A függőleges sűrűségi határfelületek interpretálása a nehézségi anomáliák térképéből, digitális számítógép segítségével

JÁN ŠEFARA

A dolgozat a nehézségi anomália-kép automatikus interpretációját javasolja a függélyes sűrűségi határok meghatározására közelítő geológiai helyzetekben általános paraméterekkel. A módszer alapjául a „template analysis" (H. Linsser 1967: Investigation of Tectonics by Gravity Detailing, Geophysical Prospecting No 3, 1967) szolgál, melyet a tektonikai interpretációra alkalmaztunk.

Az anyagi félsíkra vonatkozó elméleti görbét (egyszerűsített függélyes határfelület) a mért anomáliatérrel összehasonlítva különböző helyeken és irányokban, a koincidencia-kritérium alapján meghatározzuk a vertikális sűrűségi határok optimális paramétereit, vagyis a fekvést, a szöget (geológiai értelemben az irányt), az ekvivalens mélységet és a határfelület maximális határfelületét ($E = 0{,}0419 \cdot \sigma \cdot m$, ahol a sűrűségugrás és $m = h_2 - h_1$ a határfelület vertikális kiterjedése).

A dolgozat elméleti és gyakorlati alkalmazási példákkal egészül ki.

Доклад посвящен машинной интерпретации аномального поля силы тяжести при приближении геологических условий на вертикальные границы раздела плотности с общими параметрами. Метод основан на „template analisis" (H. Linsser 1967: Inrestigation of Tectonic by Grarity detailing, Geophysical Prospecting № 3, 1967), *примененном при интерпретации тектоники.*

Сравнив измеренное аномальное поле в разных местах и направлениях с теоретической кривой для вещественной полуплоскости (упрощенная вертикальная граница раздела), определяем при помощи критерия совпадения оптимальные параметры вертикальной границы раздела плотности, т.е. положение, угол (в геологическом смысле направление), эквивалентную глубину и максимальный эффект границы раздела $E = 0{,}0419 \cdot \sigma \cdot м$ (где σ – избыточная плотность на границе раздела плотности и $м = h_3 - h_1$, вертикальный диапазон границы раздела).

Доклад дополнен теоретическим и практическим примером применения метода.

Der Vortrag schlägt die automatische Interpretation des anomalen Schwerefeldes bei Approximation der geologischen Situation für die vertikale Dichtegrenze mit allgemeinen Parametern vor. Als Grund dieser Methode gilt „Template analysis" (H. Linsser 1967: Investigation of Tectonics by Gravity Detailing, Geophysical Prospecting No 3, 1967) verwendet bei der Interpretation der Tektonik.

Durch den Vergleich der theoretischen Kurve für die materielle Halbebene (vereinfachte vertikale Grenzfläche) mit dem gemessenen Anomalienfeld an verschiedenen Stellen und in verschiedenen Richtungen bestimmen wir mit Hilfe des Kriteriums der Koinzidenz die optimalen Parameter der vertikalen Dichtegrenze, d. i. die Lage, den Winkel (im geologischen Sinn die Richtung), äquivalente Tiefe und die Maximalwirkung der Grenzfläche $E = 0.0419 \cdot \sigma \cdot m$ (wo die Dichtedifferenz und $m = h_2 - h_1$, den vertikalen Bereich der Grenzfläche bedeutet).

Der Vortrag wird durch Beispiele der Anwendung der Methode an einem theoretischen und einem praktischen Beispiel ergänzt.

A geológiai gyakorlatban túlnyomóan olyan anomáliatestekkel approximálható struktúrák fordulnak elő, melyek erősen nem izometrikusok, vagyis egyik méretük egész nagyságrenddel eltér a többitől. Ezen típussal a gravimetriában a határfelületek interpretálásának feladata jár együtt: az anomáliák transzformálása és lokalizálása fiktív eredményekhez vezet.

A vízszintes határfelületek undulációjának interpretálása általánosan használatos. A függőleges határfelületek területi vizsgálata nagy geológiai hasznosságra tett szert, főleg Linssernél az 1967-es évben az ő „*template analízis*"-ének alkalmazásával a tektonika interpretálására. A jelen munka tulajdonképpen az említett Linsser-féle megoldásból ered, bár a számolás technikája eltérő. Úgyszintén törekedtünk a feladatot általánosítani.

A metódus alapelve az, hogy a lemért anomália-térre különböző helyeken és irányokban a legkisebb négyzetek módszerével elméleti görbéket helyezünk rá a határfelület különböző mélységei részére és a tényleges és az elméleti tér maximális egyezése alapján a lemért térhez az elméleti paramétereit rendeljük hozzá. Az egyezés kritériuma a Linsser által javasolt koincidencia (*c*)-kritérium (*1. a. ábra*).

Ha a határfelületet az X_0 pontba helyezzük és ennek tényleges hatását az elméletivel pótoljuk, akkor a kritérium menetét az x tengely irányában a felületre merőlegesen az *1b. ávrán* láthatjuk, amikoris a megadott határfelület (h_0) mélysége és az elméleti görbe határfelületének (h) mélysége megegyezik. A koincidencia menetét az *1b. görbe* maximum-pontjában nem egyenlő mélységek mellett az *1c. ábra* mutatja. Ezen két görbéből látni, hogy a határfelület kiválasztása vízszintes irányban jól megtörténhet, függőleges irányban a kiválasztás (iránya) valószínűleg függni fog a tér zavartsági fokától.

A függőleges sűrűségi határfelület elméleti teréül az anyagi félsík terét használtuk, amely a lépcső terétől kissé eltér ugyan, azonban előnyös képlete egyszerűsége és könnyű módosíthatósága folytán. Az együtthatók útján ez így adható meg:

$$b_s = E\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \text{ (arctg p.s.)},$$

ahol:

$E = 2\pi H m \sigma$ a Bouguer-féle lemez hatása m vastagság és σ sűréség mellett;

$p = \frac{l}{h}$ – a megadott tér interpolációs lépése (l) és a félsík mélysége (h) közötti viszony;

$s = 0 \pm 1 \ldots \pm O$ – szám, amely megadja a számított pont helyzetét.

Az elméleti határfelület mélységének változását nagyon könnyen pótoljuk a megadott tér k-szoros lépésének kiválasztásával. Az *1*, p, O paraméterek megadott tér előzetes megítélésétől függően választhatók.

Egyszerű átalakítás után az E kiszámítására felírhatjuk ezt a képletet:

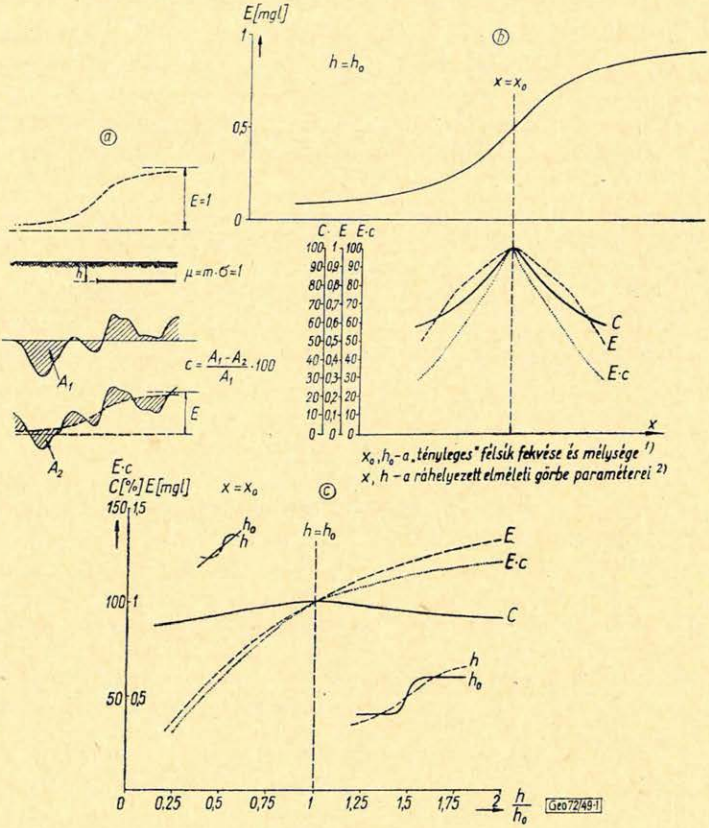
$$E = \frac{\sum_{-o}^{+o} (\Delta g_x - R)\, a_s}{\sum_{-o}^{+o} a_s^2},$$

ahol: $x = s + x_0$,

$R = \Delta g_x$ középértéke az $< x_0 - \sigma,\ x_0 + o >$ intervallumban

$$a_s = \frac{1}{\pi} \text{ arctg p.s.}$$

A függőleges határfelület megvizsgálandó paraméterei így x_0 (kétdimenziós feladat mellett függ az y-tól), E és h. Minthogy négyzetes hálózattal adott tényleges tér esetén nem lehet az x tengely függőlegességének feltételét a határfelületen betartani, további paramétert vezettünk be az α szög alakjában.



1. ábra. Kritériumok kiszámítása és ezek elméleti menete vízszintes és függőleges irányban
1/a. ábra. Az elméleti és mért görbe koincidenciájának *(c)* kiszámítása
1/b. ábra. A *c* menete az x tengely irányában $h = h_0$ mellett
1/c. ábra. A *c* lefutása az $x = x_0$ és $h = h_0$ mellett;
(x_0, h_0-a *„tényleges"* félsík fekvése és mélysége)
(x, h – a ráhelyezett elméleti görbe paraméterei)

Фиг. 1. Вычисление критерий и их теоретический ход в горизонтальном и вертикальном направлениях
Фиг. 1/а. Вычисление совпадения (с) теоретической и измеренной кривых
Фиг. 1/б. Ход *с* по оси *x* при $h = h_0$;
Фиг. 1/с. Ход *с* при $x = x_0$ и $h = h_0$;
(x_0, h_0 – положение и глубина *„действительной"* полуплоскости)
(x, h – параметры наложенной теоретической кривой)

Fig. 1. Berechnung von Kriterien und ihr theoretischer Gang in horizontaler und vertikaler Richtung
Fig. 1/a. Berechnung der Koinzidenz (*c*) der theoretischen und gemessenen Kurve
Fig. 1/b Gang von *c* in der x – Richtung für $h = h_0$
Fig. 1/c Gang von *c* für $x = x_0$ und $h = h_0$
(x_0, h_0: Lage und Tiefe der fiktiven Halbebene)
(x, h: Parameter der superponierten theoretischen Kurve)

Az α szög változásával gyakorlatilag változik a vizsgált határfelület mélysége. A megadott és ráhelyezett mélység eltérése esetén ugyanúgy az x_0 pontban kapjuk a c maximumot, de ha az α nagyon kicsi és $h_0 \to \infty$, akkor a c maximum kiválasztása nem lehetséges. Ebből az okból ismételjük a számítást függőleges irányban.

A számítás menete

A négyzetes hálózatban, amelyen a lemért Δg_{xy} tér adott, egy tetszésszerinti irányt x tengelynek választunk.

1. Az x tengely irányában az a_s görbe lépésenkénti ráhelyezésével és a maximum c segítségével meghatározzuk az $x_0(o)$-t, és az E-t ebben a pontban E_o-val jelöljük.

2. A szomszédos szelvényekben ($\pm 1 - \pm 2$) az E_0 számára kiszámíthatjuk az x_0 (y)-t és a x_0 értékeiből kiszámíthatjuk az előzetes α szöget.

3. Az x_0 (o) pont környékén újból kiszámítjuk az $x_0(y)$-t, amikoris a görbét az előzetes α szögre függőlegesen helyezzük rá. Az x_0 értékeiből újból kiszámítjuk az α-t. (A Δg értékek interpolálása a négyzetháló pontjain kívül egyszerű interpolálással végrehajtható:

$$\Delta g = \Delta x \cdot \Delta y(\Delta g_{x,\,y} + \Delta g_{x+1,\,y+1} - \Delta g_{x+1,\,y} - \Delta g_{x,\,y+1} + \Delta x(\Delta g_{x+1,\,y} - \Delta g_{x,\,y}) + \\ + \Delta y(\Delta g_{x,\,y+1} - \Delta g_{x,\,y}) + \Delta g_{x,\,y}.$$

4. Az $x_0(o)$ pont körüli értékekből és az α szögből kiszámíthatjuk az $E - 1$ és a c-t, az y, $x_0(O)$, α, E, c és az Ec kinyomása után folytatjuk a számolást addig, amíg nem megyünk át a négyzetesháló összes pontjain.

5. x tengellyé a második háló irányt választjuk és végrehajtjuk az $1-4$ pontokat.

6. Megválasztjuk a $\Delta g_{x,y}$ értékek k-szoros kiválasztását és ismételjük az $1-5$ pontokat addig, amíg az összes választott k számára nincs elvégezve a számítás.

7. A gépszámítás után a c maximumok alapján a határfelületek egyes lefutásaihoz optimális mélységet rendelünk hozzá *(1c. ábra)*.

A választott eljárás legjobban bevált, ha a határfelület optimális mélységét is meg akarjuk határozni.

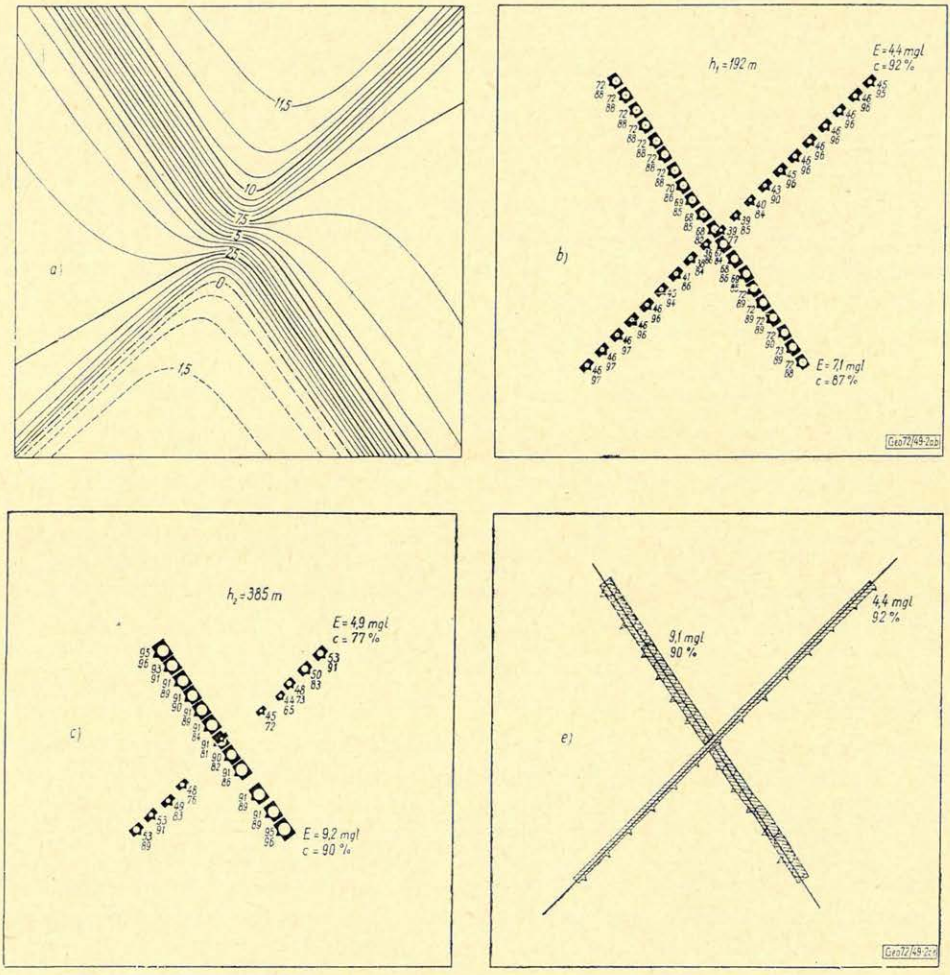
Habár a c menetének maximuma van az általános szög mellett a határfelület és az x tengely között, szükséges a maximumát a mellék-profilokon is megfigyelni, éspedig a következő okból:

Ha a ráhelyezett görbe mélysége nagyobb volna, mint a vizsgált határfelületé, a c maximumot a határfelülethez ferde irányban kapjuk.

Minthogy a metódus totális térrel dolgozik, két általános szög alatt metsző határfelület szuperpozíciója nem mindig engedi meg a *2.* lépéssel kiszámítani a pontos szöget. A határfelület menetének a rá merőleges irányban való vizsgálatánál egy további határfelület *„hozzájárulás"*-át vagy egy a vizsgálatra merőleges irányú regionális terét lehet approximálni anélkül, hogy a felület lefutását eltorzítanánk. A mi esetünkben ezt a hatást másodfokú görbével approximáljuk. Ha a vizsgált határfelület elegendő közelében létezik egy további, ez az E effektust befolyásolja, vagyis ez nagyobb, vagy kisebb lesz, ami azt jelenti, hogy az E effektusnak nincs mindig pontos fizikai értelme. Egy vizsgált határfelület környezetében egy vagy több párhuzamos határfelület *„hozzájárulását"* is meghatározhatjuk, ez a probléma szükség esetében megoldható.

Példák az eljárás felhasználásához

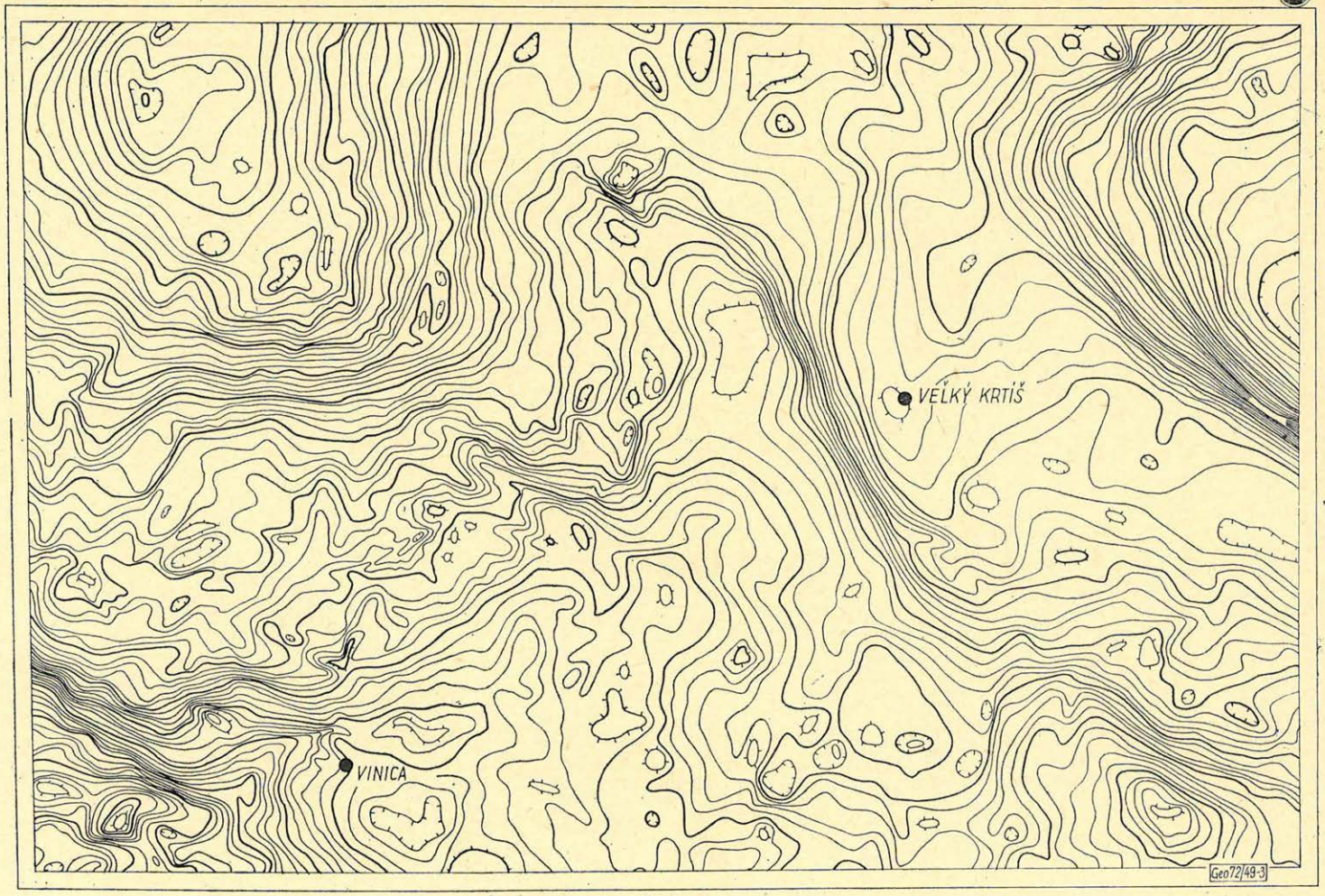
A számítás ellenőrzése érdekében egy elméleti kétfélsíkos modellt választottunk, különböző mélységgel, intenzitással és iránnyal *(2a. ábra)*. A modell matematikailag nem volt pontosan meghatározva, az volt a törekvésünk, hogy olyan feltételeket szimuláljunk, amilyenek a gyakorlati tereknél rendszerint adottak.



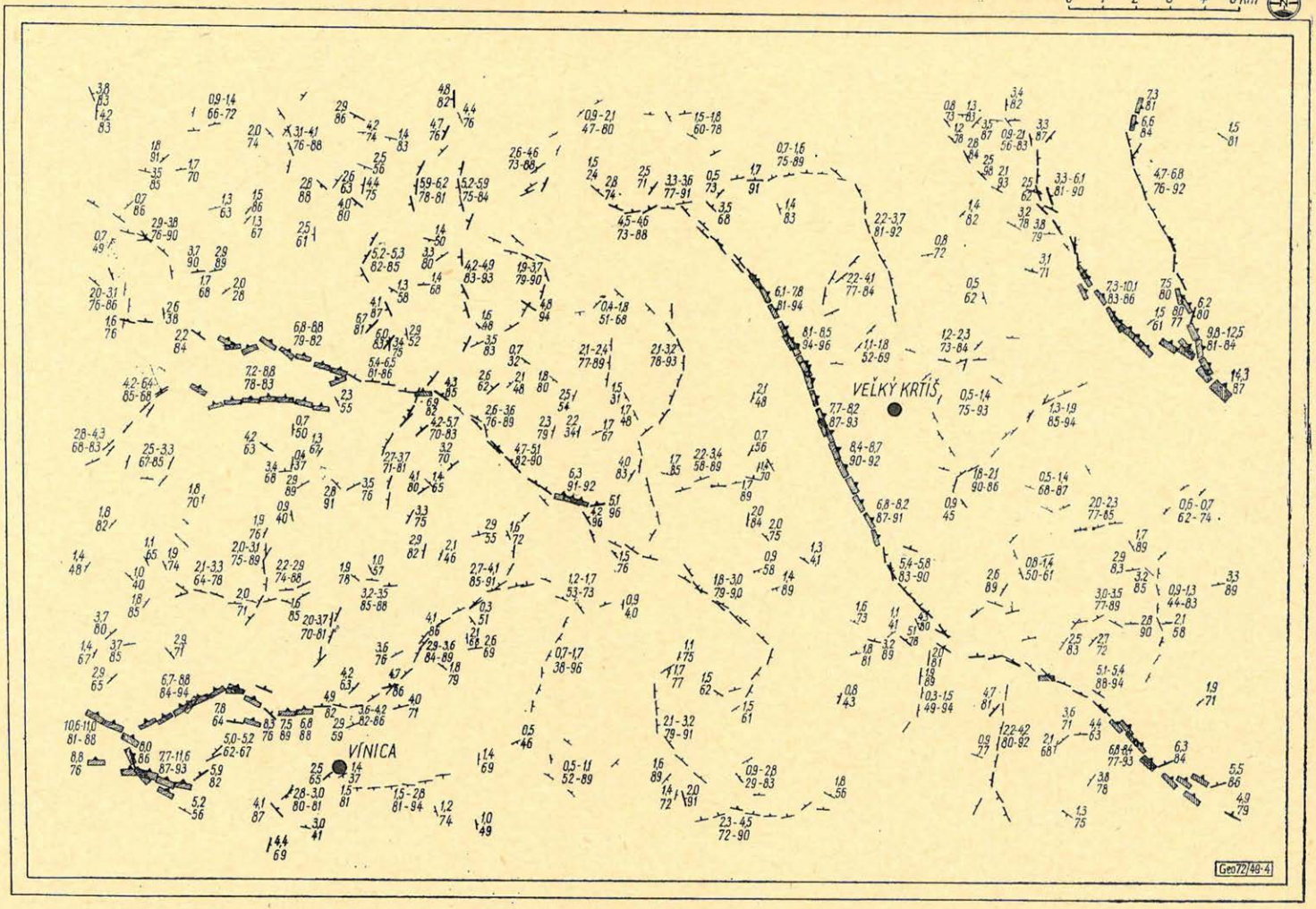
2. ábra. A gépi interpretáció eredménye a modellen;
2/a. ábra. A modell nehézségi hatása; *2/b ábra.* Interpretáció h_1 mellett; *2/c. ábra.* Interpretáció h_2 mellett; *2/e. ábra.* Végső interpretáció

Фиг. 2. Результаты машинной интерпретации на модели *2/a:* гравитационный эффект модели; *2/б:* интерпретация при h_1; *2/в* интерпретация при h_2; *2/г:* окончательная интерпретация

Fig. 2. Ergebnis der maschinellen Interpretation am Modell
2/a. Gravitationseffekt des Modells; *2/b.* Interpretation bei h_1; *2/c.* Interpretation bei h_2
2/e. Endgültige Interpretation



3. ábra. A teljes Bouguer-anomáliák térképe az Ipoly medence vidékén. (Nem titkos kivitelben.)
Фиг. 3. Карта полных аномалий Бугэ врайоне бассейна р. Ипоть (в несекретном исполнении)
Fig. 3. Vollständige Bouguer-Anomalien-Karte im Gebiet des Ipolybeckens (in nicht geheimer Ausführung)



4. ábra. A függőleges határfelületek végső interpretálása az Ipoly medence vidékén *Фиг. 4.* Окончательная интерпретация вертикальных разделов в районе бассейна р. Иполь *Fig. 4.* Endgültige Interpretation der vertikalen Grenzflächen im Gebiet des Ipolybeckens

A választott teret az $l = 250$ m lépéssel interpoláltuk. Az elméleti görbék számára ezeket a paramétereket választottuk: $p = 1, 3$; $o = \pm 3$., ez azt jelenti, hogy a vizsgált határfelület minimális mélysége *(192 m)* kisebb, mint a térkép interpolációs lépése. A görbe *7* ponttal van megadva, a felületen *49* ponttal. A görbe terjedelme *84%*-os (a görbe terjedelme *100%*-os akkor volna, ha ezt $+\infty$-től $---$-ig fektetnénk). Ezeket az értékeket általában szándékosan alacsonyaknak választottuk, majdnem az elviselhetőség határán. Az o növelésével növekszik a számításhoz szükséges gépidő, viszont a p csökkenésével vagy csökken az l lépés és a lyukasztott állandók terjedelme növekszik, vagy növekszik a vizsgált határfelület minimális mélysége.

A számítás eredményei a *2b, c, d ábrán* láthatók. A *2e ábra* az interpretáció állapotát mutatja a paraméterek végleges kiválasztása után az *1/c. ábra* értelmében. Különbségek a koincidenciában az egyes mélységekre vonatkozóan aránylag kicsik, a határfelület optimális kiválasztása azonban lehetséges.

A metódus praktikus használatát a *3.* és *4. ábra* ábrázolja. Az egyes határfelületek mélységi kiválasztása nem volt egyértelmű, valószínűleg nagyon közeli határfelületek egyetlen zavarsávvá egyesülnek, pl. mint ferde lépcső kis szöggel, vagyis a meghatározott ekvivalens mélység ebben az esetben nagyon torzult, ami a görbéknek a két geometriai test feletti eltéréséből világos.

Végkövetkeztetés

Az a véleményem, hogy az eljárást még tovább lehet fejleszteni. Használatának potenciális lehetőségei adódnak elsősorban hegyes vidékeken, ahol az elméleti görbét a talaj-felszíntől függően választhatjuk és mindig egy konkrét észlelési görbe, vagy felület részére számíthatjuk ki, amikor is nemcsak függőleges határfelületet, hanem szabadon választott testet vizsgálhatnánk. Bizonyos feltételek mellett lehetséges volna a mért görbe aszimetriájának megfelelően a sűrűségi határfelület ferdeségét meghatározni.

A metódus mostani állapotában is képes helyes alkalmazásával kikutatni a geológia szempontjából érdekes és a geológusok számára érthető formában megadott paramétereket.

IRODALOM

[1] *Andrejev B. A.—Klusin I. G.*, 1962: Geologicseskoje isztolkovanije gravitacionnych anomalij. Gostoptechizdat, Leningrad, 1962.

[2] *Böhm J.*, 1964: Vyrovnávaci počet. SNTL Praha, 1964.

[3] *Linsser H.*, 1967: Investigation of Tectonics by Gravity Detailing. Geophysical Prospecting Vol. XV., No 3, 1967.