

któremu odpowiada całkowita wysokość pompowania

$$H_o = 7,8 \text{ m H}_2\text{O}.$$

Moc na wale pompy, przy współczynniku sprawności pompy  $\eta_p = 0,65$ , otrzymanym z charakterystyki sprawności  $\eta = f(Q)$ , wynosi

$$N_w = \frac{N_p}{\eta_p} = \frac{\xi Q H_o}{102 \eta_p} = \frac{983 \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 7,8}{102 \cdot 0,65} = 0,485 \text{ kW}.$$

## 9. OBLICZANIE PRZEPŁYWU W GAZOCIĄGACH

W zależności od ciśnienia gazu - gazociągi dzielimy na gazociągi magistralne lub wysokiego ciśnienia powyżej 3 bar, gazociągi średniego ciśnienia od 0,05 do 3 bar, i gazociągi niskiego ciśnienia do 0,05 bar (nadciśnienia).

Gazociągi magistralne służą do transportu gazu od źródła (gazownie, koksownie, złoża gazu ziemnego) do miejsca odbioru (miasta, osiedla, duże ośrodki przemysłowe). Dla zaopatrywania miast, osiedli w gaz, który jest przesyłany często z dużych odległości pod wysokim ciśnieniem, budowane są systemy gazociągów dalekosiężnych o dużych średnicach. Do rozprowadzania gazu w sieciach rozdzielczych miejskich i osiedlowych służą gazociągi średniego i niskiego ciśnienia.

### 9.1. OBLICZANIE GAZOCIĄGÓW WYSOKIEGO I ŚREDNIEGO CIŚNIENIA

#### 9.1.1. IZOTERMICZNY PRZEPŁYW GAZU W GAZOCIĄGACH POZIOMYCH

Rozważmy ustalony przepływ gazu w poziomym gazociągu zakładając, że temperatura przepływającego gazu jest stała ( $T = \text{const}$ ).

Równanie stanu gazu rzeczywistego dla przemiany izotermicznej przedstawimy w postaci

$$\gamma = \frac{P}{\frac{Z R T}{g}} = \frac{P}{\text{const}}, \quad (9.1)$$

gdzie  $Z$  - współczynnik ściśliwości gazu.

Zaniedbując straty spowodowane przez opory miejscowe, które są małe w porównaniu ze stratami na tarcie, napiszemy równanie Bernoulliego dla gazu w postaci różniczkowej

$$\frac{dp}{\gamma} + \frac{v dv}{g} + dh_{sl} = 0.$$

Z równania Darcy - Weisbacha

$$dh_{sl} = \frac{\lambda}{D} \frac{v^2}{2g} dx.$$

Po uwzględnieniu tej zależności w równaniu Bernoulliego otrzymamy

$$\frac{dp}{\gamma} + \frac{v^2 dv}{vg} + \frac{\lambda}{D} \frac{v^2}{2g} dx = 0. \quad (9.2)$$

Równanie ciągłości jednowymiarowego i ustalonego przepływu gazu w gazociągach o stałym przekroju  $F = \text{const}$  napiszemy w postaci

$$d(\gamma v) = \gamma dv + v d\gamma = 0,$$

skąd

$$\frac{dv}{v} = - \frac{d\gamma}{\gamma}.$$

Z równania (9.1) wynika, że  $-\frac{d\gamma}{\gamma} = -\frac{dp}{p}$ , czyli

$$\frac{dv}{v} = - \frac{dp}{p}.$$

Podstawiając tę zależność do równania (9.2), otrzymamy

$$\frac{dp}{\gamma} - \frac{v^2}{g} \frac{dp}{p} + \lambda \frac{dx}{D} \frac{v^2}{2g} = 0. \quad (9.3)$$

Z równania ciągłości otrzymamy

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{G}{\gamma F},$$

gdzie  $G = \gamma Q$  - wydatek ciężarowy.

Po uwzględnieniu powyższej zależności w równaniu (9.3) napiszemy

$$\frac{dp}{\gamma} - \frac{G^2}{g \gamma^2 F^2} \frac{dp}{p} + \lambda \frac{dx}{D} \frac{G^2}{2g \gamma^2 F^2} = 0.$$

Mnożąc obie strony równania przez  $\gamma^2$  otrzymamy

$$\gamma dp - \frac{G^2}{g F^2} \frac{dp}{p} + \lambda \frac{dx}{D} \frac{G^2}{2g F^2} = 0.$$

Podstawiając do tego równania zależność (9.1), otrzymamy

$$\frac{p}{Z} \frac{dp}{R T} - \frac{G^2}{g F^2} \frac{dp}{p} + \lambda \frac{dx}{D} \frac{G^2}{2g F^2} = 0,$$

skąd po scałkowaniu w granicach: od  $p_1$  do  $p_2$  oraz od 0 do  $L$  otrzymamy

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2Z R T} = \frac{G^2}{g F^2} \ln \frac{p_1}{p_2} + \lambda \frac{L}{D} \frac{G^2}{2g F^2}.$$

Podstawiając  $G = \gamma Q$  napiszemy wzór na wydatek  $Q$  gazociągu

$$Q = \frac{F}{\gamma} \left[ \frac{\frac{g}{2Z R T} (p_1^2 - p_2^2)}{\frac{\lambda L}{2D} + \ln \frac{p_1}{p_2}} \right]^{0,5}. \quad (9.4)$$

Wzór (9.4) na obliczenie izotermicznego przepływu w poziomych gazociągach dalekosiężnych możemy przedstawić w prostszej postaci.

Obliczmy wydatek  $Q_o$  w warunkach normalnych, tj. przy  $p_o = 10\,333 \text{ kG/m}^2 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ,  $T_o = 273 \text{ K}$

$$Q_o = \frac{Q}{Z} \frac{Z_o p T_o}{p_o T} . \quad (9.5)$$

Stosunek ciężaru właściwego gazu  $\gamma$  względem ciężaru właściwego powietrza  $\gamma_p$  oznaczmy symbolem  $\bar{\gamma} = \frac{\gamma}{\gamma_p}$ .

Z równania stanu gazu mamy:

$$\gamma = \frac{g p}{Z R T} ; \quad \gamma_p = \frac{g p}{Z R_p T} ,$$

stąd

$$\bar{\gamma} = \frac{\gamma}{\gamma_p} = \frac{R_p}{R} , \quad \text{czyli} \quad R = \frac{R_p}{\bar{\gamma}} , \quad (9.6)$$

gdzie:  $R_p$  - stała gazowa powietrzna.

Podstawiając zależność (9.6) do równania stanu, otrzymamy

$$\gamma = \frac{p \bar{\gamma}}{Z R_p T} . \quad (9.7)$$

Przekrój poprzeczny gazociągu

$$F = \frac{\pi D^2}{4} \quad (9.8)$$

Uwzględniając zależności (9.5), (9.6), (9.7) i (9.8) we wzorze (9.4) oraz zanedbując  $\ln \frac{p_1}{p_2}$  jako wielkość małą w porównaniu z  $\frac{\lambda L}{2D}$ , otrzymamy po prostych przekształceniach i uproszczeniach wzór w postaci

$$Q_o = \frac{\pi \sqrt{g R_p} T_o}{4 p_o} \left[ \frac{(p_1^2 - p_2^2) D^5}{\lambda Z \bar{\gamma} L T} \right]^{0,5} . \quad (9.9)$$

Podstawiając do tego wzoru wartości  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ,  $R_p = 29,29 \text{ m/K}$ ,  $T_o = 273 \text{ K}$ ,  $p_o = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ , otrzymamy ostateczną postać wzoru na obliczenie wydatku gazu w warunkach normalnych

$$Q_o = 0,036 \left[ \frac{(p_1^2 - p_2^2) D^5}{\lambda Z \bar{\gamma} L T} \right]^{0,5}, \quad (9.10)$$

gdzie:

- $Q_o$  - wydatek gazu w warunkach normalnych,  $\text{m}^3/\text{s}$ ,
- $p_1$  i  $p_2$  - ciśnienie w przekroju początkowym i końcowym gazociągu,  $\text{N/m}^2$ ,
- $D$  - średnica wewnętrzna gazociągu,  $\text{m}$ ,
- $L$  - długość gazociągu,  $\text{m}$ ,
- $T = \text{const}$  - temperatura bezwzględna gazu w rurociągu,  $\text{K}$ ,
- $\bar{\gamma} = \frac{\gamma}{\gamma_p}$  - stosunek ciężarów właściwych gazu do powietrza,
- $\lambda$  - współczynnik oporów liniowych,
- $Z$  - współczynnik ściśliwości gazu.

Metody wyznaczenia współczynników  $Z$  i  $\lambda$  omówiono w rozdziałach 1 i 7. Oprócz poznanych już wzorów na obliczenie współczynnika  $\lambda$  stosowany jest również wzór Weymoutha

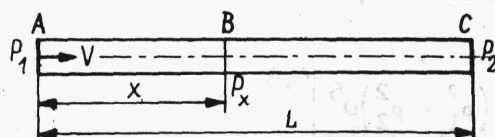
$$\lambda = \frac{0,009407}{\sqrt[3]{D(\text{m})}}.$$

### 9.1.2. SPADEK CIŚNIENIA I ŚREDNIE CIŚNIENIE W GAZOCIĄGU

Ciśnienie  $p_x$  wzdłuż gazociągu zmienia się od początkowego  $p_1$  (na wlocie) do końcowego  $p_2$  (na wylocie).

Przy przepływie cieczy nieściśliwej mamy, jak wiadomo, liniowy spadek ciśnienia wzdłuż przewodu o stałym przekroju, wskutek czego spadek hydrauliczny jest wielkością stałą.

Spadek ciśnienia w gazociągach nie wyraża się w postaci liniowej zależności od długości przewodu.



Rys.9.1

Aby znaleźć krzywą spadku ciśnienia wzdłuż gazociągu, obliczymy ciśnienie  $p_x$  w dowolnym przekroju B w odległości  $x$  od przekroju początkowego A gazociągu o długości  $L$  (rys.9.1).