Josef Skotnický

Posledné pokroky v stavbe analytických váh

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 75 (1950), No. 4, D419--D427

Persistent URL: http://dml.cz/dmlcz/122659

[3] F. KÖHLER: Nové výzkumy v určování tvaru a velikosti Země, v stanovení hutnosti kůry zemské a jejího vnitřního složení, Sborník Čes. spol. zeměvěd., **20**, 183—187, 1914.
[4] F. ČECHURA: Předběžná zpráva o pozorování pohybu vrstev zemských v dolech Březohorských, Sborník I. Sjezdu slovanských geografů a etnografů v Praze 1924, str. 16—18, Praha 1926.
[5] V. ŠPAČEK: Kyvadlo horizontální a slapy kůry zemské, 1—52, Roudnice 1914.
[6] V. ŠPAČEK: Změny tíže působené Měsícem a Sluncem, Zeměměřičský Obzor, **5** (32), 33—37, 55—59, 1944.
[7] V. ŠPAČEK: Stanovení zploštění Země z měření kyvadlových, Zeměměřičský Věstník, **2**, zvl. otisk, 1—51, 1915.
[8] R. TOMASCHEK: Die Messungen der zeitlichen Änderungen der Schwerkraft, Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften, **12**, 36—81, Berlin 1933.
[9] B. GOLICYN: Vorlesungen über Seismometrie (překlad z ruštiny), str. 234 a dal., Leipzig-Berlin 1914.
[10] O. HECKER: „Deformationsbeobachtungen" in Příbram in Böhmen, Gerl. Beiträge zur Geophysik, **13**, Mitteilungen des Zentralbureaus der Internationalen Seismologischen Association, 107—111, Leipzig-Berlin 1914.

POSLEDNÉ POKROKY V STAVBE ANALYTICKÝCH VÁH.

Doc. Dr JOZEF SKOTNICKÝ, Košice.

Váženie bolo, je a tiež zostane základnou vedeckou mernou metodou fyzikálnou, chemickou a laboratornou vôbec, prevádzanou všade tam, kde sa pestujú prírodné vedy. Je preto pochopitelné, že váham a najmä analytickým, bola venovaná všetka možná pozornosť so strany ich konštrukterov a že všetky pokroky techniky boly využité k ich zdokonaleniu. To sa týka hlavne zvýšenia presnosti, ale tiež urýchlenia a ulahčenia váženia. Po stránke urýchlenia a ulahčenia práce boly dosiahnuté v poslednom dvadsaťročí významné pokroky zavedením vzdušného tlumenia, automatického nakladania závaží a optickej projekcie polohy vahadla. K tomuto pokroku sa druží tiež výroba t. zv. predvážok, ktoré promptne a automaticky výchylkou ukazovatela indikujú váhu predmetu na 0,1 g a umožňujú tak na analytických váhach naložiť a priori správné závažie na 100 mg presne. Ďalšie nakladanie závaží nie je väčšinou už potrebné, lebo u bežných analytických váh v základnom prevedení detailnejšia váha predmetu sa objaví už priamo v optickej projekcii na matnom skle v rozsahu $\pm$ 100 mg tak, že možno subjektivne alebo pomocou nonia odhadnúť ešte 0,1 mg. Predmet váhy 100 g sa tým odváži na 10^{-6}, t. j. na miliontinu presne a to v dobe tak krátkej (1—2 minuty), že znamená ukončenie vývoja v tomto smere, t. j. čo sa týka rýchlosti a pohodlnosti pracovného postupu.

Čo sa týka zvýšenia presnosti analytických váh, možno riecť, že pokrok na tomto poli bol za celé storočie len formálny a spočíval v užití kvalitnejšieho materiálu a jeho preciznejšom opracovaní. Až v posledných 3 rokoch bol dosiahnutý i na tomto poli podstatný úspech, ktorý znamená skutočnú revolúciu na poli konštrukcie analytických váh a ktorý chcem v ďalšom popísať. Aby to však bolo možné, musím detailne a tiež na príklade znázorniť ťažkosti, s ktorými musia zápasiť konštrukteri analytických váh a ktoré i napriek všetkým vymoženostiam dnešnej techniky nie je možné prekonať tak, aby praktické prevedenie váh sa krylo s ideálnymi požiadavkami, ktoré na váhy kladie matematická teoria.

Požiadavky, ktoré sú kladené na presné a citlivé váhy, sú dva: rovnoramennosť a konštantná citlivosť váh. Oba sa týkajú vahadla a toto je preto ústredným elementom váh, takže možno riecť: jaké je vahadlo, také sú váhy. Uvedené požiadavky nie sú ovšem absolutné, t. j. aj na váhach nerovnoramenných a s premennou citlivosťou sa dá vážiť presne po zavedení príslušných korekcií, ale tým sa strácajú práve výhody, ktoré nám poskytuje moderná váhová technika vo forme rýchlej a pohodlnej práce vyššie spomenutej.

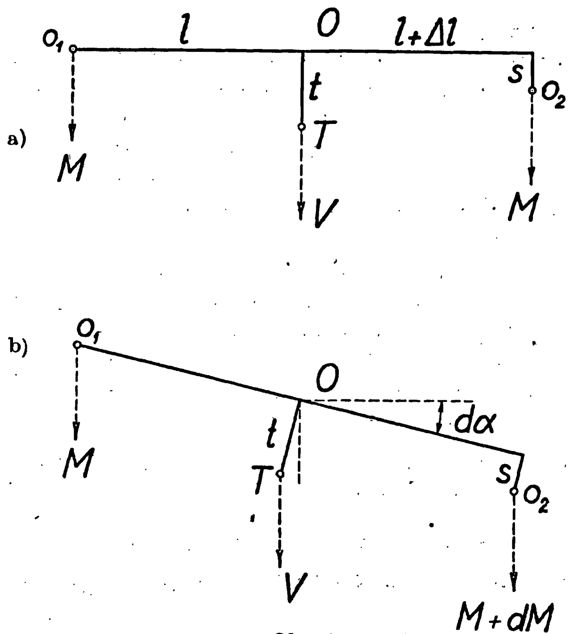
Predovšetkým k otázke rovnoramennosti: aby nebolo treba prevádzať korekciu na rovnoramennosť, musia sa obe ramená vahadla sebe rovnať s tou istou presnosťou, s ktorou vážime, a táto obnáša pre bežnú vedeckú potrebu 0,1 mg pri 100 g, je teda 10^{-6}. Keď ramená vahadla sú dlhé 10 cm, znamená to, že si musia byť rovné na 10 cm . $10^{-6} = 0{,}1\,\mu$, čo je aj pri najdokonalejšej justáži nezaručiteľné a dosažiteľné len náhodne.

Korekciu na rovnoramennosť treba preto prevádzať pri každom vážení podľa známej nerovnoramennosti váh. Táto sa určí raz prevždy (a pozdejšie len občas kontroluje) dvojím vážením bremena (závažia) o váhe 100 g striedavo na oboch miskách. Keď toto bremeno je na pravej miske o Δz ťažšie než na ľavej, znamená to, že pravé rameno vahadla je o Δl dlhšie než ľavé. Platí tu: $\Delta l/l = \frac{1}{2} \,.\, \Delta z/z$. Keď $\Delta z/z$ obnáša 2 mg/100 g, znamená to, že pravé rameno vahadla je o $10^{-5} = 0{,}01\,^0/_{00}$ dlhšie než ľavé, a preto treba o túto hodnotu zvýšiť váhu každého bremena, váženého na miske ľavej, aby sa vylúčila chyba nerovnoramennosti váh. Jako som už spomenul, Δl je u kvalitných váh konstantné a preto nie je treba určovať ho pri každom vážení zvlášť — stačí ho určiť raz, najlepšie pomocou 100 g bremena (závažia) a potom len občas prekontrolovať.

Požiadavok konstantnej citlivosti váh stal sa aktuálnym až v poslednej dobe, aby boly plne využité výhody optickej projekcie polohy vahadla. Citlivosť váh sa totiž nariadi pomocou prídatnej hmoty na vahadle, posuvnej vo vertikálnom smere, tak, aby 1 dielok stupnice zodpovedal prívažku 1 mg pri prázdnych miskách. Aby dielky stupnice, cejchované v miligramoch, platily pre každé váženie, nesmie sa citlivosť váh meniť so zaťažením misiek. To je ovšem požiadavok, ktorý sa dá realizovať ešte ťažšie než rovnoramennosť váh, jako to vyplýva z teorie vahadla podľa obr. 1a,b.

Pri zaťažení vahadla hmotou M nech je toto presne v horizontálnej polohe podľa obr. 1a. Prídavkom hmoty dM na pravú misku vychýli sa o uhol dα tak, že protiváhou hmote dM je váha vahadla samého V sústredená v ťažišti T. Rovnováha nastane pri rovnosti momentov oboch síl, t. j. $l \cos d\alpha \, dM$ a $Vt \sin d\alpha$. Tomu by bolo tak ovšem len v prípade, keby pravá postranná os O_2 bola v jednej priamke s oboma druhými osami O a O_1. Keď posuv osy O_2 nadol od spojnice O_1 obnáša s, napomáha momentu vahadla $Vt \sin d\alpha$ tiež moment pravej hmoty M, ktorá sa sklonom vahadla dostáva bližšie k strednej vertikálnej čiare než ľavá, a to o vzdialenosť $s \sin d\alpha$, takže máme $l \cos d\alpha \, dM = Vt \sin d\alpha + Ms \sin d\alpha$ čiže $l\, dM = (Vt + Ms) \operatorname{tg} d\alpha \doteq (Vt + Ms)\, d\alpha$.

Pod citlivosťou váh rozumieme prakticky počet dielkov stupnice, o ktoré sa vychýli jazýčok alebo iný indikátor polohy vahadla pri prívažkou 1 mg. Matematicky je to však myslený uhol, o ktorý vychýli vahadlo



Obr. 1.

prívažok 1 g jako jednotky hmotnej (uhol 1 mg násobený 1000), teda $c = \mathrm{d}\alpha/\mathrm{d}M = l/(Vt + Ms)$.

Z tejto rovnice vidno, že citlivosť by mohla byť konštantná a nezávislá na zaťažení len keby $s = 0$.

Osi analytických váh O, O_1 a O_2 sú tvorené ostriami achátových hranolov spočívajúcich na achátových platničkách. Aby bolo možné splniť podmienky $\Delta l \doteq 0 \doteq s$, je s vahadlom pevne spojený len stredný hranol — bočné hranoly sú pritmelené na rámečky, ktoré sa nasúvajú na konce vahadla a tam sa pomocou šrofov fixujú. Tento úkon sa nazýva justovaním váh a je to procedura zvlášť namáhavá a zdĺhavá, keď uvážime, že Δl a s smejú obnášať len niekoľko μ (10^{-3} mm). Jeden šrof reguluje posuv hranola v horizontálnom, druhý vo vertikálnom smere a ostatné rámeček pevne fixujú k vahadlu, aby sa po justáži neuvolnil.

Vzdialenosť Δl nazývame chybou horizontálnej justáže. Posuv s sa skladá však nie len z chyby vertikálnej justáže H ale tiež z ohnutia h_0

vahadla spôsobeného váhou misky, tlmiaceho válca a závesov, ktorých spoločnú hmotu označme m_0, a z ohnutia h spôsobeného zaťažením misky hmotou m, takže máme rovnice:

$$M = m_0 + mas = H + h_0 + h.$$

Podľa zákonov pružnosti je prehnutie vahadla úmerné zaťažujúcej hmote $h = km$. Skutočný ohyb jednoho ramena vahadla obnáša $\frac{1}{2}(h_0 + h)$, ale pretože nastáva na oboch ramenách, poklesne postranná os „o“ pod spojnicu oboch ostatných osí o vzdialenosť $(h_0 + h)$.

Z rovnice pre s vidno, že nie je možné splniť podmienku jeho nulovej hodnoty, lebo keby aj pri justáži sa náhodne podarilo dosiahnuť nulového H, nemáme a ani nepoznáme materiálu, ktorý by sa neohýbal, aby sme mohli vylúčiť aj h_0 a h.

U kvalitných analytických váh sú hodnoty H, h_0 a h práve tak jako Δl konštantné a preto tiež merateľné. Keď ich poznáme, môžeme pre každé zaťaženie misiek m vypočítať citlivosť váh podľa rovnice $c = l/[Vt + (m_0 + m)(H + h_0 + h)]$. Hodnoty H, h_0 a h meriame trojím vážením, a to z poklesu citlivosti váh pri zmene zaťaženia misiek z 0 na m_1 a m_2. Vychádzame pri tom z rovníc:

$$l = c_0Vt + c_0m_0(H + h_0) = c_1Vt + c_1(m_0 + m_1)(H + h_0 + h_1) = \\ = c_2Vt + c_2(m_0 + m_2)(H + h_0 + h_2)$$

a

$$k = h_0/m_0 = h_1/m_1 = h_2/m_2.$$

Riešením týchto 6 rovníc o 6 neznámych (H, h_0, h_1, h_2, k a t) dostaneme

$$k = l(C_2m_1 - C_1m_2)/c_0m_1m_2(m_2 - m_1)$$

a

$$H = l[C_1m_2(2m_0 + m_2) - C_2m_1(2m_0 + m_1)]/c_0m_1m_2(m_2 - m_1),$$

kde $C_1 = (c_0 - c_1)/c_1$ a $C_2 = (c_0 - c_2)/c_2$ sú relatívné poklesy citlivosti pri zmene zaťaženia misiek z 0 na m_1 a m_2.

Keď $m_1 = m_0$ a $m_2 = 2m_0$, máme jednoduchšie

$$k = l(C_2 - 2C_1)/2c_0m_0^2 \text{ a } H = l(8C_1 - 3C_2)/2c_0m_0.$$

Citlivosť váh c pri lubovolnom zaťažení m misiek nepočítáme priamo, ale určujeme jej relatívný pokles C proti citlivosti váh pri prázdnych miskách, ktorú označujeme c_0 a klademe rovnú 100:

$$C = (c_0 - c)/c_0 = (H + 2h_0 + h)\, m/(l/c_0 + (H + 2h_0 + h)\, m).$$

Jako z tejto rovnice vidno, optimálna vertikálna justáž je tá, pri ktorej $H \doteq -3h_0$, t. j. keď postranné ostrie sa nachádza *nad* spojnicou oboch ostatných vo výške $3h_0$. V tomto prípade totiž citlivosť je rovnaká pri zaťažení misky *0* aj m_0, medzi týmito hodnotami zaťaženia vykazuje malé maximum a potom mierne klesá.

Pevnosť P vahadla je daná pomerom zaťažujúcej sily (váhy misiek) m_0g (dýn) k ohnutiu h_0 : $P = m_0g/h_0 = g/k$ (dýn/cm) $= 1/10^3k$ (kg/cm).

Keby vahadlo bolo tvorené nevyrezávaným hranolom zo stejného materiálu, stejnej šírky b i dĺžky $2l$, ale výšky v_0, malo by pevnosť $P = = Ebv_0^3/8l^3$.

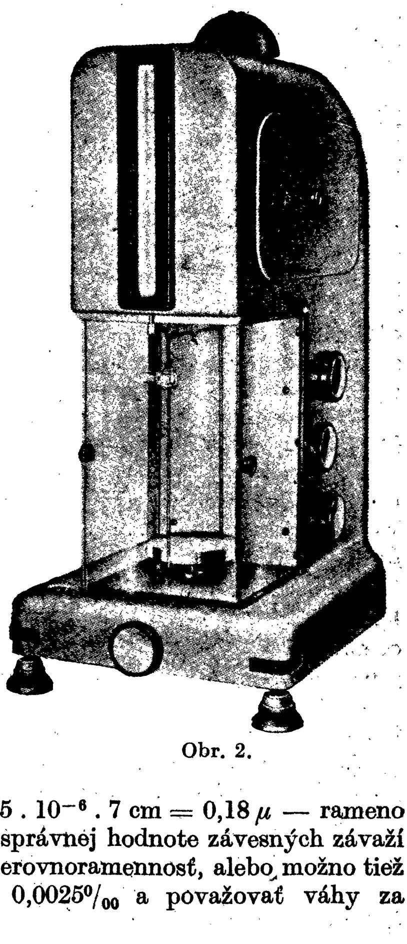
Formovanie vahadla (vyrezávanie a okrajové zúženie) sníži ovšem jeho pevnosť a to v pomere v_0/v (kde v je skutočná výška vahadla):

$$v_0/v = l/5v(bkE)^{1/3}.$$

Uvedené kvantitativné vzťahy dávajú nám nie len možnosť korekcie nerovnoramennosti a vypočítania citlivosti váh pre ľubovolné zaťaženie, ale informujú nás tiež o kvalite váh samotných, o pečlivosti, s ktorou bola prevedená justáž, o jej horizontálnej a vertikálnej chybe i o kvalite materiálu užitého za vahadlo.

Tieto obecné kvantitativné vzťahy samy o sebe nestačia však k ozrejmeniu problemu stavby analytických váh a ťažkostí, s ktorými sa pri tom konštruktéri stretajú. Presný názor na veci získame až keď obecné rovnice doplníme číselnými príkladmi, analýzou konkrétnych váh.

V ďalšom podám rozbor jednoho z posledných vzorov analytických váh našej výroby, seriove vyrábaných, so vzdušným tlumením, s automatickým nakladaním závaží z vonku od 0,01 do 200 g a s optickou projekciou polohy vahadla s automatickým odčítaním $\pm$ 10 mg, pri čom možno odhadovať 0,02 mg (analytické váhy Meopta, vzor A3; obr. 2).



Obr. 2.

Dĺžka vahadla 14 cm, šírka 0,3 cm a výška 2,7 cm, váha 69 g. Váha misky, tlumiaceho válca a závesov spolu 77 g. Dvojím vážením zistené $\Delta z/z = 0{,}5$ mg/100 g, z čoho $\Delta l/l = = 2{,}5 \cdot 10^{-6} = 0{,}0025‰$ a $\Delta l = 2{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 7$ cm $= 0{,}18\,\mu$ — rameno závaží o túto vzdialenosť dlhšie. Pri správnej hodnote závesných závaží treba preto prevádzať korekciu na nerovnoramennosť, alebo možno tiež váhu závesných závaží zmenšiť o 0,0025‰ a považovať váhy za rovnoramenné.

Optická projekcia polohy vahadla je prevedená podobne jako u zrkadlového galvanometru, t. j. v hlavnej ose vahadla je zrkadielko, ktoré odráža papršlek z osvetlovacej žiarovky na priesvitnú stupnicu vo vzdialenosti 50 cm (po 3násobnom odraze), nachádzajúcu sa vo vertikálnej polohe v čele váh. Stupnica je dlhá 14 cm s nulou uprostred a delená na $\pm$ 10 dielkov, z ktorých každý má zodpovedať 1 mg. Dielky sú delené ešte na desatiny 0,7 mm dlhé, u ktorých možno odhadnúť ešte pätinu, teda 0,02 mg. Pretože principom odrazu sa uhol vychýlenia vahadla zdvojuje, je citlivosť váh daná číslami: $c = d\alpha/dm = 7$ cm/50 cm . 0,01 g . 2 = 7 g^{-1}, t. j. 1 miligram vychýli vahadlo o uhol 0,007, čo zodpovedá 24'. Maximálna výchylka vahadla obnáša $\pm$ 0,07 $\sim \pm 4^0 \sim$ $\sim \pm$ 0,5 cm vertikálnej výchylky bočných hranolov. Citlivosť váh bola nariadená pri prázdnych miskách na 100 tak, že pri zmene zaťaženia misky o 10 mg svetelný index sa pohyboval z + 50 na — 50 malých dielkov, zodpovedajúcich 0,1 mg. Pri zaťažéní misiek hmotou 77 g = $= m_1 = m_0$ klesla citlivosť na 95,2 a pri zaťažení 154 g $= m_2 = 2m_0$ klesla na 90 dielkov. Z týchto nameraných poklesov citlivosti vychádza pre vertikálnu chybu justáže $H = 7(8 . 0{,}0505 - 3 . 0{,}111)/2 . 7 . 77 =$ $= 4{,}6 . 10^{-4}$ cm $= 4{,}6\,\mu$, pre konstantu pružnosti $k = 7(0{,}111 - 2 .$ $. 0{,}0505)/2 . 7 . 77^2 = 0{,}0084 . 10^{-4}$ cm/g $= 0{,}0084\,\mu$/g, pre ohyb $h_0 =$ $= km_0 = 0{,}0084 . 77 = 0{,}64\,\mu$ a pre vzdialenosť t ťažišťa T od hlavnej osi 0: $t = l/Vc = 7$ cm/69 g . 7 g^{-1} = 0,0145 cm = 145 μ. Postranný hranol je teda o $4 + 3h_0 = 4{,}6 + 1{,}9 = 6{,}5\,\mu$ nižšie než by mal byť pri optimálnej justáži. Relativný pokles citlivosti pri ľubovolnom zaťažení m misiek je daný výrazom $C = (c_0 - c)/c_0 = (4{,}6 + 1{,}28 + h)\,m :$ $: (10{,}000 + (5{,}88 + h)\,m)$, kde $h = 0{,}0084$ m. Pre zaťaženia 50, 100 a 200 g dostávame poklesy 3,05, 6,3 a 13,1%, t. j. citlivosti pri nich budú nie 100 ale len 97, 93,7 a 86,9 dielkov/10 mg.

Keď prijmeme pre koeficient pružnosti v ťahu E materiálu vahadla hodnotu 10^6 kg/cm², dostaneme pre oslabenie vahadla po formovaní výraz $v_0/v = 7/5 . 2{,}7 . (0{,}3 . 8{,}4 . 10^{-7} . 10^6)^{1/4} = 0{,}82$, t. j. sníženie pevnosti o 18%.

Z uvedených číselných hodnôt najmä pre Δl, H, h_0 a t vidno, od jakých mikrometrických veličín závisí kvalita váh, a možno tak tiež oceniť prácu odborného robotníka, ktorý prevádza justovanie. Len pomocou najlepšieho materiálu a vytrvalej i svedomitej práce možno vytvoriť kvalitné analytické váhy, ktoré, keď aj vykazujú chyby vertikálnej a horizontálnej justáže, musia sa vyznačovať aspoň konstantnosťou vyššie uvedených hodnôt; tieto potom ďalej zaručujú tiež konstantnosť výchylky vahadla pri určitom zaťažení a umožňujú tým váženie vôbec.

Faktom však je a z uvedeného rozboru to názorne vidno, že žiadné dvojramenné analytické váhy nemôžu úplne splňovať ideálné požiadavky kladené na ne teoriou. Nepomáha tu žiadné zdokonalovanie technických pomôcok ani zlepšovanie materiálu, a preto nie je čudné, že posledných

100 rokov nepriniesIo v tomto smere nič podstatne nového. Presnosť váh závisí teraz jako i vždy predtým na kvalite materiálu a svedomitosti justáže vahadla.

A predsa nastal aj na tomto poli v posledných rokoch nielen že obrat k lepšiemu, ale k definitivnému riešeniu problemu konštrukcie analytických váh, vylučujúci každú nepresnosť, tedy pokrok zásadný a podstatný. Švajciarskému konštruktérovi analytických váh v Curychu E. Mettlerovi sa totiž podarilo obe chyby horizontálnej i vertikálnej justáže nie snížiť na 0, ale obísť a z konštrukčného principu úplne vylúčiť, a to tým, že zaviedol princip analytických váh jednoramenných:

Vahadlo má len dva hranoly pevne naň pritmelené: stredný, okolo ktorého sa otáča a krajný, na ktorom visí miska so závesmi. Na závesoch nad miskou sú konstantne naložené všetky závažia o celkovej hmote 200 g a automaticky sa z nich uberá tolko, kolko váži bremeno položené na misku. Zaťaženie vahadla je teda konstantné, nezávislé na hmotě bremena, a obnáša v každom prípade 200 g pozostávajúcich so závaží spolu s bremenom, zväčšených o váhu misky a závesov. Válec na vzdušné tlumenie je len jedon a nachádza sa na druhom vahadlovom rameni, ktoré je prevedené robustnejšie, aby kompenzovalo protiváhu 200 g, ale nemá ani hranol ani misku. Mikrometrická stupnica spojená s vahadlom sa projikuje vo zväčšenom merítku na matné sklo v čele váh a dovoluje priame odčítanie váhy do 100 mg s odhadom 0,1 mg.

Chyba nerovnoramennosti je tu vylúčená, lebo bremeno sa klade na misku závaží, zaťažuje teda vahadlo v tom samom bode jako tieto. Citlivosť váh sa nemení, lebo sa nemení ani zaťaženie misky, ktoré je konstantné, obnáša 200 g a môže sa zväčšiť najviac o 100 mg, ktoré sú indikované opticky. Miligramová stupnica opticky projikovaná platí teda pre každú váhu bremena s rovnakou presnosťou. — A tak vidíme, že storoční nepriatelia konštrukterov analytických váh, horizontálna a vertikálna justáž podmieňujúce nerovnoramennosť a premennú citlivosť váh boly jednoduchým principom jednoramennosti z bojovej arény odstránení. To znamená ovšem podstatný ba revolučný prínos na poli presnosti váženia, lebo toto nie je viac zaťažené žiadnymi teoretickými zdrojmi chýb a stáva sa preto ideálne dokonalým, a to tým viac, že výhody rýchlosti a pohodlia, vyplývajúce zo vzduchového tlumenia, automatického „uberania“ závaží a optickej projekcie, zostávajú nie len zachovalé ale tiež plne využitelné bez najmenších korekcií.

Tolkoto o výhodách, ktoré poskytujú jednoramenné analytické váhy pri vážení. Nie menšie sú však aj výhody na poli ich konštrukcie a seriovej výroby. Zdĺhavá a namáhavá justáž odpadá, lebo neni čo justovať. Stredný i bočný hranol sú na vahadle pevne pritmelené a upevnené, pričom na malých výkyvoch ich vzájomnej vzdialenosti vôbec nezáleží. To sú všetko faktory, ktoré znamenajú podstatné zjednodušenie výroby, jej zlacnenie a urýchlenie, čo sú predpoklady pre možnosti skutočnej seriovej produkcie, nezaťaženej časovou stratou nezaručiteľnej justáže. Všetka pozornosť výrobcov môže byť potom sústredená na kvalitné prevedenie váh a tiež preciznú výrobu závesných závaží. Možno teda očakávať, že v budúcnosti jednoramenné analytické váhy zatlačia dvojramenné po každej stránke úplne do pozadia. Dúfajme preto, že tiež náš priemysel čoskoro vytvorí vzory jednoramenných váh a začne s ich seriovou produkciou.

Z uvedeného vývoja na poli konštrukcie analytických váh vidno názorne, jako bádavý ludský duch na najjednoduchšie a najúčelnejšie nápady i v iných oboroch ľudského konania prichádza často až nakonec, keď prekonal celý rad ťažkostí, spojených s komplikovaným a menej účelným riešením problémov. Predsa však aj tuná platí porekadlo: lepšie neskoro než nikdy.

Nakonec ešte niekolko poznámok o korekcii na vakuum a o účelnej presnosti váh.

Vážením určujeme váhu predmětu vo vzdušnom prostredí. Hmotu m predmetu zisťujeme z váhy t. zv. redukciou na vakuum, u tuhých a tekutých látok podla vzorca $m = z + z\sigma[S - s]/sS$, kde z je hmota závažia, σ specifická hmota vzduchu, S závažia a s váženej látky. Deriváciou obdržíme

$$\mathrm{d}m = \frac{\partial m}{\partial \sigma}\mathrm{d}\sigma + \frac{\partial m}{\partial s}\mathrm{d}s + \frac{\partial m}{\partial S}\mathrm{d}S = z\frac{S-s}{sS}\mathrm{d}\sigma - z\sigma\frac{\mathrm{d}s}{s^2} + z\sigma\frac{\mathrm{d}S}{S^2}$$

a po úprave

$$\frac{\mathrm{d}m}{m} = \frac{\mathrm{d}\sigma}{\sigma}\frac{\sigma}{s}\frac{S-s}{S} - \frac{\mathrm{d}s}{s}\frac{\sigma}{s} + \frac{\mathrm{d}S}{S}\frac{\sigma}{S}.$$

Táto rovnica nás informuje o tom, s jakou presnosťou musíme poznať jednotlivé specifické hmoty, aby sme mohli určiť hmotu m na miliontinu presne. Uvažujme vážený predmet o specifickej hmote okolo 1. Zlomok $[S - s]/S$ je potom približne 1, $\sigma/s \doteq 0{,}001$ a $\sigma/S \doteq 0{,}0001$. To znamená, že specifickú hmotu S závažia musíme poznať presne na 1% $[0{,}0001 \,.\, 1\% = 10^{-6}]$ a specifické hmoty váženej látky s i vzduchu σ presne na 1‰. Specifická hmota vzduchu je daná výrazom

$$\sigma = \frac{1}{22\,.\,414}\,\frac{273}{T}\,\frac{p}{760}\,(0{,}2895(100 - E) + 0{,}18E),$$

kde p je tlak v mm Hg, T absolutná teplota a E absolutná vlhkosť vyjadrená v objemových procentoch vodnej pary obsaženej vo vzduchu. Po derivácii dostaneme $\mathrm{d}\sigma/\sigma = -0{,}11\mathrm{d}E/[29 - 0{,}11E]$, t. j. tlak p musíme poznať presne aspoň na 0,76 mm Hg, teplotu na 0,3° C a absolutnú vlhkosť E na 0,3%. Len po zmeraní všetkých týchto veličín $[p, T, E[\sigma]$, s a $S]$ s udanou presnosťou a po ich dosazení do vzorca pre redukciu na vakuum možno zistiť hmotu m presne na miliontinu [10^{-6}]. To sú ovšem požiadavky, ktoré po odvážení predmetu mnohokrát nesplňujeme a omluvitelné len vtedy, keď vážime látky hutnejšie, lebo prvý člen rovnice pre dm/m klesá 10krát už pri specifickej hmote $s = 4$ až 5, kdežto druhý až pri $s = 10$. Keď sa uspokojujeme so specifickou hmotou $\sigma = 0{,}0012$, t. zv. normálneho vzduchu priemernej teploty, tlaku i vlhkosti a redukciu prevádzame podla vzorca $m = z + 0{,}001z \,.\, 1{,}2[8{,}4 - s]/8{,}4s$, dopúšťame sa pri bežnom vážení chyby až 10násobnej, t. j. určujeme zváženú hmotu presne len na stotisícinu. Účelná presnosť váh obnáša preto 10^{-5} až 10^{-6}, t. j. 1 —0,1 mg/100 g a konštruovať váhy vážiace presne na 10^{-7}, t. j. 0,01 mg/100 g nemá preto velkého praktického významu. Základnými typmi analytických váh zostávajú preto váhy so zaťažitelnosťou 200 g a priamou optickou indikáciou $\pm$ 100 mg s odhadom 0,1 mg pomocou nonia alebo mikrováhy so zaťažitelnosťou 20 g, priamou optickou indikáciou $\pm$ 10 mg a odhadom 0,01 mg pomocou nonia.

Ústav pre lekársku fyziku, Košice, december 1949.

The last progress in construction of the analytical balances. In the first part of this article are given the theoretical claims of the design of sensitive and precise analytical balance as they follow from the general equilibrium-condition. The results of these considerations are confronted with the possibilities of the production of such apparatus and a quite new construction of the MEOPTA analytical balance with the device for fullautomatic jointing of weights and with optical reading up to 200 g is described.

SÍLY URČUJÍCÍ SMĚR A SÍLU VĚTRU V BARICKÉM POLI.

FRANTIŠEK KONEČNÝ, Olomouc.

V každém barickém poli působí na vzdušné částice celkem čtyři síly: síla barického gradientu, odchylující síla zemské rotace (síla Coriolisova), odstředivá síla a tření. Působením těchto sil se pohybují vzdušné částice určitým směrem a rychlostí; vzniká vítr. Mají-li síly výslednici nulovou, t. j. jsou-li v rovnováze, nastává rovnoměrný pohyb vzdušných částic, t. j. pohyb bez zrychlení. A tento rovnoměrný pohyb se budeme snažit početně zpracovat; vyvozené vzorce se budou poměrně málo lišit od skutečnosti, a to zvláště tehdy, budou-li platit pro převážně stabilní situace tlakové a budou-li časově a prostorově omezeny.

Vliv síly barického gradientu. Definujme barický gradient G jako úbytek vzdušného tlaku připadající na jednotkovou vzdálenost měřenou kolmo k isobarám (obr. 1). Pak, zjistíme-li na dráze Δl (kolmé k isobarám) spád tlaku Δb, platí pro barický gradient tento vzorec: $G = -\frac{\Delta b}{\Delta l}$. Vzdálenost Δl volí se v t. zv. rovníkových stupních, při čemž $1° \approx 111$ km (obr. 2).