

4.2 Hidraulički proračun gasovoda

4.1. Vrste gasovoda

Sa stanovišta veličine radnog pritiska gasovodi se dele na gasovode:

- visokog pritiska;
- srednjeg pritiska i
- niskog pritiska.

Zavisno od vrednosti radnog pritiska gasa, magistralni gasovodi se dele na gasovode:

- visokog pritiska (radni pritisak u njima je iznad 25 bar);
- srednjeg pritiska (radni pritisak u njima je od 12 bar do 25 bar) i
- niskog pritiska (radni pritisak gasa u njima je manji od 12 bar).

Zavisno od vrednosti radnog pritiska gasa, razvodni gasovodi (distributivni+potrošački) se dele na gasovode:

- visokog pritiska (radni pritisak u njima je od 3 do 6 bar);
- srednjeg pritiska (radni pritisak u njima je od 0,05 do 3 bar);
- niskog pritiska (radni pritisak gasa u njima je manji od 0,05 bar).

Sa stanovišta veličine protoka gasovodi se dele na gasovode sa:

- konstantnim protokom gasa i
- uspotnom potrošnjom gasa.

U odnosu na temperaturu gasa za vreme strujanja gasovodi se dele na gasovode sa:

- izotermnim strujanjem i
- neizotermnim strujanjem.

Sa stanovišta ustaljenosti gasovodi se dele na gasovode sa:

- ustaljenim strujanjem ili
- neustaljenim strujanjem.

Svaka podela gasovoda za potrebe hidrauličkog proračuna može da se smatra uslovnom.

Prikazaće se hidraulički proračun za slučaj ustaljenog, izoternskog strujanja gasa, konstantnim protokom.

Izotermno strujanje gasa može da se ostvari u uslovima kada je količina toplote koju gas prima od okoline za vreme strujanja dovoljna da nadoknadi pad njegove temperature usled ekspanzije, Džul-Tomsonovog (Joule-Thomson) efekta i zbog promene geodezijske visine protočnih preseka cevovoda.

4.2 Gasovodi visokog i srednjeg pritiska sa konstantnim protokom gasa

U ove gasovode spadaju magistralni gasovodi u kojima je radni pritisak gasa iznad 12 bar, sabirni cevovodi na gasnim poljima kod kojih je pritisak gasa na glavi bušotine izrazito velik i razvodni gasovodi u kojima je radni pritisak iznad 3 bar.

Izrazi koji povezuju pritiske gasa na početku i kraju horizontalne deonice gasovoda su:

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2p_1} = \lambda \frac{l}{D} \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 \frac{Z_m}{Z_1}, \quad (4.1)$$

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2p_2} = \lambda \frac{l}{D} \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 \frac{Z_m}{Z_2}, \quad (4.2)$$

gde su:

- p_1 – pritisak gasa na početku deonice [Pa];
- p_2 – pritisak gasa na kraju deonice [Pa];
- λ – koeficijent trenja [-];
- D – unutrašnji prečnik deonice [m];
- l – dužina deonice [m];
- ρ_1 – gustina gasa na početku deonice [kg/m³];
- ρ_2 – gustina gasa na kraju deonice [kg/m³];
- v_1 – brzina gasa na početku deonice [m/s];
- v_2 – brzina gasa na kraju deonice [m/s];
- Z_1 – koeficijent stišljivosti gasa na početku deonice [-];
- Z_2 – koeficijent stišljivosti gasa na kraju deonice [-] i
- Z_m – srednja vrednost koeficijenta stišljivosti gasa [-].

Izraz (4.1) koristi se za određivanje pritiska gasa p_2 na kraju deonice kada je stanje gasa na početku deonice poznato, a izraz (4.2) za određivanje pritiska gasa p_1 na početku deonice kada je stanje gasa na kraju deonice poznato.

Srednja vrednost koeficijenta stišljivosti gasa određuje se iz izraza:

$$Z_m = \frac{1}{2}(Z_1 + Z_2). \quad (4.3)$$

Jednačine stanja gasa na početku i kraju horizontalne deonice cevovoda glase:

$$\frac{p_1}{\rho_1} = Z_1 RT, \quad (4.4)$$

$$\frac{p_2}{\rho_2} = Z_2 RT. \quad (4.5)$$

Maseni protok kroz horizontalnu deonicu glasi:

$$\dot{m} = \rho_1 v_1 A = \rho_2 v_2 A, \quad (4.6)$$

gde je površina poprečnog preseka cevovoda:

$$A = \frac{D^2 \pi}{4}. \quad (4.7)$$

4.3 Gasovodi niskog pritiska sa konstantnim protokom

U gasovode niskog pritiska spadaju razvodni cevovodi u kojima je pritisak nizak a pad pritiska ne prelazi 5000 – 6000 Pa. Tada može da se uzme da je gustina gasa konstantna pa iz jednačine masenog protoka (4.6) sledi i da je brzina strujanja konstantna. Izraz za pad pritiska na horizontalnoj deonici gasovoda glasi:

$$\Delta p = \rho \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2} + \rho g \Delta H, \quad (4.8)$$

gde je horizontalnu deonicu gasovoda $\Delta H=0$.

Međutim kod ove vrste cevovoda su lokalni otpori znatni i ne mogu da se zanemare pa predhodna jednačina glasi:

$$\Delta p = \left(\lambda \frac{l}{D} + \sum \zeta \right) \rho \frac{v^2}{2} + \rho g \Delta H, \quad (4.9)$$

gde $\sum \zeta$ označava zbir koeficijenata svih lokalnih otpora duž posmatrane trase cevovoda. Gustina ρ u poslednja dva izraza računa se na srednjem pritisku gasa.

Kroz gasovod prečnika $D=250$ mm transportuje se industrijski gas pri konstantnoj temperaturi $t=20$ °C. Maseni sastav gasa je: 85 % metana (CH_4), 13% azota (N_2) i 2% ugljen dioksida (CO_2). Na rastojanju od 20 km izmereni su pritisci u cevovodu: $p_1=19,6$ bar i $p_2=11,8$ bar. Koeficijent trenja je $\lambda=0,015$. Izračunati kapacitet gasovoda u standardnim metrima kubnim.

Rešenje:

Gasne konstante pojedinih komponenata su:

$$R_{\text{CH}_4} = 518 \text{ J/kgK},$$

$$R_{N_2} = 296,5 \text{ J/kgK},$$

$$R_{CO_2} = 188,8 \text{ J/kgK}.$$

Vrednost gasne konstante mešavine iznosi:

$$\begin{aligned} R &= 0,85 \cdot R_{CH_4} + 0,13 \cdot R_{N_2} + 0,02 \cdot R_{CO_2} = \\ &= 0,85 \cdot 518 + 0,13 \cdot 296,5 + 0,02 \cdot 188,8 = 482,6 \text{ J/kgK}. \end{aligned}$$

Gustina industrijskog gasa na ulazu u cevovod i pri standardnim uslovima iznosi:

$$\rho_1 = \frac{p_1}{RT_1} = \frac{1960000}{482,6 \cdot 293} = 14 \text{ kg/m}^3,$$

$$\rho_s = \frac{p_s}{RT_s} = \frac{101325}{482,6 \cdot 288} = 0,729 \text{ kg/m}^3.$$

Iz izraza koji povezuje pritisak gasa na početku i na kraju cevovoda:

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2p_1} = \lambda \frac{l}{D} \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2$$

određuje se brzina gasa na ulazu u cevovod:

$$v_1 = \sqrt{\frac{D}{\rho_1 \lambda l} \left(\frac{p_1^2 - p_2^2}{p_1} \right)} = \sqrt{\frac{0,25}{14 \cdot 0,015 \cdot 20000} \left(\frac{1960000^2 - 1180000^2}{1960000} \right)} = 8,63 \text{ m/s}.$$

Iz jednakosti masenog protoka gasa:

$$\dot{m} = \rho_s Q_s = \rho_1 Q_1,$$

određuje se kapacitet gasovoda:

$$Q_s = \frac{\rho_1 Q_1}{\rho_s} = \frac{\rho_1 v_1 \frac{D^2 \pi}{4}}{\rho_s} = \frac{14 \cdot 8,63 \cdot \frac{0,25^2 \cdot 3,14}{4}}{0,729} = 29230 \text{ Sm}^3/\text{h}.$$

Metan se transportuje kroz gasovod prečnika $D=300$ mm pri konstantnoj temperaturi $t=20$ °C. Dužina deonice gasovoda iznosi $l=85$ km, a odnos pritiska na početku i na kraju cevovoda je $p_1/p_2=1,7$. Ostali podaci su: kapacitet gasovoda $Q_s=65000$ Sm³/h, koeficijent trenja $\lambda=0,012$ i gasna konstanta $R=518$ J/kgK. Odrediti pritisak p_1 na početku deonice gasovoda.

Rešenje:

Ako se izraz koji povezuje pritiska na početku p_1 i na kraju p_2 cevovoda:

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2p_1} = \lambda \frac{l}{D} \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2,$$

napiše u obliku:

$$1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^2 = \lambda \frac{l}{D} \frac{v_1^2}{RT_1},$$

onda može da se izračuna brzina strujanja v_1 na početku cevovoda:

$$v_1 = \sqrt{\frac{DRT_1}{\lambda l} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^2 \right]} = \sqrt{\frac{0,300 \cdot 518 \cdot 293}{0,012 \cdot 85000} \left[1 - \left(\frac{1}{1,7} \right)^2 \right]} = 5,38 \text{ m/s}.$$

Gustina metana pri standardnim uslovima iznosi:

$$\rho_s = \frac{p_s}{RT_s} = \frac{101325}{518 \cdot 288} = 0,679 \text{ kg/m}^3.$$

Maseni protok gasa kroz gasovod iznosi:

$$\dot{m} = \rho_s Q_s = 0,679 \cdot \frac{65000}{3600} = 12,25 \text{ kg/s}.$$

Iz izraza za maseni protok određuje se gustina gasa ρ_1 na ulazu u gasovod:

$$\rho_1 = \frac{\dot{m}}{v_1 A} = \frac{12,25}{5,38 \cdot 0,0707} = 32 \text{ kg/m}^3,$$

gde je površina poprečnog preseka gasovoda:

$$A = \frac{D^2 \pi}{4} = \frac{0,300^2 \cdot 3,14}{4} = 32 \text{ kg/m}^3.$$

Iz jednačine stanja idealnog gasa određuje se pritisak gasa p_1 na početku gasovoda:

$$p_1 = \rho_1 RT_1 = 32 \cdot 518 \cdot 293 = 48,6 \text{ bar}.$$

Izračunae se koeficijenti stišljivosti prema Adamovu, u kome se pritisak zamenjuje u atmosferama, a temperatura u °C:

$$Z_1 = \frac{1}{1 + (24 - 0,27 \cdot t_1)10^{-4} p_1} = \frac{1}{1 + (24 - 0,27 \cdot 20)10^{-4} \cdot 49,5} = 0,918,$$

$$Z_2 = \frac{1}{1 + (24 - 0,27 \cdot t_2)10^{-4} p_2} = \frac{1}{1 + (24 - 0,27 \cdot 20)10^{-4} \cdot 29,1} = 0,953,$$

$$Z_m = \frac{1}{2}(Z_1 + Z_2) = \frac{1}{2}(0,918 + 0,953) = 0,935.$$

Korigovane, tačnije vrednosti za brzinu, gustinu i pritisak gasa na početku cevovoda su:

$$v_1 = 5,38 \sqrt{\frac{Z_1}{Z_m}} = 5,38 \sqrt{\frac{0,918}{0,935}} = 5,33 \text{ m/s},$$

$$\rho_1 = \frac{\dot{m}}{v_1 A} = \frac{12,25}{5,33 \cdot 0,0707} = 32,4 \text{ kg/m}^3,$$

$$p_1 = \rho_1 R T_1 = 32,4 \cdot 518 \cdot 293 = 49,2 \text{ bar}.$$