

## NÁVOD K LABORATORNÍ ÚLOZE Č.

## V2

MĚŘENÍ ČERPAČÍ RYCHLOSTI ROTAČNÍ VÝVĚVY  
METODOU STÁLÉHO OBJEMU

## TEORETICKÝ ÚVOD

Při měření čerpací rychlosti vývěv metodou stálého objemu se postupuje tak, že zkoušená vývěva začíná čerpat zkušební vakuovou komoru od počátečního tlaku a čerpá až do dosažení tlaku mezního. Ve vhodně zvolených časových intervalech se odečítá tlak ve vakuové komoře a z naměřených hodnot se sestaví závislost tlaku na době čerpání. Ve druhém kroku se tyto výsledky použijí k výpočtu čerpací rychlosti v jednotlivých změřených bodech a sestaví se závislost čerpací rychlosti na tlaku.

Definiční vztah čerpací rychlosti

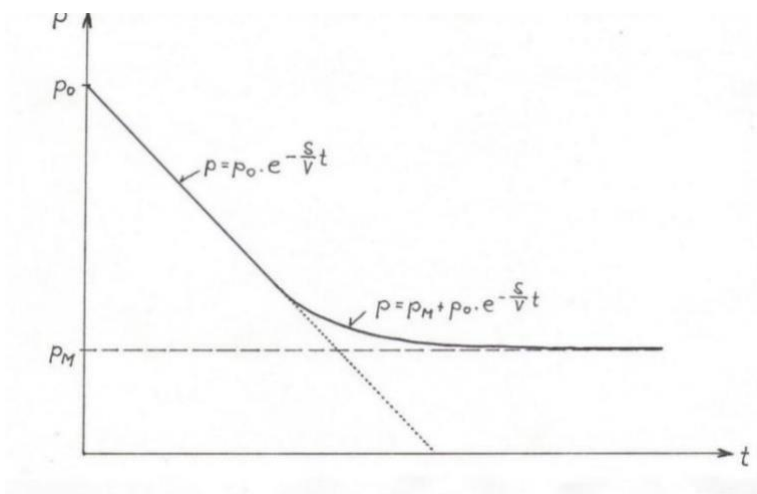
$$S = \frac{dV}{dt} , \quad (1)$$

kde  $dV$  je velikost objemu vyčerpaného plynu za čas  $dt$ , nelze přímo použít, protože během čerpání se snižuje tlak a z objemu  $V$  se tedy ve stejných časových intervalech vyčerpá různé množství plynu. Proto musí být zohledněn skutečný průběh čerpání, jenž lze vyjádřit vztahem

$$p_t = p_M + p_0 \cdot \exp - \frac{S}{V} \cdot t \quad (2), \text{ kde}$$

$p_t$	[Pa]	tlak (ve zkušební komoře) v čase $t$ ,
$p_M$	[Pa]	mezní tlak zkoušené vývěvy (při dané konfiguraci),
$p_0$	[Pa]	počáteční tlak (v čase $t = 0$ ),
$S$	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	čerpací rychlost zkoušené vývěvy,
$V$	[m <sup>3</sup> ]	objem zkušební komory,
$t$	[s]	doba čerpání (od začátku čerpání).

Tento vztah již zohledňuje nedokonalost systému, která se projeví zpětným proudem plynu, a tlak v systému neklesne pod určitou hodnotu ani po velmi dlouhé době čerpání. Tato hodnota se nazývá mezní tlak. Oba výše zmíněné kroky nyní probereme trochu podrobněji.



Obr. V 2.1: Průběh čerpání v čase

## 1. Měření závislosti tlaku ve zkušební komoře na době čerpání

Především budeme předpokládat, že počáteční tlak je tlak atmosférický a namísto  $p_0$  budeme psát  $p_{ATM}$ . Zkušební komora musí mít dostatečně velký známý objem, aby se tlak při čerpání neměnil příliš rychle, což je důležité hlavně při ručním zaznamenávání tlaku. Příliš velký objem také není žádoucí, protože k dosažení mezního tlaku by bylo třeba příliš dlouhého času. K získání hodnověrných výsledků je třeba, aby byla vývěva zahřátá na pracovní teplotu, proto musí před započítáním vlastního měření 20 až 40 minut běžet (podle velikosti vývěvy).

Vlastní získání hodnot může záviset na stupni automatizace použitého vybavení. Obecně je možné odečítat tlak v pravidelných časových intervalech, nebo při předem zvolených tlacích odečítat dobu čerpání. Volba intervalů, zejména při smyslovém odečítání, může mít vliv na přesnost získaných hodnot, a následně výsledných vypočtených hodnot čerpacích rychlostí.

Získané hodnoty tlaků a odpovídajících časů se zapíší a následně se vynesou jako závislost  $p = f(t)$  do grafu v logaritmických stupnicích, nejlépe prostřednictvím procesoru excel.

## 2. Výpočet čerpacích rychlostí - stanovení závislosti čerpací rychlosti na tlaku

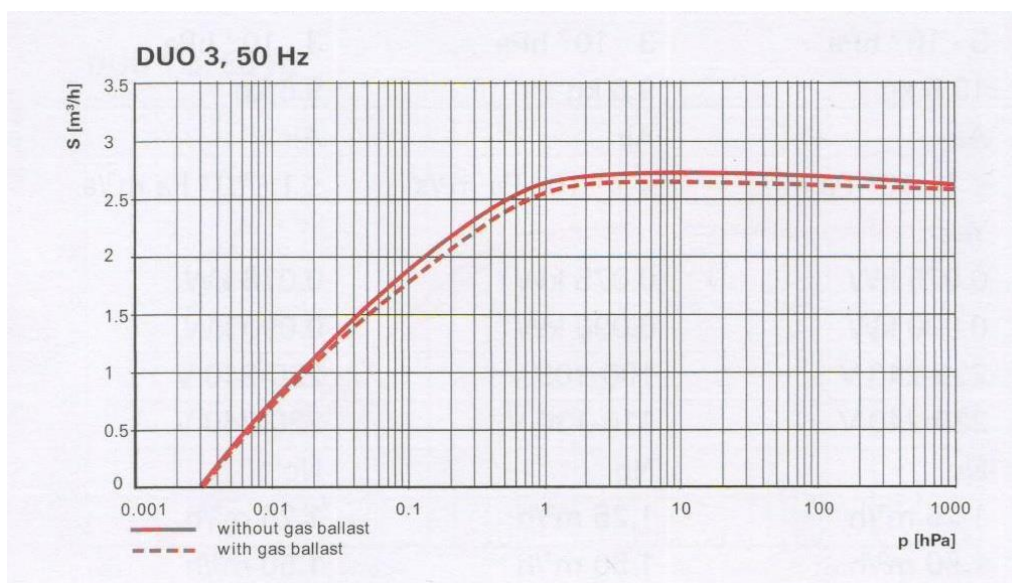
Změřením průběhu čerpání v čase byly získány údaje potřebné k výpočtu čerpací rychlosti. Ze vztahu (2) se pomocí běžných matematických operací vyjádří čerpací rychlost:

$$S_{(p_1; p_2)} = \frac{V}{t_2 - t_1} \cdot 2,3 \cdot \log \frac{p_1 - p_M}{p_2 - p_M} \quad (3).$$

Vztah (3) se použije pro výpočet čerpací rychlosti v jednotlivých intervalech času a tlaku.

První interval je tvořen časem  $t_1 = 0$ , jemuž přísluší  $p_1 = p_{ATM}$  a prvním změřeným časem v průběhu čerpání  $t_2$ , jemuž přísluší tlak  $p_2$ . Vypočtenou hodnotu pak přisoudíme hodnotě tlaku na začátku intervalu, tj.  $p_{ATM}$ . Další hodnota se vypočítá z následujícího intervalu, atd. (viz též bod 15 postupu měření).

Na obr. V 2.2 jsou typické průběhy čerpací rychlosti na tlaku pro dvoustupňovou rotační vývěvu DUO 3. Je patrné, že čerpací rychlost se v průběhu čerpání postupně snižuje, až při dosažení mezního tlaku je efektivní čerpací rychlost nulová. Vývěva sice stále čerpá, ale její čerpací účinek je v rovnováze s proudem plynu dostávajícím se do vývěvy vlivem nedokonalostí těsnění a škodlivých prostorů. Měření čerpací rychlosti metodou stálého objemu je při nižších tlacích ovlivněna desorcí ze stěn měřicího objemu a je proto vhodná jen pro primární vývěvy.



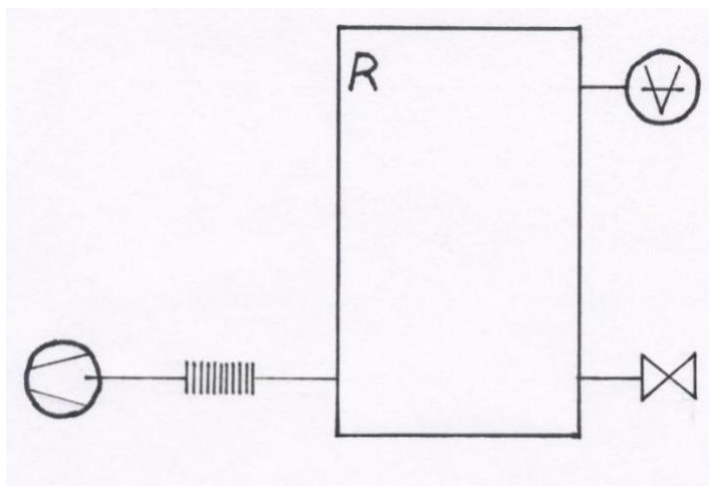
Obr. V 2.2: Příklad průběhu čerpací rychlosti dvoustupňové rotační vývěvy v závislosti na tlaku.

Poznámka: je to vývěva DUO 3, která je velmi podobná vývěvě měřené v úloze V2.

## ZADÁNÍ

- 1) Změřte závislost tlaku ve zkušební komoře na době čerpání zkoušené vývěvy. Sestavte tabulku naměřených hodnot a sestrojte graf (obě osy logaritmické).
- 2) Vypočítejte závislost čerpací rychlosti na tlaku a sestrojte graf (vodorovná osa (tlak) logaritmická, svislá osa (čerpací rychlost) lineární).

## SCHÉMA



Obr. V 2.3: Schéma zapojení při měření čerpací rychlosti primární vývěvy metodou stálého objemu

*Poznámka k měřicí sestavě: Naše sestava neobsahuje ventil oddělující vývěvu od komory. Z toho důvodu se musí vývěva vypínat (přičemž se pochopitelně zavzdušní a také trochu ochladí).*

## POMŮCKY

- Měřicí sestava sestávající z následujících prvků:
  - zkušební vakuová komora se známým objemem  $V = 50 \text{ L}$  (šedý zvon),
  - vakuometr TPG 202, výrobce Pfeifer Vacuum Austria,
  - zavzdušňovací ventil,
  - propojovací prvky,
  - zkoušená vývěva: DUO 2,5, výrobce Pfeiffer Vacuum Austria,
- stopky,
- PC nebo tablet s programem excel (není-li k dispozici vlastní notebook, zapíše se hodnoty do sešitu a zpracování se provede doma).

## POSTUP MĚŘENÍ

### Příprava aparatury - kontrola stavu (připraví vyučující)

1. Hadice výfuku rotační vývěvy se vystrčí z okna.
2. Přístroje se připojí k elektrické síti prostřednictvím pevně instalované prodlužovačky.
3. Zavzdušňovací ventil se uzavře.
4. Zapne se vakuometr TPG 202 v módu kontinuálního odečítání.
5. Spustí se rotační vývěva a nechá se čerpat alespoň 30 minut.
6. Připraví se tabulka pro 40 měření– vyplní se datum, jména studentů, mezní tlak, ...

### Měření - získání dat

7. Vypne se rotační vývěva.
8. Zavzdušní se vakuová komora.

9. Odečte se hodnota atmosférického tlaku.
10. Zavzdušňovací ventil se uzavře.
11. Spustí se rotační vývěva a současně se spustí stopky. Během čerpání se ve stanovených intervalech odečítá čas a tlak. Volbu intervalů odečítání určí vyučující, buďto
  - v určených časech se odečítá tlak (prvních 20 minut s intervalem 1 minuta, dále pak 2 minuty),
  - při určených tlacích se odečítá čas (při hodnotách 6,5 - 4 - 2,6 - 1,6 - 1 v každé dekádě).
12. Měření ukončete po dosažení mezního tlaku - obvykle po 45 minutách čerpání.
13. Tabulka změřených hodnot bude obsahovat tlaky a příslušné doby čerpání (v excelu je vhodnější vytvořit tabulku ve svislé poloze).

Číslo měření	1	2	3								41
Čas [min]	0										
tlak [Pa]											
S [m <sup>3</sup> /hod]											

### VYHODNOCENÍ ZMĚŘENÝCH DAT

14. Na základě změřených hodnot vytvořte **graf závislosti tlaku na době čerpání**,  $p = f(t)$ .  
Graf vytvořte v novém listě, tlak i čas v logaritmických stupnicích.
15. Pro změřené tlaky proveďte **výpočet čerpací rychlosti vývěvy** při jednotlivých intervalech tlaků podle vzorce (3).  
První interval tvoří čas  $t_1 = 0$ , jemuž přísluší  $p_1 = p_{ATM}$  a první změřený čas v průběhu čerpání  $t_2$ , jemuž přísluší tlak  $p_2$ . Druhý interval je tvořen časy ( $t_2$ ;  $t_3$ ) a tlaky ( $p_2$ ;  $p_3$ ) a čerpací rychlost se počítá pro tlak  $p_2$ , a takto se pokračuje dál.  
Všeobecné doporučení:  
Poslední tlak použitý pro výpočet čerpací rychlosti musí být dostatečně vyšší než mezní tlak (nejméně o půl řádu), protože vlivem pomalých změn tlaků a malého rozdílu tlaku vůči meznímu tlaku dochází ke značným nepřesnostem.  
Pro rotační vývěvy je obvyklou jednotkou čerpací rychlosti [m<sup>3</sup>/hod], tzn., že vzorce musí obsahovat převod minuty – hodiny.
16. Na základě vypočtených hodnot vytvořte **graf závislosti čerpací rychlosti vývěvy na tlaku**,  $S = f(p)$ . Graf vytvořte v novém listě. Čerpací rychlost vynášejte v lineární stupnici, tlak v logaritmické stupnici.)

### ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Podkladem pro zpracování výsledků jsou **vlastní změřené hodnoty**. Výsledky měření předloží studenti na konci laboratorního cvičení vyučujícímu ke kontrole.

Hlavním výstupním dokumentem bude školní formulář. Výsledky měření mohou být buďto včleněny do protokolu nebo mohou být samostatnou přílohou.

Při hodnocení

- Porovnejte teoretickou (katalogovou) závislost čerpací rychlosti na tlaku se získanými výsledky, zhodnoťte, do jakého tlaku si udrží vývěva nominální čerpací rychlost.
- Pokuste se zhodnotit přesnost měření v blízkosti atmosférického tlaku a v blízkosti mezního tlaku.
- Porovnejte výsledky měření dvou vakuometrů (pokud se budou měřit).
- Uveďte jakékoli vlastní postřehy a zkušenosti.