

MAGYAR

Geofizika



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA
BUDAPEST, 1976. XVII. ÉVFOLYAM, 4. SZÁM

TARTALOMJEGYZÉK

<i>R. W. van Bemmelen</i> : Az új globális tektonika és az undációs elmélet összehasonlítása I. rész	121
<i>Meskó Attila</i> : Geofizikai inverz feladatok megoldása (általános elvek, korlátok és iterációs algoritmusok)	133
<i>Landy Kornélné</i> – <i>Lantos Miklós</i> : Szerkezeti egységek lehatárolása tellurikával	142
<i>V. Ivanova</i> – <i>N. Kolev</i> – <i>J. Kostev</i> – <i>S. Pistalov</i> – <i>S. Stefanov</i> : Rugalmas hullámparaméterek digitális kijelzője	149
<i>D. Engelmann</i> – <i>K. Hochstrate</i> – <i>K. Förster</i> – <i>S. Fricke</i> – <i>K. Rummel</i> – <i>G. Thiele</i> : Olaj- és gáztermelő kutak szelvényezési adatainak számítógépes feldolgozása	154
Könyvszemle, lapszemle	148, 153, 160

Főszerkesztő: Dr. Sebestyén Károly, a MGE társelnöke

Technikai szerkesztő: Ujhelyi Györgyné egyesületi titkár

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

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

Az új globális tektonika és az undációs elmélet összehasonlítása*

R. W. van BEMMELEN**

I. Rész***

A „új globális tektonika” vagy „lemeztektonika” néven ismert modern geodinamikus modell a földszerkezet mobilisztikus képe, melynek alapfogalmai: a kontinensek eltolódása, a tengerfenék teljeszkedése (mint külső megnyilvánulások) és a köpeny konvekciós áramlásai (mint belső hajtóerők). Ugy látszik, hogy eme modell előrejelzései elég jól egyeznek az észlelési adatokkal a litoszféra kinematikus fejlődésére vonatkozóan annak fiatalabb fázisában. Azonban a precambrium időkre való extrapoláció ellentmondásokhoz vezet és szükségesnek látszik a modell lényeges revíziója.

Ezzel szemben az „undációs elmélet” mely már 1931-ben született meg, azóta olyan szintézissé erősödött, mely összeköti a mobilisztikus és fixista felfogásokat. A hajtóerők itt elsősorban a földmagban felszabaduló szabad energiából adódnak és azok lépésről lépésre érvényesülnek felfelé haladtukban. Ez az energia-folyam rheológiai és geokémiai folyamatok alakjában jelentkezik és potenciális energia-felhalmozódásához vezet; felszabadulása elsősorban a felszín különböző méretű vertikális deformációban nyilvánul meg, melyeket „undációknak” neveznek.

A cikk összehasonlítja a globális tektonikai képet a Föld gravitációs terének nagyobb anomáliáival és rheológiai interpretációt ad a geoid-anomáliák számára az undációs modell felhasználásával, amire szerinte a lemeztektonika képtelen.

Новая глобальная тектоника или тектоника плит представляет собой мобилистический взгляд на Землю. Основные положения этой теории: континентальный дрейфт и расширение дна океана (как внешние проявления и конвекционные потоки в мантии) как внутренний двигательный механизм). Кажется, что положения этой модели хорошо совпадают с наблюдаемыми данными о кинематическом развитии литосферы во время более ранних фаз этого развития, однако экстраполяция к прекамбрийскому периоду приводит к существенным противоречиям, таким образом кажется необходимым существенный пересмотр модели.

В противовес этому теория складчатости, которая была предложена уже в 1931 году, выросла в синтетическую теорию, связывающую мобилистические и фиксистские позиции. движущими силами здесь в первую очередь являются силы, вызванные освобождающейся свободной энергией ядра, которые шаг за шагом возрастают к поверхности. Этот поток энергии проявляется в чертах геологических и геохимических процессов и ведет к накоплению потенциальной энергии; освобождение этой потенциальной энергии ведет в первую к появлению вертикальных деформаций различного масштаба, которые мы называем складками или „ундациями”.

Статья дает сравнение между глобально тектоническими образованиями и полем больших гравитационных аномалий в Земле, а также дает геологическую интерпретацию для аномалий геоида с использованием модели складчатости. По мнению автора, глобальная тектоника не смогла бы объяснить эти закономерности.

The modern geodynamic model known as the „new global tectonics” represents a „mobilistic” view of the earth based on continental drift and seafloor spreading (as outward manifestation) and convection currents in the mantle (as interior driving motor). The predictions of this model appear to correspond fairly well with observations about the kinematic evolution of the lithosphere during its younger phase, but extrapolations to pre-Cambrian times run into contradictions and some major revisions of the model appear to be imperative.

In comparison, the model of the „undation theory”, conceived since 1931, has grown into a synthesis between the mobilistic and fixistic positions. Its driving force is supposed to be primarily provided

* Elhangzott 1975. október 16-án.

** Hága — Wassenaarsweg 142, Hollandia.

Fordította: Tóth Géza.

*** Folytatás a XVII. évf. 5. sz.-ban.

by the liberation of free energy in the earth's core, and its stepwise rise to the surface is an irreversibly outward transport. This general form of energy flow occurs through rheological and geochemical processes leading to accumulation of potential energy and its release expressed primarily by vertical deformations of the surface — called „undations” — of various dimensions.

The paper gives a comparison of the global tectonic features and of the major anomalies of the earth gravity field and provides a rheological interpretation for the geoidal anomalies using the undation model, stating that plate tectonics is unable to do the same.

1. Bevezetés

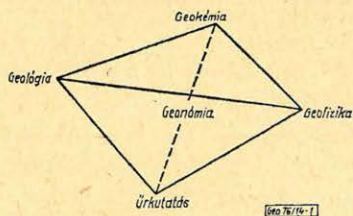
A földtudományok (összefoglaló névvel: geonomia) a világháború utáni évtizedekben forradalmi változáson mentek keresztül. A tengereken és szárazföldeken új technológiával végzett, egyre szaporodó mennyiségű és növekvő intenzitású kutatások hatalmas adattömeghez vezettek, melyekre átfogó, általános modelleket lehetett felépíteni bolygónk múltbeli és jelen állapotát illetően.

A legelterjedtebb és legáltalánosabban elfogadott szintézis az „új globális tektonika” vagy *lemeztektonika* néven ismeretes. Azonban késznek kell lennünk arra is, hogy a nevezett modellen kívül hasonlóan plauzibilis és így azzal egyenrangú modellek is szerkeszthetők. A jelen cikkben egy másik, teljesen kidolgozott megoldást tárgyalunk, az „undációs elméletet”, melyet a szerző a harmincas évek elején vázolt és azóta ismételtlen alkalmazta azt a befutó információanyaghoz, hogy a jelenlegi ismeretekkel összhangzásban álljon.

A cikk főcélja az új globális tektonikának és az undációs elméletnek összehasonlítása, hogy így megvizsgálhassuk funkcionális helyességüket.

A globális fejlődés általános modelljeinek tekintetbe kell venniük a valamennyi különleges geonomiai tudományág által szolgáltatott alapvető észlelési tényeket és ugyancsak figyelemmel kell lenniük az „általános értelemben” (sensu lato) vett (1. ábra), valamint a „szorosabb értelemben” (sensu stricto) vett (2. ábra) geonomia közötti megkülönböztetésre is.

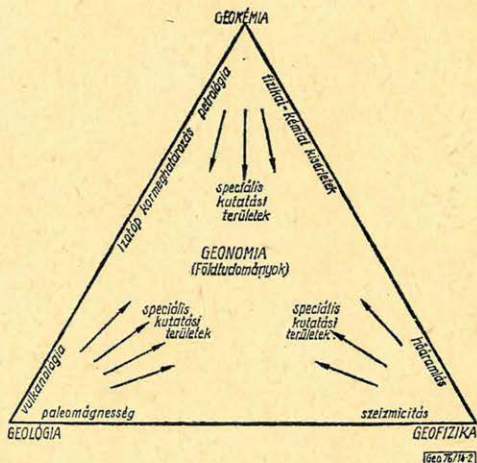
Az ilyen modellek elvont eszmei fogalmak, melyek egyszerűsített képet nyújtanak nekünk arról, hogy a múltbeli geológiai események hol, mikor, hogyan és miért vettek fel bizonyos formákat és történeti menetet. Hatékonyaságuk



1. ábra. Általános értelemben vett geonomia tetraédere.

Рис. 1. Тетраэдр геонмии, рассматриваемый в общем случае.

Fig. 1. The tetrahedron of geonomy sensu lato.



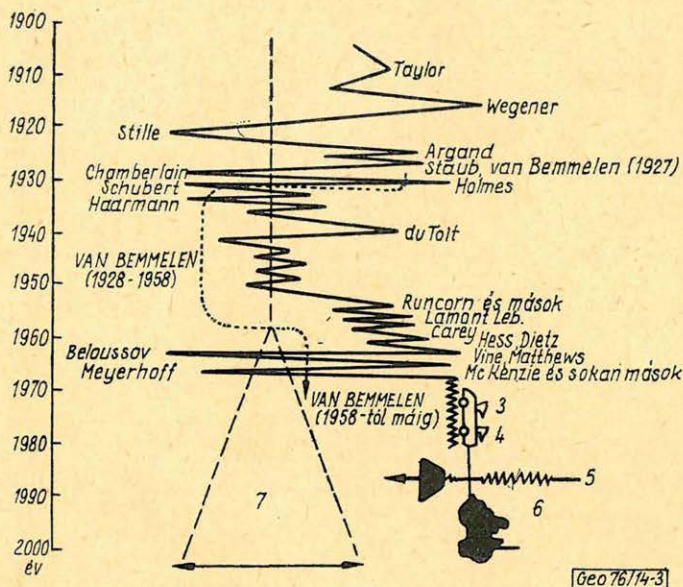
2. ábra. Szűkebb értelemben vett geonomiai háromszög.

Рис. 2. Треугольник геонмии, рассматриваемый в более узком случае.

Fig. 2. The triangle of geonomy sensu stricto.

alapvető jellemzője az, hogy mennyire képesek geológiai események bekövetkezését időben és térben előre jelezni. Minden egyes „előrejelzésnek” (prognózisnak) összhangzásban kell állnia a „diagnosztizálható” tényekkel és így igazolhatóknak kell lenniük új tudományos megfigyelésekkel. Egyetlen modell sem igényelheti maga számára azt, hogy a valóságot teljes mértékben reprodukálja. Ezenfelül a geonomia komplex világában közvetett bizonyító körülmények is jelentős szerepet játszanak.

A tudományos megfigyelések szolgáltatta alapvető tények folytonosan szaporodnak, és így az értelmező feltevéseknek állandó módosulásokon, változásokon kell átmenniük, hogy valamennyi észlelt ténnyel összhangzásban legyenek.



3. ábra. Geodinamikai nézetek a XX. században — 1. Tézis: fixizmus, 2. Antitézis: mobilizmus
3. lemeztektonika, 4. tengerfenék terjeszkedés, 5. függélyes mozgások, 6. Nemzetközi Geodinamikai Terv, 7. szerkezeti realizmus szintézise térben és időben.

Рис. 3. Геодинамические взгляды в XX столетии: 1) Тезис — фиксизм, 2) Тезис — мобилизм, 3) Тектоника плит, 4) расширение дна океана 5) горизонтальные движения 6) Международная геодинамическая программа 7) Образование реального взгляда на внутреннее строение в поле и во времени.

Fig. 3. Trends of geodynamic views in the twentieth century.

A 3. ábra felsorolja a geodinamikai elgondolások fő irányait a huszadik században, melyek két alapfelfogás, a „fixizmus” és „mobilizmus” között ingadoznak s a szerző igyekszik a két ellentétes felfogás szintézisét megteremteni.

Ebben a vonatkozásban illő megemlíteni itt Budapesten a földtágulás figyelemre méltó elgondolását, hiszen itt fejtette azt ki mesteri módon a néhai Egyed László (1914 – 1970). Ő rámutatott arra (1956, 1957, 1959), hogy paleogeográfiai kutatásai szerint a Föld átmérője nyilvánvalóan növekedett, és pedig évi középértékben 0,5 mm-rel. A „földtágulás” többi hiveivel együtt ő is fázisátalakulásokra hivatkozott, mint a Föld térfogati megnövekedésének forrásaira

és a nehézségi állandó Dirac által feltételezett csökkenésére az univerzum tágulásával kapcsolatban (Dirac, 1938).

Legújabbban Carey (egy 1975-ben megjelent áttekintő tanulmányában) erősen kiállt e mellett a feltevés mellett, mely számos geológiai tényel összhangzásban levőnek tűnik. A jelen cikk szerzője azonban véleményében tartózkodó akar lenni; úgy látszik, hogy a tágulás nem érintette bolygórendszerünk más tagjainak felszínét (lásd pl. a Scientific American 1975. szeptemberi külön kiadását a naprendszeréről); ezenfelül a tágulási modell nem veszi eléggé figyelembe a szialikus kéreg geokémiai fejlődését a kozmogenezis óta (lásd: van Bemmelen, 1975. b. és c.).

2. Az új „globális tektonika” vagy „lemeztektonika”

Ennek a modellnek a kidolgozásánál az elmúlt húsz év folyamán számos „geonomus” működött közre, különösen geofizikusok és „tengeri geológusok” (3. ábra). Ez az elmélet a század első negyedében vázolt mobilisztikus szintézisek vonalán indulva és azt a tengeri geofizikai módszerek, a mélytengeri fúrás-technika, a földrengések világszerte végzett megfigyelései és a paleomágneses vizsgálatok eredményeivel egyeztetve átfogó képet ad a geodinamikai ismeretekről. A föld litoszféráját bizonyos számú merev lemezekre osztva (konstrukatív, destruktív vagy konzerváló szélékkel) nagymértékben egyszerűsített és

4. ábra. Viszkozitási paraméterek változása modellkísérletekben.

I. Geodinamikai modellkísérleteknél 1 m-es lemezátmérő esetén használandó anyag viszkozitása (ha az $\varnothing = 0,1$ m, a viszkozitás-értékek tízszer kisebbnek választandók) – 2. A litoszféra átmérője; összefüggés a litoszféra-lemezek átmérője (A) és a geodinamikai modellkísérleteknél használandó anyag viszkozitása (B) között, ha a lemezek $\varnothing = 1$ m. – II. = a litoszféra lemezekben előforduló természetes kőzetek viszkozitásának felső határa (kb. 10^{25} p) – I. = ugyanannak alsó határa (kb. 10^{15} p).

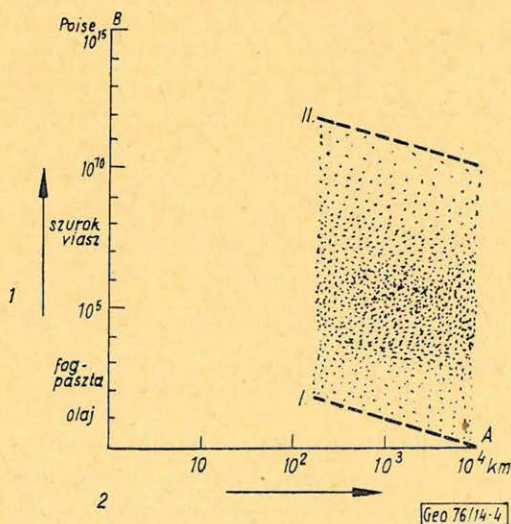


Рис. 4. Изменение параметров вязкости в модельных опытах.

1) Вязкость рассматриваемого материала в геодинамических модельных опытах при размерах плит 1 м (Если $\varnothing = 0.1$ м, то значение вязкости должно быть выбрано в десять раз меньше)
2) Размеры литосферы; связь между размерами литосферных плит (A) и вязкостью рассматриваемого в геодинамических модельных опытах материала (B) в случае размера плит 1 м. II. Верхняя граница вязкости пород, встречаемых в литосферных плитах (примерно, 10^{25} пуаз) I. Для того же случая нижняя граница (примерно, 10^{15} пуаз)

Fig. 4. Changes of the parameter of viscosity in model experiments.

könnyen érthető képet ad a tektonoszféráról, valamint a köpenyben feltételezett mozgó erőről (termális, vagy nem-termális jellegű konvekciós áramokról).

Az új globális tektonika elsősorban kinematikus modell, melyet a „szűkebb értelemben vett” geonomia teresztrikus háromszögének alapja mentén alkottak meg (2. ábra). Ebben a világméretű kinematikus szintézisben valamennyi szereplő elem egyidejűleg hat és mind közreműködnek valamennyi irányban. Tehát mihelyt a tengerfenék terjeszkedése megindul egy építőképes rift-szélén, akkor meg kell indulnia a megfelelő aktív szubdukciónak is – egy mélybeli „garázsba” vezetően – egy destruktív (leépítő) jellegű szegély mentén. Ez a részletekbe menően kidolgozott „visszacsatolási” mechanizmus tagadhatatlanul azzal az előnnyel bír, hogy számításba veszi a litoszféra-lemezek mozgása által képviselt globális méretű „kényszereket” (Solomon és Sleep, 1974). Másfelől, a lemeztektonika eredeti egyszerűsége és eleganciája mögött bonyolult nagyskálájú koordinációra van szükség, mind horizontálisan, mind vertikálisan, ami jelentős akadályt képezhet a további kidolgozásnál (lásd a 3. ábrát).

A „merev” lemezek elképzelésével szemben áll a litoszféra inkább „plasztikus” viselkedése, ha azt globális skálában tekintjük. (Természetesen a kéreg kisebb egységei, az ún. „mikro-lemezek” tektonikailag úgy viselkednek, mint merev, törékeny alakulatok). A litoszféra rheológiai viselkedése az inherensen meglévő gravitációs potenciál következménye, melyet az „undációk” differenciálisan vertikális deformációi eredményeznek. Modellkísérletekkel kimutatták a diapir jellegű feltornyosulásokat komplex befolyását és azok terjeszkedését a nehézségerő hatására (Ramberg, 1967; Dixon, 1975). A lassan mozgó és deformálódó lemezek természetes kőzeteinek viszkozitási szintje az ilyen modellkísérleteknél a fogpaszta vagy méhviasz szintjének felel meg. A lemeztektonikusok antropomorfisztikus jellegű elképzelése a „mesterséges” földgömbökről, melyet merev litoszférai egységek fednek le, összeegyeztethetetlennek látszik a geodinamikussal valóssággal (van Bemmelen, 1975 b; 4. ábra).

Az új globális tektonika önkényes nézeteinek példajaként említhető az a ki nem mondott előfeltétel, hogy a kontinentális blokkok meg kell, hogy őrizzék geometriai vonalaikat, miután a kontinensek feltehetően nem mehetnek át szubdukción és merevek, míg az őket környező óceáni lemezek új alakokat fejlesztenek ki és relatív elmozdulásokat mutatnak a kontinentális pajzsokhoz képest.

Egy másik lényeges eltérés a merev lemezek modellje és a litoszférikus undációk között a tengerfenék szubdukciójának természetére vonatkozik, melyet a lemeztektonikai mechanizmusban „aktívnak” tekintenek, szemben a szerző diapirikus elgondolásában szereplő „passzív” viselkedéssel. Erre a dologra a 4. fejezetben még visszatérünk.

Nem találjuk a lemeztektonikában annak a szerepnek a megfelelő beépítését sem, melyet a geokémiai történet és annak az egész földtest fejlődésében való részvétele játszik. Ez a körülmény az egész elgondolást tisztán mechanikai „kísérlet” szerepére kárhóztatja, mely a geonomiai háromszög „alapvonalához” van kötve (2. ábra).

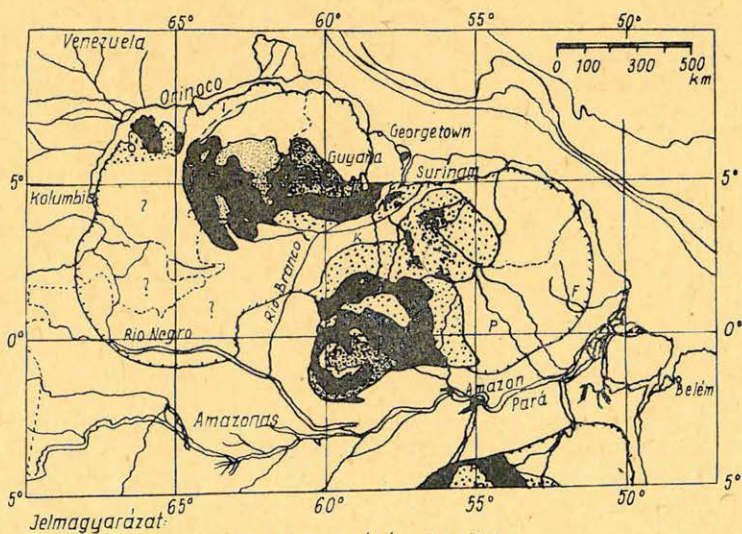
Alapvető tények bőséges tömege mutat arra, hogy a nagyskálájú fejlődés különböző, nem-uniformitárius viselkedési fázisokon ment keresztül a fizikai paraméterek változása következtében. A lemeztektonika viszont a jelen helyzet uniformitárius extrapolációjára szorítkozik.

A szialisztikus pajzsok modern tanulmányozása kimutatta a kéregfejlődés nem-uniformitárius jellegét. Így pl. Kröner (nyomás alatt) a régi afrikai pajzs fejlődését a következő négy szempont szerint foglalja össze:

1. A régi kéreg túlnyomóan, ha nem teljesen, szialisztikus összetételű volt.
2. A legtöbb, ha nem is valamennyi prekambriumi mozgó övezet enszialis eredetű, ezek a régiebb pajzsterületek extenzív „átdolgozásából” fejlődtek.
3. A szecesszív kratonképződés és kontinentális növekedés („hagymarétegződéses” tektonika) elképzelése nem alkalmazható Afrikára: inkább annak ellenkezője látszik fennállani és az egykor hatalmas kontinentális pajzsok egymást követő lebontása jellemzi az afrikai fejlődésmenetet.
4. A lemeztektonikai folyamatok, amint azokat a globális fanerozoikus fejlődés számára tekintetbe akarják venni, nem alkalmazhatók az afrikai pajzs régi történetére, hanem első ízben a késő-prekambriumi (korapaleozoikus) összafrikai orogenezis folyamán mentek végbe.

Kröner áttekintése összhangzásban áll a szerző saját gondolataival, melyeket az elmúlt évtized folyamán fejtett ki. A szerzőnek arra vonatkozó kérésére, hogy fejtse ki nézeteit Moorbath dolgozatával kapcsolatban (1975), Kröner levélben a következőt írta (1975. június 28-án):

Úgy gondolom, hogy Moorbath-nak feltétlenül igaza van, amikor elveti a régi kéreg nagymértékű megolvadásának elméletét, de az újjáalakulással nem kell ilyen messzire mennünk. Sok példánk van Afrikából arra, hogy régi tonali-



Jelmagyarázat:
 ● savas, vagy közepes savasságú vulkanitok
 ●●● gránit közetek
 ■■■ táblás üledékek

Geo76/14-5

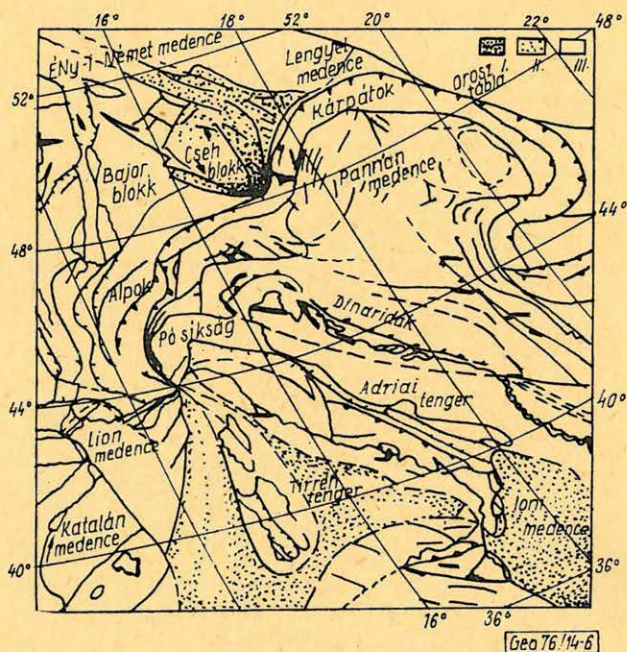
5. ábra. Óriás-gyűrű alakulatok a Guiana-pajzson (Dél-Amerikában).

Рис. 5. Образования гигантского кольца на плато Гвиана (Южная Америка)

Fig. 5. Giant Ring-structures on the Guiana Shield (South America)

tikus gneiszek szerkezetileg újjáalakultak, vagyis nyíródtak, újrakristályosodtak stb., de nem mentek át magmatikus fokozatban való „fiatalítás” (rejuvenáció). Másrészt rendelkezésünkre áll most egy jól megvizsgált eset a Zaire-i Kasai-pajzsról, ahol 3,5 milliárd éves tonalitikus gneiszek teljesen újjá-képződtek és intruzív hipersztén gránitokat (charnockite) szolgáltatottak 2,8 milliárd éves korról. Így Moorbath következtetése (1975) nem mindenütt alkalmazható. Továbbá egyre világosabbá válik a részletes térképezések útján az, hogy a régi „alapkőzet” még mindig felismerhető, bár megváltozott.

Ezt az elgondolást, vagyis hogy az elsődleges szial-kéreg köpeny-feltornyosulások által „átdolgozódott”, ugyancsak alátámasztották azok a vizsgálatok, melyeket Kloosterman (1975) végzett Délamerikában a Guyana-pajzson. Óriás vulkáni gyűrűképződmények sok száz kilométeres átmérővel aktívak voltak 2,5 milliárd évvel ezelőtt. Ezeket a komplexusokat össze lehet hasonlítani a Földközi-tenger térségének elsődleges diasztofizmus-központjaival, melyek aktívak voltak az alpi orogén ciklus idején (van Bemmelen, 1969 a és b, 1972 c, 1973, 1974). Különösen jó példa a Pannon-központ, melyet északnyugatról, északkeletről és keletről a Kárpát-övezet vesz körül s délnyugat felől a Dinári-blokk zár le.



6. ábra. Pannon gyűrűs-szerkezetek sematikus térképe Közép-Európában.

Рис. 6. Семантическая карта Паннонских кольцевых образований в Средней Европе.

Fig. 6. Schematic map of the Pannonian Ring-structures in Central Europe.

Mindez arra mutat, hogy ilyen hatalmas köpeny-feltornyosulások nemcsak a prekambriumi időkben voltak aktívak, hanem ma is alapvető mozgató erőt képviselnek a geodinamikai jelenségek számára (5. és 6. ábra).

Hasonlóképpen a Salop (1972) által leírt „gneisz-gyűrte oválisok” az archaikus pajzsokban valószínűleg szintén ebbe a csoportba tartozó gyűrűs szerkeze-

tek voltak szialikus pajzsokon belül, ami kevés teret nyújt „lemez-kollíziók” számára.

A lemeztektonika közvetlenül nem foglalkozik geokémiával. Általános nézeteit a klasszikus magmatizmusra és a szialikus (gránit-) anyag fokozatos elválására – köpeny-differenciáció útján – alapozza. Ezt a kéreg-növekedési elgondolást kombinálják a Wegener féle paleogeográfiai „Pangea-” és „Panthalassa” – rekonstrukció visszamenőleges extrapolációjával. A „szegélyeken történő” kontinentális növekedés (felhalmozódás) elgondolása először Suess-nél szerepel (1909). Erősen alátámasztották a nézetet Stille kutatásai (1924) Európában és szerkezeti adatok Észak-Amerikában (Engel, 1963). Engel és Kelm (1972) ezt a fogalmat Afrika prekambriumi fejlődésére is alkalmazta. Ezek a nézetek azonban ellentétben állanak az új, Hutton-i jellegű-modern elgondolásokkal az újra-ciklusba vivésről és újra-mobilizálásról, hasonlóan Kröner fentebb említett nézeteihez.

A szialikus kéreg „*hagyma-héj*”-jellegű szaporodási elvének érvényét ma már egyre inkább kétségbevonják a modern űrkutatási eredményekre való tekintettel is. Lowman mutatott rá a hatodik Holdtudományi Konferencia alkalmából (1975 márciusban) arra, hogy a Hold, a Mars és a Merkúr kéregfejlődése inkább azt jelzi, hogy a medencék a felvidékek rovására növekednek.

3. Az undációs elmélet

Az elmúlt évtizedben megfigyelhettük hosszútávú, nem-uniformitárius nézetek kifejtését a földfejlődéssel kapcsolatban (pl. van Bemmelen és mások, 1967; van Bemmelen, 1968, 1972 b, 1975 a, b c). Egyfelől, a kontinentális pajzsok átmehetnek „*újjraalakuláson*” és rift-képződésen, terjeszkedésen és végül eltolódáson (amint ez a Pangea esetében történt a Paleozoikum végén); másrészt ki vannak téve geokémiai „*támadásoknak*” is köpeny-feltornyosulások részéről, melyek esetleg a szialikus kéreg tömegének csökkenését eredményezhetik, valamint a szima felfelé-törését a mély óceáni medencék terjeszkedésével.

Az „*undációs elmélet*” már a harmincas évek eleje óta rendelkezik a globális fejlődés ilyen modelljével, melyet a szerző dolgozott ki. Kezdetben ez olyan szintézis volt, mely összefoglalta az akkor rendelkezésre álló adatokat az indonéziai Szunda-sziget-ív magyarázatára. Később kiterjesztődött a föld számos más területére, egyidejűleg hozzácsatolva azt az alapvető tények egyre jobban növekvő áradatához (lásd Havemann, 1969). És így, bár egyre érettebbé vált, több mint négy évtizedes időköz folyamán, alapvető feltevései nem változtak meg, mert összhangzásban állanak korunk természettudományi fejlődésének egészével, míg a történeti geológiai helyzetek fokozatosan változnak, és pedig nem mindig aktualisztikus módon.

3.1 A kozmikus fejlődés egységessége

Kozmikus rendszerünk koherens, fejlődő egészet alkot, mely az anyag kisebb-nagyobb felhalmozódásaiból és energia hullámokból épül fel.

A tömeg-tehetetlenségi-erők (gravitáció és forgási energia) irányítják a makro-világ folyamatait, míg a nukleáris és fiziko-kémiai folyamatok részecskeközti erői a mikrovilágban aktívak (1. táblázat).

<p>Az elektromos tér ingadozásai elsőrendű fontosságúak</p>	<p>10⁻¹³ cm a kritikus Planck hossz</p>	<p>Az ember: kb. 1,7 × 10⁺² cm</p> <p>FIZIKAI TUDOMÁNYOK az alábbi észlelhető intervallumokkal</p>	<p>kb. 10⁺²⁸ cm a legtávolabbi észlelhető tárgyak</p>	<p>Egyéb más valószínűségi hullámok a „szuper-térben” (Wheeler, 1968.)</p>
<p>infra-észlelési intervallum</p>	<p>(1) Alaptudományok vagy ← Fizika-Kémia alsó észlelési</p> <p>nukleáris fizika + fizika + kémia</p> <p>részecske-kölcsön-hatások fizikai-kémiai erők folytán (elektromágneses tér)</p>	<p>(2) Földtudományok vagy Geonomia</p> <p>Kolloidok ← Középső észlelési intervallum</p> <p>→ Holdtá- volság</p> <p>kb. 10⁻⁶ cm kb. 10⁺¹¹ cm geológia + geofizika + geokémia + holdtan</p> <p>kölcsönhatások geonomiai egységek között elektromágneses és téhetetlen-ségi erők folytán</p>	<p>(3) Csillagtudományok vagy Asztronómia</p> <p>← felső észlelési intervallum</p> <p>→ kozmológia + asztrofizika</p> <p> kozmikus egységek belső és külső kölcsönhatásai tehetetlenségi erők folytán (Einstein, 1915)</p>	<p>ultra-észlelési intervallum</p>
<p style="text-align: center;">(idő)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">geometriai fejlődés szíromszerűen ki- egyensúlyozott reakcióláncok egybefonódásával</p> <p style="text-align: center;">↑</p> <p style="text-align: center;">geothermodinamika</p> <p style="text-align: center;">↑</p> <p style="text-align: center;">georheodinamika</p>				

A geológiai fejlődés hajtóerői két csoportba sorolódnak: nevezetesen a nukleáris és elektromágneses csoportba és a tömeg-tehetetlenségi erők csoportjába. A tömeg-tehetetlenségi erők két forrásból táplálkoznak: a nehézségi erőből és a Föld forgási energiájából.

A globális fejlődési folyamatok a szabad energiának az egymást követő történeti helyzetekbe való „betáplálásából”, ott felhalmozódásából származnak, illetve ennek eredményeként jelentkeznek. Az 1. táblázat bemutatja a geonomia centrális elhelyezkedését természettudományi rendszerünkben. Még az ún. „objektív” tudományokban sem kerülheti el az ember azt, hogy ne a saját, előre kialakított nézetei szerepeljenek fókuszpontokként. A középkor kozmo-geocentrikus elképzeléseit egyszerűen felcserélték az univerzumról alkotott, bonyolultabb fizikai elgondolásokkal, melyeknél az ember még mindig „antropo-centrikus” környezetben találja magát.

3.2 A fejlődési folyamatok periodicitása

A globális fejlődési folyamatokat változó paraméterű periódusok kifejlődési és potenciális energiával való feltöltődési periódusai jellemzik. Ezeket a periódusokat esetleg a felhalmozott energia részleges kioldásai fejezik be, amikor lényegesen új helyzetek keletkeznek. Az ilyen események a potenciális energia relaxációját jelentik és aránylag rövid tartamúak, de éppen ezek képviselik a nagy intenzitású geodinamikai mozgások időszakait.

A fanerozoikus időközben három nagy orogenikai ciklust különböztethetünk meg (Umbgrove, 1947), éspedig: a kaledóniait, a herciniait és az alpit, mintegy 250 millió éves időközökben. Ezek többé-kevésbé hasonló fejlődés-menetet mutatnak, geoszinklinális övezetek leülepedésével kezdődnek, majd a diaszτροφizmus felboltozódó centrumaival, gyűrű-szinklinálisokkal folytatódnak. Az ilyen kéreg-feltornyosulások esetleg összeomolhatnak és az orogenikus ciklus esetleg sziget-ívek – vagy hegy-ívek – oldaltirányú migrációjával végződhet molasszikus előmélységek kialakulásával együtt (van Bemmelen, 1973).

Stillének az orogenikus fázisokra vonatkozó elgondolása (1924) minden bizonnyal túl merev szinkronizáció tekintetében és túl részletező az alfázisok kialakításában. Mindennek ellenére ma is érvényben van, ami az orogenikus periódusok fogalmát illeti, amint ezt Schwan (1974) legutóbbi dolgozata is kiemeli. A tengerfenék terjeszkedésének periodusaira – amint azt a paleomágneses zónákról készített feljegyzések tanúsítják – jóval rövidebb intervallumok jellemzők. Ezek az óceáni-fenek „csaknem állandó” folyására mutatnak a közép-mezozoikum óta; közben a változó sebességű folyamatban gyorsulások és lassulások mutatkoztak.

A geodinamikai folyamatokra nyilván mind amplitúdó, mind tartam tekintetében nagy változatosságú periodusok jellemzők, melyek egymást a mozgófényképekben szereplő film-kivágatokhoz hasonlóan követik.

3.3 Undációk

A geodinamika terén kialakított „undációs”-elmélet Haarmann elgondolását követi, mely különbséget tett litoszférikus tömegek differenciálisan vertikális áthelyeződései – melyek a potenciális energia megváltozásával járnak – és a felhalmozódott gravitációs energia kioldási folyamatai között. Ezeket az elsődlegesen vertikális mozgásokat oszcillációknak, pulzációknak vagy undá-

7. ábra. Az undációk 5 osztálya: a felső görbe mutatja a maximális magasságot, melyet az undációk a jelen geográfiai helyzetben elérhetnek, az alsó görbe megadja az okozó áramok feltételezett mélységét, melyek a felszínen jelentkező undatórikus kidudorodásokban mutatkoznak meg (logaritmus skála kilométerekben) — a) magasság/km, — b) mélység/km, I. Lokális, — II. kisebb, — III. közepes, — IV. geológiai méretű, — V. Mega — undációk, — 1. üledéktakaró, — 2. alaphegység-komplexum (kéreg), — 3. a litoszféra alsó része és az atmoszféra, — 4. alsóköpeny, — 5. felsőköpeny, — 6. sódómok, szubvulkánikus felboltozódás, — 7. gneiszbatholitikus dómok, — 8. hegyláncok, sziget-ívek, — 9. óceáni hát-ságok, óriás gyűrűszerkezetek, — 10. a geoid oktáns-deformációja.

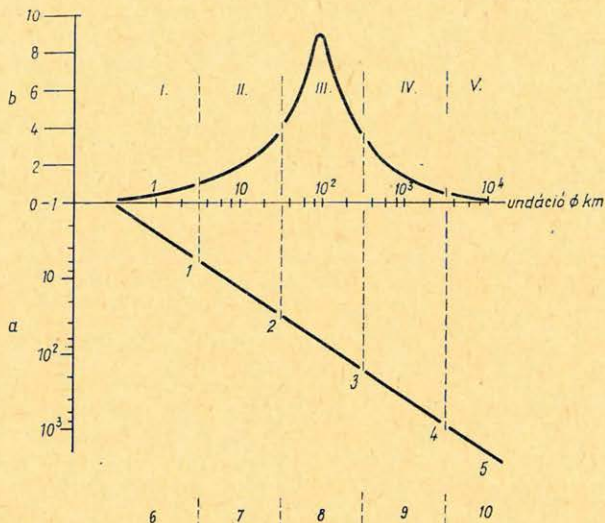


Рис. 7. Пять классов складчатости. Верхняя кривая показывает максимальную высоту, которую могут достигнуть складки при современном географическом положении; нижняя кривая дает предполагаемую глубину вызывающих их течений, то есть тех течений, которые на поверхности в виде складчатых выпуклостей (логарифмическая шкала в км.) — а) высота/км, — б) глубина/км, — I. Локальные, II. Малые, III. Средние, IV. Геологических размеров V. Мегаскладчатость — 1. Осадочное покрытие 2. Комплекс гористого основания (кора) 3. Нижняя часть литосферы и атмосфера 4. Нижняя мантия 5. Верхняя мантия 6. Соляные куполы, субвулканические структуры 7. Гнейс-батолитовые куполы 8. Горные цепи, островные дуги 9. Океанические хребты, гигантские кольцевые образования 10. Деформация геоида восьмого порядка.

Fig. 7. Five classes of Undations. Curve A shows the maximum height that can be reached by undations in the present geographical situation. Line B shows the supposed depth of the causative currents which manifest themselves as undatory upwellings at the surface (logarithmic scale in kilometers).

cióknak nevezhetjük. A legutolsó — először Stille által használt — megjelölést fogadta el a szerző is, hogy megkülönböztesse saját elgondolását Haarmann „oszillációitól” vagy Grabau „pulzációitól”, melyeknek értelme az ő elgondolásától kissé eltér. Az „undáció” kifejezés még azzal az előnnyel is rendelkezik, hogy magában foglalhatja a (hullám-) gerinc oldalirányú elmozdulását is a fejlődés folyamán.

Gyakorlati célokra az undációkat öt nagyságrendi csoportba oszthatjuk, a több ezer kilométeres méretű mega-undációktól a néhány kilométer átmérőjű helyi, kis undációkig (7. ábra).

Az undációk által elérhető magasságot az eltérés nagysága határozza meg, mely egyrészt a potencialitás és a felfelé irányuló mozgások sebessége, másrészt a magasságcsökkenés sebessége (erózió, gravitációs terjeszkedés, izosztatikus süllyedés mértéke) között fennáll (az A — vonal a 7. ábrán).

Az ezen undációk eredő mélységének meghatározására vonatkozó hozzávetőleges szabály a következő: mennél mélyebben fekszik az „ok”, annál kiterjedtebb annak felszíni kifejeződése (a B — vonal a 7. ábrán).

Az undációkat létrehozó tömeg-áramok benső összefüggésben álló energia-rendszerek. (Ramberg, 1967). Minden ilyen áramkör bizonyos mennyiségű szabad energiát használ fel a folyamat alatt és átviheti szabad energiájának egy részét egy másik, kisebb körre. Így bizonyos hierarchia jön létre a Föld belsejében szereplő tömeg-áramkörök között (termális vagy nem termális konvekciók között), éspedig a nagy léptékű, mélyen fekvő és a kisebb méretű, sekélyebb képződmények között. Nem lehetséges azonban, hogy egy kicsiny, sekély geodinamikusan mozgó és mélyben levő tömegek energetikusan magasabbrendű áramkörét válthassa ki. Egy óceáni hullám nem hozhat létre tenger-áramlást. Természetesen lehetséges bizonyos „*visszacsatoló*” mechanizmus (pl. radioaktív, gránitkőzetből álló kéreglemez melegítése az alsó szinten), de nem következik be az általános elv alapvető megfordítása, vagyis hogy kifelé menő szabadenergiaáramlás van jelen bolygónkon, mígnem végül is alacsony energiájú hőhullámok, bocsátódnak ki a világűrbe.

Így plauzibilisnek látszik, hogy a geodinamikusan folyamatokat életben tartó szabad energia végső forrása a Föld belsejében keresendő. Onnan terjeszkedik kifelé különböző alakban, váltakozó elraktározódási periódusokkal és relaxációs szakaszok epizód-jellegű beiktatásával (lásd a 15. ábrát, valamint az 1. táblázatot van Bemmelen 1975 c cikkének 16. oldalán).

Ennek az elsődleges energiaforrásnak a jellege még ismeretlen. Gondolhatunk instabil izotópokra, melyeket még a kozmogenezisből örököltünk, vagy fázis-átmenetekre a kozmikus gravitációs konstans csökkenésével kapcsolatban (Dirac, 1938).

Ez utóbbi lehetőséget fogadja el a földtágulási modell legtöbb híve. Carey gondolatát (1975), mely szerint a Föld szimmetrikus tágulásai lehetségesek (félgömbszerű vagy csak oktáns-méretűek), nem fogadták el annak tekintetbe vétele folytán, hogy a külső mag anyagában kifejlődő magneto-hidrodinamikusan áramlások (köráramok) igen kis viszkozitás-értékre mutatnak, úgy hogy a tágulási feszültségek nem korlátozódhatnak a magköpeny-határ egy részére, hanem egyenletesen eloszló radiális feszültségeket hoznának létre a mag-köpeny-határfelület teljes egészén. (Lásd erre vonatkozóan Roberts — 1975 — energia-megfontolásait a mag magneto-hidrodinamikai folyamataival kapcsolatban).

Barta (1973 a és b, 1974) is azt fejtette ki, hogy a geodinamikai folyamatok legmélyebb energiaforrása a (belső) magban keresendő. Szerinte a geoid-alak alacsony rendszámú harmonikusait úgy értelmezhetjük, mint két forgásszimmetrikus alak összegét, melyek tengelye India, illetve Ausztrália felé mutat, ahol ezidőszert a legnagyobb mértékű gravitációs anomáliák helyezkednek el. A Föld középpontja a gravitációs tér szinguláris pontja, ahol a nehézség értéke zérus. A belső mag „*lebeg*” környezetében — csaknem semleges úszási körülmények között —, úgy hogy sokáig megtarthatja „*kitéréseit*” a geológiai korok folyamán. Lehetséges, hogy a belső mag mozgásait a külső mag tömegében árapály-erők befolyásolják és ezek a geoid megváltozásait okozhatják, energiát szolgáltatva így a felszínközeli tektonikus mozgások számára.



Geofizikai inverz feladatok megoldása (általános elvek, korlátok és iterációs algoritmusok)*

MESKÓ ATTILA**

Ismeretes, hogy a gravitációs mágneses, geoelektromos, szeizmikus, stb. direkt feladatok egyértelműen megoldhatók, a geológiai-geofizikai modell geometriai és fizikai paramétereiből egyértelműen számíthatók a gravitációs és mágneses anomáliák, elektromos szondázási görbék, szintetikus szeizmogramok. Az inverz feladat megoldása viszont az esetek többségében nem egyértelmű.

A változók számát korlátozhatjuk ha a területre vonatkozó geofizikai-geológiai ismeretek felhasználásával néhány paramétert rögzítünk. Ilyen módon az inverz feladat egyértelművé tehető.

A mérési adatok és meghatározandó paraméterek kapcsolata általában nem-lineáris. Emiatt olyan iterációs algoritmus alkalmazását javasoljuk, mely a direkt feladat exakt megoldására épül. Az n -edik iterációs lépés paramétereiből számítjuk az n -edik lépés mérésekkel összevethető adatrendszerét. A paraméterek javítását az inverz feladat linearizált közelítéséből számítjuk az eltérések felhasználásával. (A feladat típusától függően a javításokra vonatkozó kapcsolat esetleg tovább egyszerűsíthető).

Az elvi levezetéseket háromdimenziós gravitációs inverz feladatok megoldásával illusztráljuk, refleziós szeizmikus és gravitációs anomália-adatok felhasználásával.

Известно, что прямые задачи гравиметрии, магнитометрии, электро-, сейсмо разведки и т. п. могут быть решены однозначно и что по физическим параметрам геолого-геофизической модели можно однозначно вычислить аномалии поля силы тяжести и магнитного поля, кривые электрического зондирования, синтетические сейсмограммы. Однако, в большинстве случаев обратные задачи не поддаются однозначному решению.

Количество переменных можно ограничить, если с использованием имеющихся для данного района геолого-геофизических данных задаются некоторыми параметрами. Благодаря этому решение обратной задачи может стать однозначным.

Связь данных наблюдений с определяемыми параметрами, как правило, является нелинейной. В связи с этим предлагается применять итерационный алгоритм, в основе которого лежит экзактное решение прямой задачи. По параметрам n -ого итерационного шага вычисляется система данных n -ого шага, сопоставляемых с результатами наблюдений. Поправки, вводимые в параметры, подсчитываются по линейризированной аппроксимации обратной задачи с использованием отклонений. (В зависимости от типа решаемой задачи соотношение, касающееся поправок, может поддаться дополнительному упрощению).

Теоретические выводы иллюстрируются решением трехмерных гравиметрических обратных задач, с использованием сейсмических данных МОВ и аномалий поля силы тяжести.

It is known that direct problems of gravity, magnetics, geoelectricity, seismics etc. can be unambiguously solved i. e. gravity and magnetic anomalies, electric sounding curves, synthetic seismograms can be unambiguously computed from the geometric and physical parameters of the geological-geophysical model. The solution of the inverse problem is, however, in the majority of cases ambiguous.

The number of unknowns can be reduced, if some parameters are fixed using geophysical-geological data pertinent to the prospection area. Thus the inverse problem can be made unambiguous.

* Elhangzott a 20. Szimpóziumon 1976. szept. 16–19. Szentendrén.

** ELTE Geofizikai Tanszék.

The relation between measurement data and the parameters to be determined is in most cases non-linear. Therefore the application of an iterative algorithm is proposed, which is based on the exact solution of the direct problem. The data system of the n-th step to be compared with the measurements is computed from the parameters of the n-th iteration step. The corrections of the parameters are computed from a linearized approximation of the inverse problem using the deviations. (Depending on the nature of the problem the correction equations can be in some cases further simplified).

The theoretical deductions are illustrated by the solution of some three-dimensional inverse gravity problems, using reflection seismic and gravimetric anomaly data.

Bevezetés

Ismeretes, hogy a szeizmikus, mágneses, gravitációs, geoelektromos direkt feladatok egyértelműen megoldhatók. A felvett geológiai rétegsor vagy hatótest geometriai adataiból és az illető módszerekre jellemző fizikai paraméterekből, (a rugalmas hullámok terjedési sebessége, szuszceptibilitás, vagy remanens mágnesezettség, sűrűség különbség, fajlagos ellenállás stb.) egyértelműen számíthatók a szintetikus szeizmogramok, mágneses vagy gravitációs anomáliák, szondázási görbék stb. Ismeretes az is, hogy a gravitációs inverz feladat nem oldható meg egyértelműen, illetve nincsen bizonyítva általánosan az sem, hogy a szeizmikus és mágneses inverz feladatok egyértelmű megoldással rendelkeznek.

A meghatározandó geometriai és fizikai paraméterek, azaz az ismeretlenek számát csökkenthetjük, ha a területre vonatkozó geofizikai-geológiai ismeretek felhasználásával néhány paramétert rögzítünk. Néhány esetben ezzel az inverz feladat megoldása is egyértelművé tehető.

A mérési adatok és meghatározandó paraméterek kapcsolata általában nem-lineáris. Legtöbbször már a direkt feladat is csak közelítő numerikus módszerekkel oldható meg.

Ismeretes például, hogy a reflektált hullám menetidőgörbéje zárt alakban nem adható meg; x és t csupán külön-külön fejezhető ki a terjedési sebességek, dőlések és a sugár indulási szöge segítségével. Gravitációs és mágneses hatók tere ugyan zárt képletekkel írható fel, de ezek gyakorlati kiszámításakor különböző közelítésekre van szükség. Még nagyobbak az elvi és számítástechnikai nehézségek az inverz feladatok megoldásakor. A megoldásban használt módszerek változatosak. Elterjedt az inverz feladat linearizálásának módszere, a görbeseregek alkalmazásának módszere, a nem-lineáris optimalizáció különböző eljárásai, lineáris programozás alkalmazása, iterációs eljárások alkalmazása stb. Ezek közül néhány csak akkor működik elfogadhatóan, ha a meghatározandó paraméterek száma nem túlságosan nagy.

A következőkben egy általánosan alkalmazható iterációs eljárást ismertetünk, mely a direkt feladat megoldásán alapul. A kezdeti modelltől számítjuk a modellnek megfelelő geofizikai mennyiséget, ezt összehasonlítjuk a mérési eredményekkel. Az eltérések és a modell paraméterei között lineáris kapcsolatot állítunk fel. Ebből határozzuk meg a javításokat. Az iteráció hatásossága a kezdeti modell, illetve a javítások megválasztásától függ.

A konkrét összefüggéseket a geofizikai mérés természetétől függő módon kell megállapítani.

A rendelkezésre álló hely korlátai miatt részletesen a gravitációs inverz feladat megoldását tárgyaljuk. Bár a javasolt eljárás nem optimális az átlag-négyzetes értelemben, a lépésenkénti ellenőrzés lehetősége miatt geofizikai

feladatok megoldására alkalmasabb azoknál az eljárásoknál, melyek közvetlenül a paraméterek meghatározását tűzik ki célul.

A következőkben vázoljuk az általános elveket, majd tárgyaljuk a gravitációs direkt feladat gyors megoldásának algoritmusát, végül a gravitációs inverz feladat iterációs megoldását vázoljuk.

Az inverz feladat iterációs megoldásának általános elvei

Jelölje a modell paramétereit γ_i . Ezek közül az $1, 2, \dots, M$ indexűek (A csoport) a geometriai, az $M+1, \dots, N$ indexűek (B csoport) a fizikai paraméterek.

A paramétereiből a direkt feladat megoldása a szimbolikusan T_α -val jelölt transzformáció révén adódik, α a geofizikai mérésre jellemző index. A korrekciók és javítások után kapott mérési adatokat jelölje m_k .

A direkt feladat megoldásából kapható, az m_k mérési adattal egyező argumentumra vonatkozó értékeket jelölje μ_k , végül az inverz feladat megoldását foglaljuk össze a szimbolikus T_α^{-1} jelöléssel. Ha k számú mérési pontnak van, a bevezetett jelölésekkel:

$$\mu_k = T_\alpha [\gamma_i] \quad (1)$$

$$\gamma_i = T_\alpha^{-1} [m_k] \quad (2)$$

$$(i = \underbrace{1, 2, \dots, M}_A, \quad \underbrace{M+1, \dots, N}_B)$$

$$(k = 1, 2, \dots, K).$$

Az inverz feladat természetesen nem adhat egyértelmű megoldást, ha $K < N$. A megoldás instabil (nem stabil) ha $K \approx N$. Elfogadható eredmény remélhető, ha K jóval nagyobb, mint N . Az iteráció lényege a γ_i paraméterek javítása

$$\gamma_i^{(j)} = \gamma_i^{(j-1)} + T_\alpha^{\text{approx}} (\Delta m_k^{(j-1)}), \quad (3)$$

ahol $\gamma_i^{(j)}$ a j -edik iterációs lépésben kapott paraméter, T_α^{approx} közelítő lineáris transzformáció, végül

$$\Delta m_k^{(j-1)} = m_k - T_\alpha [\gamma_i^{(j-1)}], \quad (4)$$

tehát az eltérés a mérési adat és a direkt feladat ($j-1$ -edik iteráció-paramétereivel számított megoldása között. A T_α^{approx} meghatározása a konkrét geofizikai mérés természetétől függ. Lineáris transzformáció alkalmazása akkor jogosult, ha $\Delta m_k^{(j-1)}$ kicsiny. A $\gamma_i^{(0)}$ a modellnek felel meg. Mivel (3) csak kis $\Delta m_k^{(j-1)}$ értékek esetén elfogadható, esetenként a kezdeti modellt is több lépésben kell meghatározni.

A T_α^{approx} levezetését többféle módon végezhetjük. Ezek közül egyet vázolunk az alábbiakban. Ha a γ_i paraméterek kis változtatása μ kis változásához vezet, a μ függvényt sorba fejthetjük a γ_i ($i = 1, 2, \dots, K$) körül

$$\mu(\gamma_i + \Delta\gamma_i) = \mu(\gamma_i) + \sum_i \frac{\partial \mu}{\partial \gamma_i} \Delta\gamma_i + \vartheta [\Delta\gamma_i^2], \quad (5)$$

majd a paraméterváltozásban négyzetes tagokat elhanyagolhatjuk. A parciális deriváltaknak a mérési pontok argumentumaiban felvett értékeit $c_i^{(k)}$ -val jelölve és felhasználva, hogy $\mu(\gamma_i + \Delta\gamma_i) - \mu(\gamma_i)$ ugyanezen argumentumoknál a $\Delta\mu$ megváltozásokat adja

$$\Delta\mu_k(\gamma_i) = \sum_i c_i^{(k)} \Delta\gamma_i. \quad (6)$$

Mivel K jóval kisebb, mint N , a (6) egyenletből a $\Delta\gamma_i$ értékek közvetlenül nem fejezhetőek ki.

Vezessük be azonban az η_j redukált mérési adatokat az

$$\eta_j = \sum_l d_{jl} \mu_l \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad (7)$$

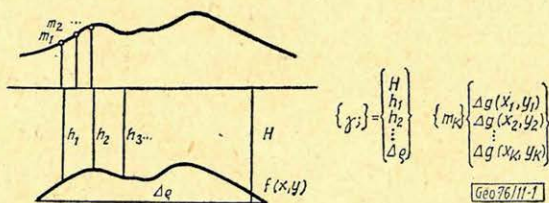
definícióval. Ezekkel a (6) egyenlet

$$\Delta\eta_j = \sum_l d_{jl} \Delta\mu_l = \sum_l d_{jl} \sum_i c_i^{(k)} \Delta\gamma_i = \sum_{i=1}^N C_{ji} \Delta\gamma_i \quad (8)$$

alakra hozható. A C_{ji} a d_{jl} konstansokból és $c_i^{(k)}$ értékekből könnyen meghatározható négyzetes mátrix. A keresett lineáris kapcsolatot a C_{ji} inverz mátrixának választható és ezzel a (3) helyett a $\gamma_i^{(j)}$ és $\gamma_i^{(j-1)}$ vektorok közötti kapcsolat

$$\gamma_i^{(j)} = \gamma_i^{(j-1)} + [C_{ji}]^{-1} [\Delta\eta_j] \text{ lesz.} \quad (9)$$

A redukált mérési adatok definiálásakor törekedhetünk arra, hogy C_{ji} mátrix inverze számítható legyen. A (9) egyenlettel kifejezett kapcsolatot bizonyos esetekben tovább egyszerűsíthető. (1. ábra).



1. ábra. A gravitációs inverz feladatban szereplő jelölések. H a vonatkozási szint mélysége (ható alsó határa); h_i a ható felszínének mélysége; $\Delta\rho$ sűrűségkülönbség; $f(x, y)$ a ható felszínét leíró függvény; m_k mérési adat, (esetünkben a Δg sűrűségű ható gravitációs anomália képe); γ_i a modell paramétereinek összefoglaló jelölése.

Рис. 1. Условные обозначения, применяемые при обратной гравиметрической задаче. H - глубина (нижняя граница) поверхности приведения; h_i глубина поверхности возмущающего тела; $\Delta\rho$ разность плотности; $f(x, y)$ - функция, описывающая поверхность возмущающего тела; m_k - данные измерения (в данном случае аномалии поля силы тяжести возмущающего тела плотностью $\Delta\rho$); γ_i - сводное обозначение параметров модели.

Fig. 1. Denotations in the gravimetric inverse problem. H is the depth of the reference level (lower edge of the anomalous body), h_i the depth of the surface of the anomalous body, $\Delta\rho$ density difference, $f(x, y)$ the function describing the surface of the anomalous body, m_k measurement data (in the present case the gravity anomalies of the anomalous body with the density $\Delta\rho$), γ_i a summarized notation for the parameters of the model.

A gravitációs direkt feladat megoldása

Tételezzük fel, hogy a ható H talpmélységét és a ható és környezete közötti $\Delta \rho$ sűrűségkülönbséget ismerjük. A ható felszínét adjuk meg az $f(x, y)$ függvényvel.

A Δg anomália a felszínen ismeretes módon:

$$\Delta g(x, y, z = 0) = G \Delta \rho \int_{\Omega} \frac{f(x, y) - z}{|\bar{r}|^{3/2}} d\sigma, \quad (10)$$

ahol $d\sigma$ háromdimenziós tömegelem, Ω az integrálásban szereplő térfogat és G a gravitációs állandó.

Wang és Mufti (1975) bizonyította, hogy a kocka gravitációs tere jól közelíthető tömegpont gravitációs terével, ha a kocka elegendő mélységben és (vagy) horizontálisan elegendő távolságban van a megfigyelési ponttól. A hiba $\pm 0,1\%$ -nál kisebb, ha a tömegközéppont mélysége nagyobb, mint a kocka élhosszának háromszorosa. Mufti (1975) vizsgálatai szerint 1% -nál pontosabb közelítés érhető el, ha a hatót kellően kis méretű kockákból építjük fel. A két eredmény együttesen azt jelenti, hogy tetszőleges ható terét tömegpontok terének összegével határozhatjuk meg.

A tömegpont terének Fourier transzformáltja ismert és analitikusan megadható egyszerű függvény. A kétváltozós Fourier-transzformáció igen gyorsan végrehajtható a gyors Fourier-transzformáció (FFT) algoritmusával. Emiatt a direkt feladat megoldására a következő eljárás javasolható. A hatót N számú, D vastagságú vízszintes rétegre osztjuk, majd minden réteget középvezetési vonalában elhelyezkedő tömegpontok sorozatával helyettesítünk:

$$M_n(I, K) = 6 \cdot 67 \rho D^3 \vartheta_n(I, K), \quad (11)$$

ahol $M_n(I, K)$ az n -edik rétegben az $(I; K)$ koordinátájú pontban koncentrált tömeg; ρ a ható és környezete közötti sűrűségkülönbség; D az állomástávolság km -ben, míg

$$\begin{aligned} \vartheta_n(I, K) &= 0, \text{ ha } P(I, K) \notin \Omega, \\ &= 1, \text{ ha } P(I, K) \in \Omega, \end{aligned} \quad (12)$$

azaz $\vartheta_n(I, K)$ zérus, ha a $P(I, K)$ pont nem tartozik a ható által meghatározott Ω tartományba, illetve $\vartheta_n(I, K) = 1$, ha $P(I, K)$ a ható belsejében van.

Az n -edik réteg középvezetési vonalának mélysége

$$H - \frac{2n+1}{2} D.$$

Emiatt végül

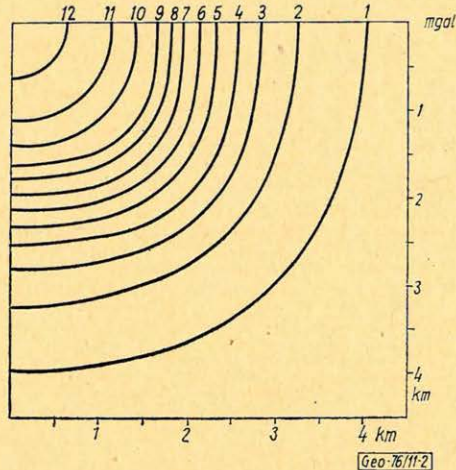
$$\Delta g(\mathcal{J}, L) = \mathcal{F}^{-1} \left\{ \sum_{h=0}^{N-1} \mathcal{F} \{M_n(I, K)\} e^{-2\pi \left(H - \frac{2n+1}{2} D\right) e'} \right\} \quad (13)$$

A képletben \mathcal{F} a direkt, \mathcal{F}^{-1} az inverz diszkrét Fourier transzformációt jelöli $e' = (f'_x + f'^2_y)^{1/2}$.

Az eljárás alkalmazására látunk példákat a 2. – 3. és a 4. – 5. ábra-párokban. A 2. ábra derékszögű prizma gravitációs terét adja meg az exakt

$$\Delta g(x, y, z) = f_e \left| \left| u \ln(v+r) + v \ln(u+r) - w \arctg \frac{uv}{wr} \right. \right. \begin{array}{c} x-u_2 \quad y-v_2 \quad z-w_2 \\ \left| \quad \quad \left| \quad \quad \left| \quad \quad \right. \\ x-u_1 \quad y-v_1 \quad z-w_1 \end{array} \right. \right. \quad (14)$$

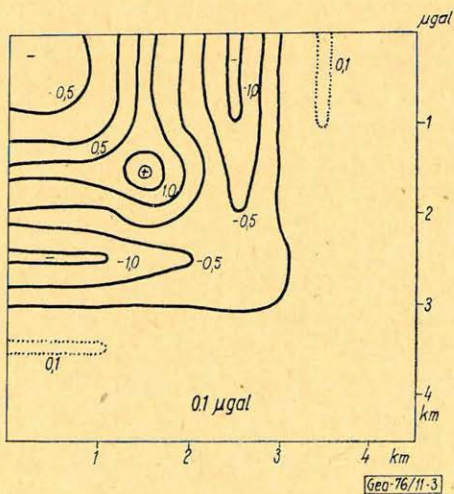
képlet szerint számolva. A derékszögű hasáb csúspontjainak koordinátái $(u_1, v_1, w_1), (u_2, v_1, w_1), \dots, (u_2, v_2, w_2)$.



2. ábra. Négyzetalapú derékszögű prizma gravitációs hatása a pontos képletekkel (14) számítva. Méretek: alapél 4 km, vastagság 0,5 km, tömegközéppont mélysége 1 km, sűrűség 1 gcm⁻³.

Рис. 2. Гравитационный эффект прямоугольной призмы с квадратным основанием, подсчитанный экзактной формулой (14). Размеры: грань основы – 4 км, толщина – 0,5 км, глубина центра массы – 1 км, плотность – 1 гсм⁻³.

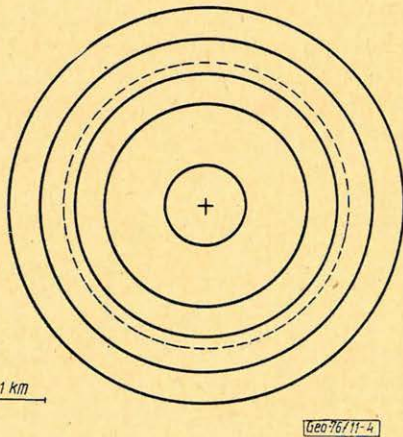
Fig. 2. Gravity effect of a square-based prism using the correct formulas Eq. 14. Its dimensions: edge of the base 4 km, thickness 0.5 km, depth of the gravity centre 1 km, density 1 g cm⁻³.



3. ábra. Eltérés a pontos és a közelítő képlettel meghatározott hatások között.

Рис. 3. Разности между величинами, полученными экзактной и приближенной формулами, соответственно.

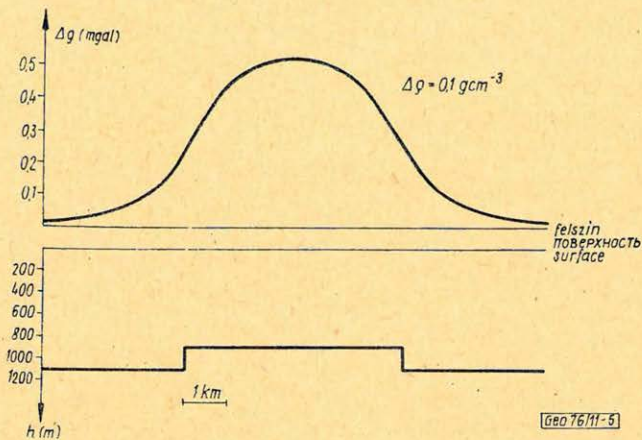
Fig. 3. The difference of the effects determined with the approximative formula from the accurate ones.



4. ábra. Henger gravitációs tere (a henger sugara 2,5 km, vastagsága 0,4 km, tömegközéppont mélysége 1 km, sűrűségkülönbség $\Delta \rho = 0,1 \text{ gcm}^{-3}$.)

Рис. 4. Поле силы тяжести цилиндра (радиусом 2,5 км, толщиной 0,4 км, глубиной центра массы – 1 км, разностью плотности $\Delta \rho = 0,1 \text{ гсм}^{-3}$).

Fig. 4. The gravity field of a cylinder (the radius of the cylinder is 2.5 km, its thickness 0.4 km, the depth of the gravity centre 1 km, density difference $\Delta \rho = 0,1 \text{ g cm}^{-3}$.)



5. ábra. Henger gravitációs tere a Δg maximumon áthaladó szelvényen (felső rész) és a henger metszete.

Рис. 5. Поле силы тяжести цилиндра по профилю, проходящему через максимум Δg (верхняя часть) и поперечное сечение цилиндра.

Fig. 5. Gravity field of a cylinder in a profile crossing the Δg maximum (upper part) and the cross-section of the cylinder.

A hasáb méretei $4 \text{ km} \times 4 \text{ km} \times 0,5 \text{ km}$, tömegközéppontjának mélysége 1 km , sűrűség 1 g cm^{-3} . Az exakt és a közelítéssel számított Δg eltérése a 3. ábrán látható.

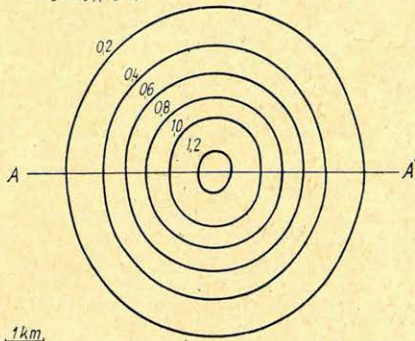
A maximális eltérés kisebb, mint 1% . Mindkét ábrán a teljes adatrendszer egynegyedét ábráztuk.

A 4. ábra henger gravitációs terét ábrázolja (a henger sugara $2,5 \text{ km}$, vastagsága $0,4 \text{ km}$, a feltételezett sűrűségkülönbség, $\Delta \rho = 0,1 \text{ g cm}^{-3}$). A számítást a (13) közelítéssel végeztük. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy $\Delta \rho$ izovonalai nagyon jó közelítéssel koncentrikus körök. A $\Delta \rho$ anomália lefutása pontosabban látható az 5. ábrán. Ez az anomália maximumán áthaladó szelvényt ábrázol. Alatta feltüntettük a henger metszetét is.

Az inverz feladat megoldása

Ismeretes, hogy a gravitációs inverz feladat egyértelművé válik, ha a $\Delta \rho$ sűrűségkülönbséget és a ható alsó (vagy felső) határának mélységét rögzítjük (Skeels, 1974, Smith, 1961 etc.). Az irodalomban javasolt eljárások többsége erre az egyértelművé tett inverz feladatra ad megoldást. (Bott, 1960, Corbato, 1965, Tanner, 1967, Negi és Garde, 1968, Oldenburg, 1974.) Az általunk kifejlesztett iterációs módszer is feltételezi $\Delta \rho$ és a $z_{\max} = H$ alsó határ mélységének ismeretét. A kezdeti modellt $\lambda \Delta \rho = \Delta h$ összefüggéssel határozzuk meg, λ értékét egy kísérleti λ_k felvétele után a legkisebb négyzetek módszerével állítjuk elő. A kezdeti modell, illetve a további iterációs lépésekben kapott modellek gravitációs terét a (11)–(13) képletekkel határozzuk meg. A javításokat a bevezetésben vázolt linearizálás segítségével számítjuk. Kísérleti és gyakorlati anyagon végzett vizsgálatok szerint a konvergencia gyors, $5-10$ iterációs lépés elegendő ahhoz, hogy a mért és a számított értékek átlagos eltérése $0,005 \text{ mgal}$ -nál kisebb legyen.

$\Delta g(x,y)$ (mgal)



6. ábra. Szerkezeti modell gravitációs tere, $H = 2$ km, maximális vastagság 0,3 km, sűrűségkülönbség $0,2 \text{ gcm}^{-3}$.

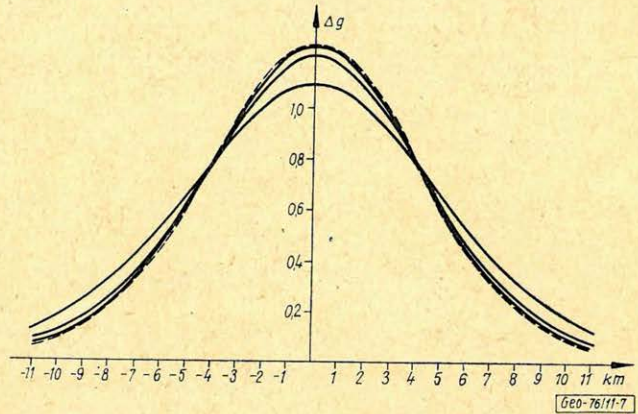
Рис. 6. Поле силы тяжести модели структуры: $H = 2$ км, максимальная толщина - 0,3 км, разность плотности - $0,2 \text{ гсм}^{-3}$.

Fig. 6. Gravity field of a structural model, $H = 2$ km, maximum thickness 0,3 km, density difference $\Delta g = 2 \text{ g cm}^{-3}$.

7. ábra. Szerkezeti modell gravitációs tere Δg_E a csúson áthaladó szelvényben (szaggatott vonal és az iterációs lépésekben kapott Δg értékek (folytonos vonallal).

Рис. 7. Поле силы тяжести модели, Δg_E по профилю, проходящему через максимум (пунктирная линия) и полученные итерацией величины Δg (сплошная линия)

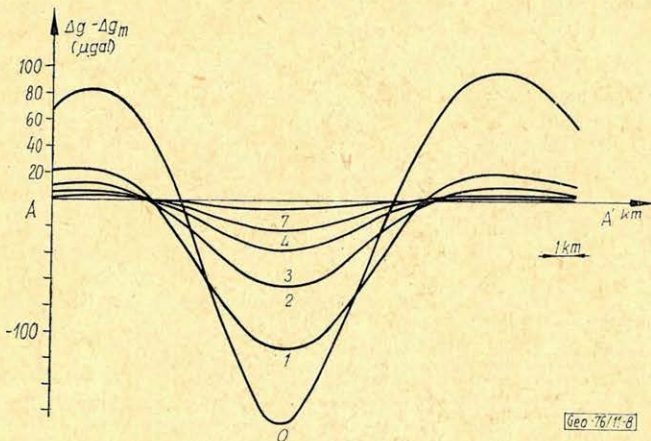
Fig. 7. The gravity field of the structural model, Δg_E in a profile across the top (dotted line), and the values Δg in the iteration steps (continuous lines).



8. ábra. A modell és az iterációs lépésekben kapott szerkezet gravitációs tereinek eltérése a Δg_E maximumán áthaladó szelvényben. A számok az iterációs lépések sorszámát adják meg.

Рис. 8. Отклонения полей силы тяжести модели и структуры, получаемой итерациями, по профилю проходящему через максимум Δg_E . Цифры обозначают порядковые номера итерационных шагов.

Fig. 8. The difference between the gravity fields of the model and of the structure from the iteration steps in a profile across the top of the maximum Δg_E . The numbers indicate the serial number of iterations.



A 6. – 8. ábrák a módszer modellvizsgálatát illusztrálják. A 6. ábra egy $H = 2 \text{ km}$ mélységű, közelítőleg $0,3 \text{ km}$ maximális vastagságú szerkezet $\Delta(g, y)$ gravitációs képe (sűrűségkülönbség $0,2 \text{ g cm}^{-3}$). A 7. ábra az első, második és hetedik iterációs lépés eredményeként kapott Δg értékeket folyamatos vonallal, a modell terét (közelítendő Δg értékeket) szaggatott vonallal adja meg az $A - A'$ szelvényben. Megjegyzendő, hogy a 7. lépés eredménye és a közelítendő Δg közötti eltérés kisebb, mint az ábra mutatja (kisebb, mint a vonalvastagság). A közelítés javulása jobban szemlélhető a 8. ábrán. Ezen az egyes iterációs lépésekben kapott Δg és a közelítendő Δg eltéréseit mutatjuk be, szintén az $A - A'$ szelvény mentén, ahol legnagyobbak az eltérések. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy a 7. ábrán Δg értékét mg-ban, a 8. ábrán a $(\Delta g - \Delta g_m)$ értékét μgal -ban adtuk meg.

A modell és a 7. iterációs lépésben kapott szerkezet felszínének maximális eltérése kisebb 3 méternél , azaz a maximális vastagság 1% -ánál. A két felület átlagnégyzetes eltérése pedig $0,37 \text{ méter}$.

Számos, a bemutatotthoz hasonló modellvizsgálat megnyugtató eredménye után a módszert mérési adatokra alkalmaztuk. A regionális komponenszt a Bouguer anomáliákból irányfüggetlen, normált sávszűrőkkel távolítottuk el és feltételeztük, hogy a reziduális komponenszt teljes egészében a nagyobb sűrűségű medencealjzat mélységingadozásai (undulációi) okozzák.

A gyakorlati alkalmazás példáját mutatja be az utolsó ábra Szeged és környéke kutatási területen.

Az iterációs eljárás bemenő paraméterei:

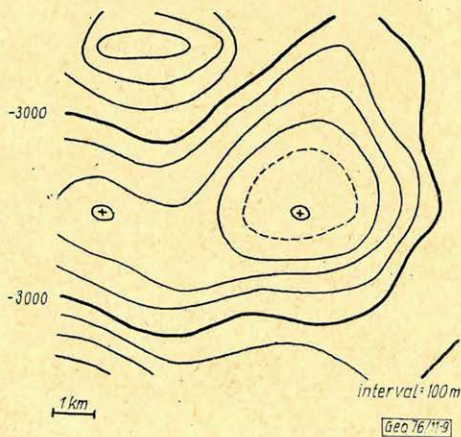
$$z_{\max} = 3.3 \text{ km}, \quad \Delta \rho = 0.15 \text{ g cm}^{-3}.$$

Az inverz feladat megoldását, azaz a nagyobb sűrűségű medencealjzat felszínének szintvonalait a 9. ábrán mutatjuk be.

9. ábra. Az inverz feladat iterációs megoldásának eredménye a Szeged és környéke kutatási területen (nagyobb sűrűségű aljzat szintvonalai).

Рис. 9. Результат решения обратной задачи интерационным методом в районе работ г. Сегед (изолинии фундамента повышенной плотности).

Fig. 9. The result of the solution by iteration of the inverse problem in the exploration area Szeged: depth contours of the high density basement.



További gyakorlati vizsgálatok és reflexiók szeizmikus, valamint mélyfúrási adatokkal való összehasonlítás alapján megállapítható, hogy az iterációs eljárás jó eredményt ad, ha

- a regionális komponens eltávolítása megfelelő,
- a reziduál anomáliákat egyetlen sűrűségugrás felület alakítja ki,
- a z_{\max} és $\Delta \rho$ kielégítő pontossággal megadható.

Szerkezeti egységek lehatárolása tellurikával*

L A N D Y K O R N É L N É - L A N T O S M I K L Ó S **

Az elmúlt 20 évben Magyarország területének jó részét felmérték tellurikus módszerrel. A mérési eredményeket megjelenítő izoarea-térkép földtani következtetések levonására csak mélységadatok ismeretében alkalmas. Geoelektromosan kétrétegesnek várható esetben az aljzat relatív mélységváltozásait tükrözi.

Amennyiben a rétegsorban geoelektromos árnyékoló réteg várható, az izoarea-térkép elvileg sem transzformálható egyetlen szintre vonatkozó mélységtérképpé. Egyéb geoelektromos vagy szeizmikus eredményekkel egybevetve valószínűsíthetők azok a területrészek, ahol az izoarea-értékekben már az árnyékoló réteg hatása is szerepet játszik. Határvonalat húzni azonban nem lehet — egy, a segédadatok sűrűségétől függő szélességű zóna adható meg, amelyen belül az árnyékoló megjelenik.

Az ismertetni kívánt eljárás ezen zóna szélességét szűkíti le a tellurikus állomásponatok távolságára, ehhez elégséges a határvonal mindkét oldalán csak egy-egy ponton a földtani felépítés ismerete. A hagyományos feldolgozáshoz képest viszonylag kevés többletmunkát és kis volumenű gépi számítást igényel.

A feldolgozás folyamán a tellurikus bázisállomáson nagy számú vektorból meghatározzuk a tellurikus abszolút ellipszist az adott periódusidő-tartományban, majd azt az egyes állomásponatok kiértékeléséből származó relatív tellurikus tenzorokkal transzformáljuk. Ilyen módon minden mérési pontra megkapjuk az abszolút ellipszist. Ennek az ellipszisnek nagy- illetve kistengelye a magneto-tellurikus H- illetve E-polarizáció megfelelő frekvenciájú adataihoz hasonlóan értelmezhető.

Egy, az area-értékek szempontjából viszonylag jellegtelen területen mutatjuk be a módszer eredményességét. Az izoarea-térkép még tartalmazza a bázisállomás előre nem látott kedvezőtlen földtani adottságait, az eljárásunk eredményeit szemléltető térképek a terület szerkezeti egységeit (amelyek néhány fúrásból ismertek) jól lehatárolják.

За прошедшие 2 десятилетия в Венгрии была проведена съемка значительной территории страны методом ТТ. Карты изоареал, отображающие результаты наблюдений позволяют делать геологические выводы только при наличии данных о глубинах. При двухслойной модели геоэлектрического разреза на этих картах прослеживаются относительные изменения глубины залегания основания.

Если в разрезе предполагается наличие экранирующего слоя, карта изоареал даже в принципе не может быть преобразована в карту глубин залегания одного из слоев. При сравнении таких карт с результатами сейсмических или прочих электроразведочных методов, на них можно выделить участки, где в величинах изоареал проявляется влияние экранирующего горизонта. Однако, провести границу нельзя, — можно лишь выделить зону шириной, зависящей от плотности вспомогательных данных, в пределах которой появляется экранирующий горизонт.

Предлагаемый метод позволяет сузить ширину этой зоны до расстояния между пунктами наблюдений методом ТТ, при ем достаточно знать геологическое строение лишь в одном пункте по каждой стороне границы. Рассматриваемый метод требует сравнительно небольшого объема дополнительной работы и небольшого объема вычислений на ЭВМ по сравнению с стандартными методами обработки данных.

В процессе обработки данных, по большому количеству векторов базисных станций определяется абсолютный эллипс в заданном диапазоне периодов, который затем преобразуется с использованием относительных теллурических тензоров, получаемых при интерпретации данных наблюдений, проводимых в отдельных пунктах. Таким образом для каждого пункта наблюдений получается абсолютный эллипс. Большие и малые оси этих эллипсов могут быть интерпретированы подобно интерпретации данных соответствующей частоты H- и E- поляризации магнитотеллурического поля.

* Elhangzott a 20. Szimpóziumon. 1975. szept. 16 — 19. Szentendrén

** OKGT Geofizikai Kutatási Üzem.

Эффективность метода иллюстрируется на примере района работ, с сравнительно нехарактерными величинами изоареал. Карта изоареал все еще содержит особенности неблагоприятного геологического строения участка около базисной станции; на картах, иллюстрирующих эффективность предлагаемого метода хорошо выделяются геологические структуры, известные по данным нескольких скважин.

In the last 20 years a great part of Hungary has been covered with telluric measurements. Isoarea maps depicting measurement results can be used for geological conclusions only in the knowledge of depth data. They reflect in (geoelectrically) two-layered cases the relative changes of the depth of the basement.

If some screening layers are expected in the geological layer sequence, then the isoarea map cannot be transformed even theoretically into a depth map of any horizon. By comparing the map with the results of other geoelectric or seismic results, areas can be traced where on the isoarea map the effects of a screening layer play a role. A boundary cannot be drawn, however — only a zone can be traced with a width depending on the density of auxiliary data where the screening layer appears.

The method to be presented narrows this distance down to the distance of the telluric stations, if the geologic structure is known in one point each on both sides of the boundary. It requires a comparatively small amount of surplus processing and computer time.

The processing includes the determination of the absolute ellipse for the basis station from a great number of vectors in the period-domain considered, then this ellipse is transformed with the tensors of the relative telluric ellipses resulting from the normal processing of telluric measurements. Thus the absolute ellipses of all points can be computed. The major and minor axis of these ellipses can be interpreted similarly to the magnetotelluric H- and E-polarizations of the same frequency.

The efficiency of the method is presented on a territory being rather uncharacteristic from the point of view of the area values. The isoarea-map contains the unforeseen disadvantageous geologic situation at the basis station, while the maps demonstrating the results of the present method set the boundaries of the structural units of the territory in accordance with borehole data.

Az elmúlt 20 évben Magyarország területének jó részét felmérték tellurikus módszerrel. A mérések egyetlen eredménye sokáig az izoarea térkép volt, amelyet csak kvalitatíve értelmeztek. Később aljzatot ért fúrások és szeizmikus vonalak mélységadataival vetették össze az area értékeket, a korrelációt mutató részterületekre mélységtérképet szerkesztettek. A kapott szint általában a harmadidőszaki üledékek aljzata volt, de hogy ez mely esetben egységes földtanilag, illetve az esetleges változás hol van, azt csak a mélyfúrások közvetlen környezetében lehetett meghatározni. Az egész eljárás helyességének feltétele a geoelektromosan kétréteges felépítés.

Dipól ekvatoriális elrendezésű egyenáramú mélyszondázással is megkísérelték meghatározni a medencealjzat mélységét. Itt két nehézség adódott:

1. a kiértékelésből kapott látszólagos mélységet korigálni kell a területre érvényes anizotrópia-tényezővel, ami fúrási adatokból származtatható;

2. ha a megfelelő mélység eléréséhez szükséges 20–30 km-es dipólusgáron belül fellépő ellenállás-vagy mélységváltozások kétséssé teszik a kiértékelést, akkor további bizonytalanság áll elő.

Így az egyenáramú DE-szondázásokat jórészt csak az üledékes összlet átlagos ellenállásának és összvezetőképességének (S) meghatározására lehetett használni.

Árnyékolót — azaz nagyobb ellenállású összletet — tartalmazó rétegsor fölött az area érték a medencealjzat és az árnyékoló hatását együttesen jelzi, így elvileg sem transzformálható egyetlen szintre vonatkozó mélységtérképpé. Mivel a DE-mérések a zavaró tényezők ellenére jelzik az árnyékolót, az adatok egybevetéséből valószínűsíthetők azok a területszettek, ahol árnyékoló van. Ezek határvonala a DE-mérések ritkasága miatt bizonytalan.

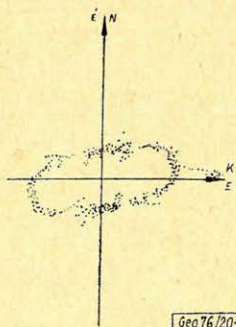
Magnetotellurikus mérésekből a szerkezeti felépítés mélységadatokkal együtt megismerhető, de mivel 1975-ig az országban működő magnetotellurikus berendezésekkel csak 10 sec-nál nagyobb periódusidejű jeleket lehetett fölvenni, így fölülről korlátozott mélységtartományra kaptunk adatokat, valódi mélység nélkül. Szélesebb frekvenciasáv esetén jóval több, de egy pontra vonatkozó információ nyerhető, amelyek kiterjesztése megint csak feltételezésekkel lehetséges.

Célszerűnek látszik, hogy a legsűrűbb geoelektromos mérésből, a tellurikából próbáljunk több információt kapni. Ehhez elsősorban az kell, hogy az area érték helyett olyan, a mérésből származó paramétereket találjunk, amelyek egyes árnyékoló szintek megszűnését mutatják.

Kézenfekvő megoldásként kínálkozott, hogy a tellurikus bázison megmért magnetotellurikus ellipszist a bázisra vonatkoztatott relatív tellurikus tenzorokkal transzformáljuk, így minden pontra megkapjuk azt a magnetotellurikus ellipszist, amit ott mértünk volna. A módszer hallgatólagosan föltételezi, hogy a mágneses tér az egész területen állandó. Ez általánosságban eddig még nem igazolt, sőt negatív eredmények is vannak. [1].

A másik megoldás a bázis abszolút ellipszisét transzformálni az egyes pontokra. Ismeretes, hogy egy mérési ponton hosszú idő alatt a tellurikus változásvektorok végpontjai olyan ellipszist írnak le, amely kizárólag a mérési pont alatti ellenállásviszonyoktól függ. [2., 3.] Ezt nevezték el abszolút ellipszisnek. A bázisállomás abszolút ellipszisét megszerkesztve és az egyes relatív tellurikus tenzorokkal transzformálva minden egyes pontra kapunk egy abszolút ellipszist, amely a további vizsgálat alapját képezheti. Ennek az eljárásnak az eredményeit a továbbiakban egy konkrét példán ismertetjük.

Egy Ny-dunántúli mérési terület 290 állomáspontjának felvételeit dolgoztuk fel. A bázisállomáson kétéves regisztrációs anyagból statisztikusan kiragadott 17000 változásvektorból gépi úton számítottuk ki az abszolút ellipszist. A felhasznált periódusidő-intervallum 18–32 sec. A vektorokból kiszámítottuk a fokenként valószínűségi eloszlást (1. ábra); a rádiusz az aktuális intervallumba eső vektorok számával arányos. Látható, hogy a legnagyobb valószínűség kitüntet egy irányt, és a legkisebb valószínűség iránya erre merőleges.



1. ábra. A bázisállomás 17 000 elektromos változás vektorának irány szerinti eloszlása. A rádiusz arányos az 1° -os szögtartományba eső vektorok számával

Рис. 1. Распределение по направлениям 17000 векторов электрических изменений на базисной станции. Радиус является пропорциональным количеству векторов, приходящих на диапазон угла, равный 1°

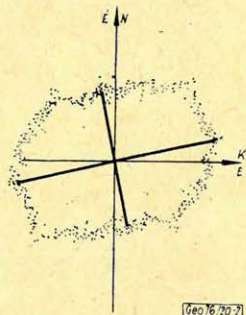
Fig. 1. The distribution of the 17 000 variation-vectors of the basis vs. direction. Radii are proportional to the number of vectors in 1° angle-intervals

A 2. ábrán az 1° -os intervallumonként számított átlag-vektor végpontjai láthatók. (A kiütő értékek a 45° -os terítési irány miatt vannak.) Behúztuk az összes vektor alapján kiegyenlített nagy- és kistengelyt. Ezek iránya megegyezik az előző ábra maximális, illetve minimális valószínűségi irányával.

2. ábra. A bázisállomás 17 000 elektromos változásvektorának fokenként számított átlagai a kiegyenlített abszolút ellipszis nagy- és kistengelyének feltüntetésével

Рис. 2. Вычисленные по градусам средние значения 17 000 векторов электрических изменений на базисной станции с указанием большой и маленькой осей выравненного абсолютного эллипса.

Fig. 2. Average lengths of the electric variation-vectors of the basis. In 1° angle intervals. The major and the minor axes are also shown

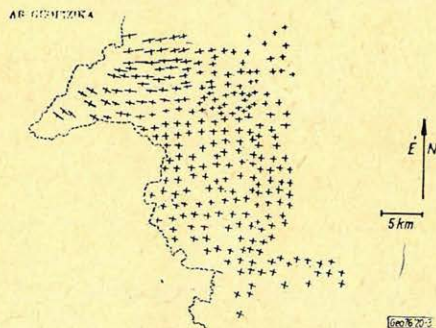


A transzformáláshoz szükséges relatív tellurikus tenzort az egyenes módszerrel határoztuk meg. Mérési pontként legalább három független kiértékelés történt. Ez lehetővé tette, hogy a tenzorokat a szokásosnál kisebb, mindössze 3–5%-os hibával határozzuk meg. Ezután a tellurikus tenzorokkal transzformáltuk a bázis abszolút ellipszisét, így minden állomáspontra kaptunk egy abszolút ellipszist. (3. ábra) Ez az eljárás végig korrekt, ha teljesül a tellurikus térkomponensek közötti lineáris összefüggés:

$$u = ax + by$$

és

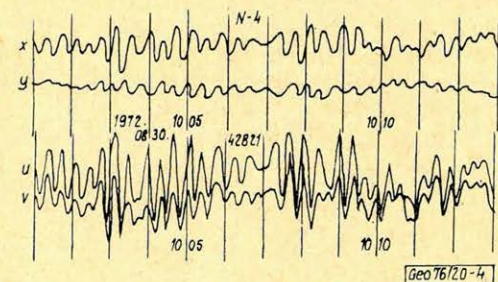
$$v = cx + dy.$$



3. ábra. A mérési terület állomáspontjaira transzformált abszolút ellipszisek térképe. Az ellipsziseket nagy- és kistengelyük feltüntetésével szimbolizáltuk

Рис. 3. Карта абсолютных эллипсов, реобразованных для пунктов измерения района. Эллипсы символизируются указанием их большой и маленькой осей.

Fig. 3. The map of the absolute ellipses, transformed for the stations of the measurement area. Ellipses represented by their axes



4. ábra. A mérési terület egy olyan állomáspontjának elektromos regisztrátuma (a hozzátartozó bázisfelvétellel), amelyre a tellurikus térkomponensek közötti lineáris összefüggések fennállása kétséges. A felvételek azonos típusú műszerrel, azonos érzékenységi fokozaton készültek

Рис. 4. Электрическая запись пункта измерения района (с соответствующей базисной записью), для которого наличие линейных соотношений между компонентами теллурического поля является сомнительным. Записи были изготовлены аппаратурой одинакового типа, на одинаковой степени чувствительности.

Fig. 4. Electrical record from a station of the area (together with the record at the basis), where the linear connection between the telluric field components is dubious. The records were made with instruments of the same type having the same scale value

A terület egy részére ez ugyan szemmel láthatólag nem teljesül (4. ábra), az egyik komponens jól egyeztethető, a másik azonban időnként nem. A kiértékelés egységessége érdekében ezeket a pontokat is a többivel azonosan kezeltük.

A tárgyalt kutatási terület az ország Ny-i részén van, közel az Alpokhoz. A terület ÉNy-i sarkában lemélyített fúrások 1000-1500 m-ben értek paleozoós fillitet, míg a K-i felén átlagosan 3000 m-ben triász mészkövet tártak fel. A D-i fúrások nem érték el az aljzatot.

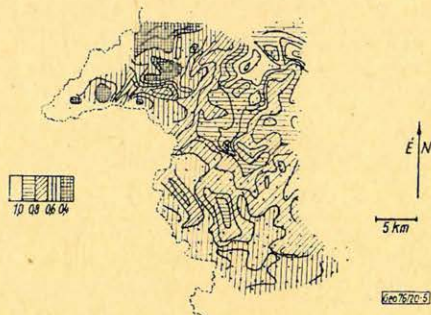
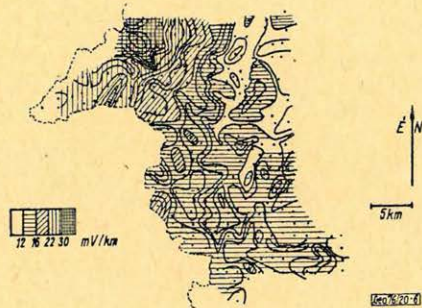
A 5. ábrán az izoarea térkép látható, amely az É-i részen Ny-felé fokozatos emelkedést jelez. Nem mutatja azonban, hogy két különböző szerkezeti ki-fejlődéssel állunk szemben. Ennek oka, mint már említettük, az, hogy nem egyetlen szintre vonatkozik az area érték.

5. ábra. A mérési terület izoarea térképe

Рис. 5. Изоареальная карта района измерения

Fig. 5. Isoarea map of the region

$$A^{-1} = \frac{1}{a \cdot d - b \cdot c}$$



6. ábra. A mérési pontokra kiszámított nagytengelyértékekből szerkesztett térkép

Рис. 6. Карта, построенная по значениям большой оси, вычисленной для пунктов измерения.

Fig. 6. Map of the major axes of the absolute ellipses

A mérési pontokra kiszámított nagytengely-értékből szerkesztett térkép (6. ábra) tulajdonképpen a magnetotellurikus H -polarizáció irányának megfelelő összehatóképeséggel arányos. A határ kiöblösödésénél hirtelen változás látható, az izovonalak párhuzamos menete és sűrűsödése jelzi, hogy a földtani szerkezet itt más típusú, mint tőle K -re. A szerkezet határvonala szemmel látható, helyét alátámasztja egy erre merőleges magnetotellurikus szelvény, amelyen 6 ponton történt 5 komponenses analóg regisztrálás. Az állomáspontra az impedancia ellipszist és a vertikális mágneses komponensekből kapható dőlésvektort határozták meg. A paraméterek szelvény-menti menetében két pont között jelentős ugrás van, ami ezen állomáspontra alatti földtani felépítés különbözőségét jelzi. [4.] Az általunk behúzóható határvonal metszi a jelzett szelvényt.

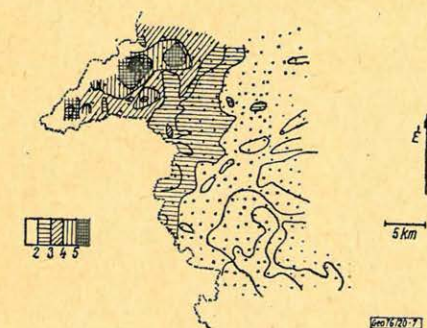
A nagy- és kistengely hányadosából képzett excentricitásból is szerkesztettünk térképet. (7. ábra) Itt is az előzővel azonos helyen lép fel nagyobb mérvű változás, az excentricitás 2,5-ről 4,0-nél nagyobb értékre nő. A kiugróan nagy értékek összefüggő, nagyobb területre való megjelenése egyben azt is jelenti, hogy vertikális, vagy ferde rétegzettségű jól vezető kőzetek is

megjelennek; modellkísérletek szerint ugyanis ilyen nagy excentricitás horizontális vagy ahhoz közeli elhelyezkedésű nagyellenállású rétegek csupán szerkezeti változásából nem adódhat. Ezek szerint az ellipszis kistengelyéből szerkesztett térkép nem jelent feltétlenül szintet, ezért értelmezésével nem is foglalkoztunk.

Megvizsgáltuk az érdekes területre, hogy a tellurikus tenzorkomponensek hogyan torzítanak önkényesen fölvevett irányú áramot. Tetszőleges irányú áramvektort vehettünk volna fel, de legcélszerűbbnek azt tartottuk, hogy a bázisállomás abszolút ellipszisének fő irányait vegyük fel, amelyre regionálisan jellemzők. A kistengelyirányú egységvektorból számított vektort szaggattottal, a nagytengelyirányúból származót pedig folytonos vonallal jelöltük a 8. ábrán. Itt is elkülönül a már előzőekben említett két kifejlődés. A határvonaltól Ny -ra a nagytengelyirányú egységvektorból számított áramvektor megnyúlik. Az irányok merőlegessége K -ről Ny felé haladva fokozatosan felbomlik. Tovább Ny felé a két vektor közel egy egyenesbe esik, ez további szerkezeti egységet jelez, amelynek földtani azonosítását fúrás hiányában nem tudtuk elvégezni.

A bemutatott ábrák alapján a két, fúrásokból ismert szerkezeti egység elválasztható, kizárólag tellurikus adatok alapján. Valószínű, hogy a módszer kiterjesztésével és finomításával további földtani információk nyerhetők.

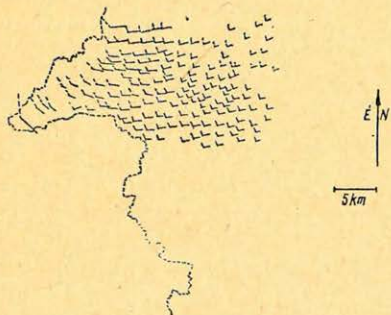
A kapott eredmények azt mutatják, hogy az izoarea térkép megszerkesztésén kívül a tellurikus feldolgozás során érdemes a fenti vizsgálatokat is elvégezni. Amennyiben a relatív tellurikus tenzorokat már a terepen megfelelő pontossággal számítják, akkor a többletmunka mindössze a bázisállomás abszolút ellipszisének meghatározása és ennek transzfor-



7. ábra. A nagy- és kistengely hányadosából képzett excentricitásból szerkesztett térkép

Рис. 7. Карта, построенная по эксцентричности, образованной из отношения большой и маленькой осей.

Fig. 7. Map of the eccentricities (ratio of the major and minor axes) of the absolute ellipses



8. ábra. A bázisállomás abszolút ellipszisének fő irányában fölvevett egységnyi áramvektorok torzulása a tellurikus tenzorkomponensek hatására. A kistengely irányú egységvektorból számított vektor szaggattott, a nagytengely irányúból származót pedig folytonos vonallal jelöltük

Рис. 8. Искажение единичных векторов тока, принятых в направлении главных осей абсолютного эллипса базисной станции под влиянием составляющих теллурического поля. Вектор, вычисленный по единичному вектору в направлении маленькой оси, обозначен пунктиром, а вектор, выведенный в направлении большой оси, — сплошной линией.

Fig. 8. The distortion of the unit current vectors in the directions of the axes of the absolute ellipses of the basis due to the telluric tensor components. The values computed from the unit vector in the direction of the minor axis are drawn by dotted, those in the direction of the major axis by continuous line

málása az egyes mérési pontokra, ami 1–2 hónapot és kis volumenű gépi számítást igényel.

Ezúton is szeretnénk köszönetet mondani mindazoknak, akik segítségünkre voltak, akár értékes tanácsaikkal, akár áldozatkész munkájukkal.

IRODALOM

- [1] *Landyné Nagy Ilona*: Síkhullám-gerjesztés hatására létrejövő magnetotellurikus tér meghatározása (szakdolgozat) 1972.
- [2] *Géza Kunetz*: Anwendung statistischer Eigenschaften der Erdströme in der praktischen Geophysik. Freiburger Forschungshefte C 32. 1957.
- [3] *Josef Veró*: Die Bestimmung der tellurischen Stationellipsen Gerlands Beitr. Geophysik v. 69. Heft 5. 1960.
- [4] *Beke Balázs*: A Szentgotthárd–Ivánc magnetotellurikus szelvény H_z méréseinek néhány kiértékelési eredménye (előadás a Magyar Geofizikusok Egyesületének rendezésében) 1973.

Lapszemle

Zeitschrift für angewandte Geologie, Bd. 21. H. 9., 1975. szeptember.

G. Porstendorfer: 20 Jahre Anwendung tellurischer und magnetotellurischer Messmethoden in der DDR (A tellurikus és magneto-tellurikus mérési módszerek alkalmazása 20 éven át az NDK-ban), 405–410 old.

A dolgozat a Freibergi Bergakademie geofizikai intézetében készült és részletes áttekintést ad a kérdés és kutatási ág fejlődéséről, melyben a szerzőnek fontos szerepe volt. Az irodalmi jegyzék tájékoztatást nyújt a kérdés német nyelvű szakirodalmáról.

Fizikai Szemle: XXV. évf. 11. sz. 1975. november.

Balogh Kadosa: Radiometrikus földtani kormeghatározási módszerek, 401–405 old.

A földtani képződmények kialakulási korának meghatározása években kifejezett, ún. „abszolút” koradattal a természetben előforduló radioaktív izotópok bomlásán alapuló módszerekkel végezhető. A cikk áttekinti az erre a célra ezideig kidolgozott és alkalmazott módszereket és beszámol az MTA Atommagkutató Intézetében, Debrecenben végzett radiometrikus kormeghatározásokról. Két módszerrel dolgoznak: az RB–Sr (rubidium-stroncium) és a K–Ar (kálium-argon) módszerrel.

Fizikai Szemle XXV. évf., 12. sz. 1975. dec.

Előadások az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, a Magyar Biológiai Társaság és a Magyar Kémikusok Egyesülete által az MTA és az OPI támogatásával Sárospatakon tartott „Anyagfejlődés” c. tanári konferencián.

Szalay Sándor: Milyen öreg a Föld? 441–446 old. „Mit nevezünk a Föld korának?”, teszi fel a kérdést a szerző, „Mi legyen az az időpont, amikor felhúzták az órát”? Itt a radioaktív óráról van szó, hiszen a szerző – rövid történeti áttekintés után – a kérdést a modern radioaktív kormeghatározási módszerek szempontjából tárgyalja. Szerinte a Föld korát attól az időponttól számíthatjuk, amikor a kéreg-fázis elkülönülése megtörtént. A módszerek ismertetéséből azt a következtetést vonja le a szerző, hogy „jelen ismereteink a Földkéreg korára elég megbízhatóan a 4.55 milliárd évhez konvergálnak”.

Marx György: A légkör eredete, 446–453 old.

Szűcs Zsuzsanna–Kardoss Elemér: A Föld geokémiai evolúciója, 454–460 old.

Szalay Sándor: Magmatikus kőzetek gáz zárványai és a primordiális atmoszféra, 460–465 old.

T. G.

Rugalmas hullámparaméterek digitális kijelzője*

V. IVANOVA – N. KOLEV – J. KOSTOV – S. PISHTALOV –
S. STEFANOV**

A rugalmas hullámok paramétereinek digitális indikátorát azért tervezték, hogy meghatározzák a rugalmas hullámoknak diffúziós sebességét és abszorpciós tényezőjét hengeres alakú közetmintákon. Az átmérő 30–60 mm és a hossz 30–200 mm.

Az egység két mérőblokkból áll: az egyik a diffúz rugalmas hullámok V sebességének regisztrálására, a másik ezen hullámok α abszorpciós tényezőjének regisztrálására szolgál.

A mintában a sebesség meghatározására rezonancia-fluktuációt használnak. Ezeknek az ingadozásoknak megméri a frekvenciáját és a minta ismert „ l ” hosszát használva a sebességet a $V = 2lf_0$ képlettel határozzák meg.

Az α abszorpciós együttható meghatározása céljából felveszik a csillapított ingadozásokat. Mérőátalakítók segítségével a csillapítás mértékét időintervallumra alakítják át. Ez az N mért érték fordítva arányos a

$$\delta = \frac{K}{N} \text{ csillapítási aránnyal (ahol } K \approx 30). \text{ A csillapítási tényezőt az } \alpha = \frac{\delta}{2l_m} \left(l_m = \frac{V}{f} \right)$$

képlettel számítják.

A rugalmas hullámok diffúziós sebességét $\pm 2\%$ pontossággal mérik, a csillapítási tényezőt 10^{-2} értékig $\pm 5\%$ pontossággal, 10^{-2} érték fölött $\pm 10\%$ pontossággal.

Цифровой измеритель параметров упругих волн (ЦИПУВ) предназначен для определения скорости распространения коэффициента поглощения упругих волн на образцах цилиндрической формы 1, диаметром 30–60 мм и длиной 30–200 мм.

Разработанная аппаратура состоит из двух измерительных блоков – блок для определения скорости V распространения упругих волн блок для определения α коэффициента поглощения этих волн.

Для определений скорости в образце возбуждаются резонансные колебания, измеряется их частота и при известной длине $V = 2l f_0$ образца используется существующая связь.

Для определений коэффициента α поглощения упругих волн в образце создаются затухающие колебания. Через систему измерительных преобразователей декремент затухания преобразуется во временный интервал. Результат измерений N_δ обратно пропорционален декременту затухания δ .

$$\delta = \frac{K}{N} \left(\kappa \text{ коэффициент } \kappa \approx 30, \text{ от которой определяется коэффициент затухания} \right)$$

$$\alpha = \frac{\delta}{2l_m} \left(l_m = \frac{V}{f} \right).$$

Скорость распространения упругих волн определяется с точностью $\pm 2\%$, а коэффициент затухания с точностью $\pm 5\%$, для значений коэффициентов затухания с точностью $\pm 10\%$, для значений коэффициентов выше 10^{-2}

The digital indicator of the parameters of elastic waves has been designed to determine the speed of diffusion and absorption coefficient of elastic waves in rock specimens with a cylindrical form. Diameter 30–60 mm and length 30–200 mm.

The unit consists of two measuring blocks: one for recording V (velocity) of the diffused elastic waves and the second for recording the coefficient α of absorption of these waves.

Resonance fluctuations are used to determine the velocity in the specimen. The frequency of these fluctuations is measured and the known length „ l ” of the specimen is used to determine the velocity after the formula $V = 2l f_0$.

* Elhangzott a 20. Geofizikai Szimpóziumon 1975. szept. 15–19.

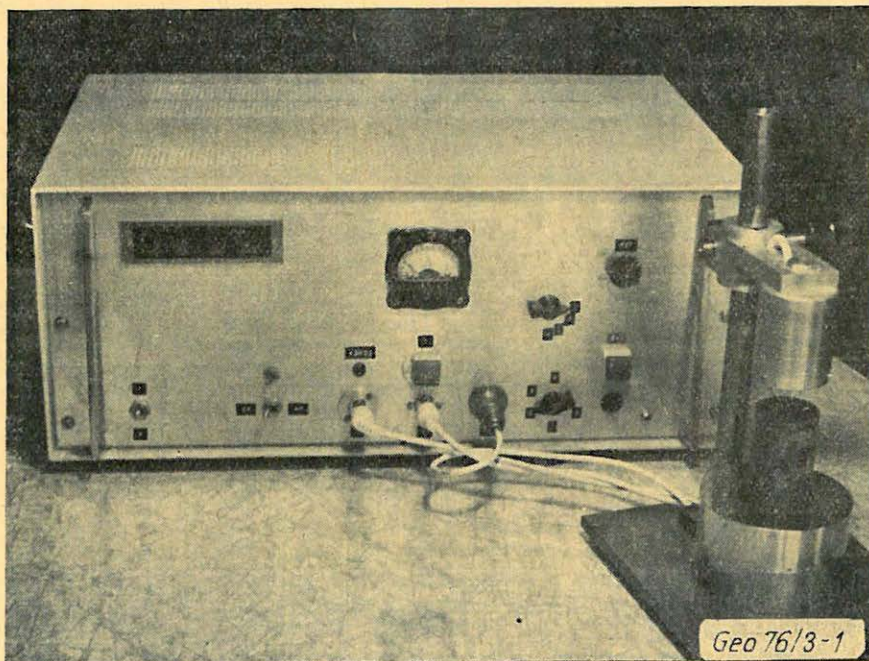
** V. Ivanova – N. Kolev – J. Kostov – S. Pishtalov – S. Stefanov: Gornogo Geologiceszkij Institut Sofia.

Attenuating fluctuations are recorded to determine the α coefficient of absorption of the elastic waves by the rock specimen. Through a system of measuring transformers the rate of attenuation is transformed into a time interval. The measured value N is inversely proportional to the rate of

attenuation $\delta = \frac{K}{N}$ (the coefficient K being 30). The attenuation coefficient is calculated by the formula $\alpha = \frac{\delta}{2l_m} \left(l_m = \frac{V}{f} \right)$.

The velocity of diffusion of the elastic waves is determined with a $\pm 2\%$ precision, the attenuation coefficient with a $\pm 5\%$ precision (for coefficient values up to 10^{-2}) and with a $\pm 10\%$ precision as regards coefficient values over 10^{-2} .

A berendezést a rugalmas hullámok diffúziós sebességének és abszorpciós koefficiensének digitális mérésére szerkesztették, hengeres alakú 30–60 mm átmérőjű és 30–200 mm hosszú kőzetmintákra (1. ábra).



1. ábra. A digitális indikátor Puc. 1. Внешний вид аппаратуры Fig. 1. – The digital indicato

A készülék két különböző elven működő mérő-alapegységből áll: az első a mintában a diffúz rugalmas hullám sebességét (V) méri, a második a rugalmas hullám abszorpciós tényezőjét (α).

A készülék diagramja a 2. ábrán látható. A rugalmas hullámok diffúziós sebességét a vizsgált modellen (θ) egy fix (BE) elektróda és egy a modellhez csatlakoztatott elektróda közötti elektrosztatikus kölcsönhatás által a gerjesztett vibráció rezonanciája segítségével mérjük. A rugalmas rezgéseket egy a modell másik oldalához csatolt piezoelektromos vibrotranszformer (PT) segítségével arányos elektromos jelekké alakítjuk át. Az elektromos jelet előerősítővel és erősítővel erősítjük (PA és A); utóbbi adja a gerjesztési feszültséget. Ily módon a kör autogeneratív rendszerben működik, mivel a vissza-

2. ábra. A berendezés rajza

S – állvány, *M* – modell, *PT* – piezotranszformátor, *PA* – előerősítő, *AE* – gerjesztő elektróda, *VAD* – rezgékeltési diagram, *MD* – mérődiagram, *A* – erősítő, *PhS* – fáziskapcsoló, *I* – kijelző, *SA* – stabilizált erősítő, *PhI* – fázisváltó, *D* – detektor, *I* – integrátor, *CMD* – összehasonlító mérési diagram, *YM* – logika-irányító, *EU* – extenziós egység, *ACVG* – A. C. feszültség-generátor, *SG* – rezgékeltető generátor, *OD* – operációs diagram, *FD* – formáló berendezés, *In* – bemenet, *S* – kapcsoló, *NTD* – normál-idő diagram, *IC* – impulzus-számláló, *DI* – digitális kijelző, *IG* – impulzus-generátor

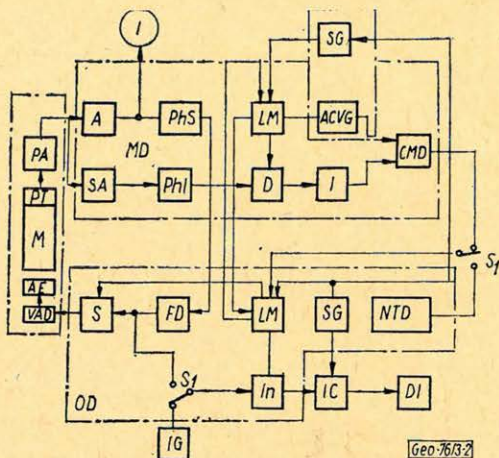


Рис. 2. Блоковая схема аппаратуры П – подставка; О – образец; ПП – пьезопреобразователь; ПУ – предусилитель; ВЕ – возбуждающий электрод; СВВ – схема для возбуждения (ИТ, Т₁, Т₂); ИВ – измерительный блок; У-усилитель (Т₁); ФВЗ – фазоворотающееся звено (С₁, С₂, L) И – индикатор; СУ – стабилизированный усилитель (Т₅, Т₆, Т₇, Т₈); ФИ – фазоинвертор (Т₁₂); Д – детектор (Д₄, Д₅, Д₆, Д₇, Д₈); И – интегратор (274 IE, Т₉, Т₁₀, Т₁₁); ИСС – измерительная схема сравнения (ML 709); СЛУ – схема логического управления (ИЛБ 553); БР – блок развязки – генератор линейного напряжения (ГЛН); ВЗЗ – тактовый генератор (Т₃, Т₄); СУ – схема управления; ФУ – формирующее устройства (SN 27702 N, Т₁, ИЛБ 553, Т₄); К – ключ (ИЛБ 553); СЛУ – схема логического управления (И ТК 552, SN 7473 N) В – дверь (ИЛБ 553); ТГ – тактовый генератор (Т₃, Т₆). Схема формирования нормального времени. Счетчик импульсов – (БИ); цифровой индикатор (ЦИ); генератор импульсов (ГИ) – И МНЗ.

Fig. 2. – Diagram of the apparatus

S – stand, *M* – model, *PT* – piezotransformer, *PA* – preliminary amplifier, *AE* – actuating electrode, *VAD* – vibration actuating diagram (IT, T₁, T₂), *MD* – measuring diagram, *A* – amplifier (T₁), *PhS* – phase switch (C₁, C₂), *I* – indicator, *SA* – stabilized amplifiers (T₅, T₆, T₇, T₈), *PhI* – phase inverter (T₁₂), *D* – detector (D₄, D₅, D₆, D₇, D₈), *I* – integrator (274 IE, T₉, T₁₀, T₁₁), *CMD* – comparative measuring diagram (ML 709) *LM* – logue monitor (ILB 553), *EU* – extension unit, *ACVG* – A. C. voltage generator (ML 709, T₁, T₂), *SG* – stroke generator (T₃, T₄), *OD* – operational diagram, *FD* – forming device (SN 27702N, T₁, ILB 553, T₄), *In* – Input, *S* – switch (ILB 553), *SG* – stroke generator (T₃, T₆), *NTD* – normal time diagram, *IC* – impulse counter, *DI* – digital indicator, *IG* – impulse generator (IMHz)

csatolás pozitív. Az önrezgési frekvencia ekvivalens a rendszer egyik rezonanciafrekvenciájával. Közülük a legalacsonyabb *V*-vel és a modell „*l*” hosszával van összefüggésben a következő arány szerint:

$$f_0 = \frac{V}{2l}$$

Ezt a frekvenciát mérjük, és az ismert *l* hossz segítségével *V* sebesség számítható: $V = 2lf_0$.

A digitális frekvenciamérő a következőkből áll:

- P* = kapu
- IC* = indexszámláló
- DI* = digitális indikátor

SG = rázáskeltő
 NTD = normálidő-diagram
 LM = Logue-monitor

A frekvenciát a kapun adott idő (10 ms) alatt áthaladó f_x impulzusszámmal méri.

Adott pillanatban történő méréséhez az SG rázáskeltő gerjesztését megszüntetjük és a rezgést az

$$A_n = A_0 e^{-\delta n} \quad (2)$$

formula segítségével kapjuk, ahol:

A_0 = a kezdeti rezgésamplitúdó,
 n = a rezgések száma
 δ = csillapítási tényező
 A_n = az n -edik rezgés amplitúdója.

Az n rezgés alatt a hullám $S = 2nl$ utat tett meg. Mivel az abszorpciós tényezőt

$$\alpha = \frac{1}{s} \ln \frac{A_0}{A_n} \quad (3)$$

képletből számítottuk,

$$\alpha = \frac{\delta}{2l}. \quad (4)$$

Következésképpen α -t vagy a δ csillapítási tényező mérésével, vagy a Q kvalitatív tényezővel lehet mérni, ahol

$$Q = \frac{\pi}{\delta}. \quad (5)$$

A készülékben a modell rezonátorként szerepel és saját-koefficiensét úgy számítjuk, hogy a rezgések amplitúdói összegezve lesznek a rezgés teljes csillapodásáig.

$$\sum_{n=0}^{\infty} A_n \approx \int_0^{\infty} A_0 e^{-\delta n} dn = \frac{A_0}{\delta} e^{-\delta n} \Big|_{\infty}^0 = \frac{A_0}{\delta}. \quad (6)$$

A műszerben a vibrotranszformer erősített csillapítás-jelét D detektor érzékeli (2. ábra) és az I integrátor szummázza. A generátor kimeneténél a nyomás $\frac{A_0}{\delta}$ -val, ill. $A_0 Q$ -val arányos:

$$T_u = K_1 A_0 Q. \quad (7)$$

Ezt a nyomást az időimpulzus módszerrel mérjük. Ez először át alakítódik a váltóáramú feszültséggenerátorral ($ACVG$) arányos időintervallumokká, és CMD összehasonlításához a mérési diagram szolgál. A CMD kimeneténél az impulzus tartama:

$$T_x = \frac{T_u}{T_0} \tau_0, \quad (8)$$

ahol T_0 és τ_0 az $ACVG$ paraméterei.

A T_x időt impulzusokkal quantálja, ezek frekvenciája $f_0 = 1 \text{ MHz}$, aminek eredményeként a számláló az

$$N_\delta = T_x \cdot f_0 = \frac{K_1 A_0}{T_0} \tau_0 Q \quad (9)$$

számot regisztrálja, vagy

$$N_\delta = \frac{\pi}{2} \frac{K_1}{T_0} \frac{A_0}{l} \tau_0 \frac{1}{\alpha} \quad (10)$$

$K_1 A_0 \cdot t$ az SA stabilizált erősítő konstansként tartja és a többi szakasz is konstans, úgy hogy

$$N_\delta = \frac{K}{2l\alpha} \quad (11)$$

N_δ segítségével a digitális indikátorról α számítható.

A készülék mérési paraméterei:

– diffúziós sebesség: $H \ 1600 - 5000 \text{ m/sec}$.

Rövid kőzetmintákon az alsó határ 400 m/sec -ig, hosszú mintákon a felső határ $20\ 000 \text{ m/sec}$ -ig kiterjeszhető:

– abszorpciós koefficiens: $0,025 \frac{1}{\text{m}} - 6 \frac{1}{\text{m}}$.

A sebesség-méréseknél a hibahatár 2% , az abszorpció mérésénél 10% .

Könyvszemle

Proceedings of the Seventh International Symposium on Earth Tides. Szerkesztő: Szádeczky-Kardoss Gyula, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1976. 769 old., angol, francia és német nyelvű cikkekkel. A kiadvány az E. Schweizerbart-féle könyvkereskedés- és kiadvállalattal együtt készült (Stuttgart, Nägele und Obermiller.)

A hetedik nemzetközi „Földárapály-Szimpozíumot” a Magyar Tudományos Akadémia Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézete rendezte Sopronban, 1973. szeptember 10–14. között. A kiadvány az ott elhangzott előadásokat tartalmazza: a megnyitón és az elnöki beszámolón kívül 75 dolgozat szerepel a kötetben, az alábbi felosztásban:

A) Nemzetközi földárapály-megfigyelések:.....	25 – 148 old.
B) Elméleti földárapály-vizsgálatok	151 – 194 old.
C) Műszerproblémák	197 – 326 old.
D) Matematikai problémák	329 – 450 old.
E) Környezethatások	453 – 618 old.
F) Egyes obszervatóriumok működési jelentései	621 – 796 old.

A magyar előadások a következők voltak:

Bartha G. és Varga P.: Néhány kiegészítő megjegyzés a földárapály-feljegyzések kiértékeléséhez 345 – 350 old. Tarczy-Hornoch Antal (megnyitó beszéd) 17. old.

T. G.

Olaj- és gáztermelő kutak szelvényezési adatainak számítógépes feldolgozása*

D. ENGELMANN – K. HOCHSTRATE – K. FÖRSTER – S. FRICKE
– K. RUMMEL – G. THIELLE**

A szerzők egy modul-programrendszer elveit ismertetik, amelyet olaj- és gáztermelő kutak fúrólýukszelvényezési adatainak értelmezésére fognak alkalmazni. Az algoritmusok rétegzett aljzat koncepcióján alapulnak.

A rendszer input, illetve output szempontjából legfontosabb komponenseit, a réteghatár meghatározását, a közfizikai, földtani és rezervoárparamétereket tárgyalják.

Описывается концепция модульной системы программ для интерпретации промыслово-геофизических исследований из нефтяных и газовых скважин. Основой алгоритмов является представление, что разрез складывается пластами.

Кратко объясняется действие главных частей системы – ввод, определение границ пластов, подсчет петрофизических параметров, определение геологических и промысловых данных и вывод.

The principles of a modular program system are presented, which shall be applied for the interpretation of well-log data from oil and gas wells. The algorithms are based on the conception of a stratified underground.

The most important system components for input, determination of layer boundary, evaluation of petrophysical, geological and reservoir parameters and for the output respectively, are explained.

1. Bevezetés

Az utóbbi években az olaj- és gázkutatásban alkalmazott geofizikai fúrólýukszelvényezés hatékonyságának növelését célzó, különböző számítógépprogramokat és programrendszereket közöltek a nemzetközi irodalomban, pl. az ULICP (Breitenbach, 1965), LOGMATIC (GEOPETROLE, 1968), CORIBAND (Schmidt et al. 1972), PAIK – I (Batanin et al. 1972), KAROT AŽ (Sochranov, 1973) és SI thru S7 (Kulinkovič, 1974) rendszerek.

Egy ideje a VEB Geophysik-nél is dolgoznak egy megfelelő programrendszer kialakításán.

2. Fúrólýukszelvényezési programrendszer előállításának általános feltételei

A következő általános feltételek fontosak és figyelembe veendőek:

- A tekintélyes hosszúságú mérési vonalak, viszonylag vékony rétegek megkülönböztethetősége és 10 cm-es mintavételezési távolság sok adatot szolgáltat minden szelvényezési technikánál.
- A szelvények analóg módon, vagy digitálisan rögzíthetők. Az előbbi esetben a számítógépes feldolgozás előtt A/D konverziót kell végrehajtani.
- A rendszer futtatásának változtathatónak és egyszerűnek kell lennie, hogy azt a felhasználó geofizikus is kezelhesse.

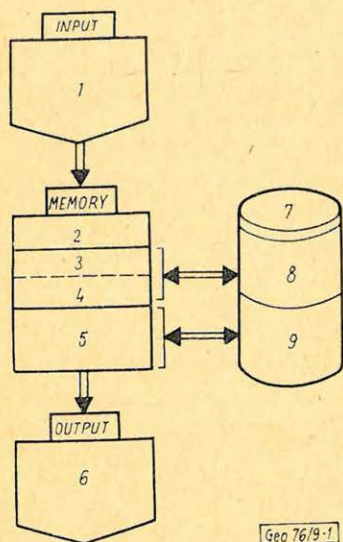
* Elhangzott a 20. Szimpóziumon 1976. szept. 16–19. Szentendrén.

** VEB Geophysik Leipzig.

Fordította: Petrik Iván.

- A rendszernek sok adatkiadási lehetőséggel kell rendelkeznie.
- A rendszernek fejlesztésre alkalmasnak vagyis „nyitott rendszer”-nek kell lennie.

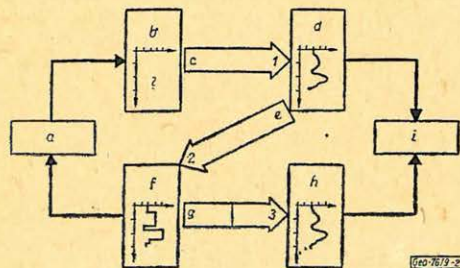
Ezek a feltételek a hardware oldaláról olyan számítógéppel teljesíthetők, amelynek konfigurációja az 1. ábrán látható, tehát:



1. ábra. A számítógép konfigurációját és az információ elvi áramlását feltüntető egyszerűsített áramlási diagram olaj- és gáztermelő kutak szelvényeinek feldolgozására szolgáló rendszer esetén.

Рис. 1. Упрощенная схема счетно-решающего устройства и принципиального потока информации в системе обработки промышленно-геофизических данных из нефтяных и газовых скважин.

Fig. 1. Simplified flow diagram showing computer configuration and principal flow of information in the oil and gas well log processing system; - 1. punch-card, punch-tape, magn.-tape; - 2. main program; - 3. overlay program; - 4. segment program; - 5. data; - 6. print plot, punchcard, magn.-tape; 7. disk; - 8. program library; - 9. datastore.



2. ábra. A geofizikai információ átalakításának a fúrólukkszelvényezésben és feldolgozásában alkalmazott alapvető szempontjait illusztráló sematikus diagram.

Рис. 2. Принципиальная схема перевода геофизической информации и ее обработка в промышленной геофизике.

Fig. 2. Schematic diagram illustrating basic aspects of the transformation and processing of geophysical information in well logging - a) comparison results of core analysis and other methods; b) true petrophys. parameters (unknown); - c) distortion by measuring process 1.; - d) measured well log curve; - e) restoration under consideration of a suitable model 2.; - f) petrophysical parameters (computed); - g) simulation of measur. proc. not possible for all meth. 3.; - h) theoretical well log curve; - i) mean square error minimum.

Kártyaolvasó, lyukszalagolvasó, sornyomtató, plotter, szalaglyukasztó, mágnesszalagos egységek és diskek.

A software-oldalon a modul-programozás három hierarchikus szinten - különösen a FORTRAN-overlay koncepció - bizonyult kedvezőnek. Az 1. ábra ezt a három szintet mutatja szimbolikusan:

1. szint: A magban levő fő-program, amely a rendszer futtatását szabályozza.

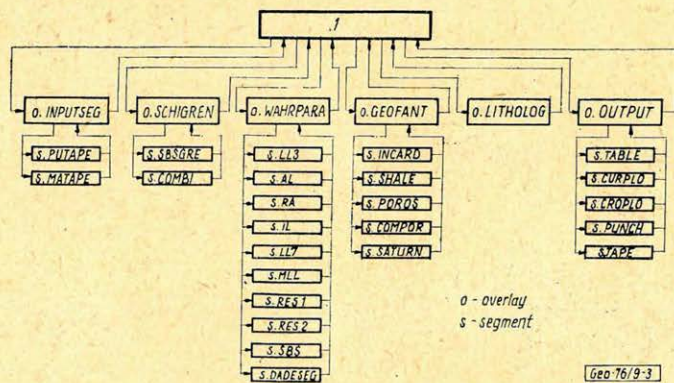
2. szint: Cserélhető overlay-programok.
 3. szint: Cserélhető szegmens-programok.

3. Az értelmezési eljárás kombinálása a rendszer szerkezetével.

Mielőtt a rendszer szerkezetével foglalkoznánk, az értelmezési eljárással kapcsolatos néhány megjegyzés szükséges (2. ábra).

Az 1. nyíl a 2. ábrán a mérési eljárást jelenti. A 2. nyíl az inverz probléma megoldását szimbolizálja, amelyet az altalajra vonatkozó megfelelő modell és a mérési folyamat nélkül nem lehet megoldani. Az NDK-ban a szénhidrogén-kutatásban fellépő geológiai viszonyok esetén a rétegzett modell a legkedvezőbb, azaz a „pontról-pontra” módszerekről általában lemondanak. A réteges koncepció a „pontról-pontra” módszerekhez viszonyítva az adatgazdálkodás szempontjából is kedvezőbb. Feltéve, hogy a rétegzett modellt használjuk, a következő fontos feldolgozási lépéseket kell figyelembe venni:

- Szelvényezési görbék beadása;
- A réteghatárok kijelölése;
- A kőzetfizikai paraméterek átalakítása olyan paraméterekké, amelyek geológiai, vagy rezervoár-tulajdonságokat, pl. porozitás, telítettség, agyagtartalom fejeznek ki;
- A sztratigráfiai rétegsor litológiai felosztása;
- Az eredmények kiadása.



3. ábra. A modul-program egységei közötti adatáramlás szerkezetét és irányát jelző sematikus áramlási kép olaj- és gáztermelő kutak szelvényeinek feldolgozására szolgáló rendszer esetén.

Рис. 3. Схема структуры и направления потока информации между модульными единицами программы в системе обработки промыслово-геофизических данных.

Fig. 3. Schematic flow chart indicating structure and direction of flow between modular program units in the processing system for oil and gas well logs. — 1. main program.

A 3. ábra a rendszer szerkezetét ábrázolja a három hierarchikus szinttel (fő, overlay és szegmens) együtt. Az alkalmazás során a főprogram, az overlay-programok és a szegmensprogramok legnagyobb része speciális lyukkártyák segítségével behívható. Ezeket az „overlay ellenőrző kártyák”-at a fel-

használó geofizikusnak a tényleges szelvényezési görbék és a sajátos geológiai problémák alapján kell elkészítenie.

Az összes fontos eredmények és az egyes alprogramok által számított közbeeső adatok diszken tárolódnak és azok más alprogramokhoz, illetve kiíratásnál felhasználhatók.

4. A rendszer egyes részei működési elvének rövid magyarázata

A következőkben az egyes alprogramokat ismertetjük.

Az *INPUTSEG*-overlay feldolgozása után a szelvényezési adatokat diszken tároljuk. A 115 m-nél hosszabb mérési szakaszokat egymást átfedő adatszegmensekre bontjuk. Ha a mért görbéket analóg módon rögzítettük, a radiometriaiakat rekurzív szűrés segítségével „pseudodigitális” görbéké alakítjuk át (Gérstenberger, 1973).

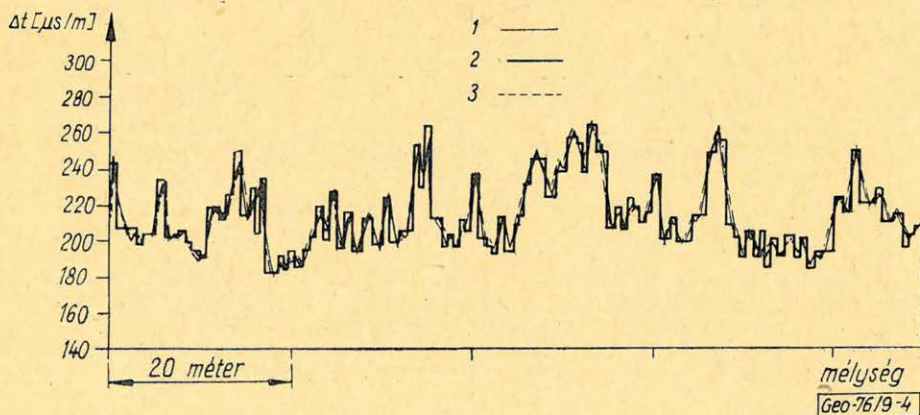
A *SCHIGREN*-overlay határozza meg adott felbontóképesség esetén a különböző görbék jellegzetes pontjai alapján a réteghatárokat.

A *COMBI*-szegmens a különböző technikák alkalmazásával nyert réteghatárookra vonatkozó információkat kombinálja. Az eredmény a réteghatárok reprezentatív sora. Az *SBSGRE* program az oldalfalszelvényezés technikájához határoz meg réteghatárokat a *KAROT AŽ* rendszerben (Sochranov, 1973) használt módszer szerint, amelyet a VNII Geofizika (Moszkva)-nál dolgoztak ki.

A *WAHRPAPA*-overlay segítségével minden egyes rétegre a kőzetek fizikai tulajdonságait határozzuk meg. A megfelelő szegmens-programokban használt algoritmusok két különböző csoportra oszthatók:

- A „három-réteg modellezés” technikája;
- Nomográfiai technikák.

A „három-réteg modellezés”-t azoknál a szelvényezési technikáknál alkalmazzák, melyeknek mérési görbéi a szelvényező berendezés „egység-rétegválás”-ának konvolúciója útján a kőzetfizikai paraméterek lépcsőfüggvényé-



4. ábra. Példa szonikus szelvény feldolgozására. A detektorhossz hatásaira vonatkozó korrekció.

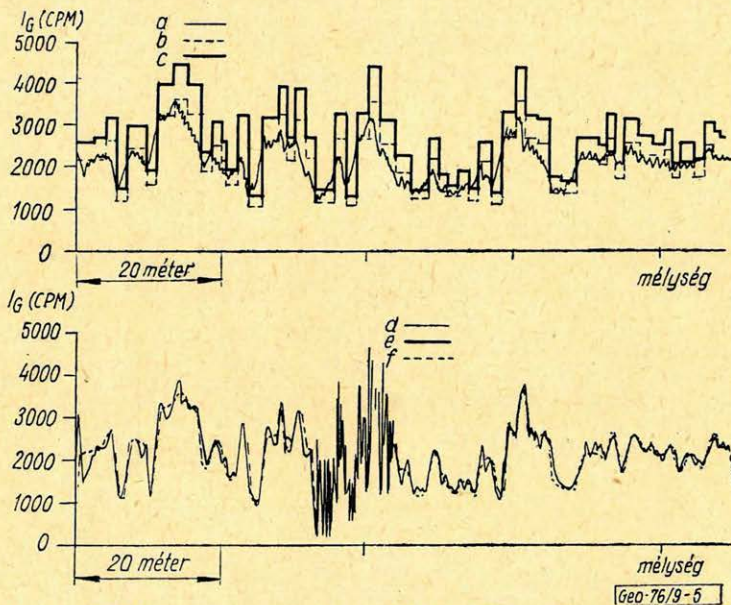
Рис. 4. Пример обработки кривой акустического метода. Поправка за влияние длины зонда.

Fig. 4. Exemple of sonic log processing. Correction for effects of detector length. — 1. Measured sonic log; — 2. Processing results; — 3. Theoretical sonic log.

vel fejezhető ki. A szóban forgó szelvények az akusztikus szelvény (*AL* szegmens), a gammaszelvény, és különleges viszonyok esetén a gammagammaszelvény és a neutron-gammaszelvény. A három radiometriai technika feldolgozása az *RA* szegmens programmal történik.

A nomográfiai technikák segítségével a szokásos kézi nomogram analízist szimuláljuk számítógépen. Ez jelenleg a leeresztés közben végzett elektromos technikákat pl. a laterolog-3-at, a mikrolaterolog-ot és az oldalfalszelvényezést érinti (*LL3*, *MLL* és *SBS* szegmensek). Az indukciós szelvényezésre és a laterolog-7-re való kiterjesztést is tervezzük.

A következő ábrák a *WAHRPARA* overlay-ek néhány szubrutinjának eredményeit mutatják. A 4. ábrán egy akusztikus szondázási görbe feldolgozására látunk példát; itt a mért görbét, a három réteg modellezéssel meghatározott valódi terjedési idő lépcsőfüggvényét és az elméleti szelvénygörbét ábráztuk. Az utóbbi nagyon jól egyezik a mért görbével.



5. ábra. Példa gammaszelvény feldolgozására. Műszerhatásokra (detektorhossz) és a fúrlyukhatásokra vonatkozó korrekció.

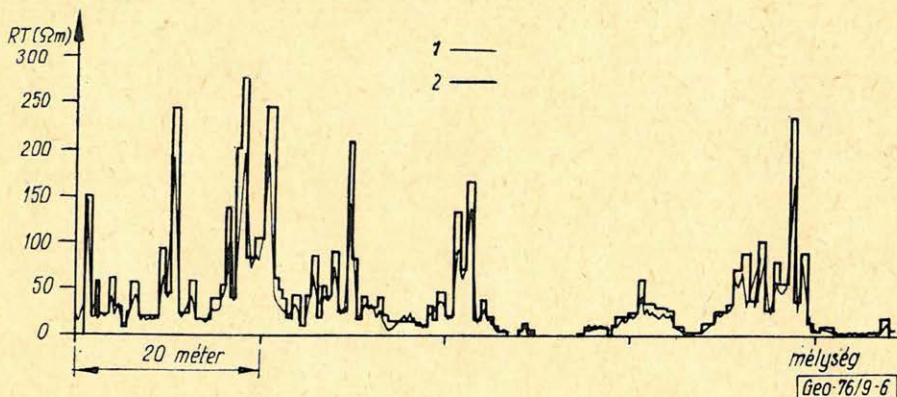
Рис. 5. Пример обработки кривой гамма-метода. Поправка за влияние аппаратурных (v , τ , длина детектора) и скважинных факторов.

Fig. 5. Example of gamma-ray log processing. Correction for instrumental effects (v ; detector length) and for borehole effects. — *a*) Analogue measured gamma-ray log (1) $v = 5$ m/min. = 12s; — *b*) Processing results uncorrected for borehole effects (4); — *c*) Processing results corrected for borehole effects (6); — *d*) Computed digital gamma-ray log (2); — *e*) Smoothed digital log (3); — *f*) Theoretical digital log (5); —

Az 5. ábra egy analóg módon regisztrált gammaszelvény feldolgozását illusztrálja. Az ábra felső része a mért görbét és a feldolgozás eredményét mutatja. Az alsó részén a közbeeső eredmények, pl. a „pseudodigitális” görbe részlete, láthatók. A simított „pseudodigitális” és elméleti digitális mért görbe közötti különbségek kissé nagyobbak, mint az akusztikus szelvény értelmezé-

sénél, mivel a gamma sugárszelvény esetén a rétegek szétválasztására használt felbontás kisebb volt.

A 6. ábra a laterolog-3 technika feldolgozására példa. Az R_t valóságos fajlagos ellenállás értékeit a LL3 programmal határozzuk meg, feltéve, hogy nincs infiltráció, azaz a két-réteges modellel.



6. ábra. Példa az LL3 feldolgozására. Réteg-vastagság, szomszédos rétegek és a fúróluk-viszonyok hatásaira vonatkozó korrekció.

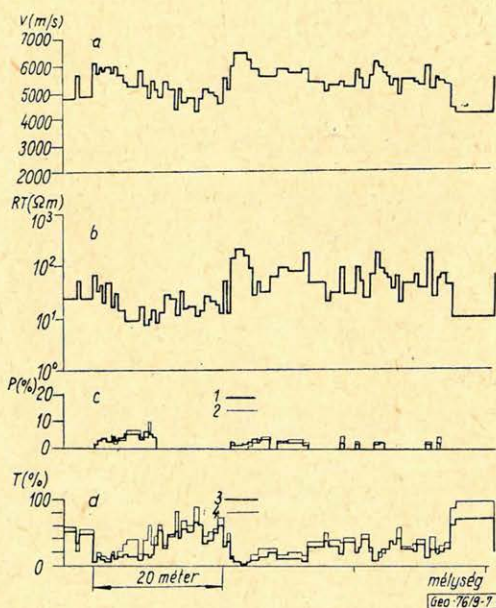
Рис. 6. Пример обработки кривой трех-электродного бокового каротажа. Поправка за влияние мощности пласта, соседних пластов искважины.

Fig. 6. Example of LL3 processing. Correction for effects of bed thickness, adjacent beds and borehole conditions. — 1. LL3 — curve; — 2. Processing results.

7. ábra. Példa egy output-plot-ra. Az értelmezés eredményei kompakt homokos agyag-pala formációk esetén.

Рис. 7. Пример результатов обработки в толще уплотненных песчано-глинистых пород.

Fig. 7. Exemple for an output-plot. Results of interpretation in compacted sand-shale formations. — a) Velocity; — b) True resistivity; — c) Porosity — 1. from resistivitylog, 2. from sonic log.; — d) Shaliness — 1. G.-ray log, 2. from sonic log.



Az infiltrációs viszonyokat a fúrólukban a SBS szegmens-programmal vesszük számításba. Ezt az oldalfal-szelvény feldolgozására használják és ugyanúgy dolgozik, mint a VNII Geofizika KAROTAZH rendszere. Ennek eredményeként nagyobb rétegsorok esetén megkapjuk az elárasztási mélységet, az elárasztott zóna közepes fajlagos ellenállását és a valóságos kőzet-fajlagos ellenállást. Ezeknek az értékeknek a felhasználásával korrigálni lehet a nagy felbontóképességű LL3-technikával nyert fajlagos-ellenállás-értékeket a valóságos elárasztási viszonyokra vonatkozóan.

A WAHRPORA-overlay program (lásd 4. ábra) végrehajtása után a kapott kőzetfizikai paramétereket diszken tároljuk és ezek a GEOFANT, LITHOLOG, illetve OUTPUT overlay-ek segítségével hívhatók be.

A GEOFANT-overlay szegmens-programjaival a kőzetparamétereket geológiai, vagy a rendelkezésre álló szelvényeknek és a vonatkozó rezervoár típusnak megfelelő rezervoár-paraméterekké alakítjuk át. Az egyes szegmens-programok fő funkciójáról neveik adnak felvilágosítást.

A LITHOLOG-overlay programmal BAYES-teorémája alapján az egyes kőzetek előfordulásának valószínűségét számítjuk. Ezeknek a valószínűségeknek az alapján történik a kőzetek litológiai megkülönböztetése. A LITHOLOG programot még kísérleti jelleggel használjuk.

Az OUTPUT-overlay az eredmények szelektív kiírását teszi lehetővé lista (TABLE szegmens-program), rajzolt görbe (CURPLO szegmens-program), cross plot (CROPLO szegmens-program) és számítógép által olvasható formában, mint lyukkártya (PUNCH szegmens-program) és mágnesszalag (TAPE szegmens-program). A 7. ábra egy kiadott lépcsőgörbe – ábrázolásra mutat be példát.

Az OUTPUT-overlay-vel kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy a 4. ábrán bemutatott rendszer-szerkezet nem tünteti fel a feldolgozás időbeli sorrendjét. Például az OUTPUT program bármely más overlay lefutása után behívható és az eredmények megfelelő formában ábrázolhatók.

5. További problémák áttekintése

Végül meg kell említeni, hogy a rendszer tökéletesítése tovább folyik. A fő szempontok a lyukszelvényezési görbék mélységkorrelációja és a különböző fajlagos ellenállástechnikák hatékony együttesének megteremtése.

Könyvszemle

Geophysical Observatory Reports of the Geodaetical and Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences, 1974. Sopron 1975. Szerkesztette: Somogyi József igazgató, 112 old.

A jelentés a nagycenki obszervatóriumban folyó munkák eredményeit tartalmazza az alábbi beosztással:

I. rész: Földi áramok
II. rész: Földmágnesség

III. rész: Légköri elektromosság
IV. rész: Ionoszféra-mérések

T. G.

Helyesbítés

A Magyar Geofizika 3. számának 119. oldalán megjelent ismertetés (Rumpler János: Robbanóanyag nélküli szeizmikus energiaforrások – vibroseis kísérletek Magyarországon) utolsó két mondata a következőképpen módosítandó:

”Nem tárgyalja részletesen a cikk a különböző energiaforrás-típusok kifejlesztésének sokrétű indokait. A hazai alkalmazhatóság szempontjából azonban igen lényeges körülmény, hogy lakóterületek, ipari létesítmények e forrástípusokkal jobban megközelíthetők. Hangsúlyozza azonban, hogy a felszíni energiaforrások – szerkezeti felépítésüknél – jól definiált energiaadatokat gerjesztenek, melyek többsége impulzus, kisebb része (Vibroseis, Rogacord) folytonos rezgéscsomag alakjában jut a talajba.”

СОДЕРЖАНИЕ

<i>P. V. van Bemmelен</i> : Новая глобальная тектоника и теория складчатости. сравнение	121
<i>A. Мешко</i> : Решение обратных задач геофизики (общие принципы ограничения и итерационные алгоритмы)	133
<i>K. Ланди – М. Лантош</i> : Оконтуривание структур методом теллурических токов	142
<i>V. Иванова – Н. Колев – Й. Кошчев – Ш. Пишталов – Ш. Стефанов</i> : Цифровой измеритель параметров упругих волн	149
<i>D. Энгелманн – К. Хохштрапе – К. Фёрстер – Ш. Фрике – К. Руммел – Г. Тиле</i> : Машинная обработка промыслово-геофизических данных из нефтяных и газовых скважин	154
Обзор журналов и книг	148, 153, 160

CONTENTS

<i>R. W. van Bemmelen</i> : The New Global Tectonics and the Undation Theory, a Comparison Part I.	121
<i>A. Meskó</i> : Solution of geophysical inverse problems (general principles, limitations and iterative algorithms)	133
<i>Mrs. K. Landy – M. Lantos</i> : Setting the boundaries of tectonic units by tellurics.	142
<i>V. Ivanova – N. Kolev – J. Kostev S. Pistalov – S. Stefanov</i> : Digital Indication of the Parameters of Elastic Waves	149
<i>D. Engelmann – K. Hochstrate – K. Förster – S. Fricke – K. Rummel – G. Thiele</i> : Computer Processing of Well-Log Data from Oil and Gas Wells	154
Review of papers	148, 153, 160

MAGYAR GEOFIZIKA

A szerkesztésért felelős: Dr. Sebestyén Károly

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

Kiadja a Lapkiadó Vállalat, 1073 Budapest, Lenin körút 9–11. Telefon: 221-285. Levélcím: 1906 Budapest Pf. 223

Felelős kiadó: Siklósi Norbert igazgató

76.543. Állami Nyomda, Budapest, Felelős vezető: Boskovitz A. Gyula

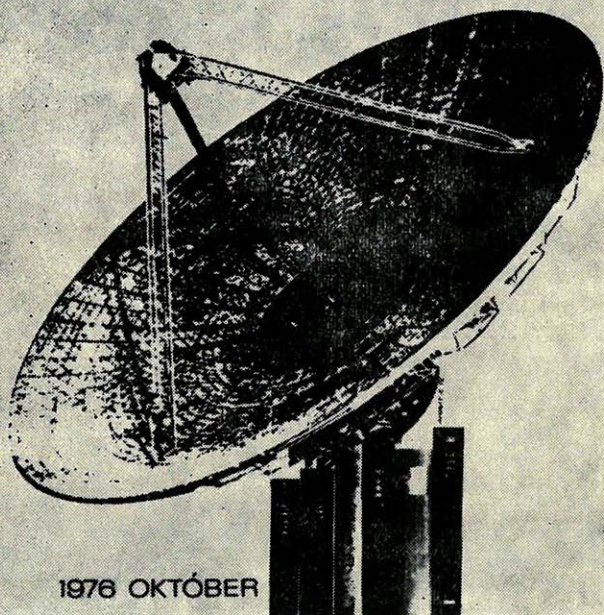
Terjeszti a MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

Megjelenik évente hatszor

Egyesületi tagoknak tagdíj ellenében

Index: 26 507

МУЗЫКАЛЬНЫЙ КОМУНАРОК



1976 OKTÓBER