

# Meranie prietoku, pretečeného množstva (4)

## Prietokomery využívajúce tlakovú stratu tekutiny

Prietokomery využívajúce tlakovú stratu tekutiny patria pre svoju jednoduchú konštrukciu a obsluhu medzi najpoužívanejšie. Ich nevýhodou je generovanie tlakovej straty v potrubnom systéme. Používajú sa na meranie prietoku kvapalín aj plynov. Patria sem dve veľké skupiny prietokomerov – prierezové a kolenové.

### Prierezové prietokomery

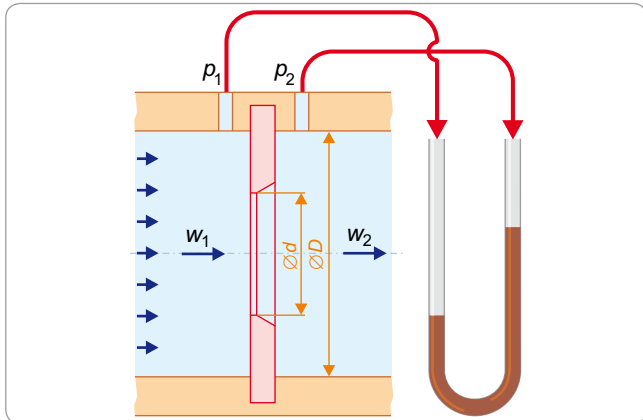
V prierezových prietokomeroch sa meria rýchlosť prúdiacej tekutiny  $w$  a zo známej geometrie potrubia sa stanovuje objemový (resp. hmotnostný) prietok. Rýchlosť prúdiacej tekutiny (resp. jej pretečené množstvo) sa stanovuje na základe zmeny tlakovej energie tekutiny na kinetickú energiu. K zmene dochádza na škrtiacom orgáne pevne zabudovanom v potrubí, kde pri náhlom zúžení prietokového prierezu nastane miestne zvýšenie kinetickej energie. Niektoré škrtiace orgány sú normalizované, teda norma definuje ich rozmery aj vzťah na výpočet prietoku z nameranej tlakovej straty. Patrí medzi ne clona, dýza a Venturiho dýza. Medzi nenormalizované škrtiace orgány patrí dvojité clona, štvrtkruhová dýza, segmentová clona, meracia kapilára a pod. Používajú sa najmä na špeciálne účely, napr. v sťažených podmienkach či pri zvýšených nárokoch na prostredie.

Nutnou podmienkou použitia prierezových prietokomerov je stály (resp. pomaly sa meniaci) prietok v úplne zaplnenom potrubí. Nehodia sa preto na meranie pulzujúceho prietoku. Takisto výrobcovia uvádzajú určité požiadavky na miesto zabudovania škrtiaceho orgánu, najmä na minimálnu dĺžku priameho potrubia pred škrtiacim orgánom a za ním.

Pri odvodzovaní prietokovej rovnice škrtiaceho orgánu sa vychádza z použitia dvoch rovníc hydrodynamiky:

- z Bernoulliho rovnice,
- z rovnice kontinuity.

Ak je rýchlosť prúdiacej tekutiny pred škrtiacim orgánom  $w_1$  a jej tlak  $p_1$ , za ním poklesne tlak na  $p_2$  a rýchlosť sa zvýši na  $w_2$  (obr. 26).



Obr. 26 Pomery na škrtiacom orgáne

Teoretický objemový prietok sa dá vyjadriť vzťahom:

$$q_v = \frac{c \cdot \varepsilon}{\sqrt{1 - \beta^4}} \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2 \frac{p_1 - p_2}{\rho}} \quad (9)$$

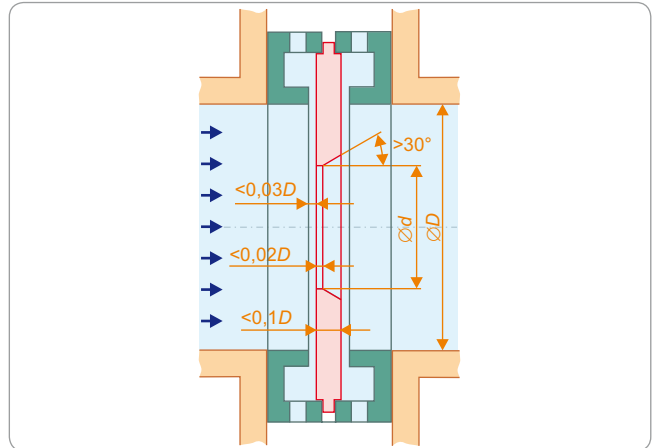
kde  $c$  je prietokový koeficient škrtiaceho orgánu,  $c = f(Re_D, \beta^2, D)$ ,  
 $\varepsilon$  – expanzný koeficient, pre kvapalinu  $\varepsilon = 1$ ,  $\varepsilon = f(\beta^2, \Delta p/p_1, \chi)$ ,  
 $\beta$  – pomer priemerov,  $\beta = d/D$ ,  
 $p_1$  – tlak tekutiny pred škrtiacim orgánom,  
 $p_2$  – tlak tekutiny za škrtiacim orgánom,  
 $\rho$  – hustota meranej tekutiny,  
 $d$  – vnútorný priemer škrtiaceho orgánu,  
 $\chi$  – izoentropický koeficient,  
 $D$  – vnútorný priemer potrubia.

Pre hmotnostný prietok platí:

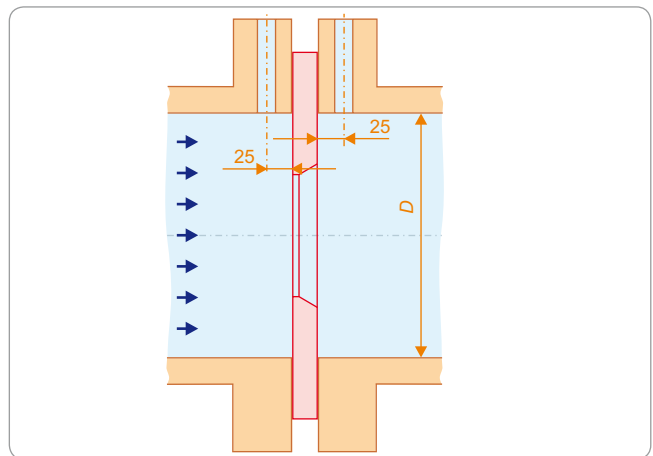
$$q_m = \frac{c \cdot \varepsilon}{\sqrt{1 - \beta^4}} \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2 \rho \cdot (p_1 - p_2)} \quad (10)$$

### Normalizovaná clona

Normalizovaná clona patrí medzi najjednoduchšie a najčastejšie používané škrtiace orgány pre kruhové potrubia (obr. 27). Je to doska so stredovým kruhovým otvorom a ostrou vstupnou nábehovou hranou, zabudovaná kolmo na os potrubia.



Obr. 27 Normalizovaná clona



Obr. 28 Prírubový odber tlaku

Rozmery clony sa odvodzujú podľa priemeru potrubia  $D$ . Normalizovaná clona sa používa pre potrubia s priemerom od 50 mm až do 1 m, pri pomere priemerov  $\beta$  od 0,2 až do 0,75 pri rôznych Reynoldsových číslach.

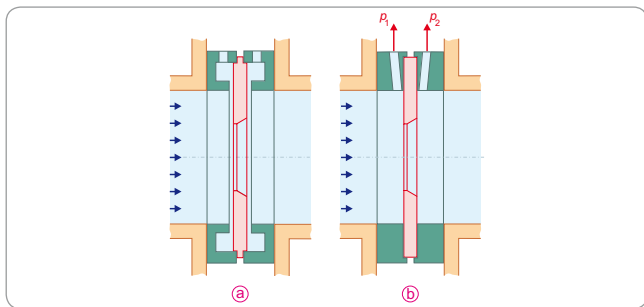
Miesta na odber tlaku sú zabudované pred clonou a za ňou. Norma povoľuje tri typy odberu tlaku:

- prírubový odber (obr. 28),
- kútový odber (obr. 29),
- s odberovými otvormi vo vzdialenosti  $D$  a  $D/2$  – používajú sa najmä pre potrubia, ktorých vnútorný priemer  $D$  presahuje 600 mm (obr. 30).

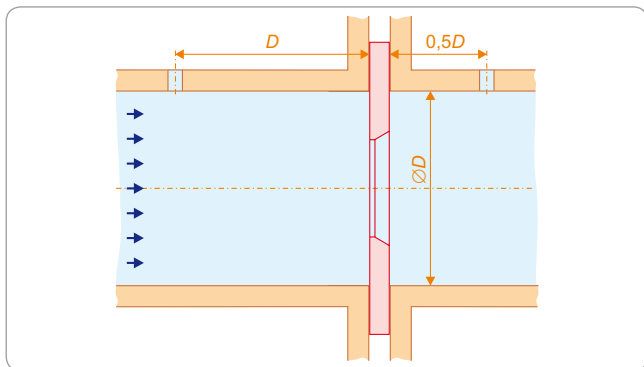
Rôzne typy vyhotovenia prípojok na odber tlaku znázorňuje obr. 31.

Nevýhodou normalizovanej clony je spôsobenie pomerne veľkej trvalej tlakovej straty  $\Delta p_t$ .

$$\Delta p_t = (1 - \beta^2) (p_1 - p_2) \quad (11)$$

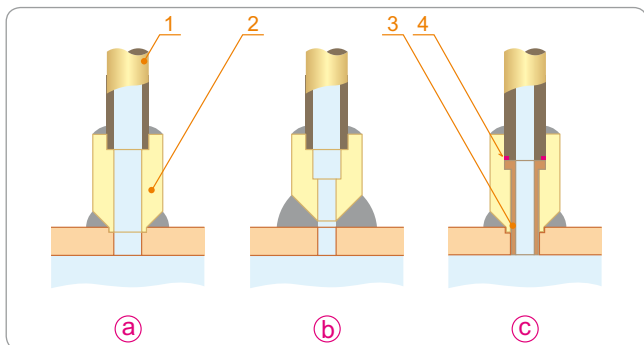


Obr. 29 Kútové odbery tlaku v prípade normalizovanej clony  
a) komorový odber s prstencovou štrbinou, b) bodový odber

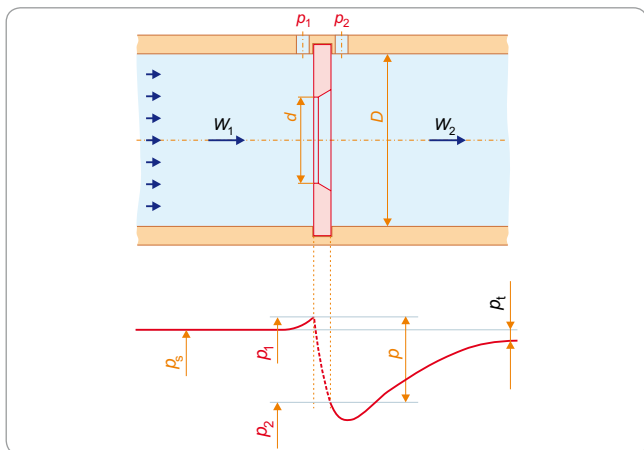


Obr. 30 Vzdialené odbery tlaku pre normalizovanú clonu

Priebeh tlakov v blízkom okolí clony znázorňuje obr. 32. Čím je väčší pomer priemerov  $\beta$ , tým je trvalá tlaková strata menšia.



Obr. 31 Vyhotovenie odberov tlakov  
a) pre teploty do 700 °C, b) s úplným prevarením,  
c) pre teploty nad 700 °C  
1 – odberová rúrka, 2 – nadstavec, 3 – vložka, 4 – tesnenie



Obr. 32 Priebeh tlakov v okolí clony

### Normalizovaná dýza

Vstupná časť dýzy má tvar rotačnej plochy, ktorá prechádza do valcovej plochy a je zakončená ostrou výstupnou hranou. Geometrické

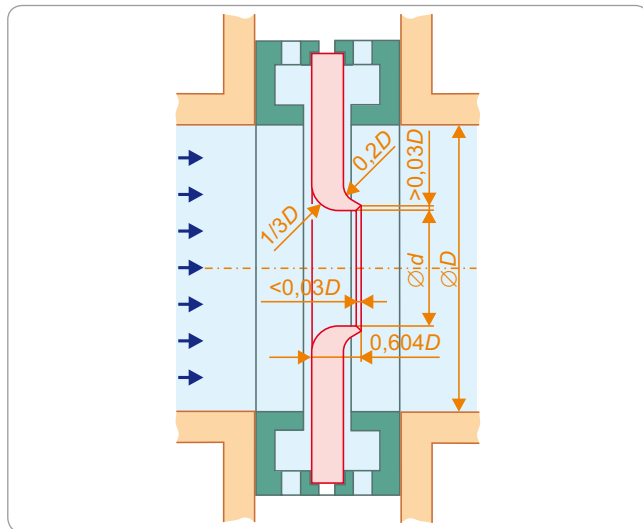
rozmary dýzy sa takisto odvídzajú od priemeru potrubia a musia sa presne dodržiavať. Norma uvádza dva typy normalizovaných dýz:

- 1) normalizovaná dýza ISA 1932 (obr. 33),
- 2) dýza s dlhým polomerom – má predĺženú valcovú plochu.

Trvalá tlaková strata  $\Delta p_t$  sa dá približne vyjadriť vzťahom:

$$\Delta p_t = (1 - 1,4 \beta^2) (p_1 - p_2) \quad (12)$$

Normalizovaná dýza sa používa na meranie prietoku tekutín v potrubíach, ktorých vnútorný priemer sa pohybuje v rozmedzí od 50 do 500 mm pri pomere priemerov  $\beta$  od 0,2 do 0,8 a  $10^4 \leq Re \leq 10^7$ . Oproti clone majú merania menšiu neistotu. Používa sa v energetike pri meraní prietoku pary s vysokou teplotou a tlakom ( $p > 10$  MPa).

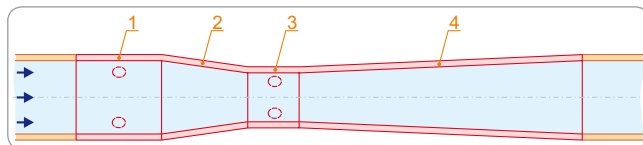


Obr. 33 Normalizovaná dýza ISA 1932

### Normalizovaná Venturiho trubica

Existujú dva typy normalizovaných Venturiho trubíc:

- a) klasická Venturiho trubica (obr. 34),
- b) Venturiho dýza (obr. 35).

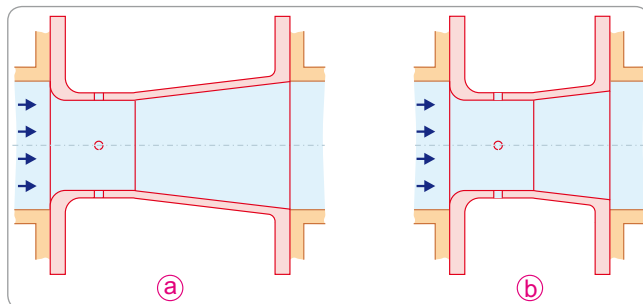


Obr. 34 Normalizovaná Venturiho trubica; 1 – vstupný valec, 2 – kuželový konfúzor, 3 – valcové hrdlo, 4 – kuželový difúzor

Klasická Venturiho trubica sa používa v potrubíach s vnútorným priemerom 50 až 1 200 mm pri pomere priemerov  $\beta$  od 0,3 do 0,75 a Reynoldsovom čísle  $2 \times 10^5 \leq Re \leq 2 \times 10^6$ .

Normalizovaná Venturiho dýza sa skladá z normalizovanej dýzy a z difúzora. Difúzor môže byť čiastočne (obr. 35b) alebo úplne rozvinutý (obr. 35a), s uhlom sklonu od 7° do 30°.

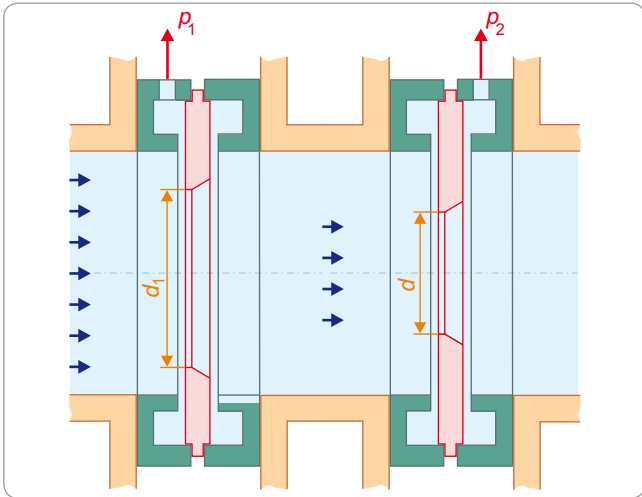
Venturiho dýza sa používa na meranie prietoku tekutín v potrubíach, ktorých vnútorný priemer dosahuje hodnoty od 65 do 500 mm pri pomere priemerov  $\beta$  od 0,316 do 0,775 a  $1,5 \times 10^5 \leq Re \leq 2 \times 10^6$ .



Obr. 35 Normalizovaná Venturiho dýza;  
a) neskrátený difúzor, b) skrátený difúzor

## Dvojitá clona

Dvojitá clona sa používa pri hodnote Reynoldsovho čísla  $2 \times 10^3$  až  $12 \times 10^3$ . Tvoria ju dve clony zaradené za sebou v stanovenej vzdialenosti (obr. 36). Prvá (pomocná) clona má väčší priemer otvoru ako druhá (meracia) clona,  $d_1 > d$ . Postupné zužovanie prúdu meranej tekutiny slúži na jednoznačné určenie hodnoty prietokového koeficienta  $C$ . Nezávislosť koeficienta  $C$  od Reynoldsovho čísla  $Re$  sa dosahuje urýchlením prútu na prvej clone tak, že prúdenie na druhej clone sa dá porovnať s prúdením tekutiny pri veľkých hodnotách  $Re$ .

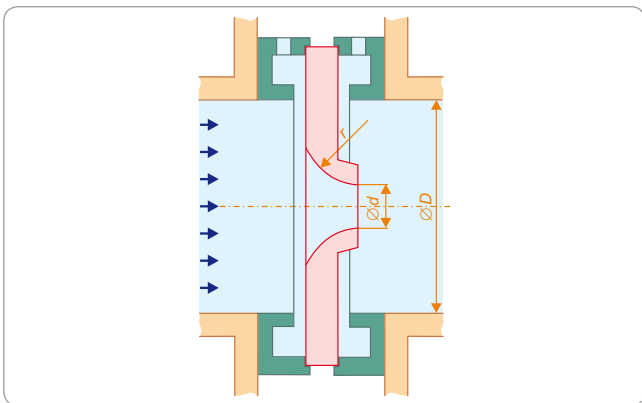


Obr. 36 Dvojitá clona

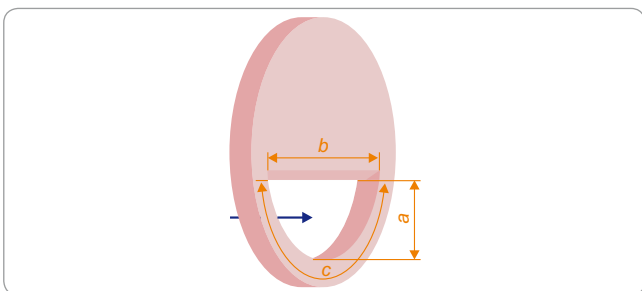
## Štvrtkruhovú dýza

Štvrtkruhovú dýzu predstavuje kombináciu clony a dýzy ISA 1932. Prierez vstupného otvoru má tvar štvrtkružnice. Vstupná časť sa podobá dýze a výstupná časť clone (obr. 37). Používa sa pri hodnote Reynoldsovho čísla od  $5 \times 10^2$  až  $2 \times 10^5$  pri pomere priemerov  $\beta$  od 0,05 do 0,5. Pri väčšej hodnote  $\beta$  sa štvrtkruhovú dýza predlžuje valcovitou časťou.

Štvrtkruhovú dýzu sa používa na meranie prietoku viskózných kvapalín, napríklad vykurovacích olejov pri malých rýchlostiach prúdenia.



Obr. 37 Štvrtkruhovú dýza



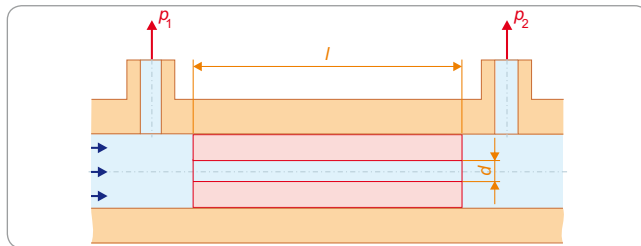
Obr. 38 Segmentová clona

## Segmentová clona

Segmentová clona sa používa na meranie prietoku znečistených tekutín, resp. kalov (obr. 38). Jej prierez tvorí kruhový výsek, pričom v dolnej časti je voľný profil a clonu teda nezanášajú nečistoty.

## Meracia kapilára

Meracia kapilára sa používa na meranie veľmi malých prietokov. Skladá sa z rovnej kapiláry (rúrky) zabudovanej v potrubí (obr. 39). Dĺžka kapiláry  $l$  sa volí tak, aby sa v nej vytvorilo laminárne prúdenie. Kapilára kladie odpor pri prúdení, čím dochádza k tlakovej strate  $\Delta p$ . Meraný objemový prietok  $q_v$  je priamo úmerný tlakovému rozdielu na kapiláre.



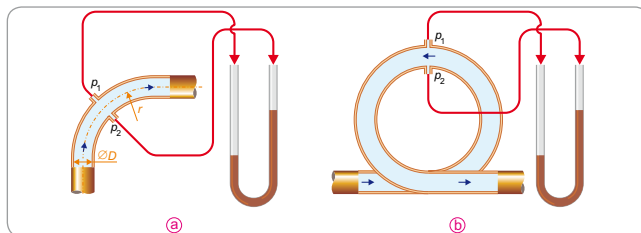
Obr. 39 Meracia kapilára

## Kolenový (odstredivý) prietokomer

Kolenový prietokomer sa používa na meranie prietoku kvapalín, plynov aj pár. Princíp činnosti sa zakladá na zmene tlaku v dôsledku zmeny smeru prúdu tekutiny v zakrivenom kanáli. Kanál je najčastejšie zakrivený do praveho uhla (obr. 40a). Ak má byť splnená rovnica kontinuity, rýchlosť prúdenia tekutiny na vonkajšom polomere zakrivenia musí byť väčšia ako na vnútornom polomere. Rozdielna rýchlosť tekutiny sa prejaví zmenou statických tlakov na vnútornom a vonkajšom polomere zakrivenia. Najväčší tlakový rozdiel  $\Delta p$  je v osi súmernosti zakrivenia, kde sa preto umiestňujú snímače tlaku. Z nameranej tlakovej diferencie sa dá určiť objemový prietok tekutiny.

Bežne sa používajú pre potrubia s vnútorným priemerom od 15 do 500 mm, pričom objemový prietok kvapalín nadobúda hodnoty v rozsahu od 0,05 až do 3 000 m<sup>3</sup>/h a pre plyny od 10 do 10 000 m<sup>3</sup>/h. Teplotný rozsah môže kolísať od 200 °C do 600 °C. Tlaková strata je malá, dovolená chyba merania sa pohybuje v rozsahu od 2 až do 5 % meracieho rozsahu.

Pri meraní prietoku plynov má výsledný tlakový rozdiel pomerne malú hodnotu, a preto sa výhodne používa kruhová slučka (obr. 40b). Tá zaisťuje dokonalé prúdenie na mieste odberu tlaku a odstraňuje skreslenie tlakového rozdielu.



Obr. 40 Kolenový prietokomer; a) konštrukčná schéma, b) kruhová slučka

doc. Ing. Martin Halaj, PhD.

Slovenský metrologický ústav  
Karloveská 63  
842 55 Bratislava 4  
halaj@smu.gov.sk

doc. Ing. Eva Kureková, PhD.

Strojnícka fakulta STU  
nám. Slobody 17  
812 31 Bratislava  
eva.kurekova@stuba.sk