

### 9.1.5. NIEIZOTERMICZNY PRZEPŁYW GAZU W GAZOCIĄGACH

Przy założeniu izotermicznego przepływu w gazociągach poziomych otrzymaliśmy wzór (9.4) w postaci

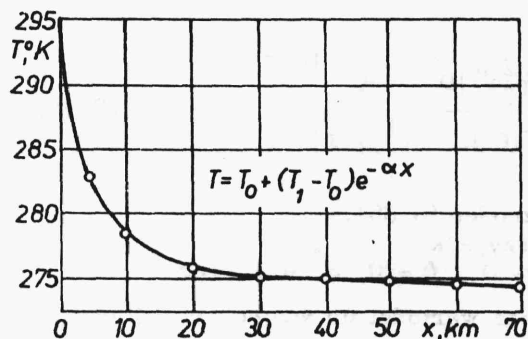
$$Q = \frac{F}{\bar{\tau}} \left[ \frac{\frac{g}{2ZRT} (P_1^2 - P_2^2)}{\frac{\lambda L}{2D} + \ln \frac{P_1}{P_2}} \right]^{0,5}$$

We wzorze, tym  $\ln \frac{P_1}{P_2}$  jest wielkością bardzo małą w porównaniu z  $\frac{\lambda L}{2D}$ .

Pomijając  $\ln \frac{P_1}{P_2}$  otrzymamy po przekształceniu tego wzoru następującą zależność dla izotermicznego przepływu gazu

$$P_1^2 - P_2^2 = \left( \frac{\bar{\tau} Q}{F} \right)^2 \frac{\bar{\tau} L Z R T}{g D}. \quad (9.40)$$

W rzeczywistości w gazociągach ma miejsce nieizotermiczny przepływ gazu, który należy uwzględnić w obliczeniach gazociągów, zwłaszcza



Rys.9.7

W przypadku dużych zmian temperatury gazu. Temperatura sprężonego gazu na wlocie jest najwyższa, a następnie maleje w miarę rozprężenia się gazu oraz wymiany ciepła z otaczającym gazociąg gruntem, osiągając na końcowym odcinku gazociągu stałą wartość zbliżoną do temperatury gruntu (rys.9.7). Krzywą rozkładu temperatury gazu wzdłuż gazociągu można podzielić na dwa odcinki: pierwszy - w którym zachodzi nieizotermiczny przepływ gazu i drugi - izotermiczny.

Różnica temperatury między przepływającym z dużą prędkością gazem a ścianką gazociągu jest bardzo mała, w związku z czym można pominąć wpływ ścianki na przenikanie ciepła do gruntu.

Przyjmujemy w podanych niżej wzorach następujące oznaczenia:

- T - bezwzględna temperatura gazu w zależności od odległości x,
- T<sub>1</sub> - bezwzględna temperatura gazu w przekroju początkowym gazociągu,

$T_o$  - bezwzględna temperatura gruntu,

$k$  - współczynnik przenikania ciepła,

$c_p$  - ciepło właściwe gazu.

Zmianę temperatury gazu oblicza się z bilansu ciepła

$$c_p \gamma Q dx = -k \pi D (T - T_o) dx;$$

stąd

$$\frac{dT}{T - T_o} = -\frac{k \pi D}{c_p \gamma Q} dx.$$

Po scałkowaniu lewej strony równania od  $T_1$  do  $T$  oraz prawej odpowiednio od 0 do  $x$ , otrzymamy

$$\ln \frac{T - T_o}{T_1 - T_o} = -\frac{k \pi D}{c_p \gamma Q} x.$$

Z równania tego otrzymamy wzór na zmianę temperatury wzdłuż gazociągu

$$T = T_o + (T_1 - T_o) e^{-\alpha x}, \quad (9.41)$$

gdzie:  $\alpha = \frac{k \pi D}{c_p \gamma Q}$ .

W przypadku nieizotermicznego przepływu temperatura gazu  $T$  jest wg wzoru (9.41) wykładniczą funkcją odległości  $x$  od przekroju początkowego gazociągu.

Obliczenie nieizotermicznego przepływu sprowadza się do rozwiązania następującego układu równań:

równanie Bernoulliego

$$\frac{dp}{\rho} + v dv + g dh_{sl} = 0,$$

równanie Darcy - Weisbacha

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

równanie ciągłości dla przepływu ustalonego

$$\xi v = \frac{v}{w} = \frac{\xi Q}{F} = Q_M,$$

równanie stanu gazu rzeczywistego

$$p w = Z R T.$$

W równaniach powyższych przyjęto następujące oznaczenia:

$$w = \frac{1}{\xi},$$

$v$  - średnia prędkość w przekroju przewodu,

$Q_n$  - wydatek masowy gazu na jednostkę pola przekroju,

$Q$  - wydatek objętościowy,

$Z$  - współczynnik ściśliwości gazu.

Z równania ciągłości znajdziemy:

$$v = Q_M w; \quad dv = Q_M dw,$$

z uwzględnieniem równania Darcy - Weisbacha, otrzymamy

$$w dp + Q_M^2 w dw + \frac{\lambda Q_M^2 w^2 dx}{2D} = 0.$$

Mnożąc obie strony przez  $p/w$  i uwzględniając równanie stanu gazu, otrzymamy

$$p dp + Q_M^2 Z R T \frac{dw}{w} + \frac{\lambda Q_M^2 Z R T}{2D} dx = 0. \quad (9.42)$$

Przy założeniu niedużych zmian ciśnienia w porównaniu ze zmianami temperatury gazu w gazociągu, możemy przyjąć

$$\frac{dw}{w} \approx \frac{dT}{T}.$$

Podstawiając powyższe do równania (9.42) otrzymamy

$$p dp + Q_M^2 Z R dT = - \frac{\lambda Q_M^2 Z R T}{2D} dx.$$

Uwzględniając dla nieizotermicznego przepływu zależność (9.41), napiszemy

$$p \, dp + Q_M^2 Z R \, dT = - \frac{\lambda Q_M^2 Z R}{2D} \left[ T_o + (T_1 - T_o) e^{-\alpha x} \right] dx.$$

Po scałkowaniu  $p$  w granicach od  $p_1$  do  $p_2$ ,  $T$  od  $T_1$  do  $T_2$  i  $x$  od 0 do  $L$  otrzymamy

$$\begin{aligned} p_2^2 - p_1^2 + 2Q_M^2 Z R (T_2 - T_1) = \\ = - \frac{\lambda Q_M^2 Z R}{D} \left( T_o L + \frac{T_1 - T_o}{\alpha} - \frac{T_1 - T_o}{\alpha} e^{-\alpha L} \right), \end{aligned}$$

stąd po podstawieniu  $Q_M = \frac{\rho Q}{F}$  otrzymamy wzór na obliczenie nieizotermicznego przepływu w gazociągach

$$\begin{aligned} p_1^2 - p_2^2 = \\ = \left( \frac{\rho Q}{F} \right)^2 \frac{Z R}{g} \left[ \frac{\lambda}{D} \left( T_o L + \frac{T_1 - T_o}{\alpha} - \frac{T_1 - T_o}{\alpha} e^{-\alpha L} \right) - 2(T_1 - T_2) \right], \end{aligned} \quad (9.43)$$

$$\text{gdzie: } \alpha = \frac{k \pi D}{c_p \rho Q},$$

$p_1, p_2$  - ciśnienia w przekroju początkowym i końcowym,

$T_1, T_2$  - bezwzględne temperatury gazu w przekroju początkowym i końcowym gazociągu,

$T_o$  - bezwzględna temperatura gruntu.

Łatwo zauważyć, że wzór (9.43) dla nieizotermicznego przepływu gazu sprowadza się po przyjęciu stałej temperatury  $T = T_1 = T_2 = T_o = \text{const}$  do wzoru (9.40) dla izotermicznego przepływu w gazociągach poziomych.

## 9.2. OBLICZANIE GAZOCIĄGÓW NISKIEGO CIŚNIENIA

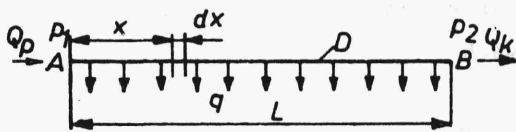
Ciśnienie w rozdzielczych gazociągach sieci miejskiej w praktyce nie przekracza 500 mm H<sub>2</sub>O. W obliczeniach gazociągów niskiego ciśnienia przyjmuje się szereg upraszczających założeń.

Zakładamy izotermiczny przepływ, tj.  $T = \text{const}$ , stały współczynnik ściśliwości  $Z = 1$  oraz gęstość gazu wzdłuż gazociągu  $\rho = \text{const}$ .

Rozbiór gazu z gazociągów sieci rozdzielczej jest w zasadzie nierównomierny. Rozważmy wpierw bardziej uproszczony układ gazociągu z równomiernym i ciągłym na długości rozbiorem.

### 9.2.1. CIĄGŁY I RÓWNOMIERNY ROZBIÓR GAZU

Na rysunku 9.8 przedstawiono schematycznie odcinek gazociągu AB o długości  $L$  i średnicy  $D$  wydawkujący w sposób ciągły i równomierny  $q$  m<sup>2</sup>/s na jednostkę długości.



Rys.9.8

Oznaczmy przez  $Q_p$  wydatek w przekroju początkowym, a przez  $Q_k$  wydatek w przekroju końcowym.

Wydatek odbieranego gazu na długości  $L$  równy jest

$$Q_n = q L.$$

Wydatek w przekroju początkowym

$$Q_p = Q_n + Q_k.$$

W dowolnym przekroju gazociągu w odległości  $x$  od przekroju początkowego A mamy

$$Q_x = Q_k + q(L - x).$$

Na elementarnej długości  $dx$  straty ciśnienia  $dp$  obliczymy z równania Darcy - Weisbacha

$$dp = \lambda \frac{v^2}{2} \frac{\rho}{D} dx. \quad (9.44)$$