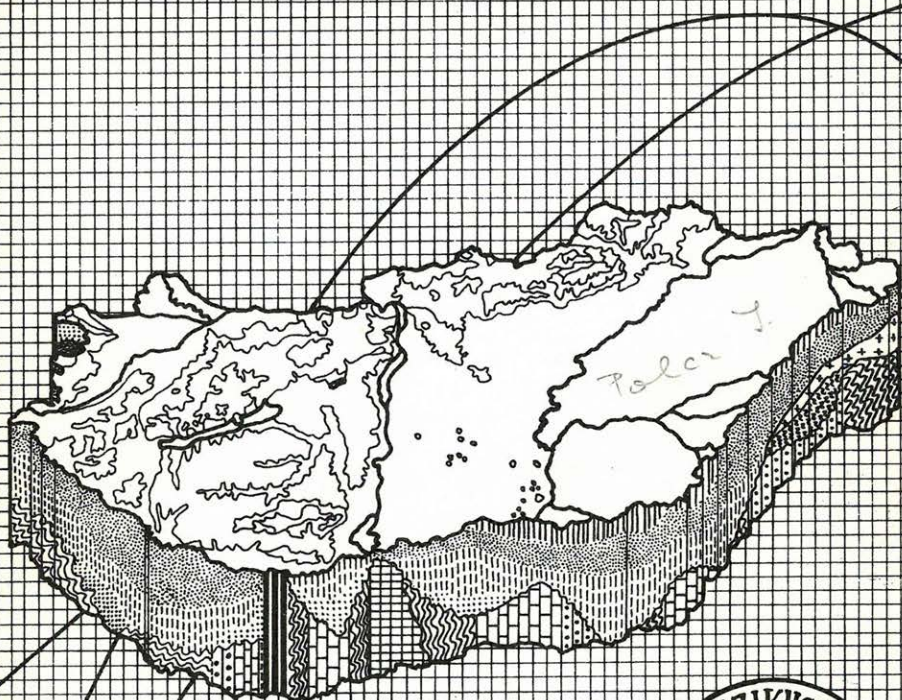


MAGYAR Polar 1 GEOFIZIKA



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA
BUDAPEST, 1989. XXX. ÉVFOLYAM, 1. SZÁM

TARTALOMJEGYZÉK

<i>Steiner Tibor</i> : Numerikus elektromágneses modellezés lineáris egyenletrendszereinek megoldása	1
<i>Steiner Tibor</i> : Kétdimenziós elektromágneses modellezési eredmények IBM – PC-n	9
<i>Erdélyi Árpád – Farkas Csilla</i> : Új eredmények Madaras, Bácsalmás és Kunbaja körzetének mélykutatásához	18
<i>Márton Péter</i> : Néhány újabb archeomágneses adat a szekuláris variáció görbéihez	26
Egyesületi hírek	37
Könyvismertetés	39

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Штейнер Т.</i> : Решение линейной системы уравнений численного электромагнитного моделирования	1
<i>Штейнер Т.</i> : Результаты двумерного электромагнитного моделирования на профессиональном компьютере IBM – PC	9
<i>Эрдеи А., Фаркаш Ч.</i> : Новые результаты глубокой разведки в районе Мадараша, Бачалмаша и Кунбани	18
<i>Мартон П.</i> : Несколько новых археомангнитных данных к кривой вековых вариаций	26

CONTENTS

<i>Steiner T.</i> : Solution of the linear equation systems of electromagnetic modelling	1
<i>Steiner T.</i> : Results of two dimensional electromagnetic modelling on IBM – PC	9
<i>Erdélyi Á. – Farkas Cs.</i> : New result from deep geophysical exploration in the area of Madaras Bácsalmás and Kunbaja	18
<i>Márton P.</i> : New reference data for archaeomagnetic dating in Hungary	26

Főszerkesztő: Zseli András

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

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

MAGYAR GEOFIZIKA

A szerkesztésért felelős: **ZELEI ANDRÁS**

A szerkesztőség címe: 1061 Budapest, Anker köz 1. Telefon: 429-754

Kiadja: Delta Szaklapkiadó és Műszaki Szolgáltató Leányvállalat 1093 Budapest

Központ u. 4. Telefon: 175-200

Felelős kiadó **BUDAI FERENC** főigazgató

Terjesztése egyesületi, illetve a Magyar Posta útján.

Előfizethető bármely hírlapkézbesítő postahivatalnál, a hírlapkézbesítőknél, a Posta hírlapüzleteiben és a Hírlapelőfizetési és Lapellátási irodánál (HELIR) Budapest XIII., Lehel u. 10/A – 1900 – közvetlenül vagy átutalással a HELIR 215 – 96162 pénzforgalmi jelzőszámra.

Egy szám ára 32,50 Ft. Előfizetés fél évre 97,50 Ft, egy évre 195 Ft.

Külföldön terjeszti a Kultúra Könyv- és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat 1389 Budapest Pf. 149 és a Magyar Média 1392 Budapest, Pf. 279. 86 – 253

88.1741., Állami Nyomda, Budapest – Felelős vezető: Mihalek Sándor igazgató

Egyesületi tagoknak tagdíj ellenében

Megjelenik évente hatszor

Index: 26507

Numerikus elektromágneses modellezés lineáris egyenletrendszerének megoldása

STEINER TIBOR*

A dolgozat numerikus elektromágneses modellezési feladatokkal kapcsolatos lineáris egyenletrendszerek megoldási módszereivel foglalkozik. Elemzi az egyes eljárásokat, azok előnyeit különböző situációkban.

В статье описывается метод решения линейной системы уравнений, связанной с задачами численного электромагнитного моделирования. Характеризуются отдельные способы и их преимущества в различных ситуациях.

The paper deals with the solution methods of linear equations systems related to numerical electromagnetic modelling studies. Various methods are discussed their advantages in various situations.

I. Bevezetés

Az elektromágneses (EM) terepi adatok értelmezése a mért és az elméletileg számolt értékek összehasonlításával történik. A szükséges elméleti mennyiségek kiszámítása lehet egyszerű (mint például egy-dimenziós geoelektromos szerkezetek fölött) vagy nagyon bonyolult (mint a három-dimenziós szerkezetek többségénél).

A $2D$ és $3D$ szerkezetek numerikus modellezése vagy a differenciálegyenletek (DE) vagy az integrálegyenletek (IE) módszerével történik. Mindkét módszer lineáris egyenletrendszer megoldásához vezet. A DE módszer nagy, ritka szalagmátrixokat állít elő, mivel az ismeretlen térértékeket egy az egész síkot ($2D$), ill. teret ($3D$) lefedő háló minden egyes csomópontjára meg kell határozni. Az IE módszernél az ismeretlen térértékekre vonatkozó lineáris egyenletrendszert csak az inhomogenitást tartalmazó tartományra kell felállítani. Így az IE módszer mátrixai nem ritkák, de kis méretűek, ezáltal a számítógép memóriaigénye is kisebb mint a DE módszereknél.

Bonyolult geológiai szerkezetek modellezése a DE módszerrel célszerű. A véges differenciák módszere (FD) volt az első, amelyet numerikus MT modellezésre használtak. A módszer népszerűségéről tanúskodik számos szerző írása: *Brewitt-Taylor és Weaver (1976)*, *Praus (1976)*, *Tátrallyay (1977)*, *Jones és Vozoff (1978)*, *Zdanov et al. (1982)*.

A másik DE lehetőség a véges elemek (FE) módszere. A módszert az 50-es és 60-as években mérnökök alkalmazták először több műszaki területen a differenciálegyenletek megoldására (elaszticitási egyenletek stb., *Bank, 1981*). A módszert a 60-as években általánosították úgy, hogy alkalmas lett általánosságban differenciálegyenletek numerikus megoldására.

EM problémák megoldására az FE módszert *Coggon (1971)* alkalmazta először. Ezt követően számos tanulmány jelent meg az FE módszerről (pl. *Silverster és Haslam 1972*, *Kaikkonen 1977*, *Wannamaker et al. 1986*). A módszer használata egyre jobban terjed mind EM feladatok, mind egyéb nem geofizikai problémák megoldására.

* MTA GGKI, Sopron.

Egy *EM FE* módszer leírása az alábbi részekből áll:

- a fizikai háttér ismertetése
 - megoldandó egyenletek
 - határfeltételek
- a szoftver leírása
 - hálókészítés
 - a lineáris egyenletrendszer felállításának leírása
 - az eredmények bemutatása

Az *EM FE* modellezési módszerekkel foglalkozó tanulmányok a fizikai háttér ismertetésével foglalkoznak behatóan és kevésbé részletesen a szoftver leírásával, még akkor is ha több *FE* szoftver forráskódja hozzáférhető a kutatók számára. Ezen belül is különösen kevés figyelmet szentelnek a felállított lineáris egyenletrendszer megoldására, holott a szoftver futási idejének 80%-át (kis háló esetén) vagy akár 98%-át (közepes méretű háló esetén) ez a lépés emészti fel. Ugyanakkor egy *EM* indukciós probléma megoldása nemcsak a választott módszertől függ (*IE*, *FD*, *FE* stb.) hanem legalább ilyen mértékben a választott egyenletmegoldási módszertől.

Az alábbiakban összefoglaljuk, milyen módszerek lehetségesek egy differenciálegyenlet *FE* módszerrel történő kiszámításánál előálló lineáris egyenletrendszer megoldására. A módszerek általános jellegűek, azaz nem korlátozódnak az *EM*-modellezésnél előálló lineáris egyenletrendszerek megoldására. Egyúttal rávilágít a módszerek összehasonlítása arra is, hogy a megfelelő lineáris egyenletrendszer-megoldó módszer kiválasztása gondos tervezést igényel. Csak így biztosítható a megfelelő összhang a kívánt pontosságú eredmény és az elfogadható költség között.

Az *FE* módszerekkel előálló lineáris egyenletrendszereket alapvetően két módon lehet megoldani: direkt és iteratív módszerekkel. A főbb módszerek (melyek közül néhányat használtak *EM* feladatok megoldására is):

- direkt módszerek:
 - Cholesky módszere
 - frontális módszer
 - „nested dissection” módszere
- iteratív módszerek:
 - gradiens módszer
 - konjugált gradiens módszer
 - prekondicionált konjugált gradiens módszer
 - szukcessív túlrelaxáció
 - multigrid módszerek

2. Cholesky módszere

A módszer lényege, hogy a feladat diszkretizálásánál előálló szimmetrikus, ritka *A* szalagmátrixot $A = LL^T$ alakban faktorizáljuk, ahol $L_{n \times n}$ alulról, L^T felülről trianguláris szalagmátrix.

Ha az *A* mátrix sáv szélességét

$$nband = \max_{i=1, \dots, n} \{k | a_{i, i+k} \neq 0, k \geq 0\}$$

definiálja, akkor L ill. L^T sávzélessége szintén $nband$. Az $MT FE$ módszereknél előálló tipikus szimmetrikus szalagmátrixnak az alábbi átlói tartalmaznak nem-zérus elemeket:

- főátló
- főátló feletti és alatti átlók
- főátlótól $\sigma(NDZ)$ távolságra levő átlók, ahol NDZ a Z irányú hálósze-
mek száma, $\sigma(NDZ)$ NDZ nagyságrendje,
- esetleg $\sigma(NDZ) - 1, \sigma(NDZ) - 2, \dots$ átlók.

Így az A mátrix sávzélessége $\sigma(NDZ)$, míg csupán $3-5$ átlója tartalmaz nem zérus elemeket. Azonban a Cholesky-dekompozíció eredményeként elő-
álló L mátrix olyan helyeken is tartalmaz nem-zérusokat, ahol A zérus elemeket tartalmazott, sőt tipikusan: L teljes $nband = \sigma(NDZ)$ sávzélességében nem-zérusokat tartalmaz. A fenti jelenség (ún. fill-in) az oka annak, hogy az $MT FM$ módszerrel történő modellezés nagyon memóriaigényes.

Példa:

NDY (y irányú hálósze- mek száma)	80
NDZ (z irányú hálósze- mek száma)	60
$M = NDY * NDZ$ (összes hálósze- mek száma)	4 800
A nem-zérus elemeinek a száma: $\approx 5 * M$	24 000
L nem-zérus elemeinek a száma: $\approx NDZ * M$	288 000
L tárolásához szükséges memória egyszeres pontosságú ($REAL * 4$) aritmetika esetén	1,1 MB

Tehát egy $NDY * NDZ$ méretű háló alkalmazásánál előálló mátrix tárolá-
sára kb. $NDY * NDZ * NDZ$ tárolóhely szükséges. A fill-in az oka, hogy FE
módszerrel történő modellezés eddig jobbra csak nagy számítógépeken történ-
hetett.

Az $M * M$ -es $nband$ sávzélességű A mátrix Cholesky-dekompozíciójának
műveletigénye (azaz a szükséges szorzások és osztások száma) $\sigma(M * nband^2)$.
Azaz, ha az y irányú hálósze-
mek számát duplájára növeljük, a dekompozícióhoz
szükséges idő is duplázódik, míg ha csak a z irányú hálósze-
mek számát növeljük
duplájára, a futási idő 8-szorosára nő. Ezért a dekompozíció lassú.

Ha már előállt az $A = LL^T$ dekompozíció, akkor az $Ax = b$ megoldása igen
gyorsan előáll.

Mivel az $MT FE$ módszerrel történő modellezés esetén az egyéb műveletek
elhanyagolható futási idővel rendelkeznek, a futási időt szinte kizárólag a dekom-
pozíció időigénye adja meg.

Ezen hátrányok ellenére a Cholesky-dekompozíciót használja több $MT FE$
modellező program tekintettel a módszer egyszerűségére és numerikus stabilitá-
sára, azaz a kerekítési hibákkal szembeni viszonylagos érzéketlenségére (például:
Ríje, 1977).

3. Frontális módszer

Ennél a módszernél az egyenletrendszer összeállítása és az elimináció pár-
huzamosan történik. Sőt nem szükséges az egész mátrixot a memóriában tárolni,
hanem az egész mátrix másodlagos tárolón van és mindig csak az éppen szük-
séges rész van a memóriában.

4. „Nested dissection” módszere

Ebben a módszerben a csomók számozására alapvetően más módszert használnak, mint a Cholesky-dekompozícióval történő megoldás esetén:

1	6	11	16	21	10	11	12	13	14
2	7	12	17	22	15	1	5	2	16
3	8	13	18	23	17	7	9	8	18
4	9	14	19	24	19	3	6	4	20
5	10	15	20	25	21	22	23	24	25

Hagyományos
(Cholesky-dekompozíció, frontális
módszer)

Nested dissection

Az eliminációs sorrend:

- 1 – 4 csomók
- 5 – 6 csomók
- 7 – 9 csomók
- 10 – 25 csomók

A *nested dissection* módszere azért hatékonyabb a hagyományos módszereknél, mert kevesebb fill-in-t generál.

5. Iteratív módszerek

Az iteratív módszerek közös jellemzője, hogy az $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$ egyenlet megoldását (\mathbf{A} szimmetrikus, ritka, pozitív definit) az $f(\mathbf{x}) = \mathbf{xAx}/2 - \mathbf{bx}$ függvény minimalizálására vezeti vissza. Az iteratív módszernek lényege az eliminációs módszerekkel szemben, hogy az előbbieknél az \mathbf{A} mátrix nem változik, míg az utóbbiaknál igen és ezáltal fill-in-t produkálnak. Az iteratív módszereknél memóriaprobléma kevésbé jelentkezik, helyette belép a konvergenciasebesség problémája. Be lehet bizonyítani, hogy az $f(\mathbf{x}) = \mathbf{xAx}/2 - \mathbf{bx}$ minimumát megkereső

$$\xi^{k+1} = \xi^k + \alpha_k \mathbf{d}^k \quad k = 0, 1, \dots$$

iteráció (ahol ξ^0 valamely kezdeti közelítés a megoldásra, ξ^k az egymás után közelítéseket, \mathbf{d}^k az egymás utáni keresési irányokat, α_k pedig a keresési irány menti elmozdulást jelenti) konvergenciájának sebessége az \mathbf{A} mátrix

$$\kappa(\mathbf{A}) = \lambda_{\max}/\lambda_{\min}$$

kondíciós számától, azaz a maximális és minimális sajátérték arányától függ. Mégpedig $\kappa(\mathbf{A})$ minél kisebb (minél közelebb van 1-hez), annál gyorsabb a konvergencia. Ha $\kappa(\mathbf{A}) \gg 1$, akkor azt mondjuk, hogy \mathbf{A} rosszul kondicionált. Sajnos a tipikus *FE* módszerrel adódó (és az *MT FE* módszerrel előálló) mátrixok is rosszul kondicionáltak, sőt minél finomabb a hálóbeosztás (így minél több a hálószem), annál rosszabbul kondicionált a mátrix. Míg a kondíciós szám romlása a véges (direkt, eliminációs) módszereknél csak a pontosságot rontja esetleg (de a Cholesky-dekompozícióét alig, mivel a módszer numerikusan igen stabil), addig iterációs módszereknél divergenciához is vezethet a pontosságromlás mellett.

6. Gradiens módszer

A legegyszerűbb iteratív módszer a gradiens módszer (legmeredekebb lejtő módszere), azaz a

$$\xi^{k+1} = \xi^k + \alpha \mathbf{d}^k$$

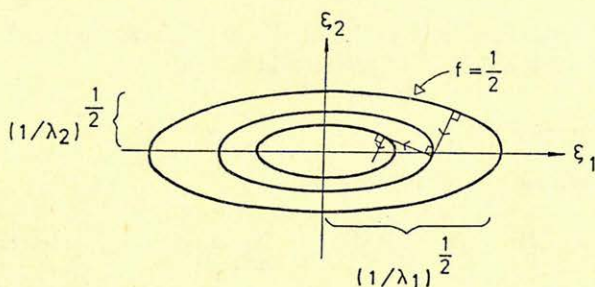
$$\mathbf{d}^k = -\mathbf{f}'(\xi^k) = -(\mathbf{A}\xi^k - \mathbf{b}) \quad k = 0, 1, \dots$$

iteráció alkalmasan megválasztott (kicsi) pozitív konstans α -val.

Példa: legyen

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix}$$

és $0 < \lambda_1 < \lambda_2$, $\mathbf{b} = \mathbf{0}$. Vegyük az $f(\mathbf{x}) = \mathbf{x}^T \mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{b} \mathbf{x} = (\lambda_1 x_1^2 + \lambda_2 x_2^2)/2$ minimalizálási problémát. f szintvonalai elnyújtott ellipszisek, féltengelyeik $1/\lambda_1$ és $1/\lambda_2$. Az iterációban előálló ξ -ket mutatja az 1. ábra. Látjuk, hogy amint nő $\kappa(\mathbf{A}) = \lambda_2/\lambda_1$, úgy lesznek egyre elnyúltabbak az ellipszisek, a ξ_0, ξ_1, \dots sorozat annál jobban *ide-oda ugrál* és a konvergencia egyre lassabb.



Geo 88/13-1

1. ábra. Gradiens módszer iterációja rosszul kondicionált mátrix esetén

Рис. 1. Итерация метода градиента в случае плохо обусловленной матрицы

Fig. 1. Iteration of the gradient method in the case of illconditioned matrix

7. Konjugált gradiens módszer

Ebben a módszerben az α_k lépésközöket optimálisaknak, a \mathbf{d}^k keresési irányokat konjugáltaknak választjuk, azaz

$$\mathbf{d}^i \mathbf{A} \mathbf{d}^j = 0 \quad i \neq j$$

A konjugált gradiens módszer a következő: keressük ξ^k -t és \mathbf{d}^k -t ($k = 1, 2, \dots$) úgy, hogy

$$\xi^{k+1} = \xi^k + \alpha_k \mathbf{d}^k$$

$$\alpha_k = -\frac{\mathbf{r}^k \mathbf{d}^k}{\mathbf{d}^k \mathbf{A} \mathbf{d}^k}$$

$$\mathbf{d}^{k+1} = -\mathbf{r}^{k+1} + \beta_k \mathbf{d}^k \quad (1)$$

$$\beta_k = \frac{\mathbf{r}^{k+1} \mathbf{A} \mathbf{d}^k}{\mathbf{d}^k \mathbf{A} \mathbf{d}^k}$$

Tehát a módszerben (1) szerint az új keresési irány (\mathbf{d}^{k+1}) a gradiens (\mathbf{r}^{k+1}) és a régi keresési irány (\mathbf{d}^k) kombinációja. Ezáltal az 1. ábrán látható cikk-cakk-szerű konvergencia lényegesen gyorsabb. Azonban a konvergenciasebesség itt is alapvetően a kondíciószámtól függ, ami *MT FE* módszereknél még mindig esetleg elfogadhatatlanul lassú konvergenciához vezet.

8. Prekondicionált konjugált gradiens módszer

A módszerben egy \mathbf{C} nonsinguláris szimmetrikus mátrixot alkalmazunk úgy, hogy $\mathbf{A}' = \mathbf{C}^{-T}\mathbf{A}\mathbf{C}^{-1}$ -nek jobb legyen a kondíciószáma mint \mathbf{A} -nak. A konjugált gradiens módszert az

$$\mathbf{A}'\mathbf{x}' = \mathbf{b}'$$

egyenletrendszerre alkalmazzuk, ahol

$$\mathbf{A}' = \mathbf{C}^{-T}\mathbf{A}\mathbf{C}^{-1}$$

$$\mathbf{b}' = \mathbf{C}^{-T}\mathbf{b}$$

$$\mathbf{x}' = \mathbf{C}\mathbf{x}$$

Az $\mathbf{M} = \mathbf{C}^T\mathbf{C}$ mátrixot prekondicionáló mátrixnak nevezzük. Jól megválasztott \mathbf{M} mátrix igen gyors konvergenciához vezet.

9. Szukcesszív túlrelaxáció

Az $\mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{b}$ egyenlet megoldható az

$$x_i^{(k+1)} = \omega \left(b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^{(k+1)} - \sum_{j=i+1}^n a_{ij}x_j^{(k)} \right) / a_{ii} + (1-\omega)x_i^{(k)}$$

iterációval, amelyet szukcesszív túlrelaxációnak nevezünk ω -vel mint relaxációs faktorial. A módszer gyors konvergenciához vezethet, ha ω -t alkalmasan választjuk, de abszolút értékéhez képest több nagyságrenddel kisebb mennyiséggel való megváltoztatása is az optimálishoz képest a konvergenciasebesség nagy mértékű romlásához vezet.

Ezt a módszer használja *Jugyin M. N.* és *Ananecics B. A. (1987)* programja.

10. Multigrid módszerek

Újabban olyan *FE* megoldási módszereket fejlesztettek ki, amelyek optimalisak az általuk szükséges műveletek számában, ami $\sigma(M)$, ahol M a változók száma. Ezek az ún. multigrid módszerek iteratív módszert használnak, ahol fokozatosan térnek rá egyre durvább elemű hálókra. Egy tipikus multigrid módszer egy lépése (ξ^k -ből ξ^{k+1} kiszámítása) a következőkből áll:

- simítási lépés, amely m közönséges gradiens lépés
- hálókorrakció.

A multigrid módszerek azért olyan hatékonyak, mert a simítási lépésben a hiba nagyfrekvenciás komponensei, a hálókorrakció alatt a kisfrekvenciás hibakomponensek csökkennek nagy mértékben. Ezt a módszert használja *Varga (1988)* programja.

11. Direkt és iteratív módszerek hatékonysága

Alapvető összefüggés néhány fent tárgyalt *FE* módszer hatékonysága között nem *MT* módszerek esetén (*MT* módszerek hatékonyságának összevetése még nem történt meg) az alábbi (*Johnson, 1987*). Aszimptotikusan a megoldás műveletigénye $\sigma(M_\alpha)$ (M a hálószemek száma), ahol α -t az alábbi táblázat tartalmazza:

Módszer	2 dim	3 dim
Cholesky-dekompozíció	2	2.33
„Nested dissection”	1.5	2
Konjugált gradiens	1.5	1.33
Prekondicionált konjugált gradiens	1.25	1.17
Multigríd	1	1

Látszik, hogy különösen nagy M -re a prekondicionált konjugált gradiens és a multigríd módszer jobb a Cholesky-dekompozíciónál vagy a *nested dissection*-nál. Másrészt a multigríd módszer bonyolult programot igényel sok belső munkamezővel, míg a Cholesky-módszer kevés egyéb mezőt kíván. Így sem az *MT* modellezésben, sem a differenciálegyenletek általános numerikus elméletében nem eldöntött kérdés még, melyik módszer egyértelműen jobb a másiknál.

12. Összefoglalás

Láttuk, hogy számos módszer létezik lineáris egyenletrendszerek megoldására és ezek közül már használtak többet numerikus elektromágneses modellezési feladatok megoldására is. A módszerek közül aszerint kell választani, mi a fontos szempont. Ha az egyenletmegoldási lépéssel nem kívánunk különösebben foglalkozni, akkor a standard Cholesky-dekompozíció a legegyszerűbb. Ha a memóriafoglalás csökkentése fontos cél, akkor valamely egyszerű iterációs módszer a legjobb (pl. szukcesszív túlrelaxáció), mivel ezeknél kevés egyéb változóra van szükség magán az egyenleten kívül, az egyenlet pedig tömörítve tárolható. Az iteratív módszerek (különösen a prekondicionált konjugált gradiens és a multigríd) jelentősége növekvőben van, mivel többnyire jól egyesítik a helyfoglalás, az elfogadható futási idő és a bonyolultság csökkentésének követelményét. Olyan problémákban azonban, ahol az egyenlet együtthatói gyorsan változnak, nehéz lehet a megfelelő iteratív módszer megkeresése. Ilyenkor a véges módszerek kínálják a lehetséges alternatívát jelenleg.

IRODALOM

- Bank, R. E. and Dupont, T.:* An Optimal Order Process for Solving Elliptic Finite Element Equations, *Math. Comp.* 36 (1981), 35 – 51.
- Brewitt-Taylor, C. R. and Weaver, T.:* On the Finite Difference Solution of Two-Dimensional Induction Problems, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 47, 1976, 375 – 396.
- Coggon, J. H.:* 1971, Electromagnetic and Electrical Modeling by the Finite Element Method, *Geophysics* 36, 132 – 155.

- Concus, P., Golub, G. H. and O'Leary, D. P.*: A Generalized Conjugate Gradient Method for the Numerical solution of Elliptic Partial Differential Equations in Sparse Matrix Computations ed. J. R. Bunch and D. J. Rose, Academic Press, New York, 1976.
- George, A.*: Nested Dissection of Regular Finite Element Mesh, *Siam J. Num. Anal.* 11, 1973, 345–363.
- Hackbusch, W.*: Multigrid Methods and Applications, Springer Series in Computational Mathematics 4, Springer, 1985.
- Johnson, C.*: Numerical Solution of Partial Differential Equations by the Finite Element Method, Studentlitteratur, Lund 1987.
- Jones, F. W. and Vozoff, K.*: The Calculation of Magnetotelluric Quantities for Three-Dimensional Conductivity Inhomogeneities, *Geophysics* 43, 1978, 1167–1175.
- Jugyin, M. N., Ananovics, B. A.*: Két- és háromdimenziós MT számítógépes program, kézirat, 1987.
- Kaikkonen, P.*: A Finite Element Program Package for Electromagnetic Modeling, *J. Geophys.* 43, 1977, 179–192.
- Praus, O.*: Numerical Solutions of the MT Field in Inhomogeneous Structures, in A. Ádám (ed.), Geoelectric and Geothermal Studies, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1976, 231–144.
- Rijo, L.*: Modelling of Electric and Electromagnetic Data; Ph. D. Thesis, Univ. of Utah, 1977.
- Silvester, P. and Haslam, C. R. S.*: Magnetotelluric Modeling by the Finite Element Method, *Geophys. Prospecting* 20, 1972, 872–891.
- Tátrallyay M.*: Változó elektromágneses terek meghatározása kétdimenziós szerkezetekben a véges differenciák módszerével, Kandidátusi értekezés, MTA GGKI, 1977.
- Varga M.*: Két-dimenziós modellező program multigríd módszerrel, szóbeli közlés, 1988.
- Wannamaker, P. E., Stott, J. A. and Rijo, L.*: Two-Dimensional Topographic Responses in Magnetotellurics Modeled Using Finite Elements, *Geophysics* 51, 1986, 2131–2144.
- Zhdanov, M. S., Golubev, N. G., Spichak, V. V. and Varentsov, I. M.*: The Construction of Effective Methods for Electromagnetic Modeling, *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 68, 1982, 589–607.

Kétdimenziós elektromágneses modellezési eredmények IBM PC-n

STEINER TIBOR*

A dolgozat bemutatja az IBM AT PC-n működő SP kétdimenziós MT modellező programot, valamint az ennek eredményeit feldolgozó grafikus programcsomagot.

В статье представлена программа SP двумерного моделирования MT на профессиональном компьютере IBM AT PC и графический пакет программ обработки её результатов.

Two dimensional MT modelling program named SP running on IBM AT PC are shown in the paper and a graphic program package for the interpretation of the results.

1. Bevezetés

Az elektromágneses jelenségek numerikus modellezésére szolgáló számítógépes programok többségükben „nagy számítógépet” igényelnek, tekintettel a jelenleg használatos módszerekre (véges elemes módszer, véges differenciák módszere; az előálló lineáris egyenletrendszer megoldása *Cholesky*-dekompozícióval vagy egyszerű iterációval). Ugyanakkor erős az igény a helyben és kis költséggel végezhető numerikus modellezés iránt. A személyi számítógépek fejlettsége ma már lehetővé teszi, hogy a nagygépekre írt numerikus modellező programok megfelelően átalakított változatai PC-ken fussanak.

Az alábbiakban bemutatandó *SP* program *IBM AT*-n működő kétdimenziós *MT* modellező program, amely *Rijo* (1977) nagyszámítógépes véges elemes (*FE*) modellező programjának módosítása olyan formában, hogy az eredetileg alkalmazott *Cholesky*-dekompozíció helyett frontális módszert használ (*Steiner*, 1989). Az alkalmazott átalakításokkal (frontális módszer, perifériahasználát, illesztés grafikus programokhoz) az *SP* program teljes két-dimenziós *MT*-modellező programrendszer, amelynek kezelése nagy mértékben mentes a fázasztó manualitástól. Inputjának megadása viszonylag egyszerű, output-ja közvetlenül képezi az eredményeket feldolgozó grafikus programok inputját.

2. Az *SP* program inputja

A 2. ábra az 1. ábra modelljének inputját mutatja egy frekvencián. Az input file szerkezete:

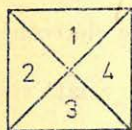
- modell leírása (1. sor)
- output file neve (2. sor)
- 3. sor tartalmazza: polarizáció típusa
 y irányú hálózemek száma
 z irányú hálózemek száma
 ellenállások száma
 frekvenciák száma
- ellenállások (4. sor)
- frekvenciák (5. sor)

* MTA GGKI, Sopron.

- y irányú hálózemek méretei (6–9. sor itt)
- z irányú hálózemek méretei (10–13. sor itt)
- ellenállástérkép (14–24. sor). Az első 3 karakteren ismétlési tényező

van, ami nagy mértékben leegyszerűsíti a modell megadását.

Egy tipikus hálózsem négy részből áll (3. ábra). A hálózsemet alkotó négyszöget két átlója négy háromszögre osztja, mindegyik háromszögnek külön ellenállásérték adható. Ezért a programmal jól modellezhetők dőlt rétegek.



Geo 88/14-3

3. ábra. Az SP program hálójának egy csomója

Рис. 3. Один из узлов сетки программы SP.

Fig. 3. A node of the network of the program SP

3. Az SP program néhány jellemzője

A program az alábbi részekből áll:

- paraméterek beolvasása
- egyenletrendszer felállítása egyetlen lépésben
- az egyenletrendszer megoldása a frontális módszerrel
- szükséges egyéb számítások és az eredmények kiírása.

A programban egy puffer található, amely a megoldandó lineáris egyenletrendszernek éppen szükséges részét tartja a memóriában. A puffer kb. $40 * 30$ -as hálóméret esetén még nem teszi szükségessé a perifériához fordulást (a puffer $46\,000\text{ COMPLEX} * 8$ szám ábrázolására elegendő, a 640 K -s memória többi része az általános *overhead*. (Ilyen viszonylag kis *overhead* elfogadható.) A frontális módszer Cholesky-dekompozícióval működik. Az elimináció során egyszer előlről hátra kell elolvasni az egyenletrendszer szimmetrikus komplex szalagmátrixát, a visszahelyettesítés során pedig először előlről hátra, majd hátulról előre. A dekompozíció elméleti stabilitása biztosítja az eredmény pontosságát (a lineáris egyenletrendszer megoldásának pontossága $10^{-6} - 10^{-7}$, ami az $IBM\ AT\ REAL * 4$ számolási pontossága). Néhány jellemző futási idő:

Y irányú hálózemek száma	Z irányú* hálózemek száma	Pol.	Futási idő	Megjegyzés
40	30	E H	7 perc 4 perc	nincs perifériához fordulás
45	35	E H	40 perc 24 perc	perifériahasználát
75	65	E H	300 perc 180 perc	

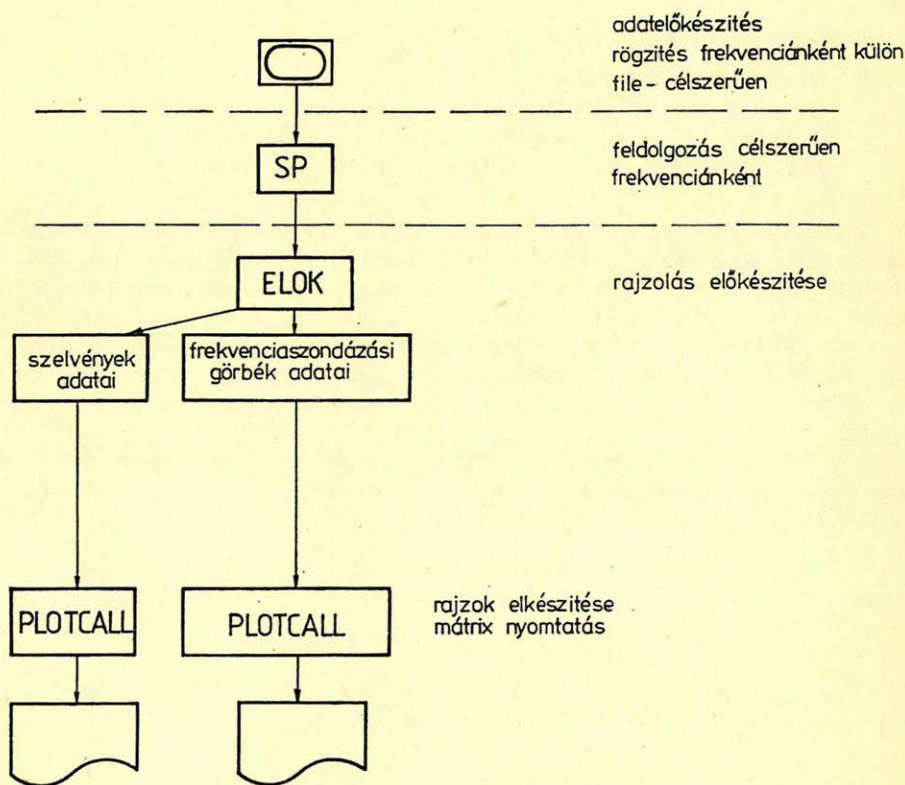
* Megjegyzés: H polarizációnál a Z irányú hálózemek száma \bar{I}_0 -zel kevesebb a feltüntettnél.

A futási idő növekedése természetesen az alábbi okok miatt következik be a hálószemek számának növekedésével:

- perifériahasználát (másodsorban),
- a futási idő gyakorlatilag csak a dekompozíció időigényétől függ, amely egyenesen arányos $NDY * NDZ^3$ -kal, ahol NDY az Y irányú, NDZ a Z irányú hálószemek száma (elsősorban).

A futási idő emelkedése lehangoló lehet nagyobb hálóméret esetén. Ezt azonban ellensúlyozzák az alábbiak:

- FE módszereknél kevesebb hálószem is elég adott pontosság eléréséhez mint a véges differenciák módszereknél.
- A dőlt felületek geometriájának pontos megadási lehetősége miatt elég viszonylag durva hálót szerkeszteni.
- A program az intézet $IBM AT$ személyi számítógépén fut, így nincs szükség nagy számítógép használatára, ami költség- és emberi munkamegtakarítást jelent.



Geo 88/14-4

4. ábra. A feldolgozás általános menete
 Рис. 4. Общий граф обработки
 Fig. 4. The common scheme of the solution

4. Az SP program outputja

Az output lista formában tartalmazza az inputot, a háló karakteres rajzát és eredményként az elektromos és mágneses terek felszíni értékeit, valamint a látszólagos fajlagos ellenállásokat. Az elkészült lemezfile-okból egy program (*ELOK*) összeválogatja (4. ábra) az eredményadatokat a következő grafikus rajzok elkészítéséhez:

- szelvények (*PLOTCALL*)
- frekvenciaszondázási görbék adott pontokban (*PLOTCALL*)

5. Numerikus eredmények

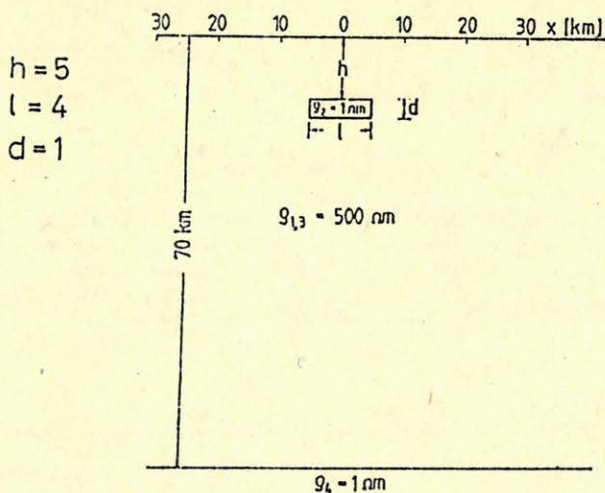
Mivel a numerikus modellező programok általában nem tartalmaznak hiba- vagy pontosságszámítást, ezért általános az eredményeknek egymás eredményeihez hasonlítása.

Az elkészült numerikus eredmények közül a következőket mutatjuk be:

- Összehasonlítás *Tátrallyay* (1977) programjával
- Összehasonlítás *Jugyin és Ananevics* (1977) programjával
- Összehasonlítás *Rijo* (1977) programjával, felszíni topológia modellezése (*Wannamaker et al.*, 1986).
- Összetett modell (Gail-völgy)

1. Összehasonlítás

Tátrallyay (1977) programja *FD* módszerrel működő program, amelynek eredményeit *Ádám* (1987) cikke alapján hasonlítjuk össze *SP* eredményeivel az 5. ábra egyszerű modelljén. Az összehasonlítás a 6. ábrán látható, amely jó egyezést mutat a két program által számított eredmények között.

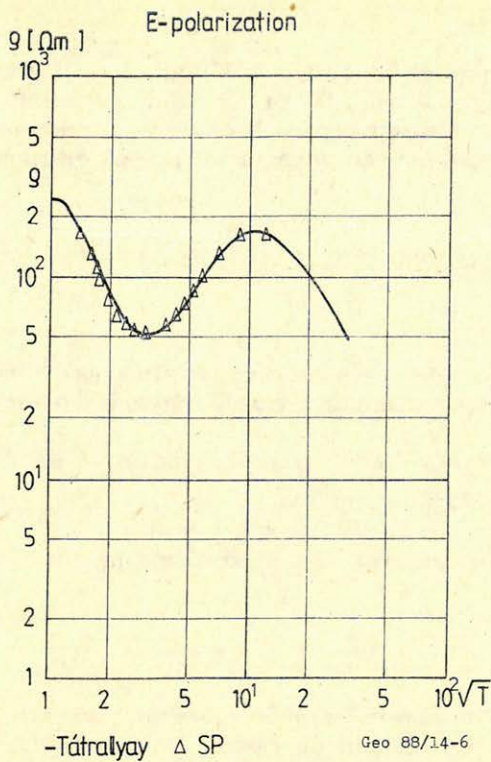


Geo 88/14-5

5. ábra. 1. sz. tesztmodell

Рис. 5. Тест-модель I.

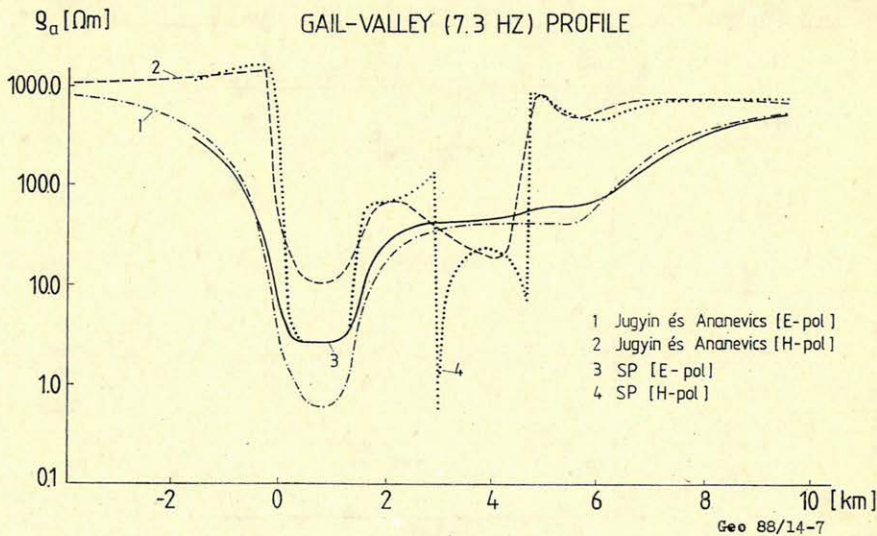
Fig. 5. Test model No. 1.



6. ábra. Összehasonlítás Tatrallyay M. programjának és az SP-nak az eredménye között az 1. sz. tesztdalra

Рис. 6. Сравнение результатов программ Tatrallyay м и SP на тест-модели I.

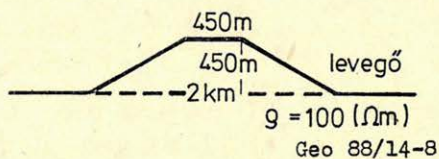
Fig. 6. A comparison of the program of Tatrallyay with the program SP for the test model



7. ábra. Összehasonlítás Jugyin és Ananevics programjának, valamint az SP-nek az eredménye között E-polarizáció abszolút értékre az 1. ábra modellje esetében

Рис. 7. Сравнение результатов программ Юдина и Ананевича и программы ЗР для абсолютного значения поляризации E в случае модели рис. 2.

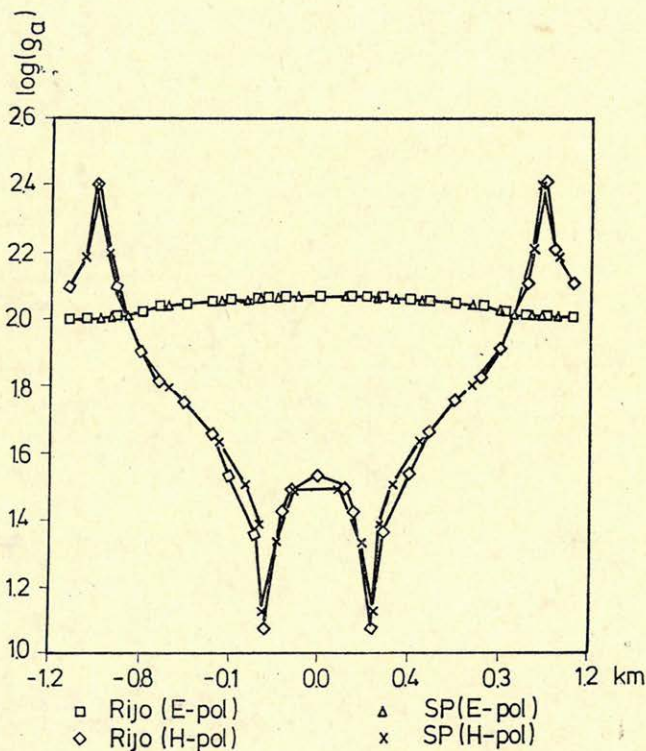
Fig. 7. Comparison of the result of the program Jugyin and Ananevics with that of the program SP for the absolute value of the E-polarization in the case of the model of Fig. 1.



8. ábra. 2. sz. tesztmodell

Рис. 8. Тест-модель 2

Fig. 8. Test model No. 2.

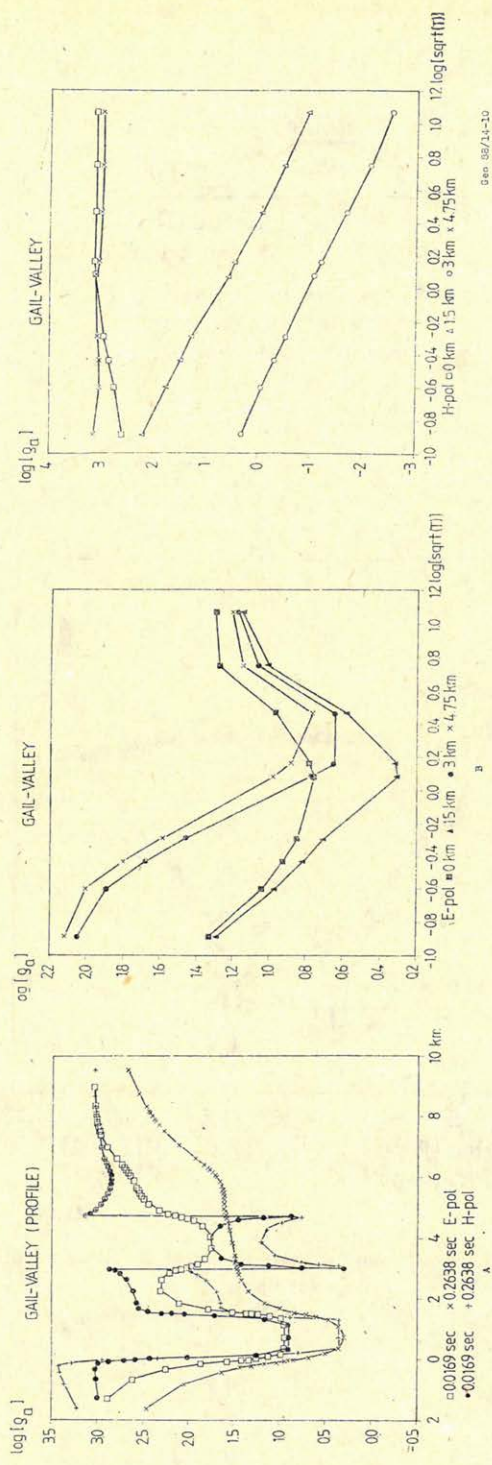


Geo 88/14-9

9. ábra. Összehasonlítás Rijo programjának, valamint az SP-nek az eredménye között a 8. ábra modelljére

Рис. 9. Сравнение программы Rijo и SP по результатам и модели рис. 8.

Fig. 9. Comparison of Rijo's program with the program SP for the model of Fig. 8.



Geo 88/14-10

10. ábra. Az SP programmal számolt eredmények az 1. ábra modelljére (fázisszelvények, frekvencia-szondázási görbék)

Рис. 10. Результаты, полученные программой SP на модели рис. 1. (фазовые кривые и кривые частотного зондирования).
 Fig. 10. Results computed with the program SP for the model of Fig. 1. (Phase-sections, Frequency-sounding curves)

2. Összehasonlítás

Az 1. ábra modelljének numerikus modellezését Thuma et al. (1987) végezte el Jugyin és Ananevics programjával. Az 1. ábra modelljére Jugyin és Ananevics programjának, valamint SP eredményeinek összehasonlítása elfogadható egyezést biztosít E-polarizáció abszolút érték esetére (7. ábra). H-polarizáció abszolút érték esetén a felszíni 50 Ω m-es dike széléinél Jugyin és Ananevics programja folytonos átmenetet mutat. Ugyanitt SP eredménye szakadást jelez, ami valószínűbbnek tűnik.

3. Összehasonlítás

Az SP program lehetővé teszi felszíni nem-sík topológia modellezését is a megszokott inhomogenitások modellezése mellett. Ehhez a 8. ábra egyszerű domb modelljét használjuk (Wannamaker, 1986). Az értékek jól egyeznek SP eredményeivel (9. ábra). A fellelhető némi különbség a különböző hálóméretből adódik.

4. Összetett modell

Végül az SP program használhatóságát részletesen megvizsgáltuk az 1. ábra bonyolult modelljén. A modell vizsgálata segítséget nyújthat az intézet által vizsgált Periadriai vonal és Balaton-vonal mentén húzódó jólvezető elektromos anomális értelmezéséhez (Ádám et al., 1988). A modellezési eredmények egy része a 10. ábrán látható.

6. Eredmények

Fentiekben megmutattuk, hogy a frontális módszer alkalmazható FE módszerrel előálló lineáris egyenletrendszerek elfogadható költséggel való megoldására, személyi számítógép igénybevételével. Végül manualitást nélkülöző, egyszerű MT modellezési eredményeket interpretáló grafikus programcsomagot mutattunk be.

IRODALOM

- Ádám A., Duma G., Horváth J.: Új közelítés a Periadriai-Balaton vonal elektromos vezetőképesség-anomália értelmezéséhez audio-magnetotellurikus mérések alapján, Magyar Geofizika 1-2, 1988. 27-43.
- Ádám, A.: Tectonic Effects in the Magnetotelluric Field and their Numerical Modelling, Gerl. Beitr. Geophys. 96/1, 1987, 17-31.
- Jugyin, M. N., Ananevics, B. A.: Két- és háromdimenziós MT számítógép program, kézirat, 1987.
- Rijo, L.: Modelling of Electric and Electromagnetic Data; Ph. D. Thesis, Univ. of Utah, 1977.
- Tátrallyay, M.: Változó elektromágneses terek meghatározása kétdimenziós szerkezetekben a véges differenciák módszerével, Kandidátusi értekezés, MTA GGKI, 1977.
- Thuma, A.: Jugyin és Ananevics programjának összehasonlító vizsgálata, kézirat, GKV (1987).
- Thuma A., Westergom V. és Steiner T.: A Gail-völgy numerikus modellezése Jugyin és Ananevics programjával, kézirat, MPA GGKI, 1987.
- Wannamaker, P. E., Stodt, J. A. and Rijo, L.: Two-Dimensional Topographic Responses in Magnetotellurics Modeled Using Finite Elements, Geophysics 51, 1986, 2131-2144.

Új eredmények Madaras, Bácsalmás és Kunbaja körzetének mélykutatásában

ERDÉLYI ÁRPÁD* – FARKAS CSILLA**

A Duna-Tisza köze déli részén húzódb, kristályos és mezozoós képződményekből álló vonulaton telepített Kunbaja-5 és Bácsalmás-1 jelű fúrások, illetve a közelmúlt szeizmikus felvételeinek eredményeit használják fel a szerzők a terület tektonikai és fejlődéstörténeti viszonyainak pontosítására.

Скважины со знаком Кунбaja-5 и Бачалмаш-1, заложенные на массиве кристаллических мезозойских образований, находящегося в южной части теседуречья Дуная и Тисы, а также результаты выполненной недавно сейсмической съёмки были использованы авторами для уточнения тектонических и исторических условий геологического развития территории.

Results from new seismic measurements and well data from the Kunbaja-5 and Bácsalmás-1 wells are presented. These wells are located in southern Hungary between the Duna and Tisza Rivers in an area where crystalline and mesozoic rocks trend in a northwest-southeast direction and are buried beneath younger sedimentary rocks. The data are used to reinterpret the structure and geologic evolution of the area.

Bevezetés

A Duna – Tisza közén az 1924 óta folyó szénhidrogén-kutatások folyamatosan új és új ismeretanyaggal gazdagítják a területről alkotott földtani képet.

Munkánkban a Duna – Tisza köze magyarországi részének déli körzetében mélyült madarasi, bácsalmási és kunbajai fúrásokkal kutatott területtel foglalkozunk, felhasználva a legújabb szeizmikus mérések eredményeit is (1. ábra).

E téma annál is aktuálisabb, mivel az 1982-ben fúrt Bácsalmás-1. földtani intézeti és az 1973–74-ben mélyített; de eddig még nem publikált Kunbaja-5. sz. MÉV fúrás, illetve az 1978–1987 közötti szeizmikus felvételek több földtani újdonsággal szolgáltak.

Vázlatos kutatástörténet

A Duna – Tisza köze déli részén az első torziós-inga méréseket az 1940-ben megalakult MANÁT megbízásából az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet végezte. 1942-ben a Bassó Imre vezette mérések Mélykút, Bajmok, Topolya és Zenta vidékén folytak, melyek eredményeként kimutatták a tompa-madarasi kettős maximumot. Ugyanekkor a német Seismos-cég Tompa környékén, míg a Gesellschaft für Praktische Lagerstättenforschung G.m.b.H. Madaras, Bajmok és Őrszállás környékén folytatott graviméteres méréseket. Az e kutatások alapján 1943-ben lemélyített Katymár (Madaras) – 1. sz. fúrás szénhidrogénre meddő lett, ennek ellenére igazolta a geofizika által feltételezett tompa – madarasi kiemelt vonulatot.

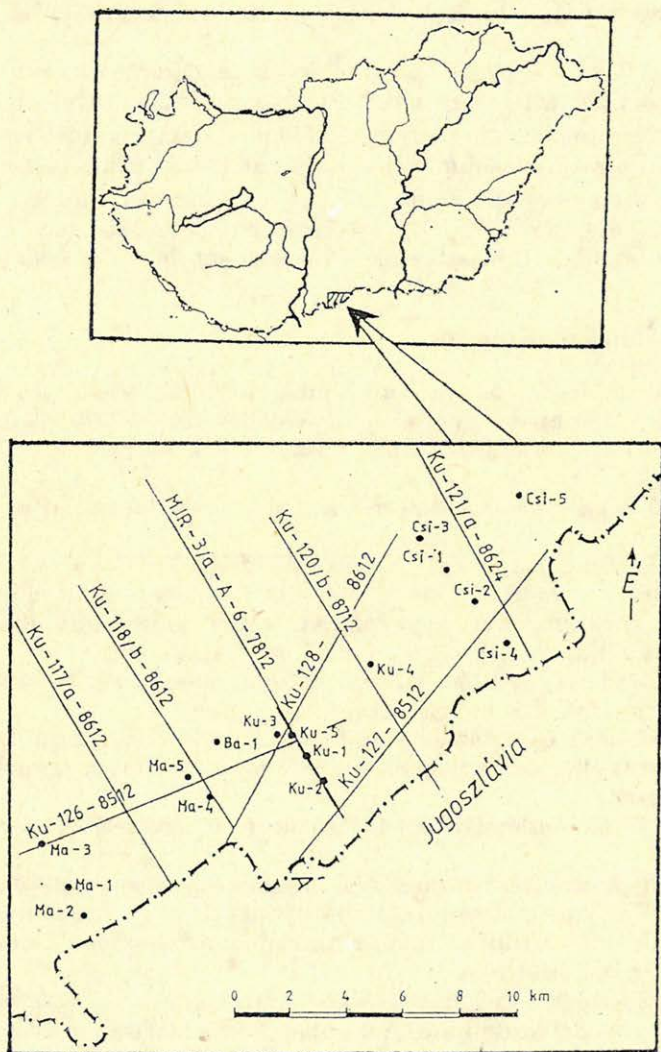
A felszabadulás után a Duna – Tisza közi szénhidrogén-kutatások jó ideig szüneteltek. 1956-tól kezdve azonban megkezdődött a II. Világháború alatti gravitációs és az akkori primitív szeizmikával felmért területek fúrásos kutatása

* MÁFI

** Geofizikai Kutató Vállalat, Budapest

is. Madarason 1956–57-ben öt, Kunbaján 1957–58-ban négy, Csikérián 1958–59-ben öt, Tompán 1958–59-ben tizenkettő, Pusztamérgesen pedig 1959-ben 6 fúrás mélyült.

Annak ellenére, hogy a magasvonulaton mélyültek közül egyedül csak a tompai fúrások tártak fel kisméretű földgázelőfordulást, *Kertai Gy. (1959)* megállapította, hogy szénhidrogén-kutatás szempontjából a Duna–Tisza köze déli részén a Madaras–Pusztamérges vonulat perspektivikusnak tekinthető.



Geo 88/12-1

1. ábra. A kutatási terület vázlatos helyszínrajza

Рис. 1. Схематический план территории работ

Fig. 1. Map showing location of seismic profiles and wells in the studied area

A területen végzett eddigi szénhidrogén-kutatások eredményeit *Dank V.* (1963, 1965), *Csiky G.* (1963), *Kőrössy L.* (1962), *Szepesházy K.* (1966, 1973), illetve *Völgyi L.* (1959) publikálták. *Dank V.* a délföldi neogén medencék földtani viszonyait összehasonlította a jugoszláviai és délbaranyai területekével.

Kőrössy L. egy olyan nagyszerkezeti öv meglétét valószínűsítette Nagy-kőrös – Pusztamérges vonalában, amely mellett a *Mecsek – nagykőrösi szerkezeti vonulat rátolódik a tiszántúli kristályospala vonulatra, illetve a Mecsek – nagykőrösi és a délkelet-alföldi kristályos alaphegység nagyszerkezeti egységei érintkeznek egymással.*

Dank V. és *Bodzay I.* (1970) az alp-kárpáti rendszerben három alátolódott és két fölétolódott helyzetű nagyszerkezeti egységet különítettek el.

Egészen a legutóbbi időkig azonban a Duna – Tisza köze mélyszerkezetének ilyen jellegű tektonikájáról semmilyen közvetlen bizonyítékunk nem volt.

Az 1973–74-ben mélyült Kunbaja-5. és az 1982-ben fúrt Bácsalmás – 1. sz. fúrások, illetve az 1978 óta végzett korszerű szeizmikus mérések azonban konkrét bizonyítékokkal támasztották alá a korábbi feltételezéseket.

Rétegtani és tektonikai viszonyok

A vizsgált területen az ópaleozóos-prekambriumi kristályos alaphegység képződményeit (csillámpala, gneisz) a figyelembe vett 16 db madarasi, bácsalmási, kunbajai és csikériai fúrás közül a Ma – 1, – 4, illetve a Ku – 1, – 4-5. sz. fúrás tárta fel.

Triász korú képződmények ismertek a Ku – 3, – 5, illetve a Ba – 1. sz. fúrásokból.

Liász korú szürke, sötétszürke mészkő és márga mindössze egy fúrásból, a vizsgált területrészt nyugati szegélyén mélyült Ma – 3-ból került elő.

Felsőkréta korú homokkő, agyagmárga, márga, mészmárga, illetve konglomerátum ismert a Ma – 5, Csi – 5 és a Ba – 1. sz. fúrásokból.

A kárpáti összletet mezozóos mészkő, dolomit, mészmárga és kristályos képződmények kavicsaiból álló konglomerátum képviseli.

A pannónia korú és az azoknál fiatalabb képződményeket a Duna – Tisza közén általánosan elterjedt agyagmárga, márga, mészmárga, homok, aleurit, homokkő képviselik.

A vizsgált területen lemélyített fúrásokat kettő kivételével a szénhidrogénipar telepítette.

A Kunbaja – 5. sz. fúrás *Majoros Gy.* főgeológus javaslata alapján a Mecseki Ércbányászati Vállalat, a Bácsalmási – 1-et pedig *Haas J.* főosztályvezető javaslata nyomán a Földtani Intézet finanszírozásában az Országos Földtani Kutató és Fúró Vállalat mélyítette le.

A Kunbaja – 5 eddig még nem publikált rétegsorát *Majoros György* dolgozta fel és bocsátotta rendelkezésünkre. Adatainak felhasználásához adott hozzájárulását ezúton is köszönjük.

A Ku – 3. sz. szénhidrogén-kutató fúrás mellett mélyült Ku – 5-öt 646,3 m-ig teljes szelvénnel fúrták, szakaszos magvétellel, 483,0 m-ig pannóniai és fiatalabb, 620,0 m-ig miocén korú képződményekben haladt. 620,0 – 682,0 m között alsótriász korú márgát, szürke, zöld homokos aleuritot, illetve világosszürke, zöld, halványvörös színű, kovás, szericites kötőanyagú, közép-durvaszemű

kvarchomokkővet tárt fel. Az alsótriász korú képződmények üledékhézaggal települnek a 79 m vastagságban harántolt prekambriumi (?) kristályos képződményekre (csillámpala, gneisz). E kristályos képződmények alatt 761,0–813,0 m-ig középsőtriász karú sűrű márgát, sötétszürke mészkövet, dolomitot, 813,0–889,0 m között pedig alsótriász korú világosvörös, ill. rózsaszínű, dolomitbetelepüléses homokkő-aleurolit és finomszemcsés homokkő váltakozását tárta fel a fúrás. 889,0 m-től a 936,0 m-es talpig ismét az előbbieken már ismertetett prekambriumi (?) biotit csillámpala és gneisz sorozatba jutott a fúrás.

A csillámpalában 691,0–697,0 m; 728,0–761,0 m és 926,0–933,0 m között porfiros szövetű szubvulkáni riodácit telért harántolt a fúrás.

A Bácsalmás–1. sz. fúrás pannóniai és fiatalabb korú képződményeit *Jámbor Á.*, szenonját *Haas J.*, triászát pedig *Kovácsné Prantner E.* geológus dolgozta fel. A fúrás triász szakaszának érdekessége, hogy 816,3–1096,3 m között (280,0 m vastagságban) a Jakabhegyi Homokkő Formációba, míg 1096,3 m-től az 1195,0 m-es talpig (98,7 m hosszban) annál fiatalabb, a Werfeni Formációban sorolt képződmények települnek. A Jakabhegyi Homokkő Formáció kőzetösszetétele a fúrásban:

különböző szemcsenagyságú homokkő:	64,8%
tektonikus breccsa, zúzott zóna:	19,6%
kavicsos homokkő:	7,1%
konglomerátum:	5,0%
agyagos homokkő:	2,8%
aleurolit:	0,4%
dolomit:	0,2%
agyag:	0,1%
	<hr/>
	100,0%

A Werfeni Formáció kőzetösszetétele pedig az alábbi:

homokkő	39,0%
agyagmárga, márga	22,8%
agyagkő	17,9%
aleurolit	7,6%
mészkő	6,8%
tektonikus breccsa, zúzott zóna, vetőagyag	4,5%
konglomerátum	1,1%
anhidrit	0,3%
	<hr/>
	100,0%

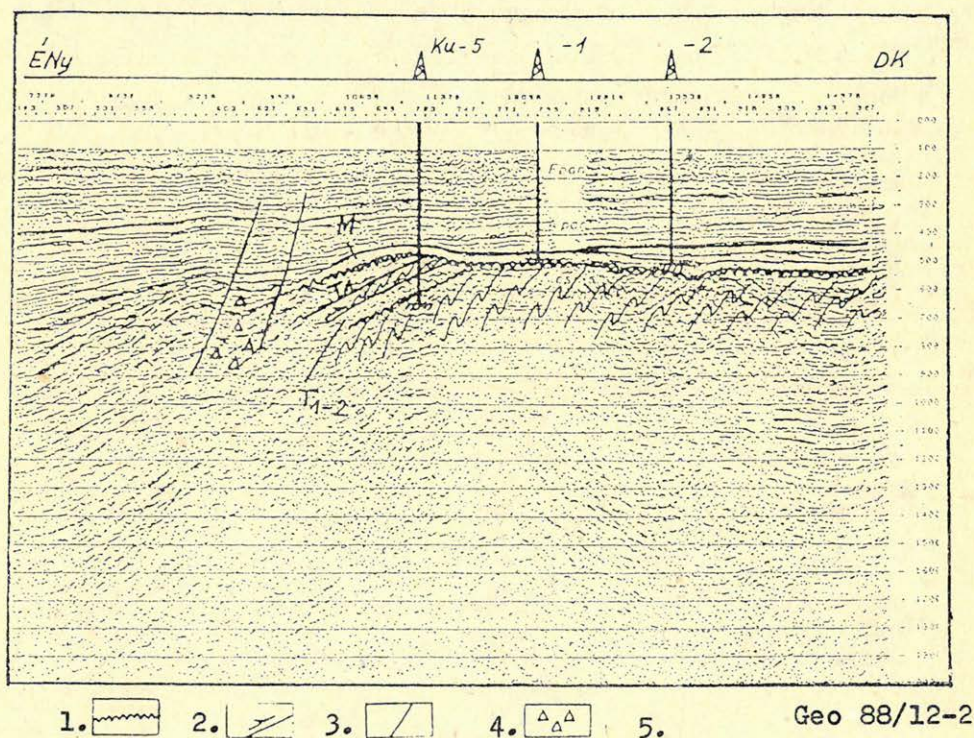
A Ba–1. sz. fúrásban a fordított sorrendben települő alsótriász képződmények átbuktatott redő jelenlétét sejtetik.

A Ku–5 és a Ba–1. sz. fúrások – melyeket egymástól légvonalban körülbelül 2,5 km-re mélyítették le – a terület bonyolult tektonikáját bizonyítják.

Az általunk vizsgált területen nyolc, egyaránt a Geofizikai Kutató Vállalat által mért szeizmikus szelvény halad át, melyek közül öt (Ku–117/a–8612; Ku–118/b–8612; MJR–3/a–A–6–7812; Ku–120/b–8712 és a Ku–121/a–8624) ÉNy–DK-i, azaz haránt, míg a többi három (Ku–126–8512, Ku–127–8512 és a Ku–128–8612) hosszanti irányú.

A vizsgált terület rétegtani és tektonikai felépítésének szemléltetésére legalkalmasabbnak az MJR-3/a-A-6-7812 jelű szeizmikus szelvény, illetve a Ku-1, -2 és -5. sz. fúrások adatai alapján szerkesztett ÉNy-DK-i irányú metszetet tartjuk (2. ábra). Az itt bemutatott tektonikai elemek a szomszédos szeizmikus szelvényeken is felismerhetők, bár kevésbé dominánsan. A Ku-1. sz. fúrás 516 m-ig pannóniai és fiatalabb, 560 m-ig miocén korú, alatta pedig az 588 m-es talpig kristályos alaphegységi képződményekben haladt. A Ku-2. sz. fúrás nem érte el a neogén képződmények aljzatát, 510 m-ig pannóniai és fiatalabb, majd ezek alatt az 593 m-es talpig miocén korú képződményeket harántolt. A mélyfúrási mélység adatok szeizmikus időbe való átszámításához a Tompa-Mélykút-Kisszállás kutatási területre használt (GKV, 1987-ben szerkesztett) sebesség seprűt alkalmaztuk.

Nagytektonikai szempontból mind a Ba-1, mind pedig a Ku-5 kiemelten fontos körzetben a Villányi Egység és a Békési Egység (Haas et al. 1984) képződményei találkozási zónájában mélyült.



2. ábra. Földtani-geofizikai szelvény a Ku-5, Ku-1 és Ku-2. sz. fúráson át
Jelmagyarázat: 1. diszkordancia, 2. feltolódás, 3. vető, 4. tektonikus breccsa, 5. kristályos képződmények

Рис. 2. Геолого-геофизический разрез, проходящий через скважины Ку-5, Ку-1 и Ку-2
Условные обозначения: 1. несогласие, 2. надвиг, 3. сброс, 4. тектоническая брекчия, 5. кристаллические образования

Fig. 2. Interpreted seismic record through the Ku-5, Ku-1 and Ku-2 wells. Well locations are shown in Figure 1.

Explanation: 1. Unconformity, 2. Thrust fault, 3. Normal fault, 4. Fault breccia, 5. Crystalline rocks

Ezért a terület fejlődéstörténetének rekonstruálása során óhatatlanul adódik a Villányi-hegységgel való összehasonlítás szükségessége.

A Villányi-hegység 7 pikkelye közül hat ÉÉNy felé, egy pedig déli irányban torlódott (*Wein Gy. 1969*).

A szerkezetalakulás az alsókréta végén, az albai korszakban játszódott le (ausztriai fázis), majd pedig a terület kiemelkedett és konszolidálódott.

A Duna–Tisza köze vizsgált részének szerkezetfejlődése szempontjából szintén az ausztriai hegységképződési fázis a meghatározó jelentőségű.

Ekkor jött létre mind a Ba – 1 átbuktatott redője, mind pedig a Ku – 5-ben megfűrt pikkelyalakulat. A szerkezetalakulás vergenciája – mint az a szeizmikus szelvényből látszik – délkeleti. A szeizmikus és fűrási adatok alapján szerkesztett szelvényből látható, hogy két olyan, egymással szoros kapcsolatban álló szerkezeti elemmel (az átbuktatott redővel és pikkellyel) van dolgunk, melyeket feltételezhetően tektonikus breccsából álló zóna választ el egymástól. A tektonikus breccsa jelenlétére utalnak a földtani meg gondolásokon kívül a Ba – 1. sz. fűrásban észlelt, erősen zúzott részek is. (Elsősorban 920 – 990 m, 1020 – 1090 m között, illetve az 1110 – 1120 és az 1140 – 1160 m közötti szakaszokon.)

A térszűkítés kompresszív erők hatására itt tehát – szemben a Villányi-hegységben tapasztaltakkal, ahol csak pikkelyes szerkezetalakulás ment végbe – úgy pikkelyeződés, mint átbuktatott redőzöttség kialakult. A Ba – 1. alsótriász korú képződményei a szerkezetalakulás idején tehát viszonylag *képlékenyek* lehettek, szemben a *merev* villányi-hegységi karbonátos összlettel. A rendelkezésre álló fűrási adatok alapján az átbuktatott redő pontos méreteit nem lehetett megállapítani.

A Bácsalmás – 1-ből rendelkezésre álló számtalan dőlésadat alapján megállapítható, hogy a legmeredekebb dölések a Jakabhegyi Homokkő Formáció 816,3 – 852,6 m közötti szakaszára jellemzőek. Itt két esetben 90°-os dölést is regisztrált Kovácsné Prantner E., s a legalacsonyabb dőlésérték is 50°-os. 852,6 – 1019,0 m között viszonylag kisebb dőlésű szakasz figyelhető meg, ahol a maximális dőlésérték 65°-os, s 966,9 m-ben közel szintes a dőlés. A formáció képződményeinek tetőrészére, az 1019,0 – 1096,3 m-es szakaszra újra a meredekebb rétegdölések (max. 80°) a jellemzőek.

A Werfeni Formáció közel 100 m vastagságban határolt szakaszán rétegdölések szerinti szakaszolásra lehetőséget nem láttunk.

A Bácsalmás – 1-ben az alsótriász korú képződményekre diszkordanciával, átlag 20°-os dőlésű szenon összlet települ.

A vizsgált terület szerkezetalakulása korának pontosítására felhasználtuk a villányi fácieszóna területén 1983-ban mélyített Bóly – 1. sz. fűrás (*Császár G. et al., 1985*) adatait is.

A fűrás 570,2 – 1211,1 m között (640,9 m vastagságban) felső-albai – alsó cenomán korú, *flis típusú középsőkréta* képződményeket harántolt, melyeket a jelentős összeállítói a Bissei Mária Formációba (987,5 – 1211,1 m), a Bissei – Bólyi Formációba (828,75 – 987,5 m), illetve a Bólyi Homokkő Formációba (570,2 – 828,75 m) soroltak.

A rendelkezésre álló fűrási és geofizikai adatok alapján feltételezzük, hogy a Villányi öv területén – beleértve a kunbajai, bácsalmási fűrások körzetét is – az ausztriai hegységképződési fázis az alsó albai korszak elején vehette kezdetét, s a Bóly – 1-ből megismert flis típusú képződmények már egy, a hegységképző erők által kiemelt terület anyagának lepusztulásából származhattak.

- Országos Kőolaj és Gázipari Tröszt: Kézikönyvek.
- Oszlaczky Sz. 1959:* A magyarországi szénhidrogénkutatás geofizikai munkálatainak eddigi irányai. *Rónai A. et al. 1971:* Magyarázó Magyarország 200 000-es földtani térképsorozatához, L-34-XIV. Kiskunhalas. — Földt. Int. kiadványa, 133 p.
- Szalay Á. et al. 1977:* K unbaja-Madaras-Csikéria kutatási területek földtani zárójelentése. — Kézirat, OKGT Adattár.
- Szántó Z. et al. 1984:* Befejező jelentés a Bácsalmás - I. sz. szerkezetkutató alapfúrásról. — Kézirat, MÁFI Adattár.
- Völgyi L. 1959:* A nagyalföldi Kőolajkutatás újabb földtani eredményei. — Földt. Közl. 89. (1) pp. 37-52.
- Wein Gy. et al. 1966:* Magyarázó Magyarország 200 000-es földtani térképsorozatához, L-34-XIII. Pécs. — Földt. Int. kiadványa, 196 p.
- Wein Gy. 1967:* Délkelet-Dunántól hegységszerkezeti egységeinek összefüggése az óalpi cuklisban. — Földt. Közl. 97. (3) pp. 286-293.
- Wein Gy. 1967:* Délkelet-Dunántúl hegységszerkezete. — Földt. Közl. 94. (4) pp. 371-395.
- Wein Gy. 1969:* Újabb adatok a Villányi-hegység szerkezetéhez. — Földt. Közl. 99. (1) pp. 47-59.
- Wein Gy. 1969:* Tectonic review of the Neogene-covered areas of Hungary — Acta Geol. Acad. Sci. Hung. 13. pp. 399-436.
- Wein Gy. 1972:* Magyarország neogén előtti szerkezetföldtani fejlődésének összefoglalása. — Földt. Közl. XX. (4) pp. 302-328.
- Wein Gy. 1978:* A Kárpát-medence alpi tektogenezeise. — Földt. Int. Évi Jelentése 1976-ról, pp. 245-256.
- Wein Gy. 1978:* A Kárpátmedence kialakulásának vázlata. — Ált. Földt. Szemle 11. pp. 5-34.
- Wein Gy. - Moldvay L. 1973:* Magyarázó Magyarország 200 000-es földtani térképsorozatához, L-34-XIX. Mohács. — Földt. Int. kiadványa, 104 p.

Néhány újabb archeomágneses adat a szekuláris variáció görbéihez

M Á R T O N P É T E R*

Néhány, a közelmúltban kiásott égett agyagobjektum archeomágneses mérésének eredményeit mutatjuk be. Mivel a régészeti/fizikai korok egy kivétellel ismertek voltak ezért a közölt archeomágneses adatok hozzájárulnak a szekuláris variáció görbéinek megalkotásához, illetve ellenőrzéséhez.

В статье описывается результат археомагнитных исследований нескольких образцов обожженной глины. В связи с тем, что археологические/физические возрасты за исключением одного были известны, поэтому опубликованные археомагнитные данные способствуют построению и уточнению кривых вековых вариаций

Archaeomagnetic results are reported for some structures that have been excavated recently in Hungary. This time, the archaeological/physical ages were known (with one exception) and the chief goal of the work was to acquire new data for the geomagnetic secular variation for the region.

In four instances, it also was possible to compare the archaeomagnetic ages derived from the secular variation curves, currently in use, with the known ages and the agreement is excellent.

Bevezetés

Az archeomágneses vizsgálatok egyrészt adatokat szolgáltatnak a helyi (regionális) földmágneses szekuláris variáció (s. v.) megismeréséhez, másrészt — az s.v.-re alapozva — bizonyos korokban, égetett agyag objektumok keltezésére használhatók. Az eddig elért eredményeket [1], [2] és [3] tartalmazza.

Ebben a dolgozatban egy kivétellel, ismert korú objektumok archeomágneses mérései kerülnek elemzésre. Az eredmények bemutatása és értékelése mellett, a mérési anyagra támaszkodva néhány, magát a módszert érintő kérdést is megtárgyalunk.

A vizsgálatok módszere megegyezik az eddigiekben alkalmazottal, amely minden egyes függetlenül orientált minta részletes termikus (és esetleg váltakozó terű) lemágnesezését involválja. A mintapárok lemágnesezése vagy szintén részletesen, vagy a Zijderveld-diagramból meghatározott optimális hőfokon történik. Az ősi, az objektum kiégése idején felvett mágnesezettséget egyetlen zajmentes komponens jelenléte esetén, az optimális lemágnesezési lépésben mért mágnesezettség definiálja. Máskor, egy alkalmas hőmérsékleti intervallumban eltávozó komponens. Az objektumot jellemző mágneses adat, a függetlenül orientált minták mágnesezettségének átlagiránya, amelynek pontosságát (k) és konfidenciáját (α_{95}) Fisher (1953) nyomán becsüljük [4].

Az eredmények analízise

Az eredményeket az 1. táblázat tartalmazza, amely időrendi sorrendet tart. Az egyes tételekhez a következő megjegyzések fűzendők.

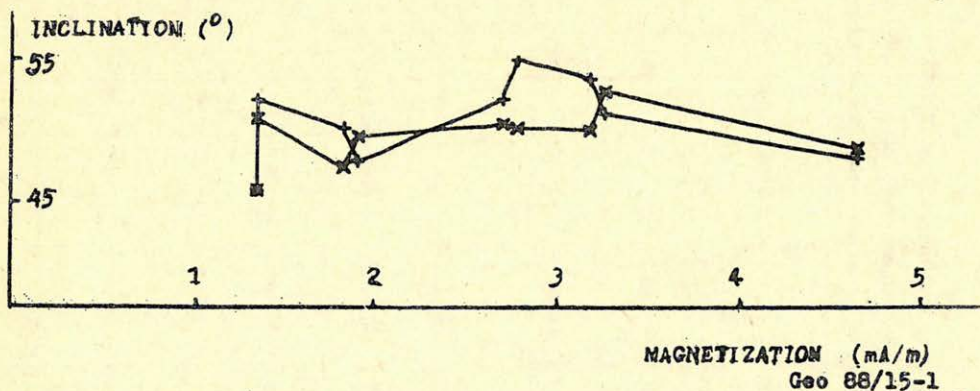
* ELTE Geofizikai Tanszék, Budapest 1083 Budapest, Kun Béla tér 2.

1. Gorzsa, lakódomb XIV. szelvény, 12. szint. Leégett házból előkerült, vékony töredezett kemencealj tapasztás. Régészeti kora késői neolit, ^{14}C kora azonosítható vagy közel van a VII.–VIII/a szelvény 16. szintjétől nyert 5970 ± 100 év B. P.-vel.

A kemencealjat alkotó „mozaikok” felszínének dőlései nem haladják meg az öt fokot. Ha erre korrigálunk, azaz minden mozaikot vízszintesre állítunk, akkor az archeomágneses középirány pontossága (k) 500-ról 906-ra növekszik, maga az irány viszont nem változik lényegesen (v. ö. 1. táblázat).

Az 1. ábra a mágnesezettség (korrekció előtti és utáni) inklinációját mutatja a mágneses intenzitás függvényében. A mintákkal lefedett intenzitás intervallumban nem fedezhető fel kapcsolat az ábrázolt mennyiségek között. Refrakció esetén a korrigált inklinációnak a növekvő intenzitással arányos mértékben csökkennie kellene (l. később).

2. Gorzsa, lakódomb, X. szelvény, 10. szint. Vastagon átégett kemencealj. Régészeti kora késői neolit. A hozzá legközelebb álló VII. szelvény 10. szintjéből meghatározott ^{14}C korok 5670 ± 100 év és 5650 ± 100 év B. P. A kemencealj egyenetlenségei többnyire $4-5^\circ$ -osak, de a $6,5^\circ$ -ot nem haladják meg. A tizenkét archeomágneses irány a sztereogramon egy főkör mentén kissé elnyújtva helyezkedik el (2/a ábra), elsősorban az inklináció ilyen eloszlása miatt (a legkisebb és a legnagyobb inklináció közti különbség 15°). A kemencealj egyenetlenségeivel korrigált irányok főkorelosztási tendenciája kissé mérséklődik (2 b. ábra), a megfelelő középirány pontossága valamelyest megnövekszik, maga a középirány viszont nem változik lényegesen a korrekcióra (v.ö. 1. táblázat).



1. ábra. Az inklináció a mágneses intenzitás függvényében a 400° lemágnesezési lépés után a gorzszai XIV. szelvény, 12. szintű kemencealj mintáira. Refrakciómentes eset

Jelölések: + korrekció előtti inklinációk
× korrekció utáni inklinációk

Рис. 7. Инклинация в зависимости от магнитной интенсивности после 400° -ого шага размагничивания на образцах основания домны 12 уровня XIV профиля

Обозначения: + инклинация перед коррекцией
× инклинация после коррекции

Fig. 1. Inclination versus sample mean magnetic intensity after 400°C before and after correction for unevenness of the floor for Gorzsa oven, entry 1 of Table I. Case of no refraction

Symbols: + inclinations before correction
× inclinations after correction

A lényeges archeológiai és archeomágneses adatok összesítése
Обобщение основных археологических и археомангнитных данных
Summary of the archaeological and archaeomagnetic data pertaining to the present study

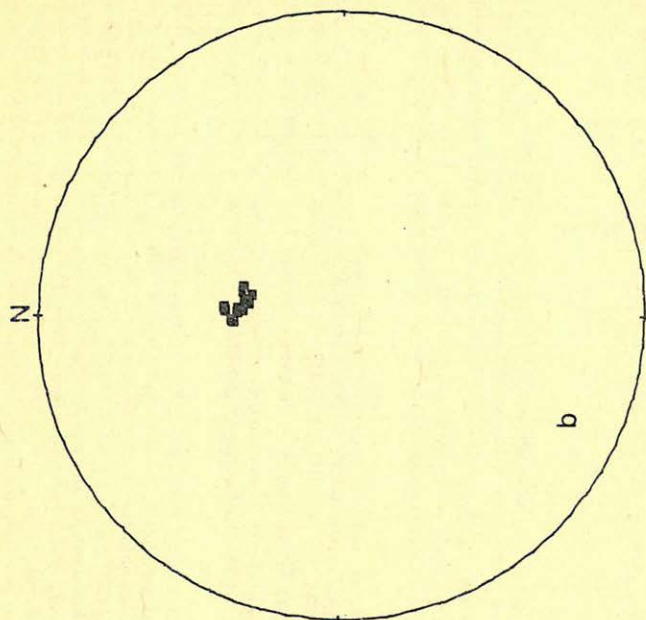
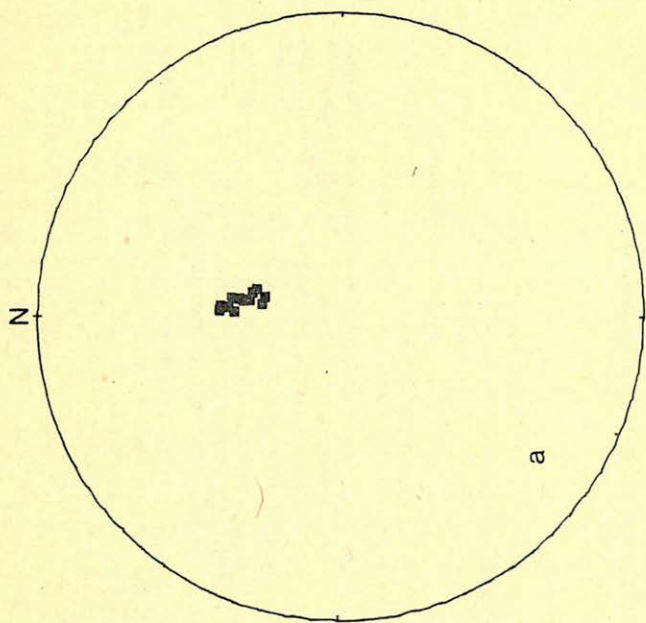
1	2	3	4	5	6	7	8
Asatási hely, objektum	Fizikai vagy régészeti kor	N/n M/s	$D_c \pm dD_c$ $D_c \pm dD_c$	$I_c \pm dI_c$ $I_c \pm dI_c$ I_{BUD}	k k_c	Tisztítás °C/mT	Archeomágneses kor (év A.D.)
1. GORZSA, XIV. szelvény, 12. szint, kemence	5970 ± 100 év B.P.	9/13 M	17,2 ± 3,7 17,2 ± 1,8	51,0 ± 2,3 49,9 ± 1,7 50,8	500 906	400°C	
2. GORZSA, X. szelvény, 10. szint, kemence	5670 ± 100 év B.P. 5650 ± 100 év B.P.	12/46 M	10,8 ± 5,2 7,9 ± 4,1	53,6 ± 3,1 52,4 ± 2,5 54,8 ± 1,0 55,8	198 306	460°C	}refrakcióval korrigált (inclináció)
3. SOPRON, Krautacker dűlő, 361/a kemence	200 ± 50 év B.C.	6/34 M+S	346,8 ± 13,0	67,8 ± 4,9 67,4	188	460°C	
4. SOPRON, Krautacker dűlő, 365. sz. kemence (másodlagos felhasználás)	100 ± 50 év B.C. ÁRPÁD KOR?	4/24 M+S	359,9 ± 9,6 11,0 ± 17,1	68,0 ± 3,6 67,9 70,9 ± 5,6	645 269	460°C 200 — 460°C	
5. ZAMÁRDI, Kút völgy, 2 db égett objektum	AVAR KOR	10/20 M+S	350,2 ± 8,0	70,3 ± 2,7 70,6	330	250 — 500°C	27: 700 ± 100
6. ÓPUSZTASZER, 1. sz. kemence	1100 ± 50 év A.D.	11/11 M+S	13,0 ± 6,4 22,9 ± 5,0	66,2 ± 2,6 63,8 ± 2,2 64,3	322 442	250 — 540°C	28: 1100 ± 60
7. ÓPUSZTASZER, 2. sz. kemence	1100 ± 50 év A.D.	6/10 M+S	6,7 ± 9,4 16,3 ± 7,5	64,1 ± 4,1 61,5 ± 3,6 62,1	273 347	400°C	29: 1150 ± 90

Ásatási hely, objektum	Fizikai vagy régészeti kor	N/n M/s	$D \pm dD^0$ $D_c \pm dD^0_c$	$I \pm dI^0$ $I_c \pm dI^0_c$ I_{BUD}	k Tisztítás k_c °C/mT	Archeomágneses kor (év A.D.)
1	2	3	4	5	6	7
8. CSONGRÁD, Várhát, téglaegető kemence	~1300 év A.D.	24/53 M+S	16,3 ± 3,4	55,9 ± 1,9 56,5	253 280(400)°C	30:1300 ± 50
9. BUDAPEST, Timár utca, mészégető kemence	~1350 év A.D.	16/28 M	6,1 ± 5,1	58,1 ± 2,7	187 20 – 60 mT illetve 250 – 585°C	31:1360 ± 70

Jelölések: N: a gyűjtött hasznos minták száma; – n: a magnetométeres minták száma; – M: mágneses tájolás; – S: napijolás; – $D \pm dD^0$: a mintacsoport átlagos deklinációja és a 95%-os konfidencia határok; – $I \pm dI^0$: a mintacsoport átlagos inklinációja és a 95%-os konfidencia határok; – $D_c \pm dD^0_c$ ill. $I_c \pm dI^0_c$: a Fisher-féle pontosság korrekció előtt és után; – A 7. oszlopban az optimális tisztítási hőmérséklet vagy hőmérséklet intervallum (°C), illetve váltakozó tér intervallum (mT) szerepel; – Az utolsó (8) oszlop tartalmazza a Geofizikai Tanszéken meghatározott archeomágneses korokat, illetve azok sorszámát.

Obznaczenia: N: Количество собранных полезных образцов; – n: Количество магнетометрических образцов; – M: Магнитная ориентация; – S: Солнечная ориентация; – $D \pm dD^0$: Средняя деклинация группы образцов и 95% ные границы конфикации; – $I \pm dI^0$: Средняя инклинация группы образцов и 95%-ные границы надежности; – $D_c \pm dD^0_c$ и $I_c \pm dI^0_c$: то же самое после коррекции неуровностей основания домы; – I_{BUD} : I^0 или I^0_c значение с поправкой на Буцапелг при предположении геодрического поля диполя; – k, k_c : перед и после коррекции точности Фишера В 7-ом столбце даны оптимальная температура чистки или интервал температур (°C) или интервал переменного поля (Г); – В последнем (8) столбце даны определенные на Кафедре Геофизики археомегнитные возрасты и их порядковые номера.

Legend: Column 1: Locality and description of the sampled structure (s); – Column 2: Physical (^{14}C) Archaeological age in years as indicated; – Column 3: N: number of useful samples collected; – n: number of specimens measured; – M/S: indicates whether a magnetic or sun compass was used for sample orientation in the field; – Column 4: $D \pm dD^0$; mean archaeomagnetic declination with 95% confidence limits; – $D_c \pm dD^0_c$: same after correction for unevenness of the structure floor; – Column 5: $I \pm dI^0$; mean archaeomagnetic inclination with 95% confidence limits; – $I_c \pm dI^0_c$: same after correction as above; – I_{BUD} : I or I_c reduced to Budapest assuming a geocentric dipole field; – The entries marked by a brace are inclinations corrected for magnetic refraction (upper), respectively reduced to Budapest (lower); – Column 6: Fisher's precision measure before and after correction k , respectively k_c for unevenness of the structure floor; – Column 7: Optimum cleaning step or interval in °C respectively millitesla (mT); – Column 8: Serial number of archaeomagnetic age determination in the Geophysics Department, Eötvös University, Budapest, followed by the respective archaeomagnetic age in years A.D.



Geo 88/15-2

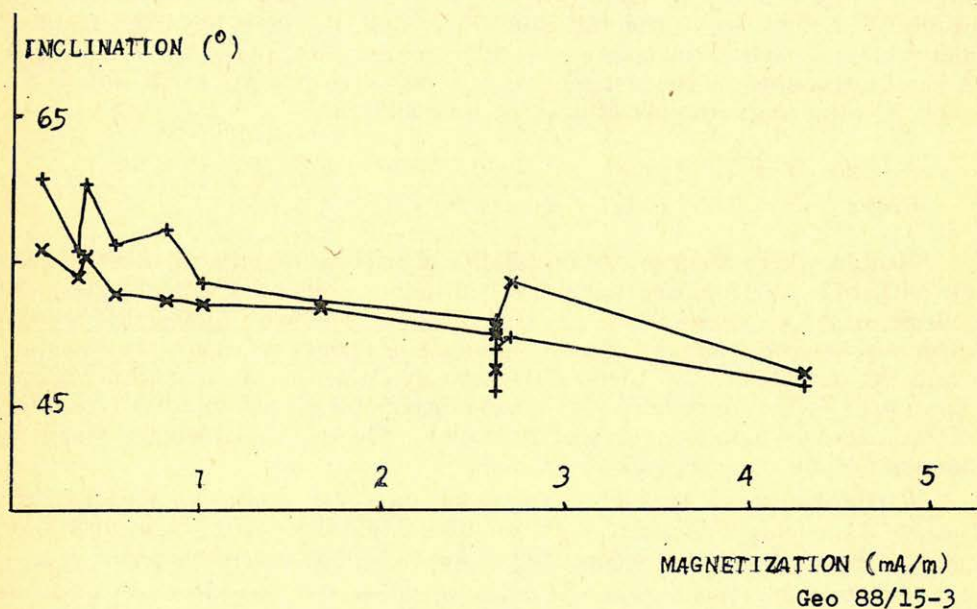
2. ábra. Gorzsa (X. szelvény, 10. szint) kemencealj mágnesezettségi irányai *a*) korrekció előtti és *b*) korrekció után.
A korrekció a kemencealj egyenetlenségeinek hatását redukálja

Рис. 2. Направления намагниченности основания домны Горжа (10 уровень, X профиль)
a) перед вводом коррекции, *б*) после коррекции. Коррекция вводит поправку за неровности основания домны.
Fig. 2. Stereogram of the directions of magnetization of Gorzsa oven, entry 2 of Table 1 *a*) before and
b) after correction for unevenness of the oven floor

A 3. ábra a korrekció előtti és utáni inklinációkat mutatja az intenzitás függvényében. Mindkettő csökken a növekvő intenzitással. A refrakció szempontjából a korrigált inklinációk érdekesek. Ezen a földrajzi szélességen szokásos inklinációk mellett, a refrakciómentes inklinációt a zérus intenzitásnál találjuk. Miután a refrakciós összefüggés lineáris [5], ezért a pontokhoz egyenes illeszthető, amelynek tengelymetszete $54,8^\circ$, majdnem 1° -os ($0,94^\circ$) szórással. Ez közel $2,5^\circ$ -kal nagyobb, mint a korrigált irányok átlagának inklinációja (v.ö. 1. táblázat).

A gorzsaiak mellett az irodalomból is ismertek példák mind a refrakció jelenlétére [6], mind a refrakció hiányára [7] vonatkozólag. Valószínű, hogy nem csupán az intenzitás (szuszceptibilitás) határozza meg a refrakció mértékét, hanem emellett főleg az anyag mágneses szövete.

3. Sopron, Krautacker-dűlő. Kelta fazekaskemence maradvány rostéllyal (361/a objektum). Kora az i.e. III. század vége–II. század eleje. A 200°C



3. ábra. Az inklináció a mágneses intenzitás függvényében a 460°C lemágnesezési lépés után a gorzsa X. szelvény, 10. szintű kemencealj mintáira. Az inklináció a növekvő intenzitással csökken (mágneses refrakció). A refrakciómentes (átlagos) inklinációt a korrekció utáni adatokhoz legjobban illeszkedő egyenes ordinátametszete adja, ami $54,8 \pm 0,9^\circ$ (v.ö. 1. táblázat).

Jelölések: u. a. mint az 1. ábrán

Рис. 3. Инклинация в зависимости от магнитной интенсивности после 460°C ого шага размгничивания на образцах X. профиля, 10. уровня основания домны Горжа. Инклинация уменьшается с увеличивающейся интенсивностью (магнитная рефракция). Среднюю инклинацию без рефракции дает наилучшим образом совпадающая с данными после коррекции, секущая ординату прямая $54,8 \pm 0,9^\circ$ (таблица 1).

Fig. 3. Same as in Fig. 1 but after 460°C for Gorzsa oven, entry 2 of Table I, with refraction (i.e. decreasing inclinations with increasing intensity). The (average) inclination which is free of refraction is the one at zero intensity of the best fitting straight line, which is $54,8 \pm 0,9^\circ$ (c.f. Table 1).

Symbols: same as in Fig. 1

feletti lemágnesezések után megmaradó mágnesezettség egyetlen komponensből áll, amely a primer mágnesezettséggel azonosítható. Iránya a legpontosabban 460 °C után adható meg (v.ö. 1. táblázat).

4. Sopron, Krautacker-dűlő. Kelta, rostély nélküli fazekas kemence maradvány (365. objektum). Kora az i.e. II. sz. vége – I. sz. eleje.

Az objektum mágnesezettsége egy kishőmérsékletű 200 és 400 °C között távozó másodlagos, és a 400 °C felett megmaradó primer komponensre bontható (1. 4. ábra). A primér komponens becslése 460 °C után a legpontosabb (v.ö. 1. táblázat). Az ásató régész, Jerem Erzsébet a kemencén másodlagos (középkori) felhasználás (füstölő) nyomait észlelte. A kishőmérsékletű, mágneses komponens jelenléte megerősíti a régész megfigyelését mind a kemence újrahasználatát, mind annak korát (Árpád-kor) illetően.

5. Zamárdi – Kút völgy (1987). Az 1986-os ásatáskor előkerült kohómaradvány (1 sz. kohó) archeomágneses kora 725 ± 25 év A.D.-nek adódott [3]. Az 1987-es ásatás több tűzhelyet tárt fel. A 8. számú gödörben egy kohó (2. sz. kohó) és egy kemencealj maradványai jöttek napvilágra. Az előbbiből 8, az utóbbiból 4 függetlenül orientált mintát vettünk. A mérés folyamán instabil, illetve inkonzisztens viselkedés miatt ezek a számok 7-re, illetve 3-ra csökkentek. A karakterisztikus mágnesezettség iránya mindkét csoportban a 250, 400 és 500 (540) °C után mért irányok átlagaként definiálható:

$$\begin{array}{l} 2. \text{ kohó: } \bar{D} = 353,9 \pm 8,8^\circ \quad \bar{I} = 70,7 \pm 2,9^\circ \quad k = 429 \\ \text{tűzhely: } \bar{D} = 342,0 \pm 21,2^\circ \quad \bar{I} = 69,3 \pm 7,5^\circ \quad k = 272. \end{array}$$

Miután a két átlagirány statisztikailag azonosnak tekinthető, a két csoport egyesíthető és a 10 mintából számolt átlagirány – mint a 8. gödör objektumaira jellemző archeomágneses adat – az 1. táblázatban található. A megfelelő archeomágneses kor 700 ± 100 év A.D. (5. ábra). A 6. tűzhelyben talált faszénmaradvány ^{14}C kora 672–777, illetve 660–696 év A.D., a 15. objektum viszont 350 ± 40 év A.D., római korú [8]. A 8. gödör kora jól egyezik mind az 1. sz. kohó archeomágneses, mind a 6. sz. tűzhely radiokarbon korával, amelynek tehát egy rómain felépült Avar településre utalnak.

6. Ópusztaszer, 1. sz. szabadon álló kemence alja, a kolostor feltárás ÉK-i sarkán. A kemence alját lapos, állati csontokkal rakták ki. Erre jött a sütőfelület, amely vékony, tapasztott agyagréteg. A csontok alatt homoktalaj van.

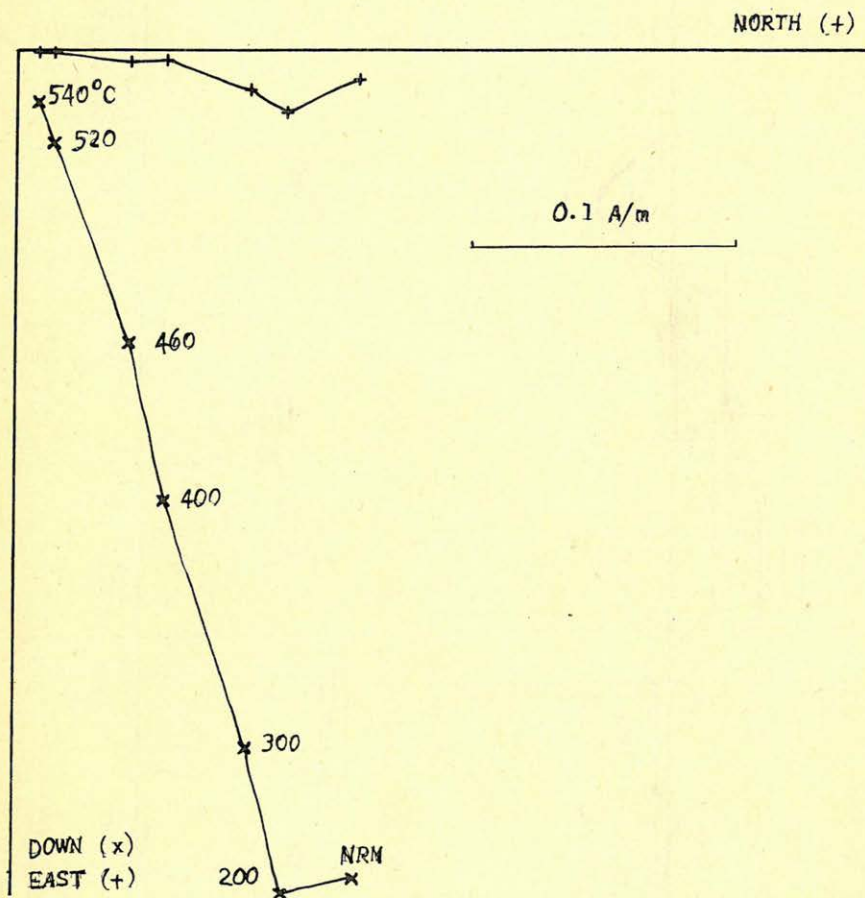
Az utolsó használat idejére jellemző mágnesezettség a 250 és 450 °C között távozó komponenssel azonosítható. A kemencealj egyenetlenségeit figyelembe véve, a vízszintes helyzetre korrigált mágnesezettségek középiránya pontosabbá válik mint a korrigálatlan irányok átlaga (v.ö. 1. táblázat). Ezért az egykori mágnesezettség iránya a korrigált irányok átlagával definiálható.

7. Ópusztaszer, 2. sz. kemence az ásatás ÉNy-i részében. Mind az 1. sz. mind a 2. sz. kemence kora a XI. sz. végére – XII. sz. elejére tehető, azzal a megjegyzéssel, hogy a 2. sz. kemence esetleg néhány évvel fiatalabb az 1. sz. kemencénél.

A karakterisztikus mágnesezettség a 400 °C után mérhetővel vehető azonosnak. A kemencealj egyenetlenségeit „eltávolító” korrekció nyomán a középirány valamivel pontosabbá válik (v.ö. 1. táblázat). A középirány inklinációja (noha nem szignifikánsan, de) kisebb mint az 1. sz. kemence esetén, ami a kissé fiatalabb kort tükrözheti. A refrakció mint a kisebb inklináció oka itt valószí-

núleg kizárható, hiszen a 2. sz. kemence legalább egy fél nagyságrenddel gyengébben mágnesezett, mint az 1. sz. kemence.

8. Csongrád-Várhát, középkori tégláégető kemence maradványa. Az archeomágneses mintákat a tüzelőterek aljából (1), oldalából (6) és tetejéből (1), egy vízszintes, tüzelőtér feletti padkából (11) és az egyik légjárat, függőleges

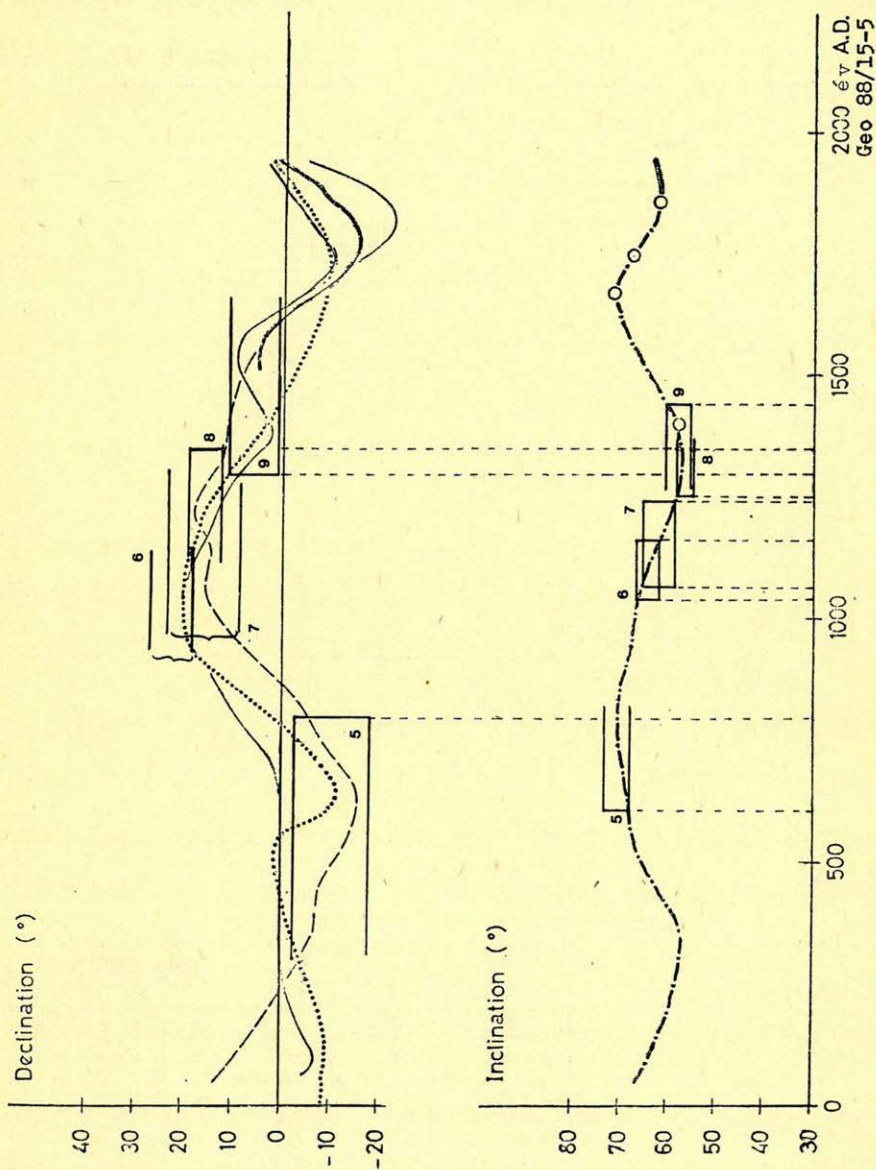


Geo 88/15-4

4. ábra. Ortogonális (Zijderveld-) lemágnesezési diagram a soproni 365. sz. kemence egyik mintájára. Két mágneses irány különböztethető meg. A nagyhőmérsékletű (> 460 °C) komponens a primér mágnesezettséggel azonosítható, míg a kishőmérsékletű (200–460 °C) összetevő a másodlagos, későbbi (kishőmérsékletű) felmelegítés nyomán jött létre

Рис. 4. Ортогональная диаграмма (Zijderveld) размагничивания на одном из образцов шопронской 365-ой домны. Различаются два магнитных направления. Высокотемпературный компонент (460 °C) может быть отождествлен с первичной намагниченностью, тогда как низкотемпературная составляющая (200–460 °C) появилась после более позднего низкотемпературного (200–460 °C) нагревания.

Fig. 4. Orthogonal demagnetization (Zijderveld-) plot for a sample from Sopron oven, entry 4 of Table 1, showing two distinct directions of magnetization. The high temperature component is interpreted as the primary magnetization, whereas the low temperature component is attributed to secondary use at low temperature much later



2000 év A.D.
Geo 88/15-5

5. ábra. Földiak archeomágneses keltésére (v.ö. 1. táblázat 5-9 tételei)
Рис. 5. Примеры археомагнитного датирования (5-9 части Таблицы 1).

Fig. 5. Archaeomagnetic dating of some objects/structures analysed in this paper (entries 5-9 of Table 1).

nyílás falából (5) vettük. A minták eloszlása olyan, hogy refrakció esetén egyrészt a várható pozitív és negatív deklináció eltérések másrészt az inklináció csökkenések és növekedések kompenzálnák egymást. A mérések kiértékelésekor azonban nem voltak refrakcióra utaló eredmények. A struktúra mágnesezettsége a 280 °C (400 °C) utáni mérhetővel azonosítható, irányára nézve az 1. táblázatra utalunk.

9. Óbuda, Tímár utca és Fényes Adolf utca sarok. Középkori (XIV. sz. közepe) tufából épített, agyaggal vékonyan betapasztott mészegető kemence maradványa. Az archeomágneses méréseket tufa mintákon végeztük, részletes termo és váltakozó terű lemágnesezéssel. A kemencére jellemző archeomágneses irányok a 20–60 mT amplitudójú váltótér, ill. a (250)400–540(585) °C hőmérséklettartományban izolálhatók. A kétféle kezelés után kapott eredmények mintánkénti egyesítésével, majd átlagolással állt elő az 1. táblázatban található végeredmény.

Következtetések

A bemutatott anyaggal kapcsolatban három, az archeomágneses mérések pontosságát és megbízhatóságát érintő kérdést vetettünk fel, illetve kíséreltünk meg megoldani.

A kicsiny diszlokációk miatti korrekció lényegesen javíthatja az archeomágneses adatot. Ha a korrigált archeomágneses adat nagyobb pontosságú mint a korrigálatlan, akkor a korrekciót elvégezzük és az értelmezést a korrigált eredményre alapozzuk. (A korrekció természetesen tetszőleges alaphelyzet feltételezésével is megoldható).

Másodlagos felhasználás archeomágneses kimutatására akkor van mód, ha ez a struktúra (vagy annak meghatározott és vizsgált része) kisebb hőfokú felmelegítésével járt mint az eredeti kiégetés (használat) hőfoka. Továbbá, ha a mágneses tér iránya is különböző volt a két felmelegítés idején. Idézett példánk így szerencsés véletlenként is felfogható.

A refrakció az archeomágneses mérések egyik alapvető problémája. Hatásának becsléséhez részletes mintavétel és gondos feldolgozás szükséges.

Úgy tartják, hogy a refrakció az intenzitással arányosan torzíthatja a mágneses deklinációt és inklinációt [4]. A gorzsai példák viszont arra utalnak, hogy nem egyedül az intenzitás a meghatározó, valószínűleg a mágneses szövetnek is szerepe van, amely viszont a mágneses ásványok mellett az objektum készítés módjától (pl. simítás, döngölés) függ.

Az 1. táblázat első négy adata időszámításunk kezdete előtti időkre vonatkozik. Ezek egyelőre olyan eredmények, amelyeket további, hasonló korú adatoknak kell megerősíteniök. Az 5–9 tételek viszont ellenőrizhetők az archeomágneses szekuláris variáció görbével [1]. Az 5. ábra ezt a célt szolgálja és jól mutatja a görbék és ezen újabb archeomágneses adatok kölcsönös konzisztenciáját. A 4. tétel másodlagos felhasználásra vonatkozó eredménye és az 5. tétel közelebbi archeomágneses kort is indikál.

Köszönetnyilvánítás

Gorzsán *Horváth Ferenc*, Sopronban és Zamárdiban *Gömöri János*, Ópusztaszeren *Vályi Katalin*, Csongrádon *Lőrinczi Gábor*, Óbudán *Altmann Júlia* voltak segítségemre a mintavételkor. Az itt közölt régészeti és abszolútkor adatok tőlük, illetve Sopronra vonatkozólag *Jerem Erzsébettől* származnak. A mágneses mérések az ELTE Geofizikai Tanszékén történtek: a méréseket *Porosz Mihályné* végezte (a csongrádi anyag kivételével, amely *Drahos Enikő* diákkori munkája volt).

A vizsgálatok részben a MŰM támogatásával folytak a *Korai középkori vaskohók felkutatása és keltezése geofizikai (földmágneses) módszerekkel* című pályázat keretében.

IRODALOM

- [1] *Márton, P. 1986.* Archaeomagnetic directional data from Hungary. *Geophys. J. R. astr. Soc.* 86. 719–725. London.
- [2] *Márton, P., Gömöri J. 1986.* Kísérletek archeomágneses mérések alkalmazására égetett agyag-objektumok keltezésében. *Magyar Geofizika.* XVII. 143–153. Budapest.
- [3] *Márton, P. and Gömöri, J. 1988.* Application of Archaeomagnetic Directional Results for the Dating of Iron Smelting Furnaces of Early Medieval Age from Hungary. *Contribution to Colloque International: Experimentation en Archeologie, Bilan et Perspectives, Avril 1988, Beaune, France* (in press).
- [4] *Fisher, R. A. 1953.* Dispersion on a sphere. *Proc. R. Soc.* 217. 295–305.
- [5] *Aitken, M. J. and Hawley, H. N. 1971.* Archaeomagnetism: evidence for magnetic refraction in kiln structures. *Archaeometry*, 13. 83–85.
- [6] *Schurr, K., Becker, H., Soffel, H. C. 1984.* Archaeomagnetic Study of Medieval Fireplaces at Mannheim–Wallstadt and Ovens from Herrenchiessee (southern Germany) and the Problem of Magnetic Refraction. *J. Geophys.* 56. 1–8.
- [7] *Downey, W. S. and Tarling, D. H. 1984.* Archaeomagnetic dating of Santorini volcanic eruptions and fired destruction levels of late Minoan civilization. *Nature.* 308. 519–523.
- [8] *Hertelendi, E. 1988.* Szóbeli közlés.

Egyesületi hírek

Geotermikus szakmai nap

A hazai hévízvagyon gazdaságos hasznosítása céljából a közelmúltban megalakult egyesületközi Geotermikus Szakcsoport 1988. szeptember 29-én az Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt központi székházában rendezte meg *első geotermikus szakmai napját* az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület, az Építőipari Tudományos Egyesület, a Gépipari Tudományos Egyesület, a Magyar Hidrológiai Társaság, a Magyarhoni Földtani Társulat, a Magyar Geofizikusok Egyesülete részvételével, az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület Kőolaj-, Földgáz- és Vízbányászati Szakosztályának gesztorálásával és Ipargazdasági Bizottságának bevonásával. A résztvevők száma kerekén 40 fő volt.

Dr. Pataki Nándor (MHT, OMBKE) szakcsoportelnök ismertette a szakcsoport munkaprogram-tervezetét, és felkérte az egybegyűlt szakembereket, hogy javaslataikkal és észrevételekkel segítsék elő a munkaprogram végleges formába öntését.

A szakmai referátumok sorában *Bányász György* (OMBKE) hévízbányászataink legfontosabb időszerű kérdéseit tárgyalta. *Dr. Korim Kálmán* (KHT, MFT, OMBKE) áttekintette a hazai földtani-műszaki adottságok és a hasznosítási feltételek kapcsolatát, valamint a fejlesztés lehetőségét. *Szalontai Gergely* (MHT) és *Dr. Liebe Pál* (MHT) referátumát egyrészt a hévízhasznosítás helyzetéről és további kilátásairól a fürdőkben, másrészt az ívóvízellátás és a hévízhasznosítás bővülő kapcsolatáról *Nagy András* (MHT) ismertette. *Dr. Jászay Tamás* (ETE) a hévízhasznosítás alternatíváinak energetikai megítéléséről és a fejlesztési irányzatokról tájékoztatót. *Dr. Varga József* (OMBKE) és *Pogány László* (OMBKE, MFT, ETE) referátuma a hévízhasznosításhoz kapcsolódó szervezeti-szabályozási és gazdasági-finanszírozási kérdéscsoportot elemezte.

A referátumokat követő véleménycsere során *Ottlik Péter* (MFT, MHT) az energetikai szabályozás szükségességéről, a hévízkutak tulajdonjogáról, a háttérpar jelentőségéről, a hévízkutak méréséről és vizsgálatáról, a hévízhasznosító komplex referenciaüzem céljáról és jelenéről mondott véleményt. *Dr. Tóth Miklós* (OMBKE, MFT) a földtani-műszaki megítélés szerint nemzetközileg kedvező hazai geotermikus energia intenzívebb hasznosítása érdekében alapvetőnek tartotta, hogy mielőbb tisztázzuk gazdasági versenyképességét más energiahordozókéhoz viszonyítva. *Kiss István* (OMBKE) az NDK példáján ismertette a hévízhasznosítás központi (földtani-energetikai) koordinálásának szervezeti felépítését és működését. *Heinbach Kamill* (MHT) a vízminőségi előírások egészségügyi és gazdasági szerepére hívta fel a figyelmet. *Borbély Pálné* (OMBKE) a vízelőkészítés vegyészeti-technológiai kérdéseivel foglalkozott, továbbá a felhasználás szezonálisának jelentőségére mutatott rá. *Asztalos József* véleménye szerint a hazai hévízhasznosítás piaci-tulajdonjogi kérdéseiben versenyszellemű szabályozás célszerű. *Lakatos Sándor* (MGE) javasolta, hogy a munkaprogramba kerüljön be a hévízrezervoár-adattár, különösen a repedezett tárolókra vonatkozó ismeretek kérdése. *Nagy András*

(MHT) tájékoztatott a vízár általános alkalmazására irányuló törekvésről. Ajánlotta továbbá, hogy a hévízkutak állapotának felmérése kerüljön be a munkaprogramba. *Dr. Jászay Tamás* (ETE) a nemzetközi kapcsolatok fontosságát és aktuális jelenségeit tette szóvá.

A véleménycsere és vita alapján véglegesített munkaprogramot és a határozati javaslatokat az érdekeltekhez eljutattuk.

Pogány László
szakcsoporttitkár

Könyvismertetés

Investigation in Geophysics, Volume 2

Seismic Data Processing

Szerző: Özdogan Yilmaz

Kiadó: SEG, Tulsa, 1987, 1988, ISBN 0-931820-40-0 526 oldal.

Ezzel az előszőr 1987-ben publikált könyvvel olyan mű kerülhet a szeizmikus kutatást és különösen a szeizmikus adatfeldolgozást végző szakemberek kezébe, amely régóta hiányzott.

Ez az állítás lehet, hogy meglepőnek tűnik, hiszen az utóbbi években sorra jelentek meg e témakörrel foglalkozó könyvek. Ez a könyv azonban más mint a szeizmikus kutatás alapjait, a feldolgozási módszereket ilyen – vagy olyan mélységgel tárgyaló egyébként szintén hasznos könyvek. A részletesebb ismeretetés előtt összefoglalom röviden, hogy miben más, miben értékesebb ez a könyv:

1. Lényegretörő, könnyen érthető stílusban ismerteti az összes, jelenleg korszerű, lényeges feldolgozási módszert.
2. A feldolgozási módszerek gyakorlati problémáit is tárgyalja és útmutatást ad a hibák elkerülésére.
3. Rendkívül bőséges, valódi mérési és feldolgozási eredményeket bemutató ábráival szemléletessé teszi a feldolgozási módszerek hatását és problémáikat.
4. Az ábrákon bemutatott anyagok nem ún. reklám mintapéldák, hanem az ipar hétköznapjaiból valók is szép számmal láthatók közöttük.
5. A szeizmikus adatfeldolgozást végzők kézikönyvként használhatják, hiszen tárgyalja a szerző a feldolgozás kritikus kérdéseit. (Mi legyen a feldolgozási módszerek sorrendje? Milyen paramétereket válasszunk? Elfogadható-e egy művelet eredménye? stb.)
6. Igen hasznos segédeszköz lehet ez a könyv, s főleg ábraanyaga, az egyetemi oktatásban.
7. Nyomdatechnikailag igen kiváló minőségű könyv.

Ez a felsorolás egyrészt a figyelmet akarja felhívni, szolgálhat másrészt ajánlásként is az említett területeken dolgozó szakembereknek.

Az alábbiakban összefoglalóan ismertetem a könyv felépítését és tartalmát. A szerző a szeizmikus adatfeldolgozás három fő művelete – dekonvolúció, összegszelvény-előállítás, migráció – köré építi fel mondanivalóját, kitér azonban a fontos kiegészítő műveletekre is. A könyv nyolc fejezetből és hat függelékből áll, melyek az alábbiak.

1. fejezet: *Alapok*

Ebben a fejezetben a feldolgozás és analízis egyik alapeszközét a Fourier-transzformációt tárgyalja, igen szellemesen, alkalmazásával együtt. Ezután bemutat és elemez 40 különböző egyszeres felvételt, majd ismerteti az alapvető feldolgozási folyamatot. Részletesen szól az erősítés alkalmazásáról, majd ismerteti a kétváltozós Fourier-transzformációt.

2. fejezet: *Dekonvolúció*

Ez a fejezet a dekonvolúcióval foglalkozik. Ismerteti a konvolúciós modell jellemzőit, az inverz szűrést, a minimum fázisúságot, az optimum Wiener-szűrést, a legkisebb négyzetes inverz szűrést, a prediktív dekonvolúciót, a spike dekonvolúciót és a Vibro-dekonvolúciót. Igen értékes a prediktív dekonvolúció gyakorlati vizsgálata.

3. fejezet: *Sebességvizsgálat, Statikus korrekció, Összegzés*

Itt található az olvasó az összegszelvény előállításához szükséges, alapvető, s már klasszikusnak számító feldolgozási lépéseket. A szerző igen sok ábrával illusztrálja az egyes paraméterek hatását, folyamat-ábrákat ad a helyes feldolgozási sorrendhez.

4. fejezet: *Migráció*

E fejezet rendszerbe foglalva tárgyalja az időszelvény migrációs módszerek szinte valamennyi fajtáját. Az alapelvek ismertetése után a gyakorlati példákon elemzi itt is az egyes módszerek hatását. Itt ismerkedhetünk meg a DMO-eljárással és a migrációs sebesség meghatározásának problémáival.

5. fejezet: *Leképezés bonyolult szerkezetek alatt*

A szerző itt a horizontálisan gyorsan változó sebességgel jellemzett közegbeli leképezés lehetőségeit tárgyalja. Ilyen közegekben a hagyományos idő migráció már nem ad megfelelő képet.

6. fejezet: *3D-s szeizmikus kutatás*

A fejezet a 3D-s kutatást ismerteti annak szinte minden lényeges lépésével (tervezés, mérés, feldolgozás, kiértékelés). Ez a fejezet is igen hasznos, azonban talán ez bővebb lehetett volna, a téma jelentősége ezt indokolná.

7. fejezet: *Irányított összegzések (slant stack) és alkalmazásai*

A szerző itt az irodalomból Tau-P transzformációnak is nevezett módszert ismerteti, elemzi. Bemutatja a felhasználás (zajszűrések, többszörös csillapítás) lehetőségeit is.

8. fejezet: *Speciális témák*

Ez a fejezet is lényeges, bár a fő lépéseket kiegészítő módszereket tárgyal. Ezek a következők: kétváltozós szűrések, szeizmikus modellezés, a vertikális és horizontális felbontóképesség és korlátai, szintetikus akusztikus log szelvény előállítása, pillanatnyi attributum szelvények, VSP-mérések feldolgozása.

A fejezeteket igen bőséges és modern irodalomjegyzék követi. Ezenkívül a fejezetek végén feladatokat találunk, amelyek a közölt ábraanyagra támaszkodva tesznek fel érdekes kérdéseket. A fejezeteket követi 6 különböző függelék. Ezek a Fourier-transzformáció, dekonvolúció, migráció, Tau-P transzformáció, az attributum analízis matematikai összefüggéseit idézik fel, foglalják össze, hivatkozásokkal együtt.

Végezetül néhány szó a szerzőről. *Özdogan Yilmaz* török származású geofizikus, aki az Egyesült Államok egyetemén szerezte képesítését. Doktori fokozatot a Stanford Egyetemtől kapott, az ottani híres kutatócsoport tagjaként. Hosszú ideig dolgozott a törökországi nemzeti olajvállalatnál, ahol a szeizmikus feldolgozás és kiértékelés vezetője volt. 1979-től megszakításokkal a Western Geophysical Co.-nál dolgozik, jelenleg annak londoni központjában. Könyvében nem csak a megszerzett nagy tudásról, tapasztalatról, hanem a jó pedagógiai adottságáról is bizonyágot tesz.

Göncz Gábor

Ára: 32,50 Ft