

Prac. geol. Jaroslav Uhlík, VÚHU :

URČOVÁNÍ STŘEDNÍ HUSTOTY NADLOŽNÍCH VRSTEV Z GRAVIMETRICKÉHO MĚŘENÍ NA DOLECH SHR

Úvod:

Hustota hornin [6] je nezbytný faktor pro vyhodnocovací práce v gravimetrii, pro další různé interpretační postupy při vyhodnocování seismického a vyjimečně i geoelektrického měření.

Měření střední hustoty, kromě geofyzikálního cíle by mohlo být důležité i při stanovení celkové váhy nadloží v případě, kdy není známá objemová hmota nadloží, neb není-li dostatečně přesně stanovena. V jiném případě by tento způsob určování byl výhodný při zkoumání změn váhy nadloží na příklad v terénech s výsypkou neb v terénech s nekontrolovanou dobývkou, a při studiu horských tlaků.

Obvyklý postup, tj. měření vzorků vzatých z různých míst zájmové oblasti není příliš spolehlivý. Jednak je tento postup pracný, jednak nevystihuje správně objemovou hmotu in situ, zvláště při větší mocnosti vrstev zejména vyskytující se různě střídané formace hornin.

Jiný, rychlejší a zároveň prakticky nejstarší způsob určování střední hustoty je metoda tzv. krátkých profilů neb užívaná ve velmi ostře členitém terénu - metoda dvou bodů. Z těchto metod je vlastně odvozen popisovaný postup určení vertikálního gradientu tíže v jámě neb vrtu, který popíšeme dále. Tento postup který dále uvádíme je nový jen v jiném postupu odvození základních vztahů a ve větším zmechanizování interpretačního postupu. Jinak určování hustoty hornin v dolech bylo prováděno již v roce 1830 (R. Sternek) a pak v r. 1946 R. Běhounek).

V novější době již i v uhelných dolech Ostravsko-karvinského revíru (r. 1956 - M. Dobeš, K. Müller atd.). Další práce cituji v závěru článku v literatuře.

Tento článek řeší možnost určení váhy nadloží jednak rychlým způsobem orientačním, při požadavku větší přesnosti důkladnějším popř. postupem zavedením korekcí.

Pouze stručně se zde popíše teoretické odvození základních vzorců, použití korekcí. To vše patří do vlastní gravimetrické interpretace a pro dané téma není důležité. (Viz: Literatura).

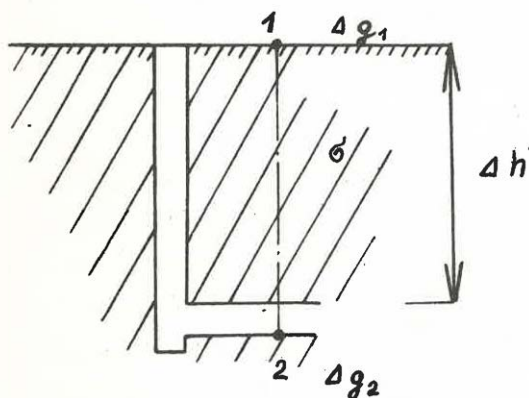
Popis aparatury a metodiky měření

Pro vlastní zjištění rozdílů tíhového zrychlení je nejvhodnější gravimetr, protože korekce na volný prostor důlních děl a rovněž topografická korekce není tak složitá jako u přístrojů pro měření vyšších derivací tíhového pole. Popis gravimetru je v literatuře (č. 3). Gravimetr ČAK - 3M je gravimetr astazovaného typu křemenného systému s přesností $\pm 0,30$ mgl jednoho čtení. Přístroj je bez termostatu. Měří se první derivace tíže - tíhové zrychlení - relativním způsobem, tj. stanovuje se relativní rozdíl tíhového zrychlení - v našem případě rozdíl v miligalech (mgl) ($1,10^3$ CGS) mezi nejnižším místem v dole a místem v dole a místem ležícím kolmo nad ním na povrchu. Viz obr.:

Teoretické předpoklady:

Vycházíme z výpočtu Fay-Bougerovy anomálie (list č. 1)

$$\Delta g = \underbrace{2g_0 \frac{1}{R} \Delta h}_a - \underbrace{4\pi k \rho \Delta h}_b \dots (1)$$

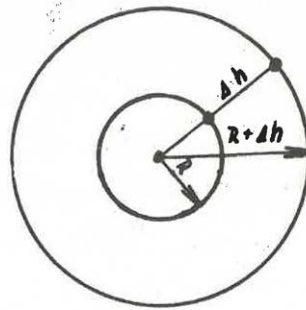


kde: g_0 střední tíhové zrychlení
 R poloměr Země
 Δh rozdíl hladin měření
diference tíhového zrychlení
 k gravitační konstanta =
 $= 66,7 \cdot 10^{-9}$ CGS -
 ρ hustota Země
 M hmota Země

$$R \gg \Delta h$$

Poznámka: místo Δh bychom měli správně psát hodnotu H obecně uvažujeme-li teoretické vyhodnocování

Z :



$$g_0 = \frac{KM}{R^2}$$

$$g(\Delta h) = \frac{KM}{(R + \Delta h)^2}$$

$$\Delta g(\Delta h) = g_0 - g(\Delta h) =$$

$$= KM \left[\frac{1}{R^2} - \frac{1}{(R + \Delta h)^2} \right] = \frac{KM}{R^2} \left[1 - \left(\frac{R}{R + \Delta h} \right)^2 \right]$$

$$\frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta h}{R} \right)^2} \rightarrow \text{rozvedeme podle řady } 1 + \frac{1}{2n} + \frac{1}{3n^2} + \dots =$$

$$= \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{n} \right)^2}$$

nebo podle Newtonova binomu

$$\frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta h}{R} \right)^2} = -1 + \frac{2\Delta h}{R} + \left(\frac{\Delta h}{R} \right)^2 = \dots \text{ Vzhledem k velké hodnotě } R \text{ stačí uvažovat pouze první dva členy.}$$

$$\text{Pak: } \Delta g(\Delta h) = g_0 \cdot \frac{2\Delta h}{R} = \frac{2g_0\Delta h}{R} \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{2g_0}{R} = 0,3086$$

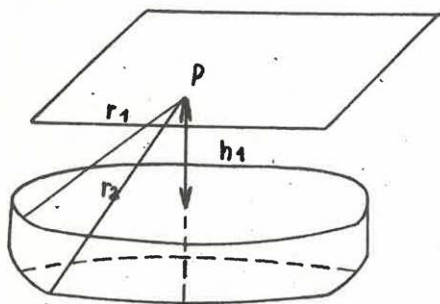
$$g_0 \dots \dots 9,81 \cdot 10^5 \text{ mgl}$$

$$R \dots \dots 6,37 \cdot 10^6 \text{ mgl}$$

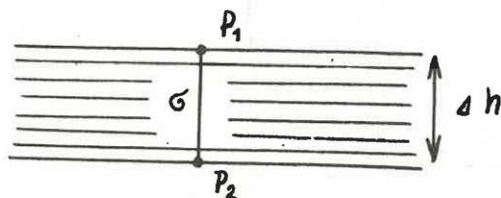
$$\Delta g(\Delta h) = 0,3086 \Delta h \dots \dots \dots (3)$$

Posunutí měření z bodu 1 do bodu 2 viz. obr. 1. Ve volném prostoru (tj. $\sigma = 0$) vytvoří tíhový rozdíl podle vzorce (2). Dále již uvažujeme hustotní rozdíl. Proto určíme druhý člen rovnice (1) tzv. redukce o Bougerovu desku, kde je respektován vliv horninové „desky“ mezi bodem 1 a 2, kdy mezi-
lehlá hmota na bodu 2 skutečnou hodnotu tíže zvyšuje a na bodu 1 snižuje - od tíhového účinku se vzdaluje. Tento rozdíl slouží pro výpočet hustotního rozdílu.

Vychází se ze vzorce pro ležatý válecek $r_2 = \infty$



Obr. 2



Obr. 3

Poznámka: Pro bod 2 uvažujeme celý prostor $h \ll R$ a $M \rightarrow 4 \pi k \sigma \Delta h$

položíme $h_1 = 0$ (bod P leží přímo na horní hraně desky) $r_1 = 0$; $r_2 =$

$$\Delta g_{B_1} = 4 \pi k \sigma \left(\sqrt{\Delta h^2 + r_1^2} - \sqrt{h_1^2 + r_1^2} - \sqrt{\Delta h^2 + r_2^2} + \sqrt{h_1^2 + r_2^2} \right)$$

$$\Delta g_{B_1} = 4 \pi k \sigma \left(\sqrt{h^2 + r_2^2} + r_2 + \Delta h \right) = - \left(\frac{\sqrt{\Delta h^2 + r_2^2}}{\Delta h} + \frac{r_2}{\Delta h} + 1 \right) \Delta h =$$

$$\Delta g_{B_1} = 4 \pi k \sigma \Delta h \dots \dots \dots (4a)$$

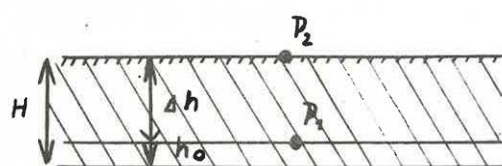
$$\Delta g_{B_1} = 0,0836 \sigma \Delta h \dots \dots \dots (4b)$$

$$\Delta g = \Delta g(\Delta h) + \Delta g_B = 0,3086 \Delta h - 0,0836 \sigma \Delta h$$

$$\sigma \Delta h = \frac{0,3086}{0,0836} - \frac{\Delta g}{0,0836 \Delta h} = 3,69 - 11,96 \frac{\Delta g}{\Delta h}$$

$$\delta \Delta h = -11,96 \frac{\Delta \rho}{\Delta h} + 3,69 \dots \dots \dots (5)$$

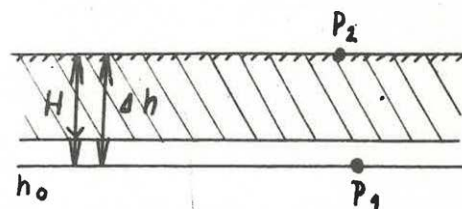
Rovnice (6) odvozuje závislost hustoty na tíhovém rozdílu a nepřímě úměrně na rozdílu výšek. Tento tvar vzorce má obecnou platnost. Uvažujeme-li konvenční hloubku tj. hladinu nadmořské výšky jako vztahnou rovinu, pak rozlišujeme, zda je měřičský bod umístěný nad nebo pod nulovou referenční hladinou.



0 m n/m

a.)

$$h = H - h_0$$



0 m n/m

b.)

$$h = H + h_0$$

Poznámka: uvedený postup je formální, pouze pozměňuje v rovnici (5) hodnotu Δh na $H - h_0$ nebo $H + h_0$.

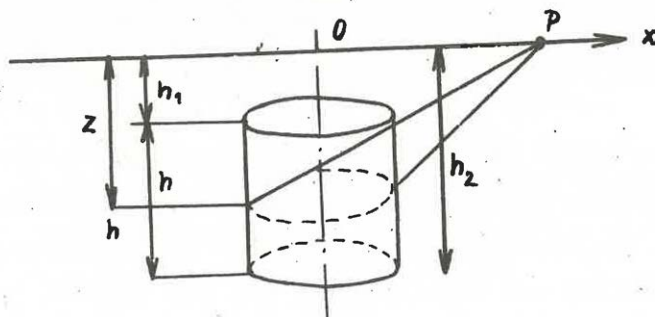
Zavedení korekcí

a) Korekce na volný prostor

Protože provádíme měření v blízkosti těžní jámy a dolní gravimetrická stanice je v systému chodeb, bereme nutně korekci na vyrubané prostory A, protože jsme nuceni volit hustotu pro hledanou korekci, (tu hustotu, kterou vlastně hledáme), zatěžujeme měření nutnou chybou, kterou nelze vyloučit. Proto volíme stanoviště pokud možno daleko od jámy, přestože to prodlužuje měření. (Měření nutno nejméně dvakrát opakovat, lépe až pětkrát).

Korekci na volný prostor rozdělujeme na korekci na vliv těžní jámy a na korekci vlivu blízkých chodeb. Těžní jámu a chodby uvažujeme jako jednoduchá geometrická tělesa.

Oprava z vlivu jámy je v podstatě vliv vertikálního válce

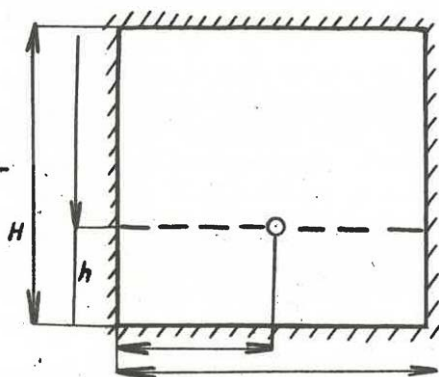


$$\Delta \varepsilon_{\text{jámy}} = k \oint \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{h_1}^{h_2} \frac{h \cdot dx \cdot dy \cdot dh}{(x^2 + y^2 + h^2)^3}$$

Označ. v souř. systému x_1 y_1 h .

Obdobný vzorec je i pro vliv chodby, kde však zvolíme zjednodušený vztah

$$\Delta g(c h) = 2 k \oint \int_{l=h}^{l=H} dx \int_h^{H-h} \frac{z dz}{x^2 + z^2}$$



Oba integrální vztahy nerozvádíme, protože pro důlní chodby libovolného průřezu a pro jámy prostého geometrického tvaru jsou sestaveny tabulky, jež maximálně zkracují dobu výpočtu (lit. č. 2). Toto se týká rovněž topografické korekce, která není v uvedeném příkladu uváděna. Pro nejbližší okolí byla hodnota sejmuta paletkou. Způsob provedení korekcí se vymyká rozsahu tohoto článku. (Lit. č. 2., č. 1.). Další korekce pozměňují hodnotu jen nepatrně a většinou se nezavádějí ani při přesném měření.

Jsou to: Vliv vzdálenějších anomálních hmot, vliv armování důlních děl, vzdálenější topografická - kartografická korekce, atd.

Vlastní provedení měření

Na jámě „M í r“ v Břežánkách byla zvolena 4 stanoviště. Dvě na povrchu a dvě u těžné jámy na posledním nárazišti. Bližší stanoviště cca 10 m, vzdálenější 30 m. Měření bylo opakováno za účelem časopisového chodu. Naměřené hodnoty byly vyrovnány na časový a tepelný chod po přezkoušení konstanty gravimetru. Průměrná hodnota 1 a 2 bodu P (při stejné nadm. výšce) = 73,30 mg/l. Průměrná hodnota bodu 4 a 5 (mezibod 3 byl vynechán) = 50,80 mg/l. Tíhový rozdíl činil 22,50 mg/l.

Oprava časového chodu 0,03 mg/l (hod. oprava tepelného chodu = $0,31^{\circ}/\text{hod.}$
= $0,37^{\circ}/\text{hod.}$

Pro informaci uvádíme, že při tíhovém rozdílu 10^{-2} mg/l dvou bodů vzdálených vzájemně 103 m jest gradient tíže roven 1 E (Eötvess = $1 \cdot 10^{-9}$ CGS),

Výška bodu 1,2 ... 229,05 m n/m $\pm 0,3$ m

Výška bodu 4,5 ... 65,05 m n/m $\pm 0,3$ m

Výškový rozdíl $\Delta h = 164,00$ m

$$\begin{aligned} \text{Vlastní výpočet: } \sigma &= 3,69 - 11,96 \cdot \frac{\Delta g}{\Delta h} = 3,69 - 11,96 \cdot \frac{22,50}{1.6400} = \\ &= 2,05 \end{aligned}$$

Zavedená korekce: - kartografická korekce - 0,15 + 0,14 mg/l

- korekce na důl. jámu + 0,18 $\pm 0,08$

- korekce na důl. chodbu + 0,07 $\pm 0,10$

- korekce na vert. gradient - 0,05 $\pm 0,12$

Sumární hodnota: + 0,05 $\pm 0,16$

Přesnost určení tíhového měření z opakovaného měření 0,07 mg/l

Reduk. hodnota: $\sigma = 2,05 - 0,04$

Přesnost určení hustotního rozdílu:

Základní a skoro neodstranitelnou chybou je vliv anomálních hmot, o kterých nevíme a které jsou rozloženy jak v nadloží, tak v podloží určovaného souvrství.

Tím pak měříme vertikální anomální gradient a zatěžujeme tím nutně celý výpočet. V případě anomální hmoty v podloží je její vliv menší

$$\frac{\Delta g \text{ skut.}}{\Delta h \text{ skut.}} = \frac{\Delta g \text{ anomál}}{\Delta h^x \text{ rel.}} ;$$

Proto nutno provést kontrolu měření - měřit ve větší vzdálenosti od měř. místa a porovnat: při 100 m hloubky a ≈ 100 E velikosti anomálního gradientu čísel $\Delta g = \pm 1 \text{ mgl.}$

Samotná přesnost měření závisí na metodice a na třídě přesnosti gravimetru. Přesnost gravimetru lze zvýšit správným režimem měření (zavedením korekce na kvasilineární chod gravimetru, správný tepelný režim ap.)

Závěr:

Přesnost dosaženého výsledku je optimální. Lze jej však docílit s větší či menší přesností podle podmínek. Většinou však chyba nepřesáhne $0,1 \div 0,15 \text{ gcm}^{-3}$.

Výhodnější měření a lepších výsledků se dosáhne karotážním gravimetrem, kdy pro měření postačí vrt zasahující pod zájmové souvrství. Zde by bylo možné měřit i tíhové změny vyvolané přesunem hmot v blízkosti vrtů situovaných v zájmové oblasti.

Literatura:

- 1) Andrejev A.: Geologičeskoje istolkovanije gravitacionnyh anomálij
Leningrad 1962
- 2) Kazinskij : Matematičeskije tablici dlja aproksimacii geofizičeskich anomálij i redukcij interpoljacionnymi mnogočlenami
Moskva 1949
- 3) Lukavčenko : Nabljudenije s gravimetrami v burovych skvažinach a šachtach
Moskva 1962
- 4) Mudrecova : Podzemnyje gravimetričeskije raboty na mědno-kolčedannych mestorožděnijach sredněgo Urala
Moskva 1960
- 5) Radl : Dichtebestimmung im Gesteinverband durch Gravimeter und Drehwagenmessungen unter Tage
Freiberg 1937

Příloha:

Monogram výpočtu σ