

Regulačné armatúry (1)

Regulačné armatúry sú diaľkovo ovládané zariadenia, ktoré v závislosti od požiadaviek riadiaceho systému regulujú prietok tekutiny v riadenom procese. Na to, aby mohli túto svoju základnú funkciu plniť, musia mať určité vlastnosti, ktoré sú dané predovšetkým vlastnou konštrukciou danej armatúry a jej škrtiaceho systému, ale aj vlastnosťami ovládacieho pohonu. Ďalšou podmienkou je ich korektný návrh.

Základné pojmy

Menovitá svetlosť (DN)

DN – menovitá (nominálna) svetlosť – udáva približnú vnútornú svetlosť vstupného a výstupného hrdla v milimetroch. Vo väčšine prípadov sa používajú regulačné ventily s rovnakou alebo menšou svetlosťou (najmä pri väčšom tlakovom spáde na ventile), ako je svetlosť okolitého potrubia. Menšia svetlosť ventilu je výhodná predovšetkým pri náročných aplikáciách, kde sa týmto spôsobom môžu ušetriť značné finančné prostriedky. K potrubiu potom treba pred ventil aj zaň pripojiť redukcie. Tieto redukcie (miestne straty) by sa tiež mali zohľadniť v hydraulickom výpočte siete.

Menovitý tlak (PN)

PN – menovitý tlak (tlakový stupeň) – udáva tlakovú triedu armatúry. Vo väčšine prípadov pri vykurovaní je rovnaká s maximálnym pracovným pretlakom armatúry v baroch. Napriek tomu treba vždy overiť hodnotu dovoleného pracovného pretlaku, ktorú udáva výrobca, lebo tá závisí od pracovnej teploty média a materiálu, z ktorého sú vyrobené hlavné diely armatúry. Pri vyšších teplotách môže táto hodnota klesnúť až na zlomok PN. Prípustné hodnoty

udávajú príslušné normy. Väčšina výrobcov armatúr však pri svojich výrobkoch uvádza aj garantované tlakové parametre v závislosti od teploty.

Maximálna pracovná teplota

Maximálna pracovná teplota je výrobcom stanovená maximálna teplota média, pri ktorej môže byť armatúra v prevádzke. Jej hodnota súvisí nielen s vyššie uvedeným PN, ale zvyčajne ju ovplyvňujú aj ďalšie súčasti, napr. typ upchávk a použitý pohon armatúry.

Prietokový súčiniteľ

Menovitý prietokový súčiniteľ je prvým parametrom, ktorý je typický pre regulačnú armatúru. Jeho veľkosť udáva charakteristický prietok danou armatúrou za presne definovaných podmienok pri menovitom (100 %) zdvih. S jeho pomocou možno spočítať prietok pracovného média alebo tlakovú stratu na armatúre pri všeobecných pracovných podmienkach. Bežne sa používajú súčinitele Kvs, Avs a Cvs.

Prietoková charakteristika

Prietoková charakteristika udáva funkčnú závislosť okamžitého prietokového súčiniteľa od polohy uzáveru regulačnej armatúry. To znamená, že napr. pri lineárnej prietokovej charakteristike možno pri inak nemenných podmienkach (predovšetkým tlakových pomeroch a vlastnostiach média) očakávať lineárnu závislosť medzi prietokom média a zdvihom regulačného ventilu. Bežne sa vyrábajú ventily s prietokovou charakteristikou lineárnou a rovnopercenťnou.

Regulačný pomer

Regulačný pomer je pomer najväčšieho prietokového súčiniteľa k najmenšiemu prietokovému súčiniteľu. Prakticky je to potom pomer (za inak rovnakých definovaných podmienok) najväčšieho regulovateľného prietoku k najmenšiemu regulovateľnému prietoku. Najmenší alebo tiež minimálny regulovateľný prietok je vždy väčší ako nula.

Netesnosť

Z ďalších charakteristických parametrov sa veľmi často diskutuje o hodnote maximálnej netesnosti v uzavretom stave. Pri regulačných ventiloch sa táto hodnota väčšinou udáva v percentách max. prietoku (Kvs, Cvs, Avs), pričom norma IEC 543-4-1982 presne definuje skúšobné podmienky. Napr. ak je hodnota netesnosti 0,01 % Kvs, znamená to, že týmto ventilom pretečie v uzavretom stave max. jedna stotina percenta Kvs (t. j. 0,0001 Kvs) skúšobnej tekutiny za skúšobných podmienok. Ak je pre prevádzku zariadenia táto hodnota dôležitá, treba sa u konkrétneho výrobcu informovať o jeho podmienkach skúšania, eventuálne požadovať vyššiu tesnosť, ak je to pri danom type armatúry technicky možné.

Stratové a prietokové súčinitele

Stratový súčiniteľ

Každý potrubný prvok alebo sústava má svoj stratový súčiniteľ, ktorý sa označuje ξ . Je to bezrozmerný súčiniteľ priamej závislosti miestnej stratovej výšky od rýchlostnej výšky, vzťahujúci sa na zvolený prietokový prierez. Čím je tento súčiniteľ vyšší a čím menší je určujúci prietokový prierez ventilu, tým nižší bude prietok potrubným prvkom.



Jeho základná definícia vychádza z Bernoulliho rovnice:

$$h_c = h_1 - h_2 + \frac{1}{\rho g}(p_1 - p_2) + \frac{1}{2g}(w_1^2 - w_2^2) \quad (1)$$

kde

h je celková stratová výška medzi miestami 1 a 2 [m],
 ρ je objemová hmotnosť (hustota) nestlačiteľného média [kg. m⁻³],
 g je normálne zemské tiažové zrýchlenie = 9,80665 m. s⁻²,
 w_1 a w_2 sú rýchlosti prúdenia v prierezoch 1 a 2 [m. s⁻¹].

Stratový súčiniteľ je uvedený ako súčiniteľ závislosti stratovej výšky h od rýchlostnej výšky

$$\frac{w_a^2}{2g} \quad (2)$$

v určujúcom prietokovom priereze S meranej sústavy vo vodorovnej polohe.

$$h_c = \zeta \cdot \frac{w_a^2}{2g} \quad (3)$$

Ak určíme, že $h_1 = h_2$, $S_1 = S_2 = S_a$ (teda $w_1 = w_2 = w_a$), tlakový spád $\Delta p = (p_1 - p_2)$ a zavedieme objemový prietok $Q = w_a \cdot S_a$, úpravou týchto vzťahov potom dostaneme základnú rovnicu pre objemový prietok potrubným prvkom alebo sústavou (rovnaký vstup a výstup, horizontálna poloha):

$$Q = S_a \sqrt{\frac{2}{\zeta}} \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \quad (4)$$

a hmotnostný prietok

$$Q_m = S_a \sqrt{\frac{2}{\zeta}} \sqrt{\rho \cdot \Delta p} \quad (5)$$

Keď sa nad týmito rovnicami zamyslíme, zistíme, že prietok armatúrou alebo potrubným prvkom je určený tlakovým spádom na tomto prvku, objemovou hmotnosťou (hustotou) média, stratovým súčiniteľom a určujúcim prierezom. To znamená, že ventily s rovnakým zadávaným stratovým súčiniteľom, ale s rôznym DN, ktoré určuje prietokový prierez, budú mať iný hydraulický odpor. Preto sa pri regulačných ventiloch stratové súčinitele veľmi nepoužívajú, ale je, naopak, zvykom stratové súčinitele udávať pri uzatváracích ventiloch, kde sa predpokladá rovnaká svetlosť ventilu a potrubia a kde sa hydraulická strata tlaku na uzatváracom ventile zahŕňa medzi ostatné hydraulické straty v potrubnom systéme.

Najväčšou výhodou stratového súčiniteľa ventilu je to, že priamo vychádza z Bernoulliho rovnice, to znamená, že je kompatibilný so stratovými súčiniteľmi ďalších potrubných prvkov vrátane trecej straty v potrubí a že tieto hodnoty možno v potrubnej sústave pri sériovo radených prvkoch na určenie celkovej pracovnej straty jednoducho sčítať. Z vyššie uvedených dôvodov sa pri regulačných ventiloch nebudeme ďalej stratovým súčiniteľom zaoberať. Vzorce na výpočet prietoku pomocou stratového a prietokových súčiniteľov a ich vzájomné prevody sú uvedené v ďalšej časti príspevku.

Prietokový súčiniteľ

Prietokový súčiniteľ je charakteristický súčiniteľ potrubného prvku, ktorý jednoznačne určuje jeho prietokové vlastnosti v danom stave. Čím je prietokový súčiniteľ vyšší, tým väčšie množstvo pretečie prvkom alebo sústavou.

Prietokový súčiniteľ Av

Definícia základného prietokového súčiniteľa Av vychádza z vyššie uvedených rovníc (4) alebo (5), kde sa výraz

$$S_a \sqrt{\frac{2}{\zeta}} \quad [m^2] \quad (6)$$

označuje ako prietokový súčiniteľ Av .

Fyzikálna interpretácia vychádza z definičnej rovnice. Je to súčiniteľ priamej závislosti objemového alebo hmotnostného prietoku od odmocniny tlakového spádu. Táto rovnica zároveň udáva základný prevodný vzťah medzi stratovým a prietokovým súčiniteľom.

Prietokový súčiniteľ Av jednoznačne určuje prietokové parametre podobne ako ďalej opísaný a v súčasnosti takmer výhradne používaný súčiniteľ Kv .

V technickej praxi sa definuje ako

$$Av = Q \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad [m^2] \quad (7)$$

kde

Q je objemový prietok [m³. s⁻¹],
 ρ je objemová hmotnosť [kg. m⁻³],
 Δp je tlaková strata armatúry [Pa].

Prietokový súčiniteľ Kv

V európskych krajinách sa pri regulačných armatúrach prevažne používa prietokový súčiniteľ Kv . Vyjadruje objemový prietok vody (v m³. h⁻¹) regulačným ventilom za referenčných podmienok prietoku pri danom zdvíhu (tlakový rozdiel medzi definovanými tlakovými odbermi pred armatúrou a za ňou 1 bar, teplota vody 15 °C, rozvinuté turbulентné prúdenie, dostatočný statický tlak vylučujúci za uvedených podmienok možnosť vzniku kavitácie).

Definičný vzťah

$$Kv = \frac{1}{100} \cdot Q \cdot \sqrt{\frac{\rho_1}{\Delta p}} \quad [m^3 \cdot h^{-1}], \quad (8)$$

kde

Q je objemový prietok [m³. s⁻¹],
 ρ je objemová hmotnosť [kg. m⁻³],
 Δp je tlaková strata armatúry [Pa].

Výhodou tohto súčiniteľa je predovšetkým jeho jednoduchá fyzikálna interpretácia a to, že vo väčšine aplikácií, kde je médiom voda, stačí zjednodušene počítať prietok priamou úmerou s druhou odmocninou tlakového spádu. Po dosadení hustoty 1 000 kg. m⁻³ a zadání tlakového rozdielu v baroch dostaneme jednoduchý a pravdepodobne najznámejší vzorec na výpočet Kv :

$$Kv = \frac{Q}{\sqrt{\Delta p}} \quad [m^3 \cdot h^{-1}], \quad (9)$$

kde

Q je objemový prietok [m³. h⁻¹],
 Δp je tlaková strata armatúry [bar].

Z tohto jednoduchého vzťahu možno pre armatúru so známou hodnotou Kv vypočítať hodnoty prietoku aj tlakovú stratu. Skutočnú tlakovú stratu pri známom prietoku vypočítame ako:

$$\Delta p = \left(\frac{Q}{Kv} \right)^2 \quad [\text{bar}] \quad (10)$$

a skutočný prietok pri známej tlakovej strate ako:

$$Q = Kv \cdot \sqrt{\Delta p} \quad [m^3 \cdot h^{-1}] \quad (11)$$

Pri výpočtoch s uvedenými zjednodušenými súčiniteľmi Kv si treba dávať veľký pozor na dosadzovanie tlakovej straty v baroch (1 bar = 100 kPa = 0,1 MPa).

Prietokový súčiniteľ Cv

Vo svete sa ešte používa prietokový súčiniteľ Cv , a to predovšetkým tam, kde nie je zavedená sústava jednotiek SI. Je to rovnocenný ekvivalent hodnoty Kv alebo Av a vyjadruje množstvo US galónov vody s teplotou 40 – 100 °F, ktorá pretečie armatúrou za 1 minútu pri tlakovom spáde 1 psi (1 US galón = 3,7854 l, 1 psi = 6 894,8 Pa).

V našich podmienkach je najpraktickejšie previesť hodnotu Cv na Kv a potom urobiť výpočet prietokového množstva alebo Δp ,

eventuálne určiť hodnotu K_v , ktorú potom v prípade potreby špecifikácie ventilu v C_v premeníme na C_v . Inak možno rôzne výpočty vykonať rovnako ako so súčiniteľom K_v , len treba dôsledne dbať na zadávanie hodnôt v správnych jednotkách – množstva v US galónoch/min, tlaku v psi a hustoty v librách na stopu kubickú

(1 lb. ft⁻³ = 16,018 kg. m⁻³).

Menovitý prietokový a stratový súčiniteľ

Hodnota prietokového, eventuálne stratového súčiniteľa (K_v , A_v , C_v , ξ) je hodnota okamžitého prietokového alebo stratového súčiniteľa regulačnej armatúry, ktorá je funkciou polohy škrtiaceho orgánu, ktorého zmenou sa dosahuje požadovaná zmena prietoku alebo tlaku.

Hodnota menovitého prietokového súčiniteľa (K_{vs} , A_{vs} , C_{vs}) alebo stratového súčiniteľa (ξ_s) je hodnota prietokového alebo stratového súčiniteľa sériovo vyrábanej regulačnej armatúry pri jej úplnom otvorení. Táto hodnota sa určuje pri typovej skúške armatúry a norma určuje maximálne dovolené odchýlky súčiniteľov pri úplnom otvorení (K_{v100} , A_{v100} , C_{v100}) jednotlivých armatúr daného typu od tejto hodnoty.

Tolerancia nesmie presiahnuť $\pm 10\%$ menovitej hodnoty prietokového súčiniteľa a $\pm 20\%$ menovitej hodnoty stratového súčiniteľa. Údaj o menovitom stratovom súčiniteľi musí byť doplnený údajom prietokového prierezu, ku ktorému sa vzťahuje stratový súčiniteľ. Tolerančné pásmo prietokových súčiniteľov obmedzuje zdola hodnota dolnej medze $K_v = 4,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a zhora hodnota hornej medze $K_v = 0,04 \cdot \text{DN}^2$ (pre ventil DN 100 je horná medza $400 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$).

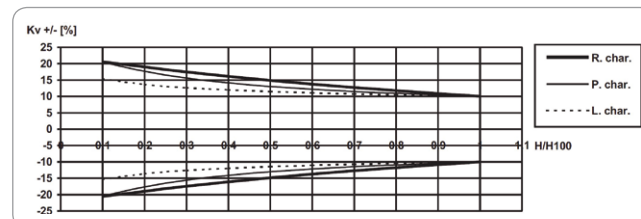
Uvedená maximálna povolená tolerancia presnosti prietokových súčiniteľov však nie je konštantná, ale mení sa so zdvihom podľa STN 13 4509-5 (Priemyselné armatúry. Metodika merania regulačných ventilov. Prietokové charakteristiky):

$$K_v(\pm) = \left(1 \pm \frac{\left(\frac{1}{\Phi} \right)^{0,2}}{10} \right) \cdot K_v \quad (12)$$

kde $K_v(\pm)$ je kladná alebo záporná odchýlka od menovitého K_v v závislosti od zdvihu a

$$\Phi = \frac{K_v}{K_{vs}} \quad (13)$$

je pomerný prietokový súčiniteľ (charakteristika). Grafické vyjadrenie vyššie uvedeného vzťahu je na obr. 1.



Obr. 1 Diagram závislosti povolených odchýlok K_v od zdvihu

Je veľmi dôležité uvedomiť si, že pri objednávaní armatúr sa najčastejšie špecifikuje menovitý prietokový súčiniteľ (K_{vs}), ktorý v sebe zahŕňa spomínanú možnú desaťpercentnú kladnú alebo zápornú odchýlku.

Vzájomné prevody prietokových súčiniteľov

Na rýchly prevod medzi jednotlivými stratovými súčiniteľmi možno použiť tieto vzťahy:

$$\begin{aligned} K_v &= 8,65 \cdot 10^{-1} \cdot C_v && [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}], \\ K_v &= 3,60 \cdot 10^4 \cdot A_v && [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}], \\ C_v &= 1,16 \cdot K_v && [\text{US gal} \cdot \text{min}^{-1}], \\ C_v &= 4,17 \cdot 10^4 \cdot A_v && [\text{US gal} \cdot \text{min}^{-1}], \\ A_v &= 2,78 \cdot 10^{-5} \cdot K_v && [\text{m}^2], \\ A_v &= 2,40 \cdot 10^{-5} \cdot C_v && [\text{m}^2]. \end{aligned}$$

Prietoková charakteristika sa definuje ako funkčná závislosť prietokového súčiniteľa od polohy uzáveru regulačného prvku. Na prepočet stratového súčiniteľa na prietokový súčiniteľ K_v a obrátene možno pri potrubnom prvku so svetlosťou DN použiť tieto vzťahy:

$$\begin{aligned} K_v &= 0,009 \cdot \pi \cdot \text{DN}^2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\xi}} \\ \xi &= 2 \cdot \left(\frac{0,009 \cdot \pi \cdot \text{DN}^2}{K_v} \right)^2 \end{aligned} \quad (14)$$

V ďalšom pokračovaní článku sa budeme venovať jednotlivým typom prietokových charakteristík, regulačnému pomeru a autorite ventilu.

Zdroj textu a obrázkov: Doubrava, J. – Dytrt, V. – Klimeš, M. – Marek, V. – Novotný, O. – Suchánek, T.: Regulačné armatúry. 5. upravené a doplnené vydanie. LDM spol. s r. o. 2009.