

Medencealjzat felületének meghatározása gravitációs hatószámítás útján*

SZARKA LÁSZLÓ

Medencealjzatnak, mint kétréteges, háromdimenziós gravitációs hatófelületnek a rekonstruálásához két eljárást dolgoztunk ki. Kifejlesztettük a Bulach-féle gradiensmódszernek erre az esetre alkalmas változatát, valamint a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Geofizikai Tanszéke kutatási koncepciójából kiindulva készítettünk egy pontonkénti javítás elvén működő algoritmust.

A szinтетikus modelleken bevált pontonként javító módszert gyakorlati mérési anyagra is kipróbáltuk.

Az eljárás előnye, hogy a meghatározandó szerkezeteket nem kell izolálnak feltételezni, az értelmezésben egyéb irányú adatokat figyelembe lehet venni, valamint a számítás egyaránt elvégezhető Δg és transzformált gravitációs értékekből is.

К реконструированию основания бассейна, как двухслойного трехмерного раздела силы тяжести были разработаны два способа. Был разработан подходящий и данному случаю вариант градиентного метода Булаха, а также, исходя из концепции исследования Кафедры геофизики Технического Университета в г. Митшкоче, был составлен алгоритм, работающий по принципу поточечной поправки. Способ поточечной поправки, который оправдал себя на синтетических моделях, был испытан и на практическом материале измерений.

Достоинство данного способа состоит в том, что нет надобности пользоваться предположением об изолированности определяемых структур, имеется возможность учитывать остальные данные при интерпретации, и проводить вычисления как по значениям Δg , так и по преобразованным значениям силы тяжести.

In order to reconstruct the bottom of basins as a two-layer three dimensional gravity discontinuity two methods have been elaborated. A modification of the gradient method of Bulach for this case has been established, as well as an algorithm working by the principle of point-by-point corrections has been compiled, setting out from conception of investigation conceived by the Chair of Geophysics of the Miskolc Technical University.

The method of point-by-point corrections which proved itself on synthetic models has been tested on practical measurement materials as well.

An advantage of the method is that structures to be determined need not be assumed as isolated ones, and other relevant data can also be considered in the interpretation, further, the calculation can be made both from Δg and transformed gravity values.

A gravitációs inverz feladatok megoldására alkalmazott iterációs eljárások az alábbi lépésekből állnak:

– Az értelmező a gravitációs térképen túl rendelkezik néhány más módszer értelmezési eredményeivel is (pl. mélyfúrások rétegsora, szeizmikus mélységszelvények, szondázási görbék). Ezekből – a gravitációs anomáliakép figyelembevételével – felállítható egy közelítő geológiai-geofizikai modell. Ezt a valódi, meghatározandó szerkezet nulladik közelítésének tekintjük.

– Meghatározzuk a nulladik közelítésnek megfelelő gravitációs adatrendszert. A mért és az így számított értékek nem fognak egymással megegyezni. Az eltérés annak a mértéke, hogy a feltételezett modell mennyire tér el a valóságtól.

– A nulladik közelítés geometriai és fizikai paramétereit úgy kell megváltoztatni, hogy az újonnan számított gravitációs mennyiség a mért adatokhoz

* Az előadás elhangzott, 1977. V. 20-án az Ifjú Szakemberek Ankétján, Budapesten.

közelítsen. Amennyiben a területre vonatkozóan elegendő egyéb ismeretünk volt, azaz az inverz feladat rendelkezik gyakorlatilag egyértelmű megoldással, akkor feltételezhetjük, hogy az iterációs lépések során a modell a valóságos földtani alakulathoz konvergál.

A számított és a mért gravitációs mennyiségek eltéréseinek jellemzésére több összefüggés írható fel. Definiálható az eltérés a mért és a számított értékek különbségeinek négyzetösszegével (pl. a gradiensmódszereknél), de megadható például a mért és a számított adatrendszer azonos helyre vonatkozó értékeinek maximális abszolút értékű különbségével is, mint ahogyan ezt a később ismertetésre kerülő pontonként javító módszernél tesszük. Matematikailag a feladat: sokváltozós szélsőértékszámítás, az eltérés minimalizálása.

Az inverz feladat különböző speciális esetekre való megoldására az irodalomban számos eljárás található.

A Bulah-féle gradiensmódszer és egy alkalmazása gravitációs hatószámításra

Bulah (1973) a Newton-féle gradiensmódszert úgy pontosította, hogy a sokváltozós térben az egy iterációs lépésben a minimalizáláshoz szükséges negatív gradiens irányú vektor hosszát nem lineáris, hanem négyzetes közelítésből származtatta.

Az eljárás bemutatására Bulah nyomán vízszintes helyzetű párhuzamos tengelyű, végtelen henger alakú hatók paramétereit határoztuk meg, a hengerek tengelyére merőlegesen felvett U_{xz} szelvényből. A hengerek sűrűségét ismertnek vettük, ki kellett számítani a három feltételezett henger mélységét, szelvénymenti távolságát és sugarát.

Az iteráció során a gravitációs hatást, valamint a gradiensvektor összetevőit zárt formulákkal lehetett számolni. Más, hasonlóan egyszerű geometriájú hatók paramétereinek meghatározásához csak a képleteket kell kicserélni, ami a számítógépes programban szubrutinneserével megoldható.

A kezdeti, a számított és a valódi hengerparamétereket az *1. táblázat* tartalmazza.

Medencealjzat felületének meghatározása

Az előbbi hengerparaméter-számítás a gyakorlat igényeitől még elég messze áll. Sokkal inkább érdekes lehet egy medencealjzat felületének meghatározása, még abban a viszonylag egyszerű esetben is, amikor a fedő és a medencealjzat sűrűségét állandónak tekintjük.

A medencealjzatot célszerű az állomásköznek megfelelő élhosszúságú négyzetes hasábokkal úgy közelíteni, hogy az állomáspontok a négyzetes hasábok tengelyébe essenek.

Az előző problémával ellentétben itt a direkt feladatot nem lehet zárt képletekkel megoldani, azonban a *NME Geofizikai Tanszékének kutatói kollektívája* által kidolgozott módon a gravitációs hatás számítására most is lehetőség nyílik. Az eljárás lényege: rendelkezésre állnak különböző háromdimenziós „hatásmátrix”-sorozatok, azaz azok a körszimmetrikus súlyfüggvények, amelyek közül egy kiválasztottal konvolválva a gravitációs hatót, mint térbeli sűrűségeloszlást, tetszőlegesen szűrt (speciális esetben Δg) gravitációs adatrendszerhez jutunk. Mivel szorzatösszeg-képzésről van szó, a hatásszámítás gépidő-szükséglete kicsi.

Három párhuzamos, vízszintes tengelyű,
végtelen henger alakú ható kezdeti, számított
és valódi paraméterei (Bulah nyomán)

Исходные, расчетные и истинные параметры
трех тел в виде параллельных бесконечных цилиндров
с горизонтальными осями (По Булаху)

Initial, calculated and real values of a body in the form of three
parallel infinite cylinders with horizontal axes (after Bulach)

henger	U_{zx}	mélység [m]	szelvénymenti távolság [m]	sugár [m]
1	kezdeti	200,0	320,0	10,95
	számított	195,9	302,2	12,08
	valódi	200,0	300,0	12,25
2	kezdeti	100,0	570,0	7,75
	számított	140,7	599,8	8,99
	valódi	150,0	600,0	9,45
3	kezdeti	220,0	1040,0	11,40
	számított	198,9	1049,2	12,17
	valódi	200,0	1050,0	12,25

A hatószámítás során elvileg a Δg -értékek és a transzformált értékek is szerepelhetnének, de a szűrt térképek különböző előnyei (a kutatás tárgyának jobb kiemelése, a lényegesen kisebb oldalhatásból adódó gépidőnyereség) miatt az utóbbiakat célszerű használni. Ez a jelenlegi gyakorlattól eltér.

Kétréteges földtani alakulatok rekonstruálásához (a négyzetes hasábokkal közelített kontrasztfelület mélységpontjainak meghatározásához) megkíséreltük alkalmazni a Bulah-féle gradiensmódszer továbbfejlesztett változatát és a Tanszék kutatási koncepciójából kiindulva készítettünk egy pontonkénti javítás elvén működő algoritmust is.

A nulladik közelítés – mindkét eljárás esetében – lehet előre megadott (pl. mélyfúrások és szeizmikus mélységtérkép ismeretében), de a gravitációs adatrendszerből – néhány mélységinformáció ismeretében – számolható is. A nulladik közelítés számítása általában Bott (1960) szerint történik.

Az inverz feladat egyértelműségét mindkét esetben úgy biztosítottuk, hogy a meghatározandó terület permén egy hatásmátrix-félszélességnyi sávban a kontrasztfelület mélységét ismertnek tekintettük. Ez szeizmikus szelvényekkel körülhatárolt területen megtehető.

A Bulah-féle gradiensmódszer átdolgozásánál gondoskodni kellett a hatásmátrix-szal történő hatásszámítás megvalósításáról, valamint a gradiensvektor elemeinek differenciákkal való közelítéséről. A második módszer,

A pontonkénti javítás elvén működő algoritmus

egy iterációs lépésben egyetlen pontban változtatja meg a kontrasztfelület mélységét, ezért teljesítőképessége a gradiensmódszeréhez képest első látásra kisebbnek tűnik.

Ákár transzformált adatrendszerrel, akár Δg -értékekkel dolgozunk, mindkettőnél megkívánjuk, hogy az iteráció eredményeként adódó modellből számított és a mért adatok különbsége minden pontban kis abszolút értékű legyen. A számított és a mért adatok maximális abszolút értékű különbségével jellemzett pontban bizonyos mennyiséggel megnöveljük, vagy lecsökkentjük a kontrasztfelület mélységét, ezáltal a medencealjzat hasábközelítése az előzőnél általában jobb lesz. Ezt az eljárást mindaddig kell ismételni, amíg a mért és a számított adatok különbségének abszolút értéke minden pontban kisebb nem lesz egy előre megadott számnál.

Előfordulhat, hogy egy nagy maximum úgy csökkenne le, hogy többször egymás után ugyanazon pont alatt változna a hatófelület mélysége. Ha ez már geológiailag lehetetlen torzulásokhoz (meredek kiemelkedések, vagy gödrök kialakulásához) vezetne, megfelelő simító feltételekről kell gondoskodni. (Például úgy, hogy előírjuk a hatófelület valamely pontbeli mélységének és a 4 szomszédos pontbeli hatómélység átlagának a még megengedhető eltérését. Ennek túlhaladása esetén az illető pontbeli kontrasztfelület-mélység nem változhat meg, ebben az esetben a mért és a számított adatok különbségei közül a következő legnagyobb abszolút értékkel jellemzett pontban kell a hatófelület mélységét megváltoztatni).

Ha néhány pontban ismerjük a medencealjzat mélységét, akkor azokat a pontokat a maximumkeresésnél nem kell figyelembe venni.

A teljes szerkezettől származó gravitációs hatást elég az első iterációs lépés során kiszámolni, azután már csak a megváltoztatott hatómélységű pont körüli hatásmátrix-félszélességnyi környezetben kell a számított hatást korrigálni.

A két módszer összehasonlítása szintetikus modelleken

A gradiensmódszerrel és a pontonként javító eljárással kétréteges szintetikus modellekre végeztünk számításokat.

A gradiensmódszer minimalizálандó függvénye a sokismeretlenes modellek-nél már 3–4 iterációs lépés után elakadt egy mellékminimumban. Bebizonyosodott, hogy a gradiensmódszer csak akkor működik elfogadhatóan, ha a meghatározandó paraméterek száma nem túlságosan nagy.

Amíg tehát a gradiensmódszerrel a területről legfeljebb csak összességében kaphatunk valamivel jobb képet, addig a pontonként javító eljárással a hatófelület-mélység — a változtatás léptékén belüli hibával — minden pontban a valódi értékre állt be. Mindezt a 2. táblázatból is megállapíthatjuk, ahol egy 30 ismeretlenes szintetikus modell egy részletét tüntettük fel.

A gyakorlati alkalmazás

Az ELGI Vértes nyugati előterében (Nagyigmánd-Kocs-Dad környékén) végzett méréseire támaszkodva a pontonkénti javítás elvén működő eljárást gyakorlati esetben is kipróbáltuk.

A kutatási terület kedvező gravitációs tulajdonságokkal rendelkezik: kétréteges modellnek fogható fel, amelyben nagy sűrűségkülönbség ($\Delta\sigma = 0,35$

A Bulach-féle gradiensmódszerrel és a pontonkénti javítás elvén működő eljárással szintetikus modellre kapott eredménytáblázat egy részlete.

A jobb felső sarokban a kezdeti, a jobb alsó sarokban a pontonkénti javító eljárással, a bal alsóban a Bulach-féle gradiensmódszerrel számított értékek,

a bal felső sarokban a valódi modellparaméterek vannak

Часть таблицы результатов, полученных для синтетической модели по градиентному методу Булаха и по способу поточечной поправки. В правом верхнем углу приведены исходные значения, в правом нижнем углу — значения, полученные с помощью поточечной поправки, а в левом нижнем углу — значения, вычисленные по градиентному методу Булаха, а в левом

верхнем углу — истинные параметры модели

Part of the table of results obtained for a synthetic model by Bulach's gradient method and the point-by-point correction method. In the right top corner are the initial values, in the right bottom corner the values obtained by the point-by-point correction method, in the left bottom corner the values calculated by Bulach's gradient method and in the left top corner the real model parameters

2,0	0,1	4,0	1,6	5,0	2,9
2,1	1,6	4,0	3,3	4,9	4,2
5,0	2,9	8,0	8,0	10,0	11,1
5,1	4,4	8,0	8,0	10,1	11,5
7,0	6,3	15,0	15,9	18,0	19,7
6,9	7,3	14,9	16,3	18,1	19,5

A két módszer teljesítőképességét jellemző adatok

Данные, характеризующие эффективность обоих способов

Data characterising the efficiency of the two methods

jellemzők		gradiens- módszer	pontonként javító eljárás
iterációk száma		3	206
gépítő		12 perc	16 perc
éltetés	közvetlen összege	2238,5	
	max. különbség	747,8	13,55
hatófelület megváltoztatásának mértéke			0,5
			0,2

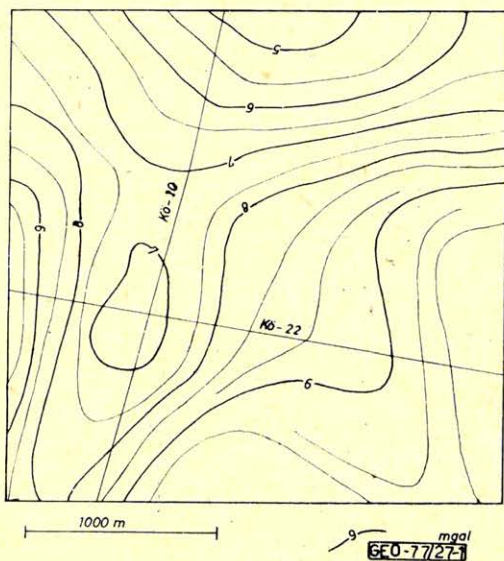
g/cm^3) van az oligocén medence és a 100 – 600 m mélyen húzódó mezozóos aljzat között, így a Bouguer-anomáliát a medence domborzata alakítja ki.

A mérések alapján a mezozóos aljzat nagyszerkezetét felemelt sasbércek, le-süllyedt rögök, tektonikai árkok jellemzik, amelyeket egymásra közel merőleges, nagy elvetési magasságú vetőrendszerek tagolnak.

Rendelkezésre állt a terület 3 – 5 állomás/ km^2 pontsűrűséggel készült Bouguer-térképe, 8 refrakciós mélységszelvény (refrakciós szempontból a megkutatottság $0,38 km/km^2$), valamint néhány mélyfúrásban ismert volt a medence-aljzat mélysége.

Egy olyan $8,1 \times 8,1 km^2$ -es területet határoltunk el, amelynek a mélység-számításra kiválasztott középső részét refrakciós szelvények teljesen körülhatárolták.

A Bouguer-térképből – alkalmas szűrőt választva-transzformált gravitációs térképet készítettünk. (1. ábra).



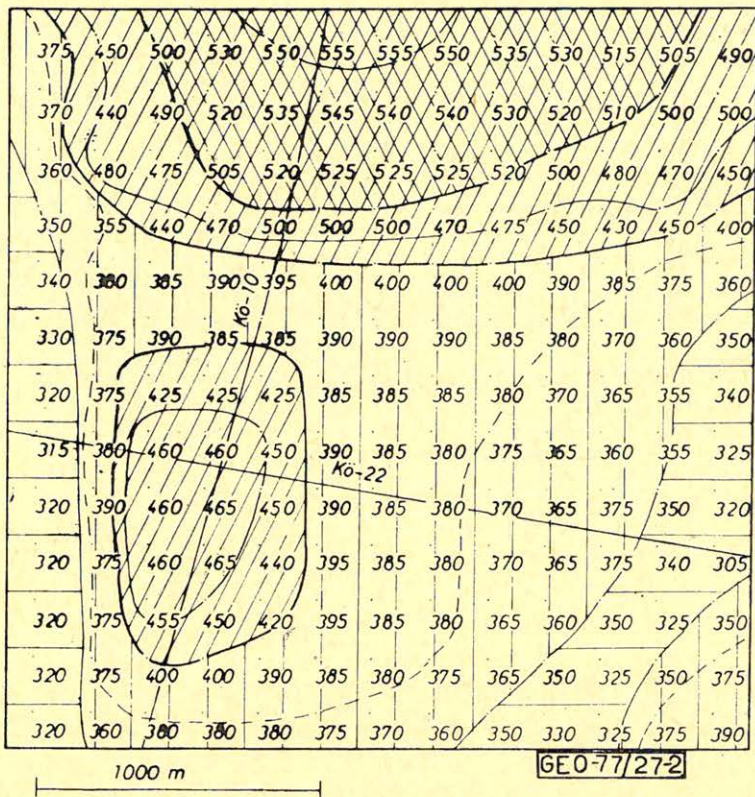
1. ábra: A kutatási terület Bouguer-térképéből a $\gamma = 2,0$, $H = 3,0$ szűrővel transzformált térkép. (Mintavételi távolság: 200 m)

Fig. 1. Map transformed from the map of Bouguer anomalies of the survey area by using a filter of $\gamma = 2,0$, $H = 3,0$. (Sampling interval: 200 m).

Рис. 1. Карта района исследования, преобразованная из карты Буга с фильтром $\gamma = 2,0$, $H = 3,0$ (Шаг квантования: 200 м).

A refrakciós mélységszelvényekből elkészítettük a medencealjzat közelítő mélységtérképét. Ezt tekintettük a meghatározandó földtani alakulat nulladik közelítésének. (2. ábra).

A számítások elvégzésére az NME ODRA – 1304 számítógépe állt rendelkezésre. A gép lassú műveleti sebessége, viszonylag kis memóriája egyelőre csak a 200 m élhosszúságú négyzetes hasábokkal való közelítést engedte meg. A 13×13 -as méretű ismeretleneket tartalmazó mátrix egy $2,6 \times 2,6 km^2$ -es területet fed le.



2. ábra: A mezozoós medencealjzat nulladik közelítésének mélységtérképe (Viszonyítási sík: tszf. +200 m)

Fig. 2. Depth map of zero approximation to the Mesozoic basin bottom (Reference plane: +200 m above sea level).

Рис. 2. Карт глубины нулевой аппроксимации основания мезозойского бассейна (Плоскость относимости: +200 м над уровнем моря)

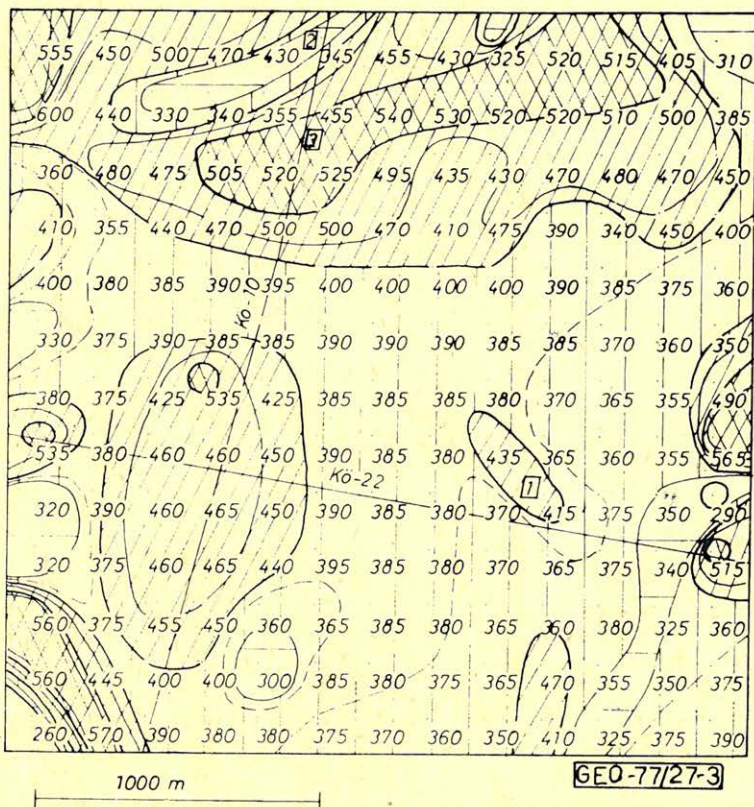
Valamely pontbeli medencealjzat-mélység 100 iterációs lépésig iterációként 30, utána pedig 10 m-rel változott.

A 3. ábrán a 212. iteráció utáni medencealjzat-térkép látható.

A két térképet összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a medencealjzat lefutásának jellegében alapvető változás nem történt, de feltűnő a számítással kapott medencealjzat-térkép jobb felbontóképessége, nagyobb részletessége.

Legnagyobb a változás a térkép felső részén, ahol a medencealjzat általános elmélyülése helyett – az alapvető tendencia megmaradásával – kiemelt sas-bécek, lesüllyedt árkok párhuzamos rendszere alakult ki, ami a terület geológiai sajátosságainak jobban megfelel.

Az 1. számmal jelölt szerkezetet a Kö-22 szelvény nem jelzi, megléte azonban a szűrt gravitációs térkép alapján bizonyos.



3. ábra: A medencealjzat-közelítés a 212. iteráció után (Viszonyítási sík: tszf. +200 m)

Fig. 3. Approximation to the basin bottom after the 212th iteration. (Reference plane: +200 m above sea level).

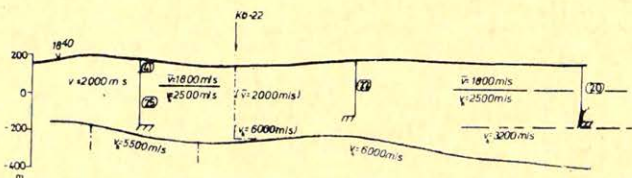
Рис. 3. Аппроксимация основания бассейна после 212-ой итерации (Плоскость относительности: +200 м над уровнем моря)

A 2. számú szerkezetnek a Kö – 10 szelvénnel való metszéspontjában a szelvényen bizonytalanul megjelenik egy közbelső határsebességű szint, ezen a helyen a számítás eredményeként – a kétréteges modell feltételezésével – kiemelt sasbércet kaptunk. Igaz, hogy a kétréteges modell a viszonyokat leegyszerűsíti, de az értelmezési eredmények határozott szerkezeti iránya, kiterjedtsége inkább a nagy sűrűségű medencealjzat mélységének változását valószínűsíti, mintsem csakis fedőbeli inhomogenitást jelezne. A felső-triász aljzatnak az e helyütt mért nagy (6000 m/s) határsebessége sem zárja ki ezt a feltételezést, hiszen a nagy határsebesség a refrakciós medencealjzat kiátlagolódásában megnyilvánuló átlóvésekre, bemerülésekre is utalhat.

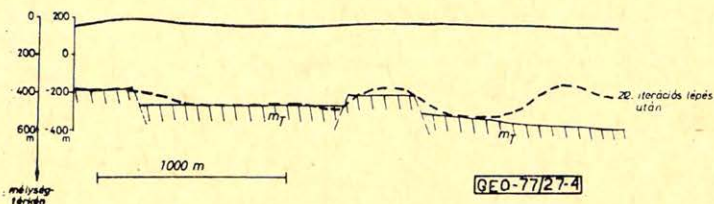
A 4. ábra a Kö – 10 szelvény hagyományos és a gravitációs hatószámítási eljárással kapott értelmezését mutatja. Megfigyelhetjük az iteráció utáni nagy sűrűségű medencealjzatnak a geoelektromos aljzattal való közeli egyezését.

A gyakorlati feladatra felhasznált gépidő 65 perc volt, ebből fordítással együtt a nulladik közelítés számítása 35 percet vett igénybe, a 212 iterációs lépéshez mindössze 30 perc kellett.

A bemutatott eljárásnak feltétlenül előnye, hogy az NME Geofizikai Tanszéke kutatási koncepciójának megfelelően ez a módszer sem igényli, hogy a meghatározandó szerkezet izolált legyen, az eljárás egyéb irányú adatokat is figyelembe vesz, valamint az értelmezés tetszőleges adatrendszerből kiindulva történhet.



4. ábra A Kö-10 szelvény értelmezése



4. ábra: A pontonként javító hatószámítási eljárással kapott nagy sűrűségű medencealjzat kontúrfelületének menete a refrakciós-geoelektromos módszerek alapján értelmezett Kö-10 szelvény mentén.

Fig. 4. Relief of the contour surface of the high density basin bottom obtained by the point-by-point correction method along the profile Kö-10 interpreted on the basis of seismic refraction and geoelectric methods.

Рис. 4. Рельеф контурной поверхности высокоплотного основания бассейна, полученного способом поточечной поправки, по профили Кб-10, интерпретированной по сейсмическому (МПВ) и электроразведочным методам.

Mivel az előbb ismertetett feladat volt az eljárás első gyakorlati alkalmazása, elképzelhető, hogy a további számítások a program egyes részeinek finomítását eredményezhetik.

Végezetül megemlítjük, hogy az itt helyszűke miatt nem közölt részletek a [6]-ban megtalálhatók.

IRODALOM

- [1] Bott, M.N.P.: The use of rapid digital computing methods for direct gravity interpretation of sedimentary basins. Geoph. Jour. Royal Astron. Soc., V. 3. (1960), p. 63-67.
- [2] Bulah, E. G.: Avtomatizirovannaja szisztyema intyepretacii gravitacionnüh anomalij. Naukova Dumka, Moszkva, 1973.
- [3] Meskó, A.: Geofizikai inverz feladatok megoldása (általános elvek, korlátok és iterációs algoritmusok). Magyar Geofizika, XVII. évf. (1976), 4. sz. 133-141.
- [4] Steiner, F.: Characterization and derivation of map transformations on the basis of the anomalous body-map relationship. Acta Geodaet. et Mont. Acad. Sci. Hung. Tom. 8. p. 71-84 (1973).
- [5] Steiner, F.: Gravitációs szűrők geofizikai hatásmechanizmusának szemléltetése. Geofizikai Közlemények 23. (1974).
- [6] Szarka, L.: Gravitációs hatók számítása (Diplomaterv). NME Geofizikai Tanszék, Miskolc, 1977.