

LÁNYI JÁNOS – RÁKÓCZY ISTVÁN

VÍZBEN, ROBBANÁSSAL KELTETT NYOMÁSHULLÁMOK  
VIZSGÁLATA

Я. ЛАНИ – И. РАКОЦИ

ИЗУЧЕНИЕ УДАРНЫХ ВОЛН, ВОЗБУЖДЕННЫХ ВЗРЫВОМ В ВОДЕ

In работе описываются результаты исследований, проведенных Геофизическим институтом в реке Драва, а также применявшаяся при этом аппаратура. По полученным данным составлены функциональные зависимости, хорошо согласующиеся как с результатами теоретических вычислений, так и с эмпирическими формулами, известными из литературы.

J. LÁNYI – I. RÁKÓCZY

INVESTIGATIONS OF PRESSURE WAVES GENERATED BY EXPLOSION IN WATER

The authors present the instruments and results of the measurements of the Hungarian Geophysical Institute on the Drava river. From the values measured, certain function-like relations have been established, well agreeing both with the theoretical computations and with the empirical formulae known from literature.

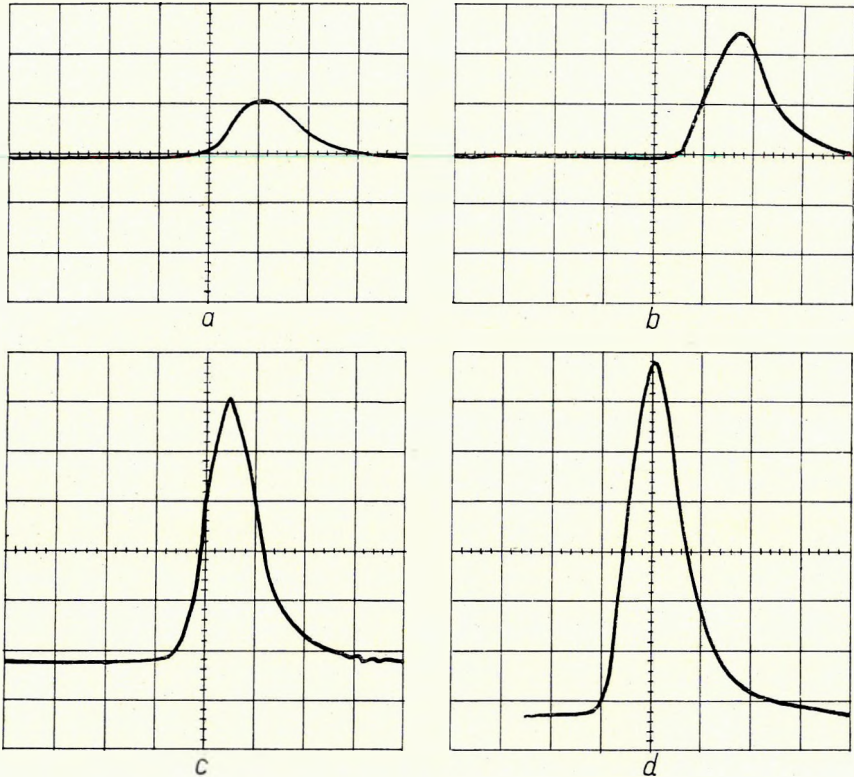
A robbantással keltett nyomáshullámok szilárd közegben való terjedésével számos tanulmány foglalkozik; fizikai folyamataik jól ismertek. Kevésbé állítható ez a folyadékokban, elsősorban a vízben terjedő nyomáshullámokról. Jóllehet a robbantások tekintélyes részét vízben végzik. E nyomáshullámok kialakulásáról és lecsengéséről viszonylag keveset tudunk, holott ezek ismerete az elméleti szempontokon túlmenően, gazdasági jelentőségű is lehet (pl. optimális biztonsági távolság).

E tanulmány azokat a kutatásokat írja le, amelyeket az ELGI 1967-ben – Magyarországon először – a Dráva folyóban végzett, robbantással keltett nyomáshullámok töltetnagyságtól és távolságtól függő változásainak kimutatására.

A vonatkozó külföldi irodalom (COLE 1948; BLAIK ET AL. 1965; MARSH ET AL. 1965; LESTER 1961) kizárólag mélytengerben végzett, nagy észlelési távolságú méréseket ismertet. A robbantásokat nagy mélységben (2–3 km) végezték, ezért a keletkezett nyomáshullámok minden irányban egyenletesen terjedhettek; az ún. geometriai szóródáson kívül más energiaveszteség gyakorlatilag nem volt. A nagy távolságok (1–3 km) miatt a mért nyomások általában csekélyek voltak. E tanulmányban leírt méréseink helyén ellenben a vízmélység, a robbantásnál és az észlelésnél mindössze 6 m körül volt. A robbantásokat a fenékhez közel végeztük. Ezért az energia egy részét a robbantótöltet fölött

levő víztömeg felemelése, másik részét pedig a folyómederben rugalmas szeizmikus) hullámok keltése vette igénybe. Már eleve várható volt tehát, hogy a mérendő nyomásértékek kisebbek lesznek, mint a hivatkozott irodalomban közöltek.

A mérésekhez piezoelektromos érzékelőfejet és Tektronix 504 típusú oszcilloszkópos regisztrálót használtunk.



1. ábra. Oszcilloszkóp felvételek a nyomásmérőfej hitelesítéséről

	a	b	c	d
terhelés	0,5 kg	1,0 kg	2,0 kg	3,0 kg
nyomóerő	0,159 kg/cm <sup>2</sup>	0,318 kg/cm <sup>2</sup>	0,636 kg/cm <sup>2</sup>	0,955 kg/cm <sup>2</sup>
érzékenység	100 mV	100 mV	100 mV	100 mV
időszéthúzás	2,00 ms	2,00 ms	2,00 ms	2,00 ms

Фиг. 1. Осциллоскопические записи градуировки приемника для измерения давления

	a	b	c	d
Нагрузка	0,5 кг	1,0 кг	2,0 кг	3,0 кг
Напорное усилие	0,159 кг/см <sup>2</sup>	0,318 кг/см <sup>2</sup>	0,636 кг/см <sup>2</sup>	0,955 кг/см <sup>2</sup>
Чувствительность	100 мВ	100 мВ	100 мВ	100 мВ
Растяжение времени	2,00 мс	2,00 мс	2,00 мс	2,00 мс

Fig. 1. Oscilloscope records on the calibration of the pressure-measuring head

	a	b	c	d
load	0,5 kg	1,0 kg	2,0 kg	3,0 kg
pressing force	0,159 kg/cm <sup>2</sup>	0,318 kg/cm <sup>2</sup>	0,636 kg/cm <sup>2</sup>	0,955 kg/cm <sup>2</sup>
sensitivity	100 mV	100 mV	100 mV	100 mV
time-extension	2,00 ms	2,00 ms	2,00 ms	2,00 ms

Az érzékelőfej adatai: anyag: BaTiO<sub>3</sub> kerámia; átmérő: 20 mm; önfrekven-  
cia: 500 kHz; mérési tartomány: 0,1 – 100,0 atm; kapacitás: 1670 pF; érzékeny-  
ség: 230 mV/atm; csillapítótömb: epoxi műgyanta. A regisztráló oszcillosz-  
kóp lehetővé tette, hogy a bemenő jel a sugarat rendkívül kis késéssel ( $1,6 \cdot 10^{-7}$   
sec) indítsa; az erősítés és az időexpánzió hiteles fokozatokban történhessék; a  
jelet a képernyő hosszú ideig tárolja, hogy lefényképezhető legyen. Ennek az  
oszcilloszkópnak az érzékenysége 0 – 10 kHz között alig változik.

A mérőfejet a szokásos sugárnyomásos (30 kHz) hitelesítésen kívül súlyok  
ejtésével is hitelesítettük oly módon, hogy a kristály felületére (3,14 cm<sup>2</sup>)  
helyezett tartóra – alacsony olvadáspontú fémszálon – ismert súlyokat füg-  
gesztettünk fel. A szál elektromos elégetése indította a katódsugarat, a súly  
leesése pedig könnyen kiszámítható nyomáscsökkenést hozott létre. A nyomás-  
csökkenés következtében a nyomásmérő szondán keletkezett feszültségjelet  
az oszcilloszkópon regisztrálva, az említett 230 mV/atm. érzékenységet mértük  
(1. ábra). A felvételek 100 mV oszcilloszkóp érzékenységgel (2,82 osztás) és  
2 msec-os időexpánzióval (1 osztás) készültek.

A tölteteket a Dráva barcsi szakaszán a folyómederben helyeztük el, a  
mérőfejtől 50, 100, 180, 320, 540 és 880 m távolságra. A robbantás és a mérés  
helyén a víz mélysége – amint említettük – 6 m körül volt. Az érzékelőfeje-  
ket kb. egy méterrel süllyesztettük a víz felszíne alá. A Tektronix érzékenysé-  
gét úgy állítottuk be, hogy a kisebb energiájú refrakciós első beérkezések az  
oszcilloszkópot ne indíthassák be, csupán a viszonylag nagy energiájú nyomás-  
hullámok.

A robbantáshoz trotilt (trinitrotoluol) használtunk, elektromos indítással.  
A töltetek nagysága 0,2; 0,4; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0 kg volt. Az 50, 100 és 540  
m távolságú észleléseknél igyekeztünk teljes sorozatot lőni. A töltetnagyságot  
a kis távolságokhoz rendelhető nagy nyomás, a távolságot pedig a regisztrálás  
érzékenységének alsó határa szabta meg, illetőleg szorította korlátok közé.

Az oszcilloszkóp képernyőjén regisztrált jeleket lefényképeztük. A hite-  
lesítési érték ismeretében e fényképek segítségével számítottuk ki a nyomásér-  
tékeket. Néhány jellegzetes regisztrátumot a 2. ábrán mutatunk be. A regisz-  
trátumokból látható, hogy a nyomáshullámok nagy frekvenciájúak (5000 –  
10 000 Hz) és lecsengésük gyors (2 msec).

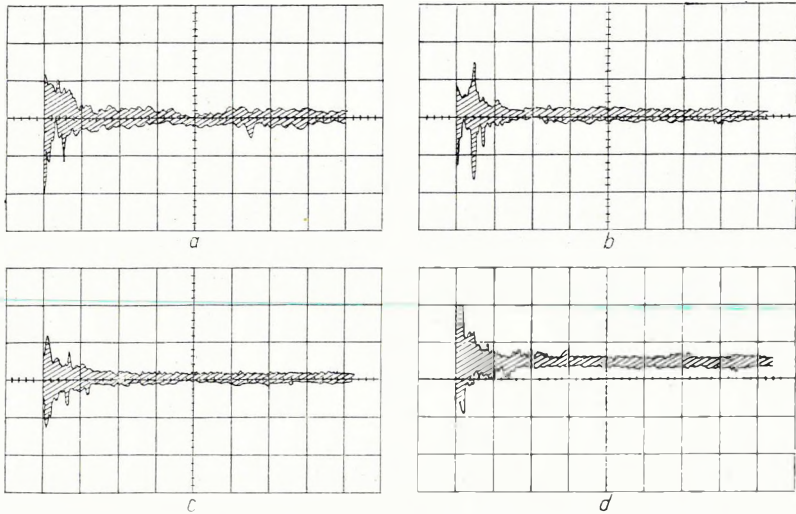
A mért nyomásértékeket a hozzájuk tartozó távolságokkal a 3. ábrán  
tüntettük fel. Amint látható, a különböző töltetek keltette nyomások függvé-  
nye első közelítésben hiperbolának tekinthető, azaz valamely töltetnagyság-  
hoz tartozó nyomásérték

$$P(r) = \frac{A}{r^B} \quad (1)$$

függvénnyel jellemezhető, ahol  $A$  és  $B$  állandók,  $r$  pedig a robbantás távolsága  
az észleléstől.

A 4. ábrán a mért nyomásértékeket a töltetnagyság függvényében ábrá-  
zoltuk. A függvény parabola, azaz

$$P(Q) = C \cdot Q^n \quad (2)$$



2. ábra. Oszcilloszkóp felvételek a Drávában mért nyomáshullámokról

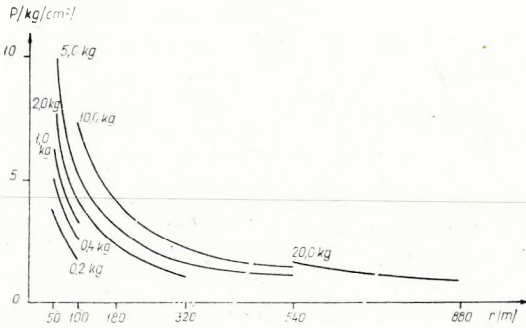
	a	b	c	d
felvétel jele	XI. 22/5	XI. 22/4	XI. 23/2	XI. 23/6
a töltet súlya	0,4 kg	5,0 kg	2,0 kg	2,0 kg
a töltet távolsága	50,0 m	50,0 m	180,0 m	320,0 m
érzékenység	1000 mV	2000 mV	500 mV	200 mV
időszéthúzás	2 ms	2 ms	2 ms	2 ms

Фиг. 2. Осциллокопические записи с ударными волнами при работах в реке Драва

	a	b	c	d
Обозначение записи	XI. 22/5	XI. 22/4	XI. 23/2	XI. 23/6
Величина заряда	0,4 кг	5,0 кг	2,0 кг	2,0 кг
Расстояние заряда	50,0 м	50,0 м	180,0 м	320,0 м
Чувствительность	1000 мВ	2000 мВ	500 мВ	200 мВ
Растяжение времени	2 мс	2 мс	2 мс	2 мс

Fig. 2. Oscilloscope records of the pressure-waves measured in the Drava river

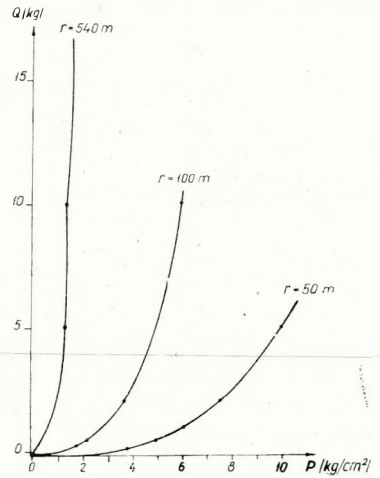
	a	b	c	d
mark of the record	XI. 22/5	XI. 22/4	XI. 23/2	XI. 23/6
weight of the charge	0,4 kg	5,0 kg	2,0 kg	2,0 kg
charge distance	50,0 m	50,0 m	180,0 m	320,0 m
sensitivity	1000 mV	2000 mV	500 mV	200,0 mV
time-extension	2 ms	2 ms	2 ms	2 ms



3. ábra. A nyomás függése a távolságtól különféle töltetnagyságok mellett

Фиг. 3. Зависимость давления от расстояния при различных величинах заряда

Fig. 3. Dependence of the pressure on the distance, at different charge weights



4. ábra. A nyomás és a töltetnagyság összefüggése különböző észlelési távolságokon

Фиг. 4. Зависимость давления от величины заряда при различных расстояниях регистратора

Fig. 4. Relation of pressure and charge weight at different recording distances

A nyomásnak a távolságtól és a töltetnagyságtól való függését tehát a következő függvény írja le:

$$P(r, Q) = A \frac{C \cdot Q^n}{r^B} = D \frac{Q^n}{r^B} \tag{3}$$

A  $B$ ,  $D$  és  $n$  értékét a mérési adatokból (összesen 20 adatból) számítottuk ki a legkisebb hibanégyzetek elvével. A számítások eredményeképpen azt találtuk,

hogy  $D = 272$ ,  $B = 0,9727$  és  $n = 0,3294$ .

Nyomásfüggvényünk ezért

$$P(r, Q) = 272 \frac{Q^{0,3294}}{r^{0,9729}} \tag{4}$$

Jó közelítéssel

$$P(r, Q) = 272 \frac{Q^{\frac{1}{3}}}{r} \tag{5}$$

Ez a képletünk alakilag egyezik az elméletileg levezetett

$$P(r, Q) = K \left( \frac{Q^{\frac{1}{3}}}{r} \right)^n \quad (6)$$

és az irodalomban közölt

$$P(r, Q) = 390 \left( \frac{Q^{\frac{1}{3}}}{r} \right)^{1.13} \quad (7)$$

tapasztalati függvénnyel (Aarons féle képlet).

Az utóbbitől főleg abban különbözik, hogy azonos töltetmennyiségnél és távolságnál kisebb nyomásértéket ad, amint ez – a mérési körülmények következtében – várható is volt.

Eredményeinket összefoglalva megállapíthatjuk, hogy sikerült olyan műszercsoportot összeállítanunk, amely megfelelő pontosságú és hitelesíthető adatok mérését tette lehetővé. Ez a műszercsoport nemcsak vízi (folyami), hanem hasonló jellegű egyéb mérésekhez (pl. légrobbantás) is felhasználható. Emellett általános érvényű összefüggéseket találtunk, amelyek az irodalmi adatokhoz sok hasonlóságot mutatnak, de a folyóvízben terjedő nyomáshullámok megismerésével tapasztalatainkat bővítik.

Köszönetet mondunk mindazoknak a munkatársaknak, akik a mérések előkészítésében és elvégzésében segítséget nyújtottak, elsősorban FELSŐVÁLYI GYÖRGYNEK, a nyomásmérőfej tervezőjének és elkészítőjének.

Külön köszönet illeti CSUNDERLIK JÁNOST, a Hídépítő Vállalat főépítésvezetőjét, aki a méréseket kezdeményezte és hozzájárult az eredmények közzléséhez.

#### IRODALOM

- L. L. BARANEK, 1967: Zajcsökkentés. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- M. BLAIK – A. CHRISTIAN, 1965: Near-Surface Measurements of Deep Explosions. I. Pressure Pulses from Small Charges. Journal of Acoust. Soc. Am.
- R. H. COLE, 1948: Underwater Explosions. Princeton University Press.
- GÁLFI J. – MÁRTON P. – MESKÓ A. – STEGENA L., 1967: Geofizikai kutatási módszerek. I. Szeizmika. Tankönyvkiadó, Budapest.
- W. W. LESTER, 1961: On the Theory of the Propagation of Plane Finite Amplitude Waves in a Dissipative Fluid. Journal of Acoust. Soc. Am.
- H. W. MARSH – R. H. MELLEEN – W. L. KONRAD, 1965: Anomalous Absorption of Pressure Waves from Explosion in Sea-Water. Journal of Acoust. Soc. Am.
- RÁKÓCZY I., 1967: Robbantási nyomáshullám terjedése vízben. Jelentés. ELGI Adattár.

## TÁBLÁZATOK HÁROMDIMENZIÓS TÖMEGHATÁSSZÁMÍTÁSHOZ

SZ. PINTÉR ANNA – KÖRÖS ISTVÁN

А. ПИНТЕР – И. КӨРӨШ

### ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭФФЕКТА ТРЕХМЕРНЫХ ТЕЛ

В работе предлагается метод вычисления эффекта трехмерных масс, подобный способу вычисления картографических поправок. При наличии карты изогипс по некоторой геологической модели, вычисления можно выполнить сравнительно быстро при помощи приведенных таблиц и палетки. Таблицы позволяют вычислить различные поправки, напр. поправки за боковые эффекты.

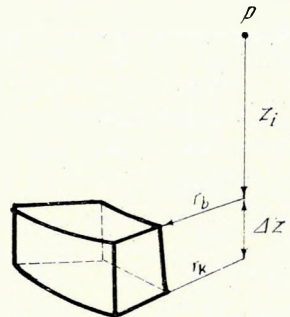
А. ПИНТЕР – И. КӨРӨШ

### TABLES FOR THREE-DIMENSIONAL MASS-EFFECT COMPUTATIONS

The authors introduce a procedure for the three-dimensional mass-effect computation, similar to the calculation of the cartographical correction. The computation can be relatively rapidly made in the knowledge of the contour map of a geological model, with the aid of the tables published and of a template. With the tables, also various corrections, e.g. lateral correction, can be made.

A gravimétermérések földtani értelmezésénél az ún. „két-dimenziós alakzatok” gravitációs hatásának kiszámítására alkalmas Jung-diagramm még minél dig igen hasznos segédeszköz. Nagyteljesítményű elektronikus számítógépeken azonban már a sokkal általánosabb feladatok megoldására alkalmas háromdimenziós tömeghatáásszámítás is elvégezhető. Olyan programok kidolgozása van folyamatban, amelyek tetszésszerinti alakú és sűrűségeloszlású modellek gravitációs hatását számítják a modell elemi négyzetes hasábokra bontásával (ZILAHÍ-SEBESS L. 1968). Ez az eljárás természetesen mindig géphez kötött. A következőkben olyan háromdimenziós tömeghatáásszámítást ismertetünk, amelynél a modellt hengergyűrűszektorra bontjuk. Ez az eljárás az előbbinél pontosabban ugyan, de egy kiolvasó diagramm (raszter) és megfelelő táblázatok segítségével (a kartografikus korrekció számításához hasonlóan) „kézzel” is gyorsan elvégezhető.

A  $z_i$  mélységben levő  $\Delta z$  magasságú  $r_b$  belső és  $r_k$  külső sugarú  $2\pi/n$  nyílásszögű hengergyűrűszektor  $P$  pontra vonatkozó tömeghatása (1. ábra):



1. ábra. Фиг. 1. Fig. 1.

$$\Delta g = -\frac{2\pi f\sigma}{n} [\sqrt{r_k^2 + (z_i + \Delta z)^2} - \sqrt{r_k^2 + z_i^2} - \sqrt{r_b^2 + (z_i + \Delta z)^2} + \sqrt{r_b^2 + z_i^2}]$$

A paramétereket úgy választottuk, hogy a táblázatok az általában szokásos (25 000–50 000) méretarányok mellett +1000 m-től max. 6000 m mélységig használhatók legyenek:

$r_b$	0	250	500	1000	1500	2500	3500	5000	7500	10 000	15 000	20 000	m
$r_k$	250	500	1000	1500	2500	3500	5000	7500	10 000	15 000	20 000	30 000	m
$n$	6	6	6	6	6	8	8	8	12	12	12	12	

$$\Delta z = 50 \text{ m}$$

$$z_i = -i \cdot \Delta z, \text{ ahol } i = 1, 2, \dots, 119, 120 \text{ (} z_{i \text{ max}} = 5950 \text{ m)}$$

Ha a  $\Delta z$ ,  $r_k$  és  $r_b$  értékét m-ben,  $\sigma$  értékét  $\text{g/cm}^3$ -ben adjuk meg, akkor a táblázatba foglalt hatások mgal-t jelentenek (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L táblázatok).

$$A: r_b = 0, \quad r_k = 250, \quad n = 6, \quad \sigma = 1$$

1000	0.179	0.190	0.202	0.215	0.230	0.247	0.266	0.288	0.313	0.342
500	0.376	0.416	0.464	0.523	0.596	0.687	0.803	0.952	1.146	1.395
0	1.710	1.395	1.146	0.952	0.803	0.687	0.596	0.523	0.464	0.416
- 500	0.376	0.342	0.313	0.288	0.266	0.247	0.230	0.215	0.202	0.190
- 1000	0.179	0.169	0.160	0.151	0.144	0.137	0.130	0.124	0.118	0.113
- 1500	0.108	0.104	0.099	0.095	0.091	0.088	0.084	0.081	0.078	0.075
- 2000	0.072	0.070	0.067	0.065	0.063	0.060	0.058	0.056	0.054	0.052
- 2500	0.051	0.049	0.047	0.046	0.044	0.043	0.041	0.040	0.039	0.037
- 3000	0.036	0.035	0.034	0.033	0.032	0.031	0.030	0.029	0.028	0.027
- 3500	0.026	0.025	0.024	0.023	0.023	0.022	0.021	0.020	0.020	0.019
- 4000	0.018	0.017	0.017	0.016	0.016	0.015	0.014	0.014	0.013	0.013
- 4500	0.012	0.012	0.011	0.011	0.010	0.010	0.009	0.009	0.008	0.008
- 5000	0.007	0.007	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004
- 5500	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000

$$B: r_b = 250, \quad r_k = 500, \quad n = 6, \quad \sigma = 1$$

1000	0.501	0.528	0.558	0.591	0.626	0.665	0.708	0.755	0.806	0.863
500	0.925	0.994	1.069	1.150	1.236	1.326	1.416	1.501	1.572	1.620
0	1.637	1.620	1.572	1.501	1.416	1.326	1.236	1.150	1.069	0.994
- 500	0.925	0.863	0.806	0.755	0.708	0.665	0.626	0.591	0.558	0.528
- 1000	0.501	0.475	0.452	0.430	0.410	0.391	0.373	0.357	0.341	0.327
- 1500	0.313	0.301	0.288	0.277	0.266	0.256	0.246	0.237	0.229	0.220
- 2000	0.212	0.205	0.198	0.191	0.184	0.178	0.172	0.166	0.160	0.155
- 2500	0.150	0.145	0.140	0.135	0.131	0.127	0.123	0.119	0.115	0.111
- 3000	0.107	0.104	0.101	0.097	0.094	0.091	0.088	0.085	0.082	0.080
- 3500	0.077	0.074	0.072	0.069	0.067	0.065	0.062	0.060	0.058	0.056
- 4000	0.054	0.052	0.050	0.048	0.046	0.045	0.043	0.041	0.039	0.038
- 4500	0.036	0.034	0.033	0.031	0.030	0.028	0.027	0.026	0.024	0.023
- 5000	0.022	0.020	0.019	0.018	0.017	0.015	0.014	0.013	0.012	0.011
- 5500	0.010	0.009	0.008	0.007	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001



C:  $r_b=500$ ,  $r_k=1000$ ,  $n=6$ ,  $\sigma=1$

1000	1.636	1.703	1.773	1.846	1.923	2.002	2.085	2.170	2.257	2.347
500	2.437	2.528	2.617	2.704	2.787	2.862	2.929	2.984	3.025	3.051
0	3.059	3.051	3.025	2.984	2.929	2.862	2.787	2.704	2.617	2.528
- 500	2.437	2.347	2.257	2.170	2.085	2.002	1.923	1.846	1.773	1.703
- 1000	1.636	1.572	1.511	1.453	1.397	1.345	1.294	1.246	1.201	1.157
- 1500	1.115	1.075	1.037	1.001	0.966	0.933	0.901	0.870	0.841	0.813
- 2000	0.786	0.760	0.735	0.711	0.688	0.666	0.645	0.624	0.604	0.585
- 2500	0.566	0.549	0.531	0.515	0.498	0.483	0.468	0.453	0.439	0.425
- 3000	0.412	0.399	0.386	0.374	0.362	0.350	0.339	0.328	0.318	0.307
- 3500	0.297	0.287	0.278	0.269	0.260	0.251	0.242	0.234	0.225	0.217
- 4000	0.210	0.202	0.195	0.187	0.180	0.173	0.166	0.160	0.153	0.147
- 4500	0.140	0.134	0.128	0.123	0.117	0.111	0.106	0.100	0.095	0.090
- 5000	0.085	0.080	0.075	0.070	0.065	0.061	0.056	0.052	0.047	0.043
- 5500	0.039	0.034	0.030	0.026	0.022	0.018	0.015	0.011	0.007	0.004

D:  $r_b=1000$ ,  $r_k=1500$ ,  $n=6$ ,  $\sigma=1$

1000	2.002	2.056	2.110	2.164	2.217	2.271	2.324	2.376	2.427	2.476
500	2.523	2.567	2.609	2.647	2.681	2.710	2.735	2.755	2.769	2.778
0	2.781	2.778	2.769	2.755	2.735	2.710	2.681	2.647	2.609	2.567
- 500	2.523	2.476	2.427	2.376	2.324	2.271	2.217	2.164	2.110	2.056
- 1000	2.002	1.949	1.897	1.846	1.795	1.745	1.697	1.649	1.603	1.557
- 1500	1.513	1.470	1.428	1.387	1.348	1.309	1.272	1.235	1.200	1.165
- 2000	1.132	1.099	1.068	1.037	1.007	0.978	0.950	0.923	0.896	0.870
- 2500	0.845	0.821	0.797	0.774	0.751	0.729	0.708	0.687	0.667	0.647
- 3000	0.628	0.609	0.591	0.573	0.556	0.539	0.523	0.507	0.491	0.476
- 3500	0.461	0.446	0.432	0.418	0.404	0.391	0.378	0.365	0.352	0.340
- 4000	0.328	0.317	0.305	0.294	0.283	0.272	0.262	0.251	0.241	0.231
- 4500	0.222	0.212	0.203	0.194	0.185	0.176	0.167	0.159	0.151	0.142
- 5000	0.134	0.126	0.119	0.111	0.104	0.096	0.089	0.082	0.075	0.068
- 5500	0.062	0.055	0.048	0.042	0.036	0.030	0.023	0.017	0.012	0.006

E:  $r_b=1500$ ,  $r_k=2500$ ,  $n=6$ ,  $\sigma=1$

1000	4.012	4.076	4.138	4.198	4.257	4.314	4.369	4.421	4.471	4.518
500	4.561	4.601	4.638	4.671	4.700	4.725	4.745	4.761	4.773	4.780
0	4.782	4.780	4.773	4.761	4.745	4.725	4.700	4.671	4.638	4.601
- 500	4.561	4.518	4.471	4.421	4.369	4.314	4.257	4.199	4.138	4.076
- 1000	4.012	3.948	3.882	3.816	3.749	3.682	3.615	3.547	3.479	3.412
- 1500	3.344	3.277	3.210	3.144	3.078	3.013	2.949	2.885	2.822	2.759
- 2000	2.698	2.637	2.577	2.518	2.459	2.402	2.345	2.290	2.235	2.181
- 2500	2.128	2.076	2.025	1.975	1.925	1.877	1.829	1.782	1.736	1.691
- 3000	1.646	1.602	1.560	1.517	1.476	1.435	1.395	1.356	1.318	1.280
- 3500	1.243	1.206	1.170	1.135	1.101	1.067	1.033	1.001	0.968	0.937
- 4000	0.906	0.875	0.845	0.815	0.786	0.758	0.730	0.702	0.675	0.648
- 4500	0.622	0.596	0.571	0.546	0.521	0.497	0.473	0.450	0.427	0.404
- 5000	0.382	0.360	0.338	0.317	0.296	0.275	0.255	0.235	0.215	0.196
- 5500	0.177	0.158	0.139	0.121	0.103	0.085	0.068	0.050	0.033	0.017

F:  $r_b = 2500$ ,  $r_k = 3500$ ,  $n = 8$ ,  $\sigma = 1$

1000	2.626	2.651	2.675	2.698	2.720	2.741	2.760	2.779	2.796	2.813
500	2.828	2.841	2.854	2.865	2.874	2.882	2.889	2.894	2.898	2.900
0	2.901	2.900	2.898	2.894	2.889	2.882	2.874	2.865	2.854	2.841
- 500	2.828	2.813	2.796	2.779	2.760	2.741	2.720	2.698	2.675	2.651
- 1000	2.626	2.600	2.573	2.546	2.518	2.489	2.460	2.430	2.400	2.369
- 1500	2.337	2.306	2.273	2.241	2.208	2.175	2.142	2.109	2.075	2.042
- 2000	2.008	1.974	1.941	1.907	1.873	1.840	1.806	1.773	1.739	1.706
- 2500	1.673	1.640	1.608	1.575	1.543	1.511	1.479	1.447	1.416	1.385
- 3000	1.354	1.323	1.293	1.263	1.233	1.203	1.174	1.145	1.116	1.088
- 3500	1.060	1.032	1.005	0.978	0.951	0.924	0.898	0.872	0.846	0.821
- 4000	0.796	0.771	0.746	0.722	0.698	0.674	0.651	0.628	0.605	0.582
- 4500	0.560	0.538	0.516	0.494	0.473	0.452	0.431	0.411	0.390	0.370
- 5000	0.350	0.331	0.311	0.292	0.273	0.255	0.236	0.218	0.200	0.182
- 5500	0.165	0.147	0.130	0.113	0.097	0.080	0.064	0.047	0.031	0.016

G:  $r_b = 3500$ ,  $r_k = 5000$ ,  $n = 8$ ,  $\sigma = 1$

1000	3.117	3.137	3.156	3.174	3.192	3.208	3.224	3.238	3.252	3.264
500	3.276	3.286	3.296	3.304	3.311	3.317	3.323	3.326	3.329	3.331
0	3.331	3.331	3.329	3.326	3.323	3.317	3.311	3.304	3.296	3.286
- 500	3.276	3.264	3.252	3.238	3.224	3.208	3.192	3.174	3.156	3.137
- 1000	3.117	3.096	3.074	3.051	3.028	3.003	2.978	2.953	2.926	2.900
- 1500	2.872	2.844	2.815	2.786	2.756	2.725	2.694	2.663	2.631	2.599
- 2000	2.567	2.534	2.501	2.467	2.434	2.400	2.365	2.331	2.296	2.261
- 2500	2.226	2.191	2.156	2.120	2.085	2.049	2.014	1.978	1.942	1.907
- 3000	1.871	1.835	1.800	1.764	1.728	1.693	1.657	1.622	1.587	1.552
- 3500	1.517	1.482	1.447	1.412	1.378	1.343	1.309	1.275	1.241	1.207
- 4000	1.174	1.140	1.107	1.074	1.041	1.008	0.976	0.944	0.912	0.880
- 4500	0.848	0.817	0.785	0.754	0.724	0.693	0.663	0.633	0.603	0.573
- 5000	0.544	0.514	0.485	0.456	0.428	0.399	0.371	0.343	0.316	0.288
- 5500	0.261	0.234	0.207	0.180	0.154	0.128	0.102	0.076	0.050	0.025

H:  $r_b = 5000$ ,  $r_k = 7500$ ,  $n = 8$ ,  $\sigma = 1$

1000	3.525	3.541	3.557	3.572	3.586	3.599	3.611	3.623	3.634	3.644
500	3.653	3.661	3.668	3.675	3.680	3.685	3.689	3.692	3.694	3.696
0	3.696	3.696	3.694	3.692	3.689	3.685	3.680	3.675	3.668	3.661
- 500	3.653	3.644	3.634	3.623	3.611	3.599	3.586	3.572	3.557	3.541
- 1000	3.525	3.508	3.490	3.471	3.452	3.432	3.411	3.390	3.367	3.344
- 1500	3.321	3.297	3.272	3.246	3.220	3.193	3.166	3.138	3.110	3.081
- 2000	3.051	3.021	2.991	2.960	2.928	2.896	2.864	2.831	2.797	2.764
- 2500	2.730	2.695	2.660	2.625	2.590	2.554	2.517	2.481	2.444	2.407
- 3000	2.370	2.332	2.294	2.256	2.218	2.179	2.141	2.102	2.063	2.023
- 3500	1.984	1.945	1.905	1.865	1.825	1.785	1.745	1.705	1.665	1.625
- 4000	1.584	1.544	1.503	1.463	1.423	1.382	1.342	1.301	1.261	1.220
- 4500	1.180	1.139	1.099	1.058	1.018	0.978	0.938	0.897	0.857	0.817
- 5000	0.777	0.737	0.698	0.658	0.618	0.579	0.539	0.500	0.461	0.422
- 5500	0.383	0.344	0.305	0.267	0.228	0.190	0.152	0.113	0.075	0.038

I:  $r_b = 7500$ ,  $r_k = 10\ 000$ ,  $n = 12$ ,  $\sigma = 1$

1000	1.489	1.494	1.500	1.505	1.509	1.514	1.518	1.522	1.525	1.529
500	1.532	1.535	1.537	1.539	1.541	1.543	1.544	1.545	1.546	1.546
0	1.546	1.546	1.546	1.545	1.544	1.543	1.541	1.539	1.537	1.535
- 500	1.532	1.529	1.525	1.522	1.518	1.514	1.509	1.505	1.500	1.494
- 1000	1.489	1.483	1.477	1.470	1.464	1.457	1.450	1.442	1.434	1.427
- 1500	1.418	1.410	1.401	1.392	1.383	1.373	1.364	1.354	1.344	1.333
- 2000	1.323	1.312	1.301	1.289	1.278	1.266	1.254	1.242	1.230	1.217
- 2500	1.204	1.191	1.178	1.165	1.151	1.138	1.124	1.110	1.095	1.081
- 3000	1.066	1.052	1.037	1.022	1.006	0.991	0.975	0.960	0.944	0.928
- 3500	0.912	0.896	0.879	0.863	0.846	0.830	0.813	0.796	0.779	0.762
- 4000	0.744	0.727	0.709	0.692	0.674	0.656	0.639	0.621	0.603	0.585
- 4500	0.566	0.548	0.530	0.512	0.493	0.475	0.456	0.438	0.419	0.400
- 5000	0.382	0.363	0.344	0.325	0.306	0.287	0.268	0.249	0.230	0.211
- 5500	0.192	0.173	0.154	0.134	0.115	0.096	0.077	0.058	0.038	0.019

J:  $r_b = 10000$ ,  $r_k = 15000$ ,  $n = 12$ ,  $\sigma = 1$

1000	1.711	1.716	1.722	1.727	1.731	1.736	1.740	1.744	1.748	1.751
500	1.754	1.757	1.759	1.761	1.763	1.765	1.766	1.767	1.768	1.768
0	1.769	1.768	1.768	1.767	1.766	1.765	1.763	1.761	1.759	1.757
- 500	1.754	1.751	1.748	1.744	1.740	1.736	1.731	1.727	1.722	1.716
- 1000	1.711	1.705	1.699	1.692	1.685	1.678	1.671	1.663	1.656	1.647
- 1500	1.639	1.630	1.621	1.612	1.603	1.593	1.583	1.573	1.562	1.552
- 2000	1.540	1.529	1.518	1.506	1.494	1.481	1.469	1.456	1.443	1.430
- 2500	1.416	1.403	1.389	1.374	1.360	1.345	1.330	1.315	1.300	1.284
- 3000	1.268	1.252	1.236	1.219	1.203	1.186	1.169	1.152	1.134	1.116
- 3500	1.098	1.080	1.062	1.043	1.025	1.006	0.987	0.968	0.948	0.929
- 4000	0.909	0.889	0.869	0.849	0.828	0.807	0.787	0.766	0.745	0.723
- 4500	0.702	0.680	0.659	0.637	0.615	0.593	0.570	0.548	0.526	0.503
- 5000	0.480	0.457	0.434	0.411	0.388	0.364	0.341	0.317	0.293	0.269
- 5500	0.245	0.221	0.197	0.173	0.148	0.124	0.099	0.075	0.050	0.025

K:  $r_b = 15000$ ,  $r_k = 20000$ ,  $n = 12$ ,  $\sigma = 1$

1000	0.931	0.934	0.936	0.939	0.941	0.944	0.946	0.948	0.949	0.951
500	0.953	0.954	0.955	0.956	0.957	0.958	0.959	0.959	0.960	0.960
0	0.960	0.960	0.960	0.959	0.959	0.958	0.957	0.956	0.955	0.954
- 500	0.953	0.951	0.949	0.948	0.946	0.944	0.941	0.939	0.936	0.934
- 1000	0.931	0.928	0.925	0.922	0.918	0.915	0.911	0.907	0.903	0.899
- 1500	0.895	0.890	0.886	0.881	0.876	0.872	0.866	0.861	0.856	0.850
- 2000	0.845	0.839	0.833	0.827	0.821	0.815	0.808	0.801	0.795	0.788
- 2500	0.781	0.774	0.767	0.759	0.752	0.744	0.736	0.728	0.720	0.712
- 3000	0.704	0.696	0.687	0.678	0.670	0.661	0.652	0.642	0.633	0.624
- 3500	0.614	0.605	0.595	0.585	0.575	0.565	0.555	0.544	0.534	0.523
- 4000	0.513	0.502	0.491	0.480	0.469	0.457	0.446	0.435	0.423	0.411
- 4500	0.400	0.388	0.376	0.364	0.351	0.339	0.327	0.314	0.301	0.289
- 5000	0.276	0.263	0.250	0.237	0.224	0.210	0.197	0.184	0.170	0.156
- 5500	0.142	0.129	0.115	0.101	0.087	0.072	0.058	0.044	0.029	0.015

$L: r_b = 20\,000, r_k = 30\,000, n = 12, \sigma = 1$

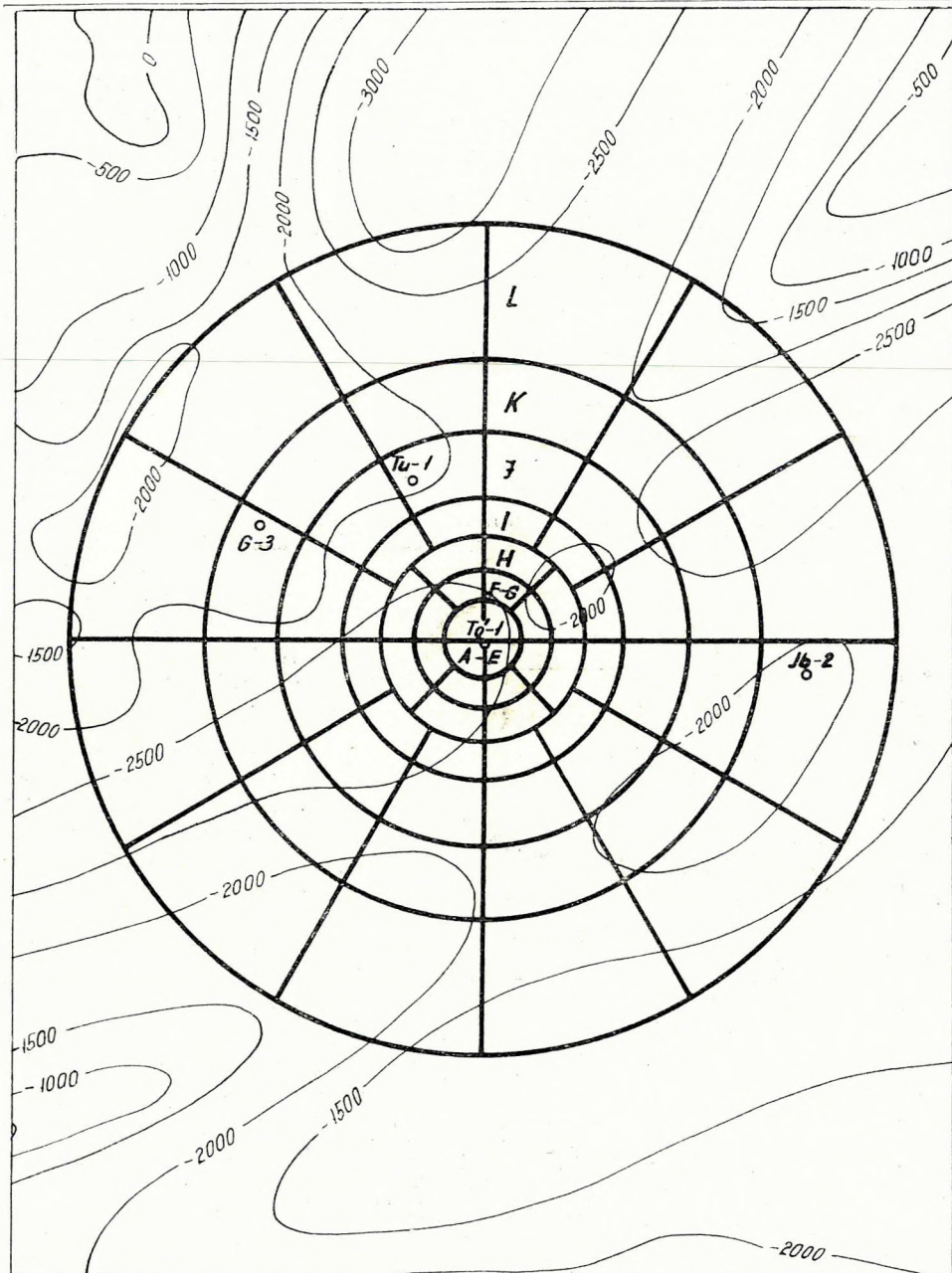
1000	0.971	0.974	0.977	0.979	0.982	0.984	0.986	0.988	0.990	0.992
500	0.993	0.995	0.996	0.997	0.998	0.999	0.999	1.000	1.000	1.000
0	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995
- 500	0.993	0.992	0.990	0.988	0.986	0.984	0.982	0.979	0.977	0.974
- 1000	0.971	0.968	0.965	0.962	0.959	0.955	0.951	0.948	0.944	0.939
- 1500	0.935	0.931	0.926	0.922	0.917	0.912	0.907	0.901	0.896	0.890
- 2000	0.885	0.879	0.873	0.867	0.861	0.854	0.848	0.841	0.834	0.827
- 2500	0.820	0.813	0.806	0.798	0.790	0.783	0.775	0.767	0.758	0.750
- 3000	0.742	0.733	0.724	0.715	0.706	0.697	0.688	0.679	0.669	0.659
- 3500	0.650	0.640	0.630	0.619	0.609	0.599	0.588	0.577	0.567	0.556
- 4000	0.544	0.533	0.522	0.510	0.499	0.487	0.475	0.463	0.451	0.439
- 4500	0.426	0.414	0.401	0.389	0.376	0.363	0.350	0.336	0.323	0.310
- 5000	0.296	0.282	0.269	0.255	0.241	0.226	0.212	0.198	0.183	0.169
- 5500	0.154	0.139	0.124	0.109	0.094	0.078	0.063	0.047	0.032	0.016

A közölt táblázatok  $\sigma = 1 \text{ g/cm}^3$  sűrűségre vonatkoznak, hogy a hatásokat bármely reális sűrűségértékre könnyen átszámíthassuk. A számítást MINSzK – 2 számítógépen végeztük.

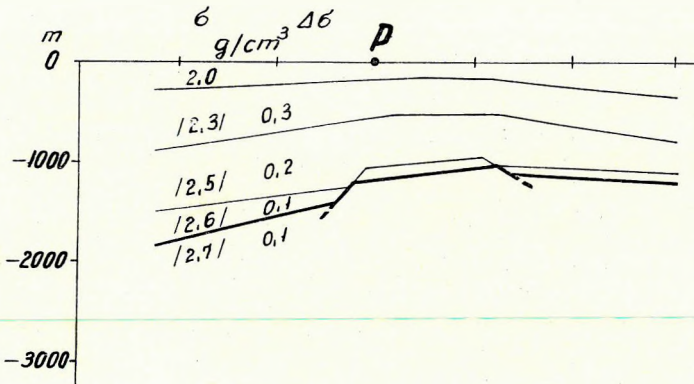
A tömeghatákszámításnál úgy járunk el, hogy megrajzoljuk a földtani modell szintvonalas térképét, majd ráhelyezzük a kiolvasó diagrammot (2. ábra), s minden szektorban leolvassuk az átlagmélységet (természetesen ez a lépés is gépre vihető). A kiolvasó diagramm orientációját minden gyűrűnél a modell domborzatának megfelelően úgy változtatjuk, hogy a szektoronkénti átlagmélység kiolvasása a legegyszerűbb legyen. Az átlagmélységekhez a táblázatokból kikeressük a megfelelő hatásértékeket, ezeket összegezzük, majd a reális  $\Delta\sigma$  értékkel megszorozzuk. Kisméretarányú (pl. 500 000-es) térképeknél a belső (A, B, C, D, E) gyűrűk összevonandók (2. ábra), nagy méretarányú (pl. 25 000-es) a külső gyűrűk elhagyhatók.

Ha a földtani modell többféle sűrűséggel jellemezhető, akkor valamennyi sűrűség szintvonalas térképét elkészítjük és az ezekből kiolvasott átlagmélységértékeknek megfelelő hatásokat összegezzük. Itt ügyelni kell arra, hogy a  $\sigma = 1,00$  sűrűségértékről értelem szerűen térjünk át a megfelelő  $\Delta\sigma$  értékre (3. ábra).

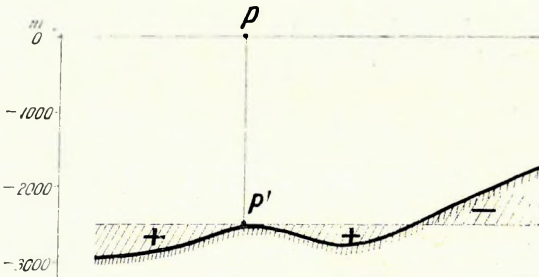
A táblázat segítségével – megfelelő kivonásokkal – viszonylag bonyolultabb feladatokat is elvégezhetők, pl. az ún. „oldalhatás” korrekció meghatározása. Nyilvánvaló ui., hogy a graviméter integrált hatást mér, vagyis a Bouguer anomália nem csak a mérési pont alatti hatómélységtől függ, hanem a oldalirányban levő tömegek (ill. tömeghiányok) hatásától is. Ezért a Bouguer anomáliákból közvetlenül számított mélységértékek mindig bizonytalanok. Ha azonban egy előzetes mélységterkép már elkészült, akkor az említett kiolvasó diagramm és a táblázatok segítségével meghatározhatjuk az oldalkorrekciókat s ezzel javítjuk a Bouguer anomáliaértékeket, majd elkészítjük a végleges mélységterképet.



2. ábra. Háromdimenziós tömeghatáásszámításra alkalmas kiolvasó diagram a földtani modell szintvonalalaival  
 Фиг. 2. Палетка для вычисления эффекта трехмерных масс с изогипсами геологической модели  
 Fig. 2. Template suitable for three-dimensional mass-effect computations, with the contours of the geological model



3. ábra. Összetett modell tömeghatásának számítása  
 Фиг. 3. Вычисление эффекта массы сложной модели  
 Fig. 3. The calculation of the mass-effect of a composite model



4. ábra. Oldalkorrekciónak számítása

Фиг. 4. Вычисление поправки за боковые эффекты

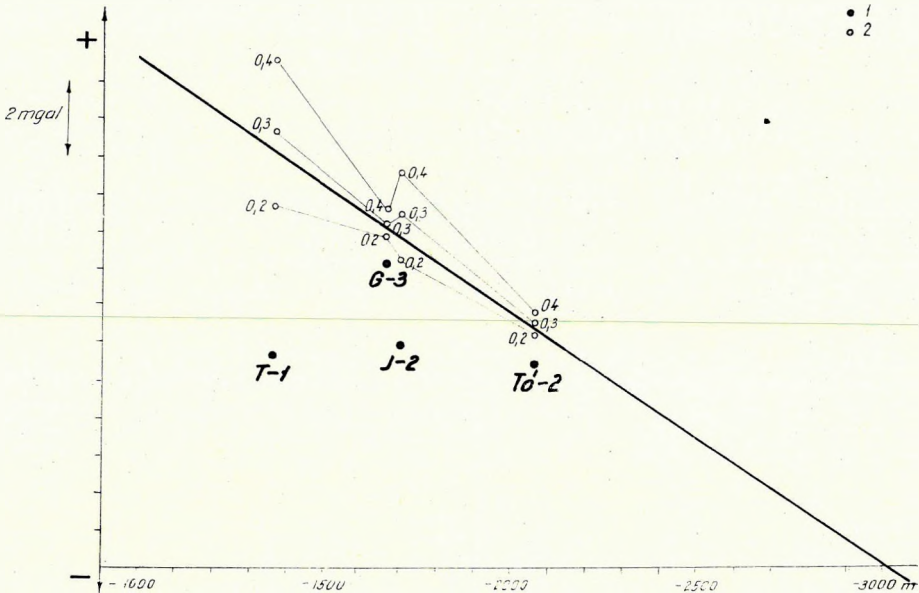
Fig. 4. Calculation of the lateral correction

A 4. ábrán látható előzetesen számított, vagy fúrásból ismert mélységadat a  $P$  pontban pl. 2500 m. Az itt mért Bouguer anomáliát azonban csökkenti az, hogy a környezetben a medencealjzat mélysége nagyobb. Ha a raszterrel kiolvasott mélységeknek megfelelő  $\Delta g$  hatást kivonjuk a  $P'$  pont mélységében levő henger hatásából, akkor az oldalkorrekciónak, azaz a felszín alatti aljzat-

domborzat „kartografikus korrekcióját” előjelhelyesen kapjuk meg.

Elképzelésünk szerint, a fúrásokból ismert mélységek és a Bouguer anomáliák közötti rossz vagy negatív korreláció (egyik) oka számos esetben az oldalhatás. Az oldalhatás a Bouguer anomáliatérképekből számított regionális anomáliáknak is valószínűleg egyik, talán domináló komponense.

Az 5. ábrán látható 4 mélyfúrás (T-1, G-3, Tó-2 és J-2) Bouguer anomáliái és a medencealjzat mélysége között nincs korreláció. A fúrások környezetében tehát a medencealjzat mélységére a Bouguer anomáliákból közvetlenül nem lehet következtetni. Előzetes mélységadatként a MÁFI 500 000-es medencealjzattérképét felhasználva meghatároztuk az oldalkorrekciónak. Ha a területen az aljzat és a felette levő fiatal üledékes összlet közötti sűrűségkontrasztot kb.  $0,25 \text{ g/cm}^3$ -nek tételezzük fel, az anomáliák és az aljzattérség közötti kapcsolat az ábráról egyértelműen leolvasható. Ez a



5. ábra. Az oldalkorrekción alkalmazása a T-1, G-3, J-2 és Tó-2 mélyfúrásokra

1. Korrigálatlan Bouguer anomáliaérték a medencealjzat mélységének függvényében;
2.  $\Delta\sigma = 0,2, 0,3$  és  $0,4 \text{ g/cm}^3$ -rel számított oldalkorrekciónal javított anomáliaértékek.  
(T-1: -1350 m tsza. triász mészkő  
G-3: -2060 m tsza. triász mészkő  
Tó-2: -2060 m tsza. kréta bázisos szubvulkánit  
J-2: -1700 m tsza. mezozoós v. paleozoós mészkő.)

Фиг. 5. Примененне поправок за боковые эффекты в скважинах T-1, G-3, J-2 и Тó-2

1. Величины аномалий Буге без поправок в зависимости от глубины залегания основания бассейна
2. аномальные величины после введения в них поправок, подсчитанных с плотностью  $\Delta\sigma = 0,2, 0,3$  и  $0,4 \text{ г/см}^3$ .  
(T-1: триасовые известняки на -1350 м п.у.м.  
G-3: триасовые известняки на -2060 м п.у.м.  
Тó-2: меловые базальные субвулканыты на -2060 м п.у.м.  
J-2: мезозойские или палеозойские известняки на -1700 м п.у.м.)

Fig. 5. Application of the lateral correction for the boreholes T-1, G-3, J-2, and Tó-2

1. Uncorrected Bouguer-anomaly value in the function of the depth of the basin floor;
2. anomaly values corrected with a lateral correction calculated with  $\Delta\sigma = 0,2, 0,3$  and  $0,4 \text{ g/cm}^3$ .  
(T-1: -1350 m a.s.l., Triassic limestone  
G-3: -2060 m a.s.l., Triassic limestone  
Tó-2: -2060 m a.s.l., Cretaceous basic subvolcanite  
J-2: -1700 m a.s.l., Mesozoic or Paleozoic limestone.)

kapcsolat természetesen csak a fúrások környezetének oldalkorrekciónal javított Bouguer anomáliatérképére érvényes! Az oldalkorrekción tehát nemcsak a fúrásokra kell kiszámítani, hanem arra a területre is, amelyre a fenti kapcsolatot, ill. a mélységszámítást kiterjeszteni akarjuk.

Hasonló számítást az egész ország területére tervezünk. Elkészítjük az ország 500 000-es oldalkorrekción térképét, a korrigált Bouguer anomáliatérképét, valamint az ebből számított mélységtérképét.

## IRODALOM

- HAÁZ I., 1947: Egyszerű mérőeszközök a térképi hatás meghatározására II. rész. Geodéziai Közöny XXIII. 9 – 12.
- OSZLACZKY Sz., 1956: Gravimetrikus tömeghatási és térképhatási táblázatok. Geofizikai Közlemények V. 1.
- ZILÁHI-SEBESS L., 1966: Háromdimenziós tömeg gravitációs hatásának kiszámítása az UMC – 1 elektronikus számítógéppel. Geofizikai Közlemények XV. 1 – 4.
- ZILÁHI-SEBESS L.: Program a MINSzK – 2-es számítógépre tetszőleges sűrűségeloszlású modellek  $\Delta g$  hatásának kiszámítására elemi négyzetes hasábkra bontással. Szóbeli közlés.
- Magyarország paleozóos és mezozóos képződményeinek fedetlen földtani térképe. Készült az Országos Kőolaj és Gázipari Tröszt, a Mecseki Érebányászati Vállalat és a Magyar Állami Földtani Intézet adatai alapján dr. Dank Viktor és dr. Fülöp József irányításával.
- Szerkesztették: Dr. Csalagovits Imre, Juhász Árpád, és dr. Szepesházi Kálmán – Császár Géza és dr. Radócz Gyula közreműködésével.
- Magyar Állami Földtani Intézet 1967.