

1 Některé měřicí přístroje používané v laboratoři

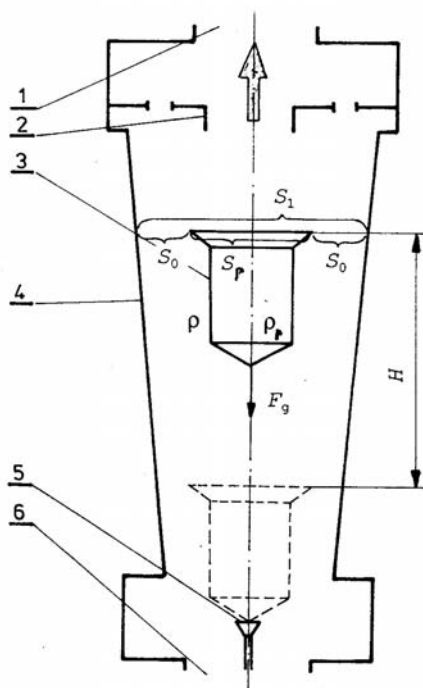
Miloslav Ludvík, Oldřich Holeček

I Úvod

S metodami měření používanými v chemickém průmyslu se lze v postačující míře seznámit v laboratorním cvičení z předmětu „Měřicí a regulační technika“, které si však zapisují jen někteří posluchači. Protože popis všech metod a přístrojů používaných v laboratoři z chemického inženýrství by zabral příliš mnoho místa, nelze než se spolehnout na to, že s většinou z nich se studenti alespoň v principu seznámili v přednáškách a laboratorních cvičeních z fyziky a fyzikální chemie. V této kapitole bude pouze stručně pojednáno o některých metodách měření objemového (nebo hmotnostního) toku tekutin. Průtok je třeba měřit na většině aparatur v laboratoři, je to běžná úloha v průmyslové praxi a ti posluchači, kteří neabsolvují laboratoř z měřicí techniky se s touto problematikou jinde na škole nemají možnost seznámit. O těch metodách měření, které se vyskytnou pouze v rámci jedné práce, bude v případě nutnosti uvedeno stručné poučení v té kapitole skript, kde se používají.

II Rotametr

Rotametr (schéma viz obr.1-1). je svislá skleněná trubice se stupnicí **4**, která se mírně zdola nahoru kuželovitě rozšiřuje. V trubici se pohybuje plovák **3**, jehož pohyb je zdola omezen narážkou **5**. Plovák může být kompaktní či dutý a vyrobený z různých materiálů. Tím se dosahuje značného rozpětí průtočných množství, která je rotametr schopen změřit.



- 1 - výstup tekutiny
- 2 - horní omezovač
- 3 - plovák
- 4 - trubice se stupnicí
- 5 - dolní omezovač
- 6 - vstup tekutiny

Průtočný průřez S_0 se lineárně zvětšuje s výškou H . (Je-li hodnota H udána v dílcích stupnice, nazýváme ji „čtení“) Výška, na které se ustálí plovák, je dána rovnováhou sil na něj působících. V průřezu S_0 je tlak p_0 , v průřezu S_1 tlak p_1 . Tíhová síla zmenšená o vztlak se musí vyrovnat s tlakovou silou vyvolanou rozdílem tlaků ($p_1 - p_0$), tedy

Obr.1-1 Schéma rotametru

$$S_P (p_1 - p_0) = V_P (\rho_P - \rho) g \quad (1-1)$$

kde V_P je objem plováku, S_P jeho maximální průřez, ρ_P je hustota plováku, ρ je hustota tekutiny, g je tíhové zrychlení. Předpokládáme-li, že rozdíl geometrických výšek průřezů S_0 a S_1 je zanedbatelný, můžeme rozdíl tlaků ve vztahu (1-1) vyjádřit z Bernoulliho rovnice pro ideální kapalinu

$$(p_1 - p_0) / \rho = (v_0^2 - v_1^2) / 2 \quad (1-2)$$

Dále platí rovnice kontinuity ve tvaru

$$\dot{V} = v_0 S_0 = v_1 S_1 \quad (1-3)$$

kde \dot{V} je objemový průtok. Zavedeme-li ještě poměr zúžení m , definovaný vztahem

$$m = S_0 / S_1 \quad (1-4)$$

získáme kombinací rovnic (1-1) až (1-4), výraz pro rychlost ideální kapaliny v_1

$$v_1 = \frac{m}{\sqrt{1-m^2}} \left[\frac{2V_P (\rho_P - \rho) g}{S_P \rho} \right]^{1/2} \quad (1-5)$$

Rychlost reálné tekutiny je o něco menší, na to bereme ohled zavedením opravného součinitele c . Násobením rovnice (1-5) plochou průřezu S_1 a součinitelem c získáme vztah pro objemový průtok reálné tekutiny

$$\dot{V} = \frac{c S_0}{\sqrt{1-m^2}} \left[\frac{2V_P (\rho_P - \rho) g}{S_P \rho} \right]^{1/2} \quad (1-6)$$

Součinitel c pro plovák „Rota“ (viz obr.1-1) má pro turbulentní tok v průřezu S_0 hodnoty od 0,94 do 0,97, je tedy téměř konstantní. Ještě stabilnější hodnoty mají opravné součinitele pro jiné typy plováků. Průřez S_0 je lineární funkcí čtení H , přitom platí $m^2 \ll 1$ a všechny ostatní veličiny v rovnici (1-6) jsou při měření konstantní. Z toho plyne, že stupnice rotametru je přibližně lineární, a pokusně lze získat kalibrační rovnici ve tvaru

$$\dot{V} = AH + B \quad (1-7)$$

kde A a B jsou empirické konstanty.

Kalibraci rotametru pro měření průtoků kapalin provádíme obvykle vodou. Chceme-li pak rotametr použít pro měření průtoku kapaliny s jinou hustotou, platí mezi hmotnostními průtoky obou tekutin při stejném čtení na stupnici H vztah

$$\dot{m}_2 / \dot{m}_1 = \left\{ \frac{(\rho_P - \rho_2) \rho_2}{(\rho_P - \rho_1) \rho_1} \right\}^{0,5} \quad (1-8)$$

kde \dot{m} je hmotnostní tok, index 1 označuje kalibrační tekutinu, index 2 měřenou tekutinu.

III Elektromagnetický průtokoměr

V laboratoři na několika stanicích je použit elektromagnetický průtokoměr. Tento přístroj je určen k měření objemového toku (střední rychlosti) kapaliny s minimální elektrickou vodivostí $20 \mu\text{S cm}^{-1}$. Měření je založeno na Faradayově zákonu elektromagnetické indukce. Pokud se magnetickým polem pohybuje vodivé těleso, je v něm indukováno elektrické napětí.

Magnetické pole je vytvářeno elektromagnety se siločárami kolnými ke směru toku tekutiny - viz obr.1-2.

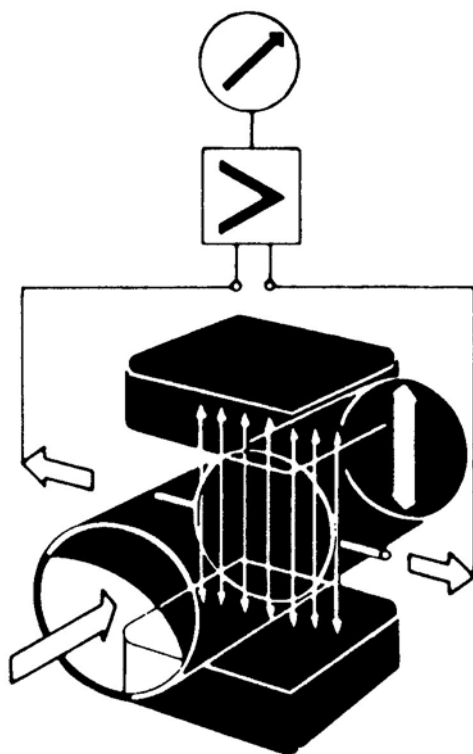
Elektrické napětí U je snímáno elektrodami ve stěně trubky a zesilováno pro digitální měřidlo. Mezi napětím a střední rychlostí tekutiny v platí lineární vztah

$$U = \text{konst.} \cdot v \cdot B \cdot D \quad (1-9)$$

kde B je intenzita magnetického pole, D je průměr trubky.

Výhody tohoto měření jsou následující:

- a) měřidlo neklade žádný hydraulický odpor protékající tekutině,
- b) v kontaktu s měřenou tekutinou je pouze vnitřní povrch trubky pokrytý PTFE a nerezové kontakty snímající napětí,
- c) údaj přístroje je přesně lineární funkcí střední rychlosti tekutiny s automaticky nastavovanou nulou,
- d) údaj přístroje nezávisí na rychlostním profilu proudící tekutiny.



Obr.1-2 Schéma elektromagnetického průtokoměru

IV Turbinové a vrtulové průtokoměry

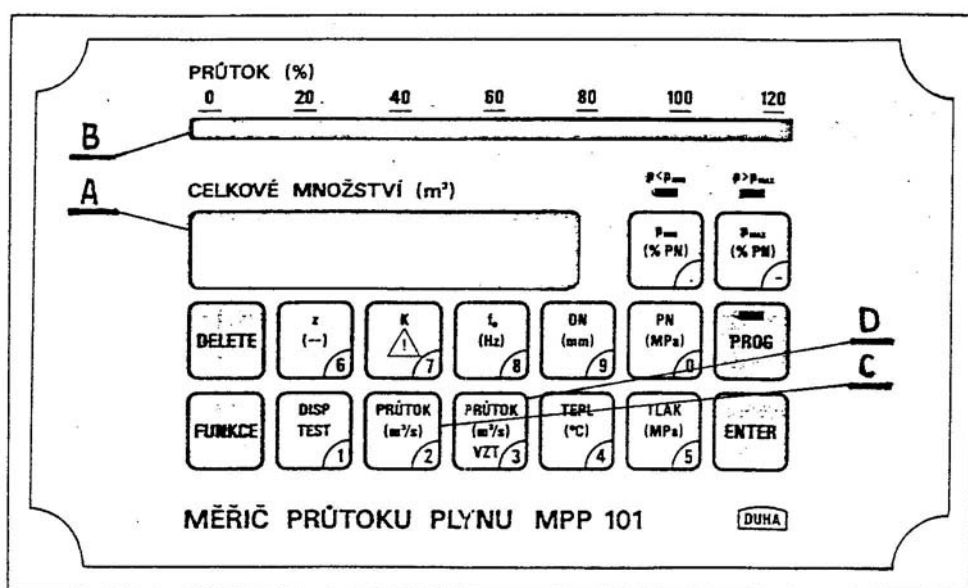
Na zařízení „Prostup tepla povrchem s žebry“ (T2) a „Absorpce“ (A) jsou instalovány programovatelné turbinové měřiče průtoku plynu MPP 101 a na zařízení „Sušení“ (S) jednodušší typ MPP 102A . Oba tyto přístroje měří objemový průtok plynu, typ MPP 101 navíc jeho tlak a teplotu. Pracují tak, že v proudícím plynu je umístěna turbina, jejíž rotující lopatky periodicky mění magnetické pole indukčního snímače. Kmitočet napětí na svorkách indukčního snímače je úměrný rychlosti proudícího plynu. Přepočtení lokální hodnoty rychlosti (při umístění snímače v ose potrubí je to rychlost maximální) na střední hodnotu je zabudován v přístroji.

K měření tlaku plynu je použit polovodičový snímač, teplota plynu je snímána platíno-
vým měřicím odporem. Displej průtokoměru MPP 102A ukazuje průtok plynu v m^3h^{-1} při podmínkách měření. Digitální displej průtokoměru MPP 101 ukazuje celkové proteklé množství plynu v m^3 při normálním tlaku a teplotě 20°C . Rozlišovací schopnost měřidla je $0,001 \text{ m}^3$. Chceme-li na displeji zobrazit objemový tok plynu v m^3h^{-1} , stiskneme tlačítko 2 nebo 3 s příslušným označením. Po dobu 20 s se na displeji zobrazí hodnota objemového toku, přičemž údaj sumárního proteklého množství je potlačen. Objemový tok vyvolaný tlačítkem 2 („průtok“) je hodnota při aktuálním tlaku a teplotě, hodnota vyvolaná stisknutím

tlačítka 3 („průtok VZT“) je korigována na normální tlak a teplotu 20⁰C. Po uplynutí této doby se zobrazení proteklého množství automaticky obnoví. Údaj objemového toku je prakticky okamžitý, tlak a teplota se aktualizují a korigují dvakrát za sekundu.

Na obr.1-3 je čelní strana měřidla s membránovými funkčními tlačítky a dvěma displeji. Hlavní digitální osmimístný displej A zobrazuje celkové korigované množství či jiný údaj zvolený klávesnicí. Řádkový displej B (průtok v %) s pětiprocentním rozlišením ukazuje podíl aktuálního objemového toku z maximální hodnoty 1700 m³h⁻¹ pevně nastavené v měřidle.

Na aparatuře „Sdílení tepla“ jsou instalovány dva vrtulové průtokoměry, které pracují na podobném principu jako měřidlo MPP 102A, s tím rozdílem, že jako čidlo je místo turbinky použita vrtule a přístroj je upraven pro měření průtoku kapaliny. Zásadní nevýhodou obou typů průtokoměrů je, že dostanou-li se do měřené tekutiny pevné částice, velmi rychle zničí čidlo.



Obr.1-3 Klávesnice a displeje přístroje MPP 101

- | | |
|---------------------------------------|--|
| A digitální osmimístný displej | C tlačítko provozního (nekorigovaného) průtoku |
| B řádková stupnice provozního průtoku | D tlačítko korigovaného průtoku |

Upozornění:

Na klávesnici přístroje studenti obsluhují pouze tlačítka 2, 3 (C, D na obr. 1-3). Stisknutí jiných tlačítek může změnit nastavení přístroje a tím znehodnotit jeho údaje!