

# Měření průtoku v soustavách stlačeného vzduchu



## MĚŘENÍ PRŮTOKU v soustavách stlačeného vzduchu



### Proč je tak důležité měřit průtok stlačeného vzduchu?

#### Protože z něj zjistíme:

- výkonnost kompresorů
- spotřebu stlačeného vzduchu
- úniky vzduchu netěsnostmi

#### Není průtok jako průtok

Slovem průtok plynu lze označit v podstatě tři různé veličiny:

- **rychlostní průtok** (m/s) – střední rychlost proudění měřeného média
- **hmotnostní průtok** (kg/s) – hmotnost vzduchu, který proteče potrubím za jednotku času
- **objemový průtok** (m<sup>3</sup>/h) – objem tekutiny, který proteče potrubím za jednotku času t.

#### Objemový průtok jako měřítko výkonu kompresoru

Objemový průtok najdeme v katalogových listech kompresorů a označuje vlastně výkon kompresoru. U malých kompresorů se používá jednotka l/min, pro velké kompresory jednotka m<sup>3</sup>/h (1 m<sup>3</sup> = 1 000 l). Na obrázku je výřez obrazovky e-shopu [www.kompresory-vzduchotechnika.cz](http://www.kompresory-vzduchotechnika.cz), kde je objemovým průtokem vyjádřeno množství vzduchu nasávané z atmosféry a množství vzduchu proudící do vzdušníku (plnicí množství).

TYP	Max.přetlak (bar)	Jmen. otáčky (1/min)	Nasávané množství (l/min)	Plnicí množství (l/min)	Příkon (kW)	Objem TN (l)	Počet válců	ELnapětí (V/Hz)	Výpust. koh.	Hlučn.
<b>B1,1/23</b>	8	2 850	194	140	1,1	23	1	230/50	G 1/4"	81
<b>B1,5/12</b>	8	2 850	240	174	1,5	12	1	230/50	G 1/4"	81
<b>B2/25</b>	8	2 850	300	218	2	25	1	230/50	G 1/4"	81
<b>B4/46</b>	10	2 850	550	435	4	46	2V	230/50	G 1/4"	81

#### Objemový průtok nám pomůže také porovnat výkony jednotlivých kompresorů.

Můžeme si vypočítat specifický výkon,  $P_{spec}$  – napoví nám, kolik kW je potřeba na výrobu jednotkového objemového průtoku 1 m<sup>3</sup>/min.

$$P_{spec} = \frac{\text{příkon (kW)}}{\text{objemový průtok } \left(\frac{m^3}{min}\right)}$$

#### Pozor na porovnávání objemových průtoků – důležitá je také teplota, tlak a místo měření

Objemové průtoky vzduchu můžeme mezi sebou porovnávat, jen pokud jsou vztahy ke shodnému tlaku a shodné teplotě. A tak si musíme dát pozor, pro jaké podmínky daná hodnota průtoku platí.

#### Přepočítání na normované podmínky

Průtoky a množství plynu se dají porovnat jen tehdy, jestliže se přepočítají na normované podmínky, tlak a teplotu. Používají se však dvě normy

#### Normované podmínky pro objemový průtok:

Norma	Teplota	Tlak	Příklad pro průtok Q
Fyzikální norma DIN 1343	0 °C	1,013 bar	Q = 100 m <sup>3</sup> /h
Technická norma pro stlačený vzduch DIN 1945, ISO 1217	20 °C	1,000 bar	Q = 108,7 m <sup>3</sup> /h

Rozdíl mezi oběma průtoky při dvou různých normovaných podmínkách je 8,7 %.

Měříte-li objemový průtok v podmínkách, které se podstatně liší od těch normovaných? Až po přepočtu z nich můžete usuzovat na množství nasávaného plynu, spotřebovaného plynu, nebo množství uniklého plynu z titulu netěsnosti.

#### Vzorec pro přepočítání:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$p$  = absolutní tlak v barech,  $V$  = objem,  $T$  = absolutní teplota v K (absolutní teplota v K = teplota v °C + 274,15).

#### Vlastnosti plynů dle rovnice

Důležitou vlastností plynů je, že **s růstem teploty roste jejich objem** – toho se využívá např. v teplovzdušných balónech. Nejjednodušejší popisuje uvedené vlastnosti a z nich plynoucí chování plynů **rovnice ideálního plynu**

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

kde  $p$  je tlak,  $V$  objem,  $m$  hmotnost,  $R$  plynová konstanta,  $T$  absolutní teplota v K (absolutní teplota v K = teplota ve °C + 274,15)

Z rovnice plyne, že objem (měřený např. v krychlových metrech) a hustota plynu se budou s tlakem a teplotou měnit, avšak jeho hmotnost (v kilogramech, librách atd.) se nezmění (zákon zachování hmotnosti).

#### Co se děje při stlačování vzduchu

Při stlačování roste tlak a hustota a snižuje se objem vzduchu. Beze změny zůstává hmotnost – pro tu platí zákon o zachování hmoty.

10 m<sup>3</sup>

→

MSB 22  
MAGNUM

→

1 m<sup>3</sup>

Okolní atmosféra	Kompressor	Podmínky pro stlačení*
tlak = 1 bar <sub>abs</sub> hustota = 1,2 kg/m <sup>3</sup> objem: 10 m <sup>3</sup> hmotnost: 12 kg	zvýšení tlaku: 10 bar	tlak = 10 bar <sub>g</sub> hustota = 12 kg/m <sup>3</sup> objem: 1 m <sup>3</sup> hmotnost: 12 kg
provozní objemový průtok: 10 m <sup>3</sup> /h hmotnostní průtok: 12 kg/h normovaný objemový průtok: 10 m <sup>3</sup> /h		provozní objemový průtok: 1 m <sup>3</sup> /h hmotnostní průtok: 12 kg/h normovaný objemový průtok: 10 m <sup>3</sup> /h
Vidíme, že objemový průtok po stlačení je potřeba přepočítat na normované podmínky.		* = po redukci teploty

#### Hmotnost vzduchu zůstává tedy stejná. Co to znamená pro měření průtoku?

Na obrázku vidíme rozdíl mezi měřením hmotnostním a objemovým měřidlem:

- Teplotní hmotnostní průtokoměr zjišťuje průtok podle hmotnosti, a ukáže vždy stejnou hodnotu bez ohledu na teplotu a tlak.
- Lopatkový průtokoměr měří rychlost proudění, která se podle rozměru potrubí přepočítává na objemový průtok. Naměřenou hodnotu je potřeba přepočítat na normované podmínky

Okolní atmosféra

p = 1 bar<sub>abs</sub>  
hustota = 1,2 kg/m<sup>3</sup>  
objem: 10 m<sup>3</sup>  
hmotnost: 12 kg

→

MSB 22  
MAGNUM

kompressor  
zvýšení tlaku na 10 bar

→

podmínky pro stlačení\*

p = 10 bar<sub>g</sub>  
hustota = 12 kg/m<sup>3</sup>  
objem: 1 m<sup>3</sup>  
hmotnost: 12 kg

Výsledek měření:	Výsledek měření:
teplotní hmotnostní (T-H) průtokoměr: 10 m <sup>3</sup> /h lopatkový průtokoměr: 10 m <sup>3</sup> /h	T-H průtokoměr: 10 m <sup>3</sup> /h lopatkový průtokoměr: 1 m <sup>3</sup> /h * = po redukci teploty

### Způsoby měření průtoku

#### a) Hmotnostní průtokoměry

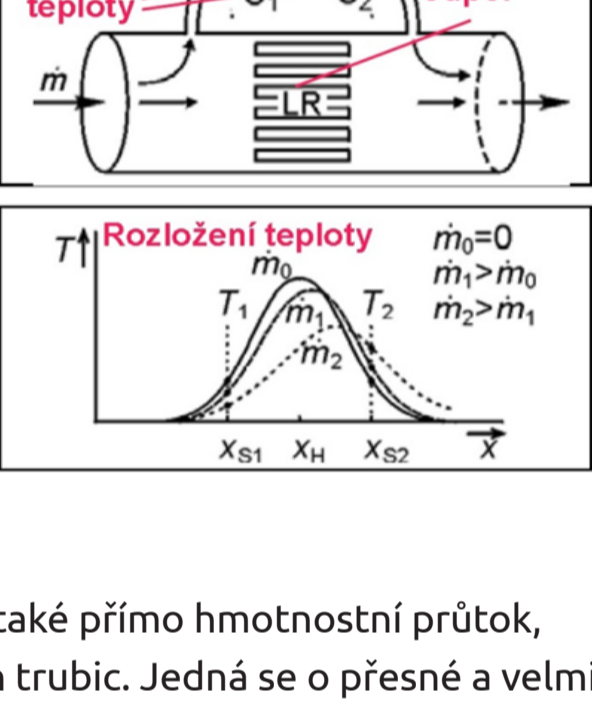
Výhodou těchto průtokoměrů je, že měří přímo hmotnostní průtok nezávisle na tlaku a teplotě, takže není potřeba nic přepočítávat.

#### Tepelné hmotnostní průtokoměry

Do proudu vzduchu se instaluje senzor se sestává ze dvou platinových rezistorů

- R1 měří teplotu plynu
- R2 je vyhříván pro dosažení konstantní teploty a je ochlazován proudícím plynem
- Čím je větší potřeba udržovat teplotu R2 konstantní, tím je větší hmotnostní průtok

Výkon potřebný k udržení tělíska na této teplotě je úměrný **hmotnostnímu průtoku plynu**

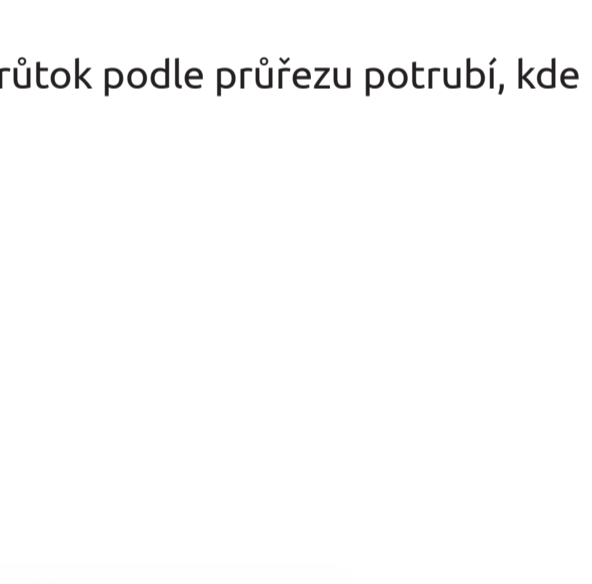


#### Kalorimetrické průtokoměry

V obtokovém kanálku vyhříváním kanálu se měří oteplení vzduchu v úseku mezi dvěma odporovými snímači teploty S<sub>1</sub> a S<sub>2</sub>

Zdroj tepla H je umístěn do středu kanálu.

- Při **nulovém průtoku** m<sub>0</sub> se teplota šíří rovnoměrně na obě strany od zdroje tepla.
- Při **proudění vzduchu** m<sub>1</sub> je teplo od topného tělíska H unášeno ve směru změny k jedné ze snímačů teploty, které jsou umístěny na obou stranách od ohříváče.
- Tím dojde k rozvážení můstku a rozdílové napětí je zesíleno a tento výstup snímače je úměrný proudění média.



#### Coriolisovy průtokoměry

Mezi hmotnostní měřidla patří také – Coriolisovy průtokoměry. Ty měří také přímo hmotnostní průtok, a to zjišťováním fázového posuvu pohybů vnutčené kmitajících měřících trubíc. Jedná se o přesné a velmi drahé přístroje

#### b) Rychlostní průtokoměry

Měří rychlost proudění vzduchu. Z rychlosti se dá vypočítat objemový průtok podle průřezu potrubí, kde proudí měřené medium.

#### Průtokoměry turbínkové a lopatkové

- proudící vzduch roztáčí turbínou, lopatkovou nebo šroubové kolo
- rychlost otáčení je úměrná střední rychlosti proudění

směr toku

počítadlo impulsů

turbínka nebo šroubové kolo

lopatkové kolo

#### Vírové průtokoměry

Do potrubí se vloží tělísko a to vyvolá změnu tlaku a rychlosti. Vyrovaná změna je snímána např. piezoelektrickým, nebo kapacitním diferenčním snímačem a převedena na elektrický signál. Tělísko ve vírových průtokoměrech může mít různý tvar a různé uložení.

rychlost roste tlak klesá

směr toku

vložené tělísko

rychlost klesá tlak roste

snímač

vložené tělísko

#### Ultrazvukový průtokoměr

Rychlost proudění má vliv na to, jak rychle se v proudícím médiu šíří ultrazvukové vlnění.

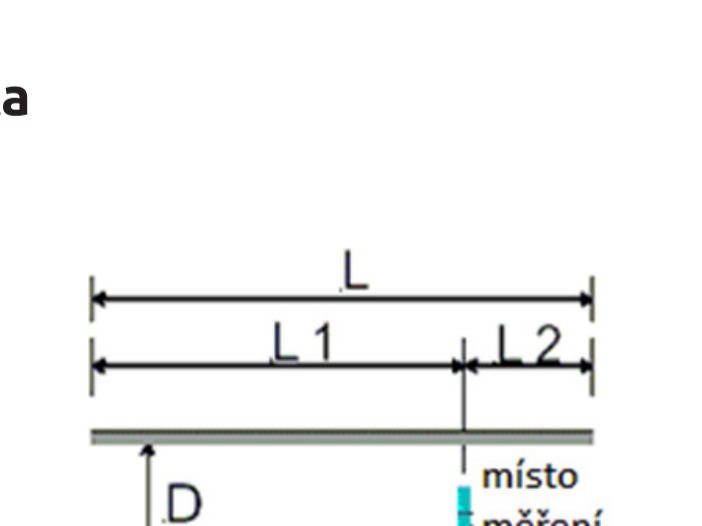
- Na potrubí se za sebou umístí vysílače V<sub>1</sub> a V<sub>2</sub> a proti nim dva přijímače P<sub>1</sub> a P<sub>2</sub> ultrazvukového vlnění.
- Jeden vysílač V<sub>1</sub> vysílá po směru proudění a druhý V<sub>2</sub> proti směru.
- Měří se čas průchodu vlny
- Rozdíl časů potřebných k průchodu médiem je úměrný rychlosti proudění.



#### Průtokoměry s měřením tlakové diference

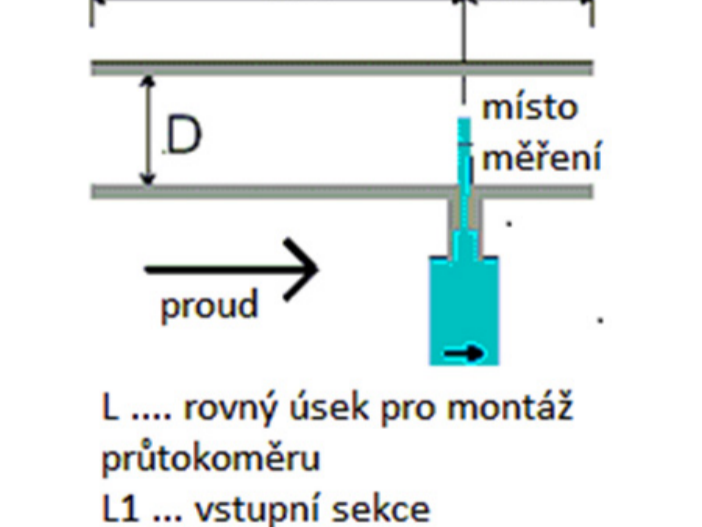
##### a) Měření se clonou:

- Průřez potrubí je zúžen škrtkicím prvkem: clonou, dýzou, Venturiho dýzou.
- Před a za zúžením se měří tlak diferenčním tlakoměrem.
- Rozdíl tlaku je úměrný rychlosti proudění.



##### b) Měření se sondou

- Víceotvorová sonda sonda se zasouvá do potrubí napříč proudící látce.
- K měření se využívá změna kinetické energie proudící tekutiny na energii tlakovou
- Dynamický tlak p<sub>dyn</sub> se spočítá z naměřeného celkového tlaku p<sub>c</sub> a statického tlaku p<sub>stat</sub>:



$$p_{dyn} = p_c - p_{stat}$$

#### Sestava pro měření se skládá z několika prvků:

- škrtkicí orgán
- clona, dýza, Venturiho dýza, Pitotova trubice
- diferenční tlakoměr
- snímání rozdílu tlaku na škrtkicím elementu
- ventilová souprava
- umožňuje připojení diferenčního tlakoměru
- propočítávání a odkalování signálního potrubí
- odvzdušnění signálního potrubí

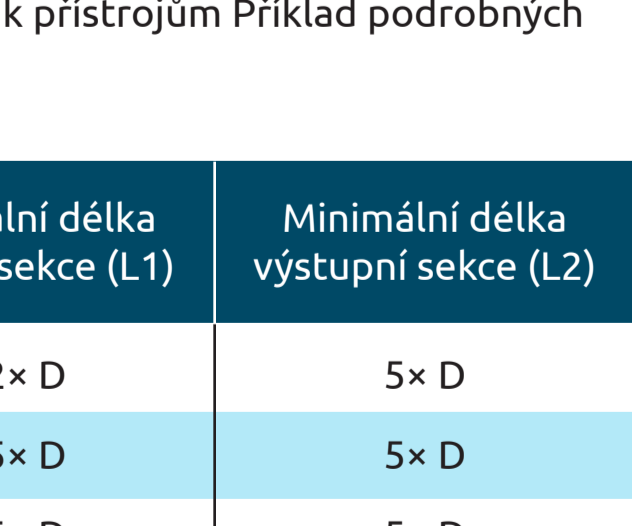
Na trhu jsou také **kompaktní měřidla**, která jsou vybavena clonou, ventilovým připojením a diferenčním snímačem tlaku a také inteligentní převodníkem

#### Instalace průtokoměrů – výběr vhodného místa

Pro instalaci průtokoměru vyberte rovné místo bez tvarovek, kde nesmí být žádné turbulence.

Na obrázku vidíme:

- úsek potrubí před místem měření – vstupní sekce L1
- úsek potrubí za místem měření – výstupní sekce L2



Minimální délka výstupní sekce L2 má být obvykle **pětina násobkem průměru potrubí**, L2 = min. 5 × D.

Minimální délka vstupní sekce L1 se liší u jednotlivých průtokoměrů:

- tepelné hmotnostní průtokoměry L1 = min. 15 × D
- vírové průtokoměry L1 = min. 20 × D
- ultrazvukové průtokoměry L1 = min. 10 až 20 × D
- lopatkové a turbínkové průtokoměry L1 = min. 15 až 20 × D

Vstupní sekce musí být delší, až 50 × D, jestliže je na potrubí instalována armatura, nebo je na něm oblouk či zúžení.

Délky úseků před a za místem měření si vždy najděte v dokumentaci k přístrojům Příklad podrobných instrukcí pro tepelné hmotnostní průtokoměry:

Problémy s průtokem před měřicí sekci	Minimální délka vstupní sekce (L1)	Minimální délka výstupní sekce (L2)
Mírné ohnutí trubky (oblouk <90°)	12 × D	5 × D
Redukce (zúžení trubky ve směru k měřicí sekci)	15 × D	5 × D
Expanze (rozšíření trubky ve směru k měřicí sekci)	15 × D	5 × D
Oblouk 90° nebo T-kus	15 × D	5 × D
Dva oblouky 90° za sebou	20 × D	5 × D
Dva oblouky 90° trojdimenzionální změna směru potrubí	35 × D	5 × D
Uzavírací ventil	45 × D	5 × D

#### Instalace průtokoměrů – vytvoření měřicího místa

Pro průtokoměr je vždy potřeba vytvořit měřicí místo. V dokumentaci k přístroji najdete podrobný popis, jak měřicí místo vytvořit. Zde uvádíme příklad měřicího místa tepelné hmotnostního průtokoměru:

##### 1. Zvolte pro měřicí místo jednu z těchto možností:

- A: Navařit návarek se závitem**
- B: Namontovat montážní límeček**

1

2

Detail límeček

##### 2. Na návarek nebo montážní límeček instalujeme kulový kohout

##### 3. Vyvrtejte díru do potrubí (za pomoci tlumiče)

3

4

##### 4. Umístíte průtokoměr přesně do středu trubky (pomocí vyřetě stupnice)

#### Kalibrace průtokoměrů

Průtokoměry využívané pro komerční účely musí být kalibrovány dle zákona o metrologii. V kalibračních laboratořích prověří pomocí přesnějšího měřidla, zda je přesnost průtokoměru vyhovující.