

Przyjmujemy średnicę

$$D = 300 \text{ mm.}$$

Dla tej średnicy

$$\varepsilon = \frac{0,2}{300} = 6,67 \cdot 10^{-4}.$$

Współczynnik  $\lambda$  w strefie kwadratowej zależności oporów jest równy  $\lambda_2 = 0,0179$

$$D_2 = \left[ \left( \frac{6}{0,036} \right)^2 \frac{0,0179 \cdot 0,95 \cdot 0,58 \cdot 300 \cdot 10^3 \cdot 285}{(35,013^2 - 5,013^2) \cdot 10^{10}} \right]^{1/5} =$$
$$= (196,8 \cdot 10^5)^{1/5} = 0,288 \text{ m.}$$

Ostatecznie warunki zadania spełni gazociąg o średnicy  $D = 300 \text{ mm.}$

Przykład 9.3. Określić średnie ciśnienie w gazociągu, jeżeli ciśnienie w przekroju początkowym jest równe  $p_1 = 63 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ , a w końcowym  $p_2 = 31 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ .

Rozwiązanie. Wartość ciśnienia średniego obliczymy ze wzoru (9.12)

$$p_{\text{sr}} = \frac{2}{3} \left[ 63 \cdot 10^5 + \frac{(31 \cdot 10^5)^2}{(63 + 31) \cdot 10^5} \right] = 48,9 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2.$$

### 9.1.3. OBLICZANIE UKŁADÓW GAZOCIĄGOWYCH

Do obliczeń gazociągów złożonych rozpatrzymy następujące układy:

- 1) gazociągi połączone szeregowo,
- 2) gazociągi połączone równolegle,
- 3) gazociągi z równoległym odgałęzieniem,
- 4) gazociągi wydatkujące.

Do obliczeń wymienionych układów zastosujemy wzór (9.10) w postaci

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

Wstawiając do tego wzoru zależność współczynnika  $\lambda$  od średnicy  $D$  według Weymoutha

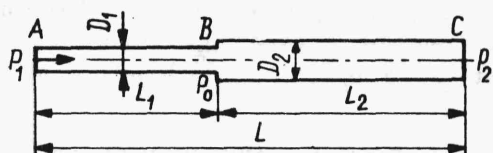
$$\lambda = \frac{0,009407}{\sqrt{D}}$$

oraz przyjmując  $Z = 1$ ,  $T = 288$  K, otrzymamy

$$Q_o = 0,022 D^{8/3} \left[ \frac{P_1^2 - P_2^2}{\bar{\gamma} L} \right]^{0,5} \quad (9.13)$$

### 1. Gazociągi połączone szeregowo

Układy szeregowo połączonych przewodów składają się z gazociągów o różnych średnicach i długościach (rys.9.3). Ciśnienia w przekrojach A,B,C oznaczamy przez  $P_1, P_o, P_2$ .



Rys.9.3

. Ze wzoru (9.13) obliczamy wydatek  $Q_o = \text{const}$  dla kolejnych odcinków układu:

1 odcinek

$$Q_o = \frac{0,022}{\sqrt{\bar{\gamma}}} D_1^{8/3} \left( \frac{P_1^2 - P_{21}^2}{L_1} \right)^{0,5},$$

2 odcinek

$$Q_o = \frac{0,022}{\sqrt{\bar{\gamma}}} D_2^{8/3} \left( \frac{P_{21}^2 - P_{22}^2}{L_2} \right)^{0,5}$$

.....  
.....

n odcinek

$$Q_o = \frac{0,022}{\sqrt{\bar{\gamma}}} D_n^{8/3} \left( \frac{P_{2(n-1)}^2 - P_2^2}{L_n} \right)^{0,5}.$$

Po przekształceniu powyższych wzorów napiszemy:

$$p_1^2 - p_{21}^2 = \frac{Q_o^2 \bar{\gamma} L_1}{0,022^2 \cdot D_1^{16/3}}$$

$$p_{21}^2 - p_{22}^2 = \frac{Q_o^2 \bar{\gamma} L_2}{0,022^2 \cdot D_2^{16/3}}$$

.....

$$p_{2(n-1)}^2 - p_2^2 = \frac{Q_o^2 \bar{\gamma} L_n}{0,022^2 \cdot D_n^{16/3}}$$

Sumując stronami powyższe równania otrzymamy

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{Q_o^2 \bar{\gamma}}{0,022^2} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{D_i^{16/3}}. \quad (9.14)$$

Stąd obliczamy wydatek dla gazociągów połączonych szeregowo

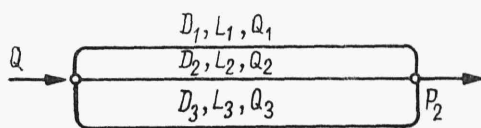
$$Q_o = 0,022 \left( \frac{p_1^2 - p_2^2}{\bar{\gamma} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{D_i^{16/3}}} \right)^{0,5}. \quad (9.15)$$

Dla gazociągu o średnicy zastępczej  $D_z$  i długości zastępczej  $L_z$  napiszemy

$$\frac{L_z}{D_z^{16/3}} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{D_i^{16/3}}. \quad (9.16)$$

## 2. Gazociągi połączone równolegle

Na rysunku 9.4 pokazany jest schemat układu gazociągów połączonych równolegle o średnicach  $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ , o długościach



Rys.9.4

$L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$  oraz wydatkach  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ .

Całkowity wydatek dla układu jest równy

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n.$$

Po obliczeniu wydatków ze wzoru (9.13) dla poszczególnych przewodów otrzymamy

$$Q_0 = 0,022 \left( \frac{P_1^2 - P_2^2}{\bar{\gamma}} \right)^{0,5} \sum_{i=1}^n \frac{D_i^{8/3}}{\sqrt{L_i}}. \quad (9.17)$$

Zastępując układ ten gazociągiem równoważnym o średnicy zastępczej  $D_z$  i długości zastępczej  $L_z$  otrzymamy

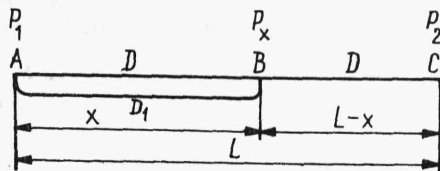
$$\frac{D_z^{8/3}}{\sqrt{L_z}} = \sum_{i=1}^n \frac{D_i^{8/3}}{\sqrt{L_i}}. \quad (9.18)$$

## 3. Gazociąg z równoległym odgałęzieniem

Dla zwiększenia przepustowości gazociągu wykonuje się równoległe odgałęzienie. Na rys.9.5 przedstawiono schematycznie gazociąg AC o średnicy  $D$  i długości  $L$  wraz z równoległym przewodem o średnicy  $D_1$  i długości  $x$ .

Oznaczmy przez  $Q_0$  wydatek gazociągu bez odgałęzienia, zaś przez  $Q_1$  - wydatek całego układu.

Ze wzoru (9.17) obliczymy: dla odcinka AB



Rys.9.5

$$Q_1 = 0,022 \left( \frac{P_1^2 - P_x^2}{\bar{\gamma} x} \right)^{0,5} \cdot (D^{8/3} + D_1^{8/3}),$$

dla odcinka BC

$$Q_1 = 0,022 \left[ \frac{p_x^2 - p_2^2}{\bar{\gamma} (L-x)} \right]^{0,5} \cdot D^{8/3}.$$

Powyższe równanie przekształcimy do postaci:

$$p_1^2 - p_x^2 = \frac{Q_1^2 \bar{\gamma} x}{0,022^2 (D^{8/3} + D_1^{8/3})^2},$$

$$p_x^2 - p_2^2 = \frac{Q_1^2 \bar{\gamma} (L - x)}{0,022^2 D^{16/3}}.$$

Sumując stronami otrzymamy

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{Q_1^2 \bar{\gamma} x}{0,022^2 (D^{8/3} + D_1^{8/3})^2} + \frac{Q_1^2 \bar{\gamma} (L - x)}{0,022^2 D^{16/3}}. \quad (9.19)$$

Wydatek gazociągu bez odgałęzienia obliczymy ze wzoru (9.13)

$$Q = 0,022 D^{8/3} \left[ \frac{p_1^2 - p_2^2}{\bar{\gamma} L} \right]^{0,5},$$

skąd

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{Q^2 \bar{\gamma} L}{0,022^2 D^{16/3}}. \quad (9.20)$$

Porównując prawe strony równań (9.19) i (9.20) otrzymamy

$$\frac{Q^2 \bar{\gamma} L}{0,022^2 D^{16/3}} = \frac{Q_1^2 \bar{\gamma} x}{0,022^2 (D^{8/3} + D_1^{8/3})^2} + \frac{Q_1^2 \bar{\gamma} (L - x)}{0,022^2 D^{16/3}}.$$

Stąd stosunek wydatków

$$\left(\frac{Q}{Q_1}\right)^2 = \frac{\frac{x}{L}}{\left[1 + \left(\frac{D_1}{D}\right)^{8/3}\right]^2} + \frac{L-x}{L}. \quad (9.21)$$

Z tej zależności można obliczyć długość  $x$  lub średnicę  $D_1$  odgałęzienia lub też łączny wydatek  $Q_1$

$$\frac{x}{L} = \frac{1 - \left(\frac{Q}{Q_1}\right)^2}{1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{D_1}{D}\right)^{8/3}\right]^2}}. \quad (9.22)$$

Łączna wydajność układu

$$Q_1 = \frac{Q}{1 - \frac{x}{L} \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + \frac{D_1^{8/3}}{D}\right]^2} \right\}^{0,5}} \quad (9.23)$$

dla  $x = L$

$$Q_1 = Q \left[ 1 + \left(\frac{D_1}{D}\right)^{8/3} \right].$$

Jeżeli jeszcze w tym szczególnym przypadku przyjmiemy, że  $D_1 = D$ , wówczas otrzymamy

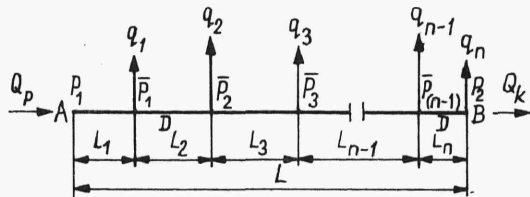
$$Q_1 = 2Q.$$

Średnica przewodu odgałęzionego wyraża się zależnością

$$D_1 = D \left\{ \left[ \frac{\frac{x}{L}}{\left(\frac{Q}{Q_1}\right)^2 + \frac{x}{L} - 1} \right]^{0,5} - 1 \right\}^{8/3}. \quad (9.24)$$

#### 4. Gazociągi wydatkujące gaz

Rozważany jest gazociąg AB o długości  $L$ , średnicy  $D$  wydatkujący gaz. Ciśnienie początkowe gazociągu oznaczamy przez  $p_1$ , końcowe zaś przez  $p_2$ . Odbiór gazu w poszczególnych punktach jest  $q_1, q_2, q_3$  itd., a wydatki na poszczególnych odcinkach  $L_1, L_2, L_3 \dots$  odpowiednio  $Q_1, Q_2, Q_3 \dots$



Rys.9.6

Oznaczmy przez  $Q_p$  - wydatek początkowy, a przez  $\bar{p}_1, \bar{p}_2, \bar{p}_3 \dots$  ciśnienia w poszczególnych punktach odbioru gazu. Na rys.9.6 przedstawiono schematycznie gazociąg wydatkujący gaz.

Wydatki na poszczególnych odcinkach wynoszą:

$$Q_1 = Q_p$$

$$Q_2 = Q_p - q_1$$

$$Q_3 = Q_p - q_1 - q_2$$

.....

$$Q_n = Q_p - \sum_{i=1}^{n-1} q_i.$$

Do obliczenia średnicy  $D$  gazociągu wydatkującego stosujemy znany wzór (9.13)

$$Q = K \left( \frac{p_1^2 - p_2^2}{L} \right)^{0,5},$$

gdzie  $K = \frac{0,022 D^{8/3}}{\sqrt{\gamma}}.$

Po przekształceniu tego wzoru otrzymamy

$$Q^2 L = K^2 (p_1^2 - p_2^2).$$

Dla poszczególnych odcinków mamy:

$$Q_1^2 L_1 = K^2 (p_1^2 - \bar{p}_1^2)$$

$$Q_2^2 L_2 = K^2 (\bar{p}_1^2 - \bar{p}_2^2)$$

$$Q_3^2 L_3 = K^2 (\bar{p}_2^2 - \bar{p}_3^2)$$

.....

$$Q_n^2 L_n = K^2 (\bar{p}_{n-1}^2 - p_2^2)$$

Sumując otrzymamy

$$\sum_{i=1}^n Q_i^2 L_i = K^2 (p_1^2 - p_2^2),$$

skąd

$$K = \frac{0,022 D^{8/3}}{\sqrt{\bar{\gamma}}} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^2 L_i}{\frac{2}{p_1} - \frac{2}{p_2}} \right]^{0,5} \quad (9.25)$$

Z tej zależności otrzymamy

$$D^{8/3} = \frac{1}{0,022} \left[ \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^2 L_i}{\frac{2}{p_1} - \frac{2}{p_2}} \right]^{0,5} \quad (9.26)$$

Przykład 9.4. Gazociąg składa się z trzech szeregowo połączonych odcinków o średnicach i długościach:  $D_1 = 300$  mm,  $L_1 = 50$  km,  $D_2 = 250$  mm,  $L_2 = 40$  km,  $D_3 = 200$  mm,  $L_3 = 20$  km. Obliczyć ciśnienie  $p_1$  w przekroju początkowym gazociągu, jeżeli wydatek gazu ziemnego o względnym ciężarze właściwym  $\bar{\gamma} = 0,6$  wynosi  $Q_0 = 10$  m<sup>3</sup>/s, zaś ciśnienie w przekroju końcowym  $p_2 = 5 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>.



Rozwiązanie. Ze wzoru (9.15) obliczymy ciśnienie:

$$p_1 = \left\{ \frac{1}{0,022^2} \left[ Q_o^2 \bar{\gamma} \left( \frac{L_1}{D_1^{16/3}} + \frac{L_2}{D_2^{16/3}} + \frac{L_3}{D_3^{16/3}} \right) \right] + p_2^2 \right\}^{0,5},$$

$$p_1 = \left\{ \frac{1}{0,022^2} \left[ 10^2 \cdot 0,6 \left( \frac{50 \cdot 10^3}{0,3^{16/3}} + \frac{40 \cdot 10^3}{0,25^{16/3}} + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \frac{20 \cdot 10^3}{0,2^{16/3}} \right) \right] + (5 \cdot 10^5)^2 \right\}^{0,5},$$

$$p_1 = 50 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2.$$

**Przykład 9.5.** Gaz ziemny przesyłany jest dwoma równoległymi przewodami o wymiarach:  $D_1 = 200 \text{ mm}$ ,  $L_1 = 40 \text{ km}$ ,  $D_2 = 300 \text{ mm}$ ,  $L_2 = 50 \text{ km}$ . Ciśnienie w węźle początkowym wynosi  $p_1 = 12 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ , zaś w węźle końcowym  $p_2 = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ . Względny ciężar właściwy gazu ziemnego jest równy  $\bar{\gamma} = 0,55$ .

Obliczyć wydatek gazu  $Q_o$  dla układu równolegle połączonych gazociągów oraz średnicę zastępczego gazociągu  $D_z$  o długości zastępczej  $L_z = 40 \text{ km}$ .

Rozwiązanie. Wydatek obliczymy ze wzoru (9.17):

$$Q_o = 0,022 \left( \frac{p_1^2 - p_2^2}{\bar{\gamma}} \right)^{0,5} \left( \frac{D_1^{8/3}}{\sqrt{L_1}} + \frac{D_2^{8/3}}{\sqrt{L_2}} \right),$$

$$Q_o = 0,022 \left[ \frac{(12 \cdot 10^5)^2 - (4 \cdot 10^5)^2}{0,55} \right]^{0,5} \cdot \left( \frac{0,2^{8/3}}{\sqrt{40 \cdot 10^3}} + \frac{0,3^{8/3}}{\sqrt{50 \cdot 10^3}} \right),$$

$$Q_o = 8,29 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Ze wzoru (9.18) obliczymy średnicę zastępczą:

$$D_z = \left[ \sqrt{L_z} \left( \frac{D_1^{8/3}}{\sqrt{L_1}} + \frac{D^{8/3}}{\sqrt{L_2}} \right) \right]^{3/8},$$

$$D_z = \left[ \sqrt{40 \cdot 10^3} \left( \frac{0,2^{8/3}}{\sqrt{40 \cdot 10^3}} + \frac{0,3^{8/3}}{\sqrt{50 \cdot 10^3}} \right) \right]^{3/8},$$

$$D_z = 0,315 \text{ m.}$$

Przyjmujemy według normy  $D_z = 350 \text{ mm}$ .

Przykład 9.6. Obliczyć długość  $x$  równoległego odgałęzienia o średnicy  $D_1 = 20 \text{ cm}$ , wykonanego dla zwiększenia przepustowości gazu o średnicy  $D = 25 \text{ cm}$  i długości  $L = 40 \text{ km}$  od  $Q = 7000 \text{ m}^3/\text{dob}$  do  $Q_1 = 10\,000 \text{ m}^3/\text{dob}$ .

Rozwiązanie. Ze wzoru (9.22) obliczamy:

$$\frac{x}{L} = \frac{1 - \left( \frac{Q}{Q_1} \right)^2}{1 - \frac{1}{\left[ 1 + \left( \frac{D_1}{D} \right)^{8/3} \right]^2}},$$

$$\frac{x}{L} = \frac{1 - \left( \frac{7000}{10\,000} \right)^2}{1 - \frac{1}{\left[ 1 + \left( \frac{20}{25} \right)^{8/3} \right]^2}} = 0,865,$$

stąd

$$x = 0,865 \cdot 40 = 34,6 \text{ km.}$$