

# Laboratorní úloha

## Diluční měření průtoku

pro předmět lékařské přístroje a zařízení

### 1. Teorie

Diluční měření průtoku patří k velmi používaným nepřímým metodám v biomedicíně. Využívá se zejména tehdy, kdy nelze do obvodu z nějakého důvodu zařadit průtokoměr. V biomedicíně se diluční měření průtoku používá například pro stanovení průtoku krve cévním řečištěm, tedy ke stanovení minutového srdečního výdeje ( $Q_{CO}$ , CO – cardiac output), kdy se lze touto metodou vyhnout přímému zařazení průtokoměru do krevního oběhu.

Již podle názvu metody se k měření průtoku využívá ředění dodávané kontrastní látky měřenou tekutinou. Z míry naředění lze stanovit velikost zkoumaného průtoku.

Diluční měření průtoku lze použít zpravidla u tekutin, tj. u kapalin a plynů. Jako kontrastní látku lze použít takovou tekutinu, která se svým charakterem (koncentrací, fyzikálními vlastnostmi apod.) odlišuje od tekutiny měřené. Dále musí existovat metoda, kterou lze ředění této kontrastní látky sledovat.

Jako příklady kontrastních látek lze uvést následující tekutiny:

- Roztok lithné soli (například LiCl, chlorid lithný); měří se pak koncentrace lithných iontů  $Li^+$  v měřeném roztoku.

Na tomto principu pracuje například monitor hemodynamiky LiDCOplus od firmy LiDCO Limited (London, UK), kdy do měřené tekutiny, tj. krve, je přidáván roztok chloridu lithného a na základě jeho ředění je stanovován minutový srdeční výdej. Lithium je zde zvoleno proto, že normální koncentrace lithných iontů v krvi je zanedbatelná, snadno se jejich koncentrace měří a v malých koncentracích nejsou lithné ionty toxické pro organismus.

- Roztok kuchyňské soli (chloridu sodného, NaCl), měří se pak vodivost vzniklého roztoku.

Tato kontrastní látka se používá například při stanovování průtoku vodních toků, kdy není možné vodu svést do vhodného průtokoměru. Měření koncentrace kontrastní látky prostřednictvím vodivosti, kterou NaCl v přidaném roztoku zvyšuje, je technicky velmi jednoduché a praktické, kuchyňská sůl je levná a v rozumných koncentracích, které postačují k přesnému měření průtoku, neškodí životnímu prostředí.

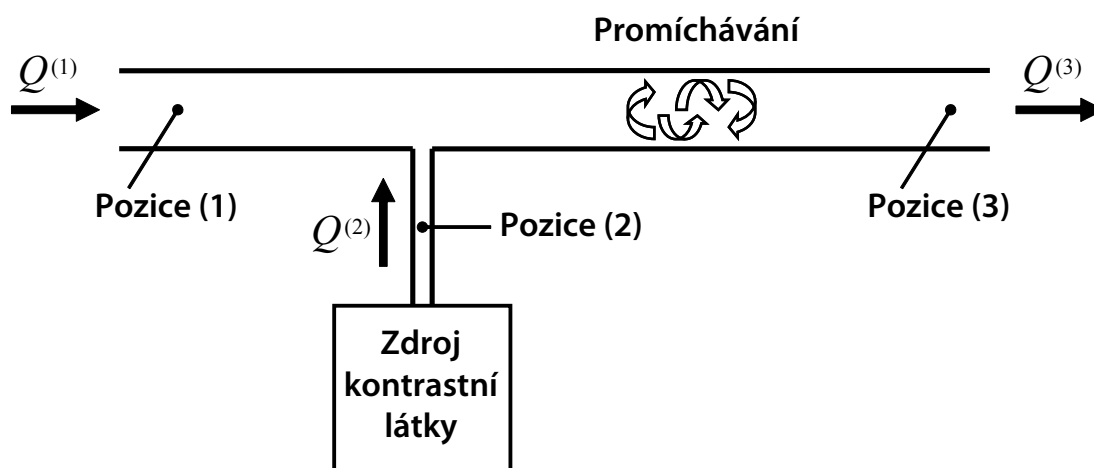
- Radioaktivní látka; měří se pak aktivita vzniklé směsi, ze které lze vypočítat průtok. Lze použít u kapalin i u plynů.
- Tekutina s odlišnou teplotou od teploty měřené tekutiny; měří se teplota výsledné směsi obou tekutin a z ní lze stanovit velikost průtoku měřené tekutiny.

Toto je velmi často používaná metoda v medicíně označovaná termínem termodiluce. Termodiluce je nejběžnější metodou používanou ke stanovování minutového srdečního výdeje  $Q_{CO}$ . Jako kontrastní látka se používá fyziologický roztok (tedy opět roztok kuchyňské soli, NaCl), ale v tomto případě o jiné teplotě, než je teplota krve. Buď se používá fyziologický roztok o teplotě okolí, nebo roztok podchlazený.

- Plyn s jinými vlastnostmi než vlastnosti měřeného plynu; pro tuto laboratorní úlohu jsme zvolili měření průtoku vzduchu pomocí kontrastní látky v podobě oxidu uhličitého ( $CO_2$ ). Jeho koncentraci ve směsi plynů lze snadno měřit opticky.

Existují dvě základní metody dilučního měření průtoku: (A) diluční metoda s konstantní dodávkou kontrastní látky a (B) diluční metoda s jednorázovým podáním kontrastní látky.

Schematické znázornění poměrů při metodě s kontinuální dodávkou kontrastní látky je uvedena na obr. 1. Měřený neznámý průtok tekutiny je označen  $Q^{(1)}$  (parametry jsou značeny podle odpovídajících pozic naznačených na obr. 1). Do něho je konstantním průtokem  $Q^{(2)}$  přidávána kontrastní tekutina. Po smíchání a dokonalém promíchání obou tekutin se stanovuje koncentrace kontrastní látky na pozici (3).



Obr. 1: Princip dilučního měření průtoku.

Pro koncentraci kontrastní látky  $x^{(3)}$  platí:

$$x^{(3)} = \frac{Q^{(2)}}{Q^{(1)}},$$

odkud pro neznámý průtok  $Q^{(1)}$  platí:

$$Q^{(1)} = \frac{Q^{(2)}}{x^{(3)}}.$$

## 2. Samostatná příprava

1. Výše uvedený vztah pro výpočet průtoku je platný pouze za následujících dvou předpokladů:
  - a) měřená tekutina neobsahuje žádné množství kontrastní látky;
  - b) tekutina přidávaná do měřeného roztoku je čistá kontrastní látka.

Vyjádřete rovnicí, jak bude vypadat vzorec pro výpočet průtoku  $Q^{(1)}$  tehdy, kdy určité množství kontrastní látky již bude přítomné v měřené tekutině (označme tuto koncentraci kontrastní látky  $x^{(1)}$ ) a kdy nebude přidávána čistá kontrastní látka, ale zředěná, jejíž koncentraci označme  $x^{(2)}$ !



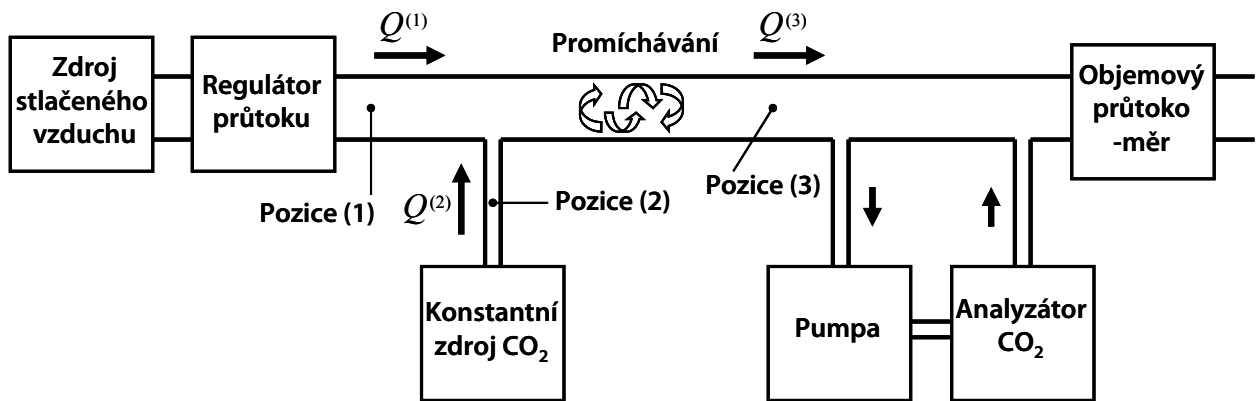
2. Když je měřenou tekutinou kapalina, neřešíme problémy se stlačitelností tekutiny. V případě, že je měřenou veličinou průtok plynu, je třeba sledovat, zda dochází či nedochází ke stlačování plynu, tj. zda se plyn vyskytuje v systému při různých tlacích.

Uveďte, jaké veličiny průtoku (objemový, hmotnostní, ...) a jaké veličiny koncentrace jsou závislé a které jsou nezávislé na změně tlaku proudícího plynu!



### 3. Popis laboratorní úlohy

K ověření metody dilučního měření průtoku použijeme jako měřenou tekutinu vzduch a jako kontrastní látku oxid uhličitý. Experimentální uspořádání úlohy je schematicky nakresleno na Obr. 2.



Obr. 2: Experimentální uspořádání pro diluční měření průtoku.

Měřený průtok plynu se vytvoří ze zdroje stlačeného vzduchu a regulátoru průtoku. K němu je přidáván konstantním průtokem oxid uhličitý, který se získá z tlakové láhve se zařazeným vysokým pneumatickým odporem. Koncentrace oxidu uhličitého je pak měřena analyzátelem CO<sub>2</sub>, k němuž je měřený plyn dodáván pomocí pumpy. Plyn z analyzátoru se opět vrací do hlavního potrubí. Aby bylo možné porovnat výsledky získané diluční metodou se skutečností, je na konci potrubí zařazen objemový průtokoměr.

### 4. Postup měření

1. Měřený průtok vzduchu lze nastavit od 10 do 100 l/min. Spočítejte vhodný objemový průtok oxidu uhličitého pro diluční měření průtoku vzduchu tak, aby k měření koncentrace oxidu uhličitého ve směsi mohl být použit analyzátor s rozsahem 0–2 % CO<sub>2</sub>.

2. Hodnotu spočítanou v bodě 1 experimentálně nastavte pomocí jímání CO<sub>2</sub> do odměrného válce pod vodou.
3. Sestavte celý experimentální set podle Obr. 2.

4. Nastavte nějaký průtok vzduchu  $Q^{(1)}$  v rozsahu od 10 do 100 l/min. Změřte koncentraci  $\text{CO}_2$  na pozici (3).

5. Ze známých a změřených veličin vypočtete průtok plynu.

6. Ověřte spočtený průtok pomocí objemového průtokoměru (měření provádějte při vypnuté dodávce oxidu uhličitého do potrubí) a obě hodnoty porovnejte.

7. Změřte koncentraci oxidu uhličitého v měřeném vzduchu. Výpočet podle bodu 5 opakujte pro nenulovou koncentraci oxidu uhličitého v měřeném vzduchu.

8. Porovnejte výsledky měření a uveďte možné zdroje nepřesností

## 5. Závěrečné otázky

1. Jaké zásady je nutné dodržet při měření průtoku či objemu plynu jímáním do kalibrované nádoby pod vodou?

2. Ovlivní v našem případě přesnost měření průtoku oxidu uhličitého jeho jímáním pod vodou skutečnost, že CO<sub>2</sub> se ve vodě dobře rozpouští? Jakou alternativu byste zvolili?

V Kladně, dne

Vypracoval(i):

Jméno a příjmení	Podpis(y)

Tento materiál vznikl za podpory Evropského sociálního fondu.

