük. A nyugati kohó aljából kilenc, a keletiéből négy mintát vettünk.

Az említett inkonzisztens és instabil mágnesezettségű lelőhelyek kivételével (amelyekkel a továbbiakban nem foglalkozunk) a minták megfelelő lemágnesezés után egykomponensű, stabil mágnesezettséget hordoznak. Ezt mintavételi helyenként egy-egy Zijderveld-diagrammal illusztráljuk *(1. ábra)*. A minták mágnesezettségének irányát a részminták optimális lemágnesezés utáni irányainak átlagával definiáljuk. Ezek eloszlását tanulmányozhatjuk lelőhelyenként a *2*.

ábrán sztereografikus vetületeken *(2. ábra)*. Az *1/a*, *1/b*, *1/c* lelőhelyeken *(2/a, b, c ábrák)* a *400* °C és *50* mT utáni együttes irányok szerepelnek. A *2/a* és *2/b* objektumokra a *30* mT utáni irányokat vettük karakterisztikusnak, miután termolemágnesezéssel a viszkozitás beállása miatt nem lehetett elegendően nagy hőmérsékletig elmenni. Ezek az objektumok valószínűleg kis hőmérsékleteken égtek ki utoljára. Megjegyzendő azonban, hogy a *200* °C utáni irányok statisztikusan nem különböznek a *2/d* és *2e ábrákon* láthatóaktól. A *3/a* és *3/b* kemencékre az *500* °C és *40* mT utáni együttes irányokat tartjuk karakterisztikusnak *(2/f* és *2/g ábrák)*. Végül a *4* lelőhely esetén a *400* °C utáni irányokat ábrázoltuk *(2/h ábra)*, amelyek a kiváló termikus stabilitás ellenére sem csoportosulnak kellőképpen. Látható *(2/h ábra)*, hogy a nyugati kohórészben mért inklinációk rendszeresen kisebbek, mint a keletiben. Emellett az előbbiek – még a kiütő két mintától eltekintve is – túlságosan kicsinyek. Ha a keleti kohó három, közel azonos irányt adó mintáinak adataihoz viszonyítunk, akkor fel kell tételeznünk, hogy a nyugati oldal Ny–DNy irányban mintegy *10* fokkal utólagosan megbillent. A feltevés igazolására azonban nincs mód, mert a kohó alja eredetileg sem volt vízszintes. A nyugati kohónál a kiütő két irányt az alj elülső peremének mintái adták. Valószínű, hogy e rész felmágneseződése úgy történt, hogy a közelben nagyobb tömegű vas, vagy vassalak volt és nem zárható ki, hogy ennek tértorzító hatását bizonyos mértékig a többi minta mágnesezettsége is hordozza.

Ily módon általánosságban is feltételezhető, hogy egy-egy égetett agyagobjektum mágnesezettsége nem mindig pontosan egyirányú az ősi, utolsó kiégés idején ható földmágneses tér helyi irányával. Kohók esetében a leégett vagy bennmaradó vassalak, illetve a közvetlen környezetben tárolt vas torzíthatja el a helyi földmágneses teret. Egy másik tényező magának a struktúrának a tértorzító hatása, amely erősen mágnesezett leletekben lehet jelentős és mágneses refrakció néven ismert [10]. Refrakció miatt a mágneseződés a kohófalak, illetve az a kohóalj síkja felé hajlik el a mágnesező tér irányától. Hasonlóan hat a mágneses anizotrópia is, amely a kemence készítésekor jöhet létre a mágnesezhető ásványszemcsék simításra bekövetkező rendeződésével. A felsorolt torzítások a vizsgált objektummal, annak egykori környezetével elválaszthatatlanul adottak és az archeomágneses munka eredményességét döntően meghatározzák. *(1. táblázat.)*

Az előttünk álló anyagban – az ellenőrző szuszceptibilitás mérések szerint – az anizotrópia hatása elhanyagolható, viszont a *3/b* kemence irányainak nagyobb szórását *3/b* irányaihoz képest *(2/g* és *2/f ábrák)* részben a *3/b* alján leégett vassalak okozhatja. *3/b*-ben kismértékű refrakciós torzulások is lehetségesek, u.i. az oldalfalminták átlagos inklinációja néhány fokkal nagyobb, mint az aljból vett mintáké. A részletes mintavételnek köszönhetően *3/b* átlagos mágnesezettségének iránya azonban statisztikusan nem különbözik *3/a* átlagos mágnesezettségének irányától, vagyis ebben az esetben a torzulások mintegy kiátlagolódnak. Refrakcióhatással még a viszonylag nagyintenzitású Vörös-sáncnál *(1/a, b, c)* és az olmódi kohónál számolhatunk, de az olmódi eredmények amúgy sem használhatók, a nagyméretű sáncstruktúrán belül pedig a refrakció becslésére nincs mód. A három sáncközépirány statisztikai azonossága alapján *(2/a, b, c ábrák)* fel fogjuk tételezni, hogy a sáncminták refrakciós mágnesezettség torzulása véletlen jellegű, tehát az eredő hatás elhanyagolható.


550
500
400
300
200°C
NRM
0.4 Am⁻¹
a.
550
500
400
300
200°C
NRM
0.04 Am⁻¹
b.
550
500
400
300
200°C
NRM
0.4 Am⁻¹
c.
80
60
40
30
20 mT
NRM
0.04 Am⁻¹
d.
100
80
60
40
30
20
10 mT
NRM
0.004 Am⁻¹
e.
580
550
500
400
300
200°C
NRM
0.8 Am⁻¹
f.
580
550
500
400
300
200°C
NRM
0.8 Am⁻¹
g.
580
550
500
400
200°C
NRM
0.8 Am⁻¹
h.

Geo -86/11-1

Eredmények és következtetések

Az előző megfontolások alapján hét objektum, illetve mintavételi hely mágnesezettségét tartjuk az egykori, utolsó kiégés idején ható földmágneses térre jellemzőnek. Az 1. táblázatban a karakterisztikus mágnesezettséget a függetlenül orientált hasznos minták (N) mágnesezettségi irányainak átlagértékeivel adjuk meg (D, I) a 95%-os konfidenciahatárok feltüntetésével. A hasznos minták száma azonos a vett minták számával kivéve az *1/a* és *1/c* lelőhelyeket, ahol egy-egy valószínűleg diszlokált minta adatait el kellett hagyni. N_m az összes mért alminta mennyisége a lelőhelyen, K a pontossági paraméter. A K utáni oszlopban a középirány definiálására felhasznált lemágnesező hőmérsékletet, illetve váltakozó mágneses téramplitúdót szerepeltetjük. Az utolsó oszlopban álló kódszám az ELTE Geofizikai Tanszékén végzett archeomágneses-meghatározás sorszáma, amellyel a továbbiakban az eredményre hivatkozás történik.

---

1. ábra: Ortogonális lemágnesezési diagramok [8]. A vízszintes tengely az É-i, a függőleges tengely a K-i, illetve a vertikálisan lefelé mutató irányt jelöli ki. Álló kereszttel a mágnesezettség vízszintes komponensét, ferde kereszttel a K – Ny-i függőleges síkba eső komponenst ábrázoltuk. A mágnesezettséget Am^{-1} egységekben ábrázoltuk. A léptéket jelző vonal mindkét tengelyre érvényes. NRM a kezdeti mágnesezettséget jelenti, míg a ferde keresztek mellé írt számok a lemágnesezési hőmérsékletet (°C), illetve váltakozó tér amplitúdóját (mT) indikálják. Az *a – h ábrák* egy-egy mintavételi helynek felelnek meg a következőképpen (l. Mintavétel és a mágnesezettség jellege című részt):

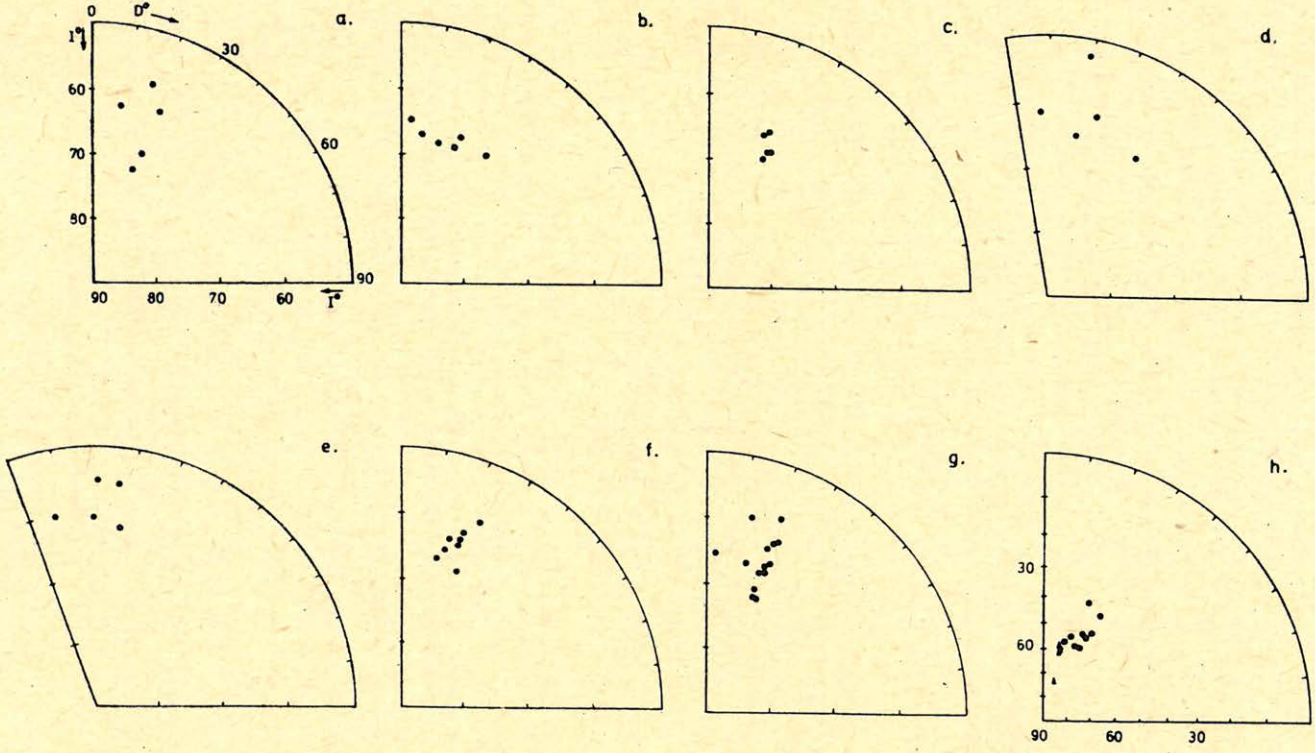
a) *1/a*, b) *1/b*, c) *1/c*,
d) *2/a*, e) *2/b*,
f) *3/a*, g) *3/b*,
h) *4*.

Рис. 1. Диаграммы ортогонального размагничивания, 8'. Горизонтальная ось определяет северное направление, а вертикальная – восточное и направленное вертикально вниз. Вертикальным крестиком обозначена горизонтальная компонента намагниченности, косым крестиком обозначалась компонента в вертикальной плоскости восток-запад. Намагниченность указана в единицах $A\ м^{-1}$. Масштабная линия относится к обеим осям. NRM обозначает начальную намагниченность, а цифры, стоящие около косых крестиков, указывают температуру размагничивания (°C) и амплитлуду переменного поля (мТ). Рисунки от a-h соответствуют отдельным местам отбора образцов в следующем порядке (См. параграф «Отбор образцов и характер намагниченности»):

a) 1/a, *b)* 1/*b*, *c:* 1/c.
d) 2/a, *e)* 2/*b*,
f) 3/a, *g)* 3/*b*.
h) 4.

Fig. 1. Orthogonal demagnetization diagrams [8]. North is horizontal and to the right. East and the vertical are downward. The projections of the end points of magnetization are shown by upright and slouting crosses for the horizontal and the east-west vertical planes respectively. Parts *a – h* correspond to the following sampling localities (cf. text):

a) *1/a*,b) *1/b*, c) *1/c*
d) *2/a*, e) *2/b*
f) *3/a*, g) *3/b*,
h) 4



Geo-86111-2

A *3. ábrán*, a *Módszer* cím alatt leírt keltezési görbéken elhelyeztük a 1. táblázatban szereplő adatokat. Az archeomágneses kor határait az inklináció lehetséges értékeit jellemző konfidenciasáv és az inklinációgörbe metszéspontjainak kora szolgáltatja. A deklinációt ezen korhatárok között a konfidenciaintervallumnak megfelelő sávval tüntettük fel és az inklinációkor ellenőrzésére használjuk. Az így meghatározott archeomágneses korokat az 1. táblázat utolsó oszlopa tartalmazza.

A Vörös-sánccal kapcsolatban megjegyezzük, hogy ha a három lelőhely kiégése egyidőben történt meg, akkor a sánc kora az *1/c*-ével lényegében azonos *960 – 1170 A.D.* intervallumra tehető.

Petőházán a *2/a* objektum esetén kissé zavaró, hogyha a lehetséges inklinációkort a deklináció csupán marginálisan támasztja alá.

Répcevisen, a telep korának becslésére a vassalakmentes *3/a* kemencére meghatározott *1090 – 1195 A.D.* intervallumot javasoljuk.

Végül reméljük, hogy az archeomágneses keltezési kísérleteink tárgyát képező leletek korát a közeljövőben más módszerrel is meghatározzuk, ami a hazai archeomágneses eredményeket hét újabb alapadattal fogja gyarapítani.

Köszönetnyilvánítás

A fenti munka elkészülését a Művelődési Minisztérium anyagi támogatása (*P – 271/84* Pályázat) tette lehetővé.

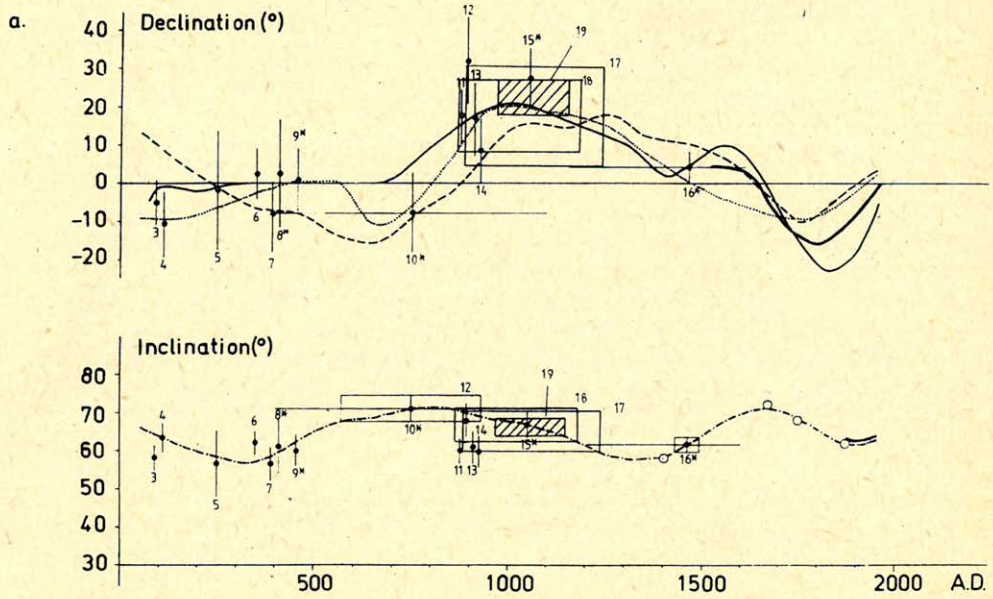
A leletek előzetes geofizikai felkutatásáért *Verő Józsefnek (MTA GGKI, Sopron)* mondunk köszönetet. Az ásatásokat a *Liszt Ferenc Múzeum, Sopron*, az archeomágneses vizsgálatokat az *ELTE Geofizikai Tanszéke* végezte *1985*-ben.

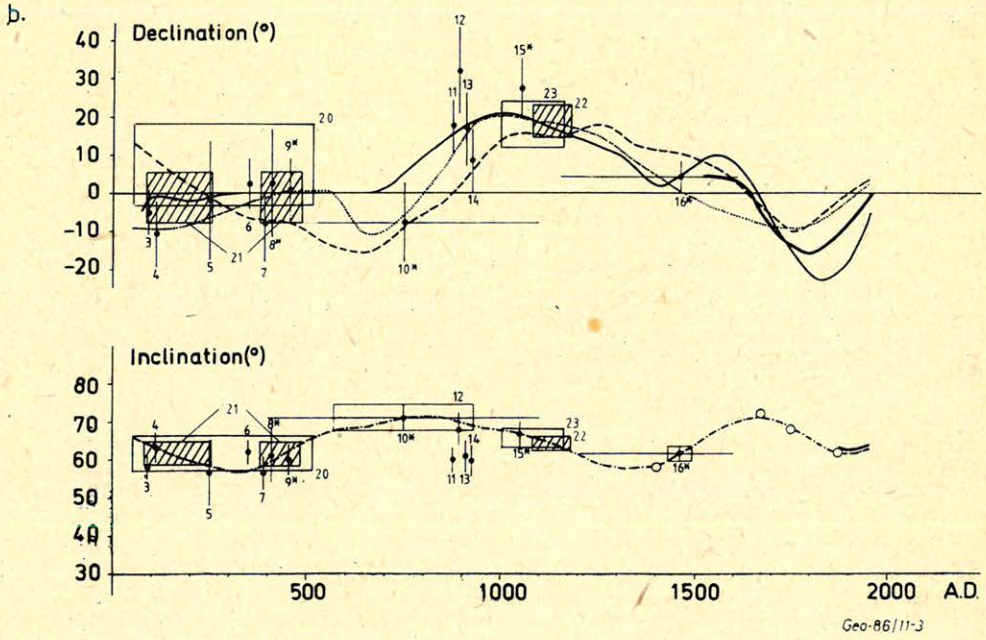
---

2. ábra: A karakterisztikusnak ítélt mágnesezettség irányának eloszlása mintánként, illetve mintavételi helyenként (*a – h*, mint az *1. ábrán*) sztereografikus vetületen. A deklináció (D) és inklináció (I) skálákat az *a ábrán* tüntettük fel. A *h ábra* inklináció skálája különböző. Ugyanitt a pontok az olmódi ikerkohó Ny-i; a telt háromszögek a K-i részére vonatkozó irányokat jelölik.

Рис. 2. Расределение направления намагниченности, оцененной характеристической, по образцам и местам отбора образцов (a – h), так же, как на рис. 1) в стереографической проекции. Масштабы склонения (D) и наклонения (I) указаны на рис. *a*. Масштаб наклонения на рис. h другой. На том же рисунке точки указывают направления, соответствующие западной части двойной доменной печи в Олмод, а закрашенные треугольники- направление на ее восточную часть.

Fig. 2. Distributions of the directions of the characteristic magnetization for the sampling localities 1 – 4 (cf. *Fig. 1* and Table I). Stereographic projections. The scales for the declination (D) and inclination (I) are shown in a, but note the difference in the inclination scale in h. In this subfigure the dots and full triangles correspond to the directions of magnetization from the west, respectively east parts of the twin furnace at Olmód.


a.
Declination (°)
40
30
20
10
0
-10
-20
Inclination(°)
80
70
60
50
40
30
500
1000
1500
2000
A.D.


b.
Declination (°)
40
30
20
10
0
-10
-20
Inclination(°)
80
70
60
50
40
30
500
1000
1500
2000
A.D.

Geo-86/11-3

3. ábra: Az archeomágneses kormeghatározás jelenleg a Párizsra [3] (vékony folytonos vonal), Kievre [4] (szaggatott vonal) és Szófiára [5] (pontozott vonal) vonatkozó deklinációmenetek görbéin, illetve az inklinációmenetek Budapestre interpolált görbéjén (eredményvonal) alapszik. (A vastag folytonos vonalak közvetlen magyarországi meghatározások eredményeit kötik össze). A 2 – 16 sorszámokkal ellátott eredmények és a számnélküli négy inklinációadat korábbi meghatározások [6].

a) A soproni Vörös-sánc feltárásainak (*1/a* = 17, *1/b* = 18, *1/c* = 19) archeomágneses korai:

17: i.u. 880 – 1240
18: i.u. 860 – 1180
19: i.u. 960 – 1150

b) A petőházai feltárások (*2/a* = 20, *2/b* = 21) és a répcevisi kohók (*3/a* = 22, *3/b* = 23) archeomágneses korai:

20: i.u. 80 – 260 vagy 380 – 520
21: i.u. 50 – 490
22: i.u. 1080 – 1190
23: i.u. 1000 – 1170

Рис. 3. Определение археомагнитного возраста в настоящее время основывается на кривых хода склонений, соответствующих Парижу ‚3' (тонкая сплошная линия), Киеву, 4' (штриховая линия) и Софии [5] (пунктирная линия), а также на кривых хода наклонений, интерполированных на Будапешт (результирующая линия). Сплошные толстые линии соединяют результаты непосредственных ренгерских определений. Результаты под номерами 2 – 16 и четыре незанумерованные наклонения являются более ранними определениями [6].

а) Археомагнитные возрасты раскопок (1/a = 17, 1/b = 18,1/c = 19) в шопронском расном ш анше:

17 : н. э. 880 – 1240
18 : н. э. 860 – 1180
19 : н. э. 960 – 1150

б) Археомагнитные возрасты раскопок (2/a = 20, 2/b = 21) в Петэхазе и доменных печей (3/a = 22, 3/b = 23) в Рецевиш

20 : н. э. 80 – 260 или 380 – 520
21 : н. э. 50 – 490
22 : н. э. 1080 – 1190
23 : н. э. 100 – 1170

Fig. 3. The present archaeomagnetic dating is based on the archaeomagnetic declination curves for Paris [3] (thin continuous line), Kiev [4] (dashed line) and Sofia [5] (dotted line), respectively the inclination curve for Budapest (dash-dot line) obtained by linear interpolation from the archaeomagnetic inclination curves for the above three localities [3], [4], [5]. (The thick continuous lines correspond to direct determinations for Hungary). Results marked by numbers 2 – 16 and the fou inclination data (circles) are earlier determinations [6].

a) Archaeomagnetic ages for the Sopron Red Dyke localities are as follows (cf. Table I):

17: A.D. 880 – 1240,
18: A.D. 860 – 1180,
19: A.D. 960 – 1150.

b) Same for the Petőháza localities and the Répcevis furnaces, respectively (cf. Table 1).

20: A.D. 80 – 260 or A.D. 380 – 520
21: A.D. 50 – 490
and
22: A.D. 1080 – 1190,
23: A.D. 1000 – 1170.

1. táblázat

Mintavételi hely	Régészeti kor	Archeomágneses adatok				Archeomágneses kor (i. u.)	Mágneses tisztítás termo A. F.		Kódszám
		N/N_m	D°	I°	K		(°C)	(mT)	
1. Sopron, Vörös-sánc	Árpád-kor								
($\varphi = 47.7°$, $\lambda = 16.6°$)									
a) Fő tér 8.		5/10	17.2 ± 13.0	64.4 ± 5.6	184	880 – 1240	400 + 50		17
b) Templom u. 14.		6/12	17,7 ± 9.6	66.7 ± 3.8	308	860 – 1180	400 + 50		18
c) Városház u.-i ásatás 3. sz. bástya közelében		5/10	22,3 ± 4.7	66.0 ± 1.9	1642	960 – 1150	400 + 50		19
2. Petőháza, Római-villa	Római kor								
($\varphi = 47.6°$, $\lambda = 16.9°$)									
a) tűzhely		5/15	6.8 ± 10.0	62.1 ± 4.7	270	380 – 520 80 – 260	(200)	30	20
b) átégett föld		5/10	– 1.5 ± 6.7	61.3 ± 3.2	586	50 – 490	(200)	30	21
3. Répcevis, kohók	Árpád-kor								
($\varphi = 47.4°$, $\lambda = 16.7°$)									
a) 1. sz. kohó		8/28	18.8 ± 4.4	63.2 ± 2.0	739	1080 – 1190	500 + 40		22
b) 2. sz. kohó		15/52	17.5 ± 6.2	64.7 ± 2.4	251	1000 – 1170	500 + 40		23

1. táblázat Table 1. *Таблица 1.*

Archeomágneses mérési eredmények (D°, I° konfidenciaintervallumokkal és pontossági paraméterekkel, K, [9]). Az első oszlop a mintavételi hely (objektum) leírását, a második a régészeti korát tartalmazza. N a függetlenül orientált hasznos minták, N_m a mért minták száma. A K utáni oszlopban az archeomágneses korok állnak (i.*u.*). A következő oszlop az optimális mágneses tisztítás paramétereit (°C, ill. mT) adja. Az utolsó oszlop az ELTE Geofizikai Tanszékén végzett archeomágneses meghatározás kódszáma, amellyel az eredmény a *3. ábrán* szerepel.

Результаты археомагнитных измерений *(D°, I°)* вместё с доверительными интервалами и параметром толности (K) [9]. Первая колонка указывает место отбора образцов, вторая-археологический возраст. N – число независимо ориентированных полезных образцов, N_m – число измеренных образцов. В колонке, следующей за K, указаны археома;гнитные возраста (н. э.). В следующей колонке даны значения параметров оптимальной магнитной чистки *(°C и мТ)*. В последней колонке указаны коды археомагнитного определения, проведенного на кафедре геофизики Будапештского Ун-та, которыми обозначены результаты на *Рис. 3.*

Archaeomagnetic declination (D) and inclination (I) values with *95%* confidence limits, and precision parameters (K) [9]. The first and second columns contain the description of the sampling locality (structure) and the archaeological age, respectively. N is the number of independently orientated useful samples. N_m is the number of the measured specimens. The archaeomagneticaly determined ages are enumerated in the column next to the one for K. In the following column the parameters (in °C, resp. mT) of the optimum cleaning are given. The last column shows the serial number of the result obtained in the Geophysics Department of the Eötvös University, Budapest (cf. *Fig. 3*).

IRODALOM

[1] *Aitken, M. J., Allsop, A. L., Bussel, G. D.* and *Winter, M. B. (1984)*. Geomagnetic intensity in Egypt and western Asia during the second millenium BC. Nature 310. 305 – 306.

[2] *Aitken, M. J. (1974)*. Physics and Archaeology. Clarendon Press, Oxford.

[3] *Thellier, E. (1981)*. Sur la direction du champ magnetique terrestre, en France, durant les deux derniers millenaires. Phys. Earth planet, Int., 24, 89 – 132.

[4] *Zagnii, G. P.* and *Rusakov, O. M. (1982)*. Archaeosecular Variations of the Geomagnetic Field in the Southwest of the Soviet Union (in Russian), Naukova Dumka, Kiev.

[5] *Kovacheva, M. (1983)*. Archaeomagnetic data from Bulgaria and south eastern Yugoslavia, in Geomagnetism of Baked Clays and recent Sediments, pp. 106 – 111. eds. Creer, K. M., Tucholka, P. and Barton, C. E., Elsevier, Amsterdam.

[6] *Márton, P. (1986)*. Archaeomagnetic directional results from Hungary. Geophys. J. R. astr. Soc. (megjelenőben).

[7] *Márton, P. (1983)*. A naptájoló. Iparrégészeti tájékoztató (MTA VAB). II. 8 – 9.

[8] Zijdeveld, J.A.D., (1967). A. C. demagnetization of rocks. Analysis of results. in: Methods in Palaeomagnetism, pp. 254 – 286. eds. Collinson, D.W., Creer, K. M. and Runcorn, S.K. Elsevier, Amsterdam.

[9] *Fisher, R. A.* (1953). Dispersion on a sphere, Proc. R. Soc. A. 217, 295 – 305. Folgheraiter, G., 1899. Sur les variations seculaire de l'inclinaison magnetique dans l'antiquité, Arch. Sci. phys. Nat., 8, 5 – 16.

[10] *Aitken, M. J.* and *Hawley, H. N. (1971)*. Archaeomagnetism: evidence for magnetic refraction in kiln structures, Archaeometry, 13, 83 – 85.

Dr. h. c. mult. dr. Tárczy-Hornoch Antal (1900-1986)

Amikor munkatársai, tanítványai és tisztelői a múlt év októberében egy rövid konferencia keretében ünnepelték Tárczy-Hornoch Antal akadémikust 85. születésnapján, még nem sejtették, hogy három hónappal később, 1986. január 16-án eltávozik az élők sorából.

1900 október 13-án született a beregmegyei Oroszvégen. Gimnáziumi tanulmányait Munkácson végezte, ahol 1918-ban érettségizett. 1919-ben iratkozott be a leobeni Bányászati Főiskolára, ahol 1923-ban bányamérnöki, majd 1924-ben bányamérőmérnöki oklevelet szerzett. Még ugyanebben az évben elnyerte a doktori fokozatot és a következő évben, 1925-ben benyújtotta magántanári értekezését is „A vetőprobléma a bányamérő nézőpontjából" címmel. 1926-ban meghívták a soproni Bánya- és Erdőmérnöki Főiskola Geodézia és Bányaméréstani Tanszék tanárának.

Ettől kezdve 1959-ig állt a Tanszék élén és fejtette ki oktatói tevékenységét. Színes és logikus felépítésű előadásait régi tanítványai sokszor és szívesen idézik fel. Azt, hogy előadásaival mennyire követte a tudomány fejlődését bizonyítja, hogy a geofizikának, mint új mérési tudományágnak már a harmincas évek elején egyre tágabb teret szentelt, majd a harmincas évek végétől önálló tárgyként oktatta azt – Magyarországon először.

Az oktatással együtt kutatómunkájával is már korán hírnevet szerzett magának. Kezdeményezője és szerkesztője volt a „Bánya-, Kohó- és Erdőmérnöki Kar Közleményei" idegen nyelvű kiadványának, amelyben számos tanulmánya jelent meg. Ezen a kiadványon keresztül, folyóiratcsere révén ismerkedett meg és

került kapcsolatba a nemzetközi tudományos élet számos intézménye, így pl. még a 30-as években, több szovjet egyetem is a Soproni Egyetemmel, ill. annak tanáraival.

Tárczy-Hornoch professzor oktatói és kutatói tevékenysége igazán a felszabadulást követő években bontakozott ki. 1946-ban az Akadémia levelező, majd rendes tagjául választotta. 1948-ban a Kossuth díj arany fokozatával tüntették ki.

1949-ben az ő kezdeményezésére indult meg Sopronban a földmérőmérnök képzés, 1951-ben pedig a geofizikusmérnök képzés. Ugyanebben az időszakban fáradozott azon is, hogy a Soproni Egyetem keretében a geodézia és a geofizika művelésére kutatóbázist hozzon létre. Ebből fejlődött ki és vált önálló intézménnyé az MTA Geodéziai Kutató Laboratóriuma 1955-ben. Előbbit alapításától, utóbbit 1957-től vezette. Az Egyetemnek és így tanszékének is 1959-es Miskolcra való költözése után kizárólag a kutató munkának szentelte életét. 1972-ig, nyugalomba vonulásáig igazgatója volt a Laboratóriumoknak, majd az azok egyesítése révén létrejött MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézetnek.

Kutatói tevékenységének eredményeit, amely a geodézia és bányamérés mellett a geofizika és a tudománytörténet számos problémáját is felöleli, több könyv és több mint 300 tanulmány őrzi meg.

A hazai és nemzetközi tudományos életben kivívott elismerést jelzik kitüntetései. A Kossuth díj mellett az Állami díj I. fokozatával, a Munkaérdemrend arany fokozatával és a Szocialista Magyarországért érdemrenddel, továbbá a bolgár Cyrill és Method érdemrenddel tüntették ki. Tagja volt a Világakadémiának és tiszteleti tagja volt a francia, az osztrák, a bolgár és a lengyel tudományos akadémiáknak. Tiszteletbeli doktorrá avatták a freibergi, leobeni, grazi, bécsi, miskolci és soproni egyetemeken.

Jelentős tevékenységet fejtett ki a Magyar Geofizikusok Egyesületében is, amelynek haláláig társelnöke volt. Nevéhez fűződik a Soproni Csoport megszervezése, amelynek 1957 – 1985-ig elnöke volt. Az Egyesület Eötvös-emlékéremmel ismerte el kiemelkedő munkásságát.

Tudományos aktivitását még nyugalomba vonulása után is hosszú ideig megőrizte, az Intézetbe rendszeresen bejárt és minden újdonság érdekelte.

1986. január 24-én hagyományos bányásztemetéssel helyezték örök nyugalomba a soproni Szt. Mihály temetőben.

Emlékét és tanítását megőrizzük!

Wallner Ákos

Egyesületi hírek

Geofizikus Ifjúsági Napok, 1986. IV. 10–11.

Egyesületünk április 10–11-én rendezte meg az immár hagyományosnak tekinthető Geofizikus Ifjúsági Napokat, amelynek ezúttal a Minisztertanács balatonszemesi üdülője adott helyet.

A rendezvényt Molnár Károly, az MGE elnöke nyitotta meg. Megnyitójában köszöntötte az előadókat, a hallgatóságot, ismertette a két nap programját, majd kifejtette az ankét azon célját, miszerint az egyesület vezetősége és tagjai is szükségét érzik annak, hogy az ifjú geofizikusok ne csak szigorúan vett szakmai jellegű, hanem olyan gazdasági – társadalmi kérdésekről szóló előadásokat is hallhassanak, amelyek szorosan kapcsolódnak a mai magyar geofizikustársadalom helyzetéhez, problémáihoz és feladataihoz. Ezután dr. Jéki László, a MTESZ főtitkárhelyettese tartotta meg előadását, a MTESZ munkájának újabb vonásairól és törekvéseiről. Igen érdekes volt hallanunk a MTESZ ifjúsági fórumának állásfoglalását, amely a fiatal szakemberek helyzetének javítását célozza, ámbár a vita során a kitűzött célok megvalósíthatóságát többen is megkérdőjelezték.

A nap második előadásaként dr. Ferenczy László beszámolóját kísérhettük figyelemmel, amely az MGE ifjúsági bizottságának az 1981–85-ös időszakban végzett munkáját elemezte. Maga a beszámoló és a későbbi hozzászólások is igen jónak értékelték a bizottság tevékenységét, amelyet az évenkénti nagyrendezvények (Ifjú Szakemberek Ankétja és az Ifjúsági Napok) sikere, és az azokon résztvevő ifjú geofizikusok nagy száma is bizonyított. Nagy feladat előtt áll az új ifjúsági bizottság, ha méltóképpen folytatni kívánja az eddigi tevékenységet.

Az első napot Molnár Gábor (szolnoki KV) diavetítéses élménybeszámolója zárta, amelyen a nemrégiben tett amerikai tanulmányútja során szerzett élményeiről és tapasztalatairól mesélt.

Az ankét második napját Deres János, az MGE főtitkára nyitotta meg. Az első előadást Verbőci József, egyesületünk Mecseki Csoportjának elnöke tartotta. Előadásában a Mecseki Szénbányák Vállalatánál tervezett új belső vállalkozási mechanizmusáról szólt. Az új, nem felülről, hierarchikusan, hanem alulról szervezett munka- és vállalkozási rendszer tervét nagy érdeklődéssel figyelte a hallgatóság, majd később nagy vita alakult ki a szisztéma értékeiről, jó és rossz oldalairól.

Ezután az OKGT két munkatársa, dr. Szerecz Ferenc és Pályi András tartotta meg előadását, amelynek témája a világbanki kölcsön felhasználása a hazai szénhidrogénkutatás elősegítésére volt. Az adatokkal kutatási területenként bőségesen ellátott, magas színvonalú előadáson szinte naprakész információkat szerezhettünk, hogyan is áll jelenleg ez a szakmai köröket is élénken foglalkoztató projekt. A minket, geofizikusokat talán legjobban érdeklő és érintő, a geofizikai kutatásokkal foglalkozó előadásrészből megtudhattuk, hogy a világbanki feladatok geofizikai mérési része eddig időarányosan el is készült, s remélhetőleg ez a továbbiakban is így lesz.

Az ifjúsági ankét utolsó előadójaként dr. Dank Viktor, a KFH elnöke lépett a mikrofon elé. Színes, élvezetes és gazdasági adatokkal, valamint kutatási tervtérképpel nagyszerűen illusztrált előadásában előbb értékelte a magyar földtani kutatás VI. ötéves tervi eredményeit, majd ismertette a VII. ötéves tervi koncepcióit. Magas színvonalú előadásából nyilvánvalóvá váltak az előttünk álló feladatok szakmai és gazda-

Hobot