

BRONISŁAW KŁOS
WSP w Bydgoszczy

METODA WYZNACZANIA WSPÓŁCZYNNIKA STRAT LINIOWYCH W WYBRANYCH RUROCIĄGACH PODCIŚNIENIA

Wstęp

Podczas przepływu gazu lub powietrza w rurociągach występuje spadek ciśnienia, uwarunkowany tarciem wewnętrznym cząstek gazu o siebie oraz tarciem gazu o wewnętrzne powierzchnie ścian rurociągu.

W związku z tym przy obliczaniu oporów przepływu powietrza w rurociągach niezbędna jest znajomość współczynnika strat liniowych λ . Dobór tego współczynnika napotyka na poważne trudności, zwłaszcza przy przepływie rozrzedzonego powietrza w rurociągach.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie metody oraz wyznaczenie współczynników strat liniowych λ w najczęściej występujących w praktyce średnicach rurociągów.

1. Izotermiczny przepływ powietrza w rurociągu podciśnienia

Rozważmy ustalony przepływ powietrza w poziomym rurociągu o stałym przekroju poprzecznym, przy założeniu, że temperatura powietrza jest jednakowa na całej długości przewodu.

Dla rozwiązania zagadnienia wykorzystujemy równanie Bernoulliego dla gazu rzeczywistego, zapisane w postaci różniczkowej:

$$\frac{dp}{\rho} + wdw + \lambda \frac{w^2}{2D} dx = 0 \quad (1)$$

Pomijając, ze względu na porównywalnie małą wartość, człon wdw równanie przyjmuje postać:

$$-\frac{dp}{\rho} = \lambda \frac{w^2}{2D} dx \quad (2)$$

w którym zmiennymi są: p , w , x , ρ .

Określając prędkość przepływu powietrza z równania ciągłości $m = \rho wA$ oraz gęstość powietrza ρ z równania stanu gazu $\rho = p/(RT)$ i wstawiając wyznaczone zależności do równania (2) otrzymamy:

$$-pdp = \frac{(m/A)^2 \cdot RT}{2D} dx \quad (3)$$

Po scałkowaniu powyższego równania w granicach: od p_1 do p_2 wzdłuż rurociągu w granicach od 0 do L dostaniemy:

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2} = \frac{\lambda(m/A)^2 RTL}{2D} \quad (4)$$

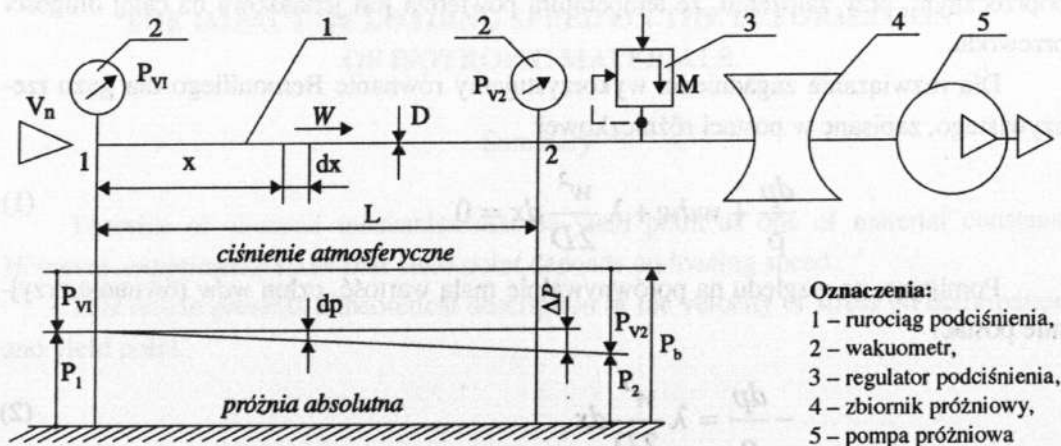
Równanie (4) stanowi podstawową zależność obliczania rurociągów gazowych i powietrznych.

Biorąc pod uwagę, że: $p_1^2 - p_2^2 = (p_1 + p_2)(p_1 - p_2)$ a $p_1 - p_2 = \Delta p$ zaś $p_1 + p_2 = p_2(2 + \Delta p/p_2)$ oraz wstawiając zamiast $m = \rho_n \cdot V_n$ do równania (4) po przeprowadzeniu przekształceń ostatecznie otrzymamy:

$$\lambda = \left(2 + \frac{\Delta p}{p_2}\right) \frac{\pi^2 \cdot \Delta p \cdot \rho_2 \cdot D^5}{16 \cdot L} (\rho_n V_n)^{-2} \quad (5)$$

Jest to wzór na określenie współczynnika strat liniowych λ w rurociągach podciśnienia.

Wykorzystując zależność (5) wyznaczono współczynnik strat liniowych λ na stanowisku pomiarowym przedstawionym na rys. 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska do wyznaczania strat liniowych

Stanowisko umożliwia pośrednie wyznaczenie współczynnika strat liniowych λ dla trzech rurociągów o średnicach: 1", 1 1/4", 1 1/2"

2. Wyniki badań

Wyniki obliczeń współczynnika strat liniowych λ poddano obróbce statystycznej, która umożliwiła oszacować parametry funkcji regresji współczynnika λ względem liczby Reynolds'a, będącej typu potęgowej $\lambda = a * Re^c$ [3]. Wyznaczenia parametru a regresji potęgowej dokonano, szacując parametry regresji liniowej, otrzymanej po odpowiedniej transformacji polegającej na przyjęciu:

$$\lg \lambda = Y, \lg a = \beta_0, \lg Re = X, c = 0,25$$

Otrzymano w ten sposób zależność liniową o postaci:

$$Y = \beta_0 + 0,25 * X \quad (6)$$

Współczynnik β_0 liniowej regresji wyznaczono za pomocą metody najmniejszych kwadratów [3], otrzymując równania na wyznaczenie współczynnika λ dla trzech średnic rurociągów:

$$\text{dla średnicy } d = 1'' \quad \lambda = 0,373 * Re^{-0,25} \quad (7)$$

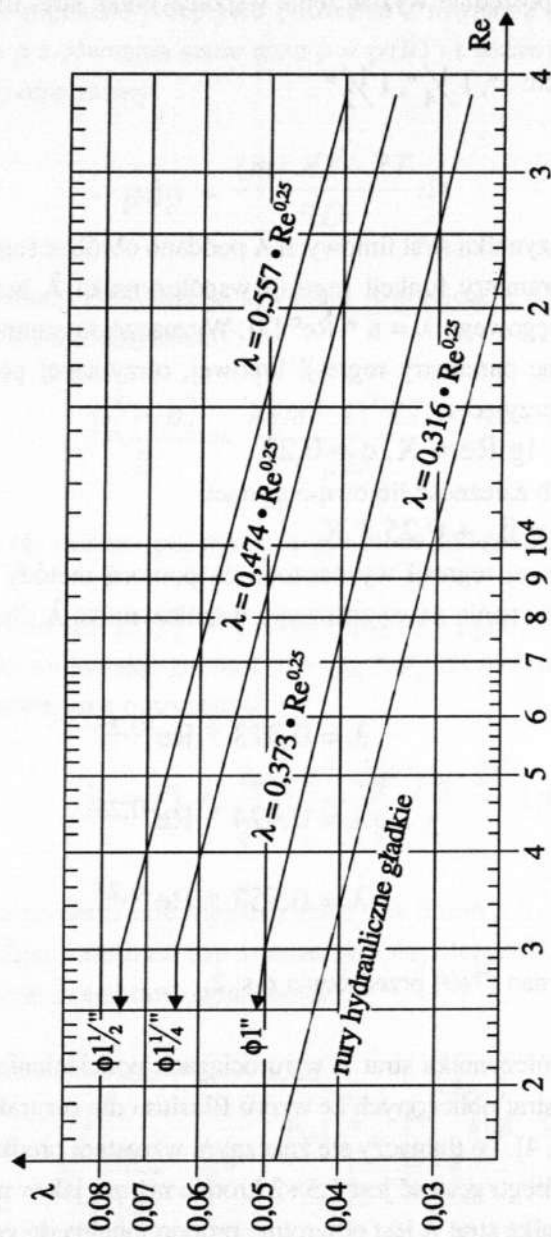
$$\text{dla średnicy } d = 1\frac{1}{4}'' \quad \lambda = 0,474 * Re^{-0,25} \quad (8)$$

$$\text{dla średnicy } d = 1\frac{1}{2}'' \quad \lambda = 0,557 * Re^{-0,25} \quad (9)$$

Ilustrację graficzną równań (7÷9) przedstawia rys. 2.

Wartości liczbowe współczynnika strat λ w rurociągach podciśnienia są 1,5÷2 raza wyższe od współczynników strat obliczonych ze wzoru Blasiusa dla rur traktowanych jako hydraulicznie „gładkie” [1, 2, 4]. To tłumaczy się znacznym wzrostem prędkości przepływu rozrzedzonego powietrza, którego gęstość jest 1,5÷2 krotnie niższa, jak w normalnych warunkach. Wartość współczynnika strat λ jest odwrotnie proporcjonalna do gęstości przepływającego powietrza.

Otrzymane równania (7÷9) pozwalają na określenie współczynnika strat liniowych, w zakresie liczb Reynolds'a (3000÷35000), w rurociągach podciśnienia stosowanych w technice rolniczej.



Rys. 2. Zależność współczynnika λ od liczby Re w badanych rurociągach podciśnienia

LITERATURA

- [1] Bębenek B., Bębenek H., Straty energii w przepływach płynów, wyd. Politechnika Krakowska, 1987.
- [2] Gryboś R., Podstawy mechaniki płynów, PWN Warszawa 1989.
- [3] Platt Cz., Problemy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej, PWN Warszawa 1981.
- [4] Preissler G., Bollrich H., Technische Hydromechanik, Verlag für Bauwesen Berlin 1980.

Ważniejsze oznaczenia:

- A – powierzchnia poprzecznego przekroju rurociągu
- D – średnica rurociągu
- L – długość odcinka pomiarowego
- T – temperatura powietrza w warunkach pomiaru
- Δp – straty ciśnienia na długości pomiarowej
- R – stała gazowa powietrza
- Re – liczba Reynolds'a
- m – masowe natężenie przepływu powietrza
- V – objętościowe natężenie przepływu powietrza
- V_n – objętościowe natężenie przepływu powietrza w warunkach normalnych
- w – prędkość przepływu powietrza w rurociągu
- ρ_n – gęstość powietrza w warunkach normalnych
- λ – współczynnik strat liniowych

**A METHOD OF DETERMINATION OF LINEAR DRAG COEFFICIENT
IN SELECTED VACUUM PIPELINES**

Summary

The paper presents a method of the determination of linear drag coefficient in vacuum pipelines.

The results of experiment are given in the form of regression equations and also the results are presented diagrammatically. The regression equations allow to determine the coefficient of linear drag for Reynolds number within 3000 ÷ 35 000.