Studia magisterskie ENERGETYKA

Jan A. Szantyr

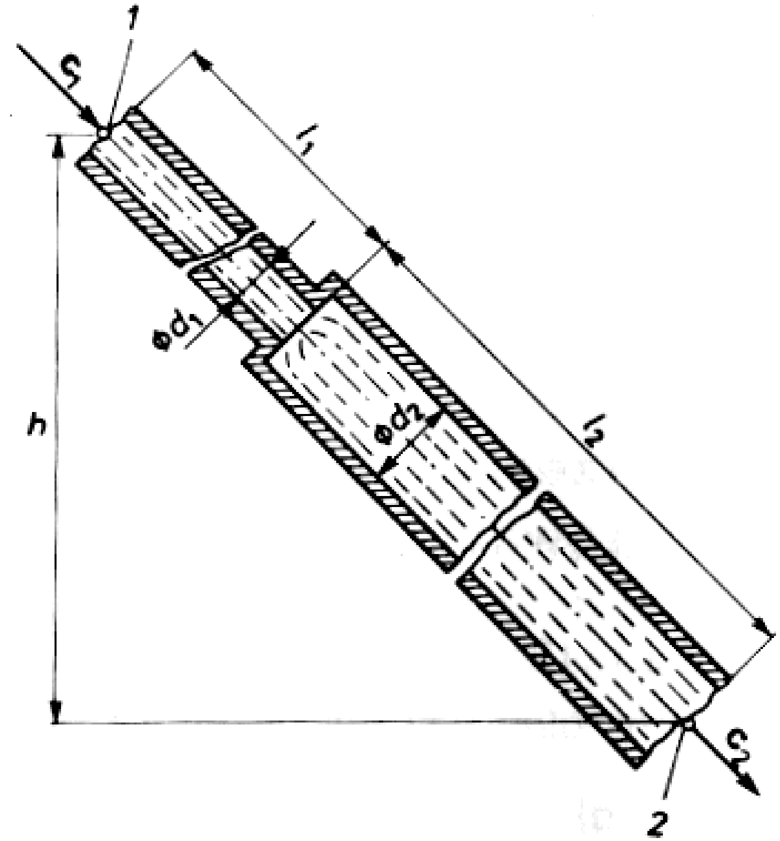
Wybrane zagadnienia z mechaniki płynów

Ćwiczenia 5

Wyznaczanie przepływów przez rurociągi I

Przykład 1: przewodem o zmiennym przekroju przepływa w ciągu godziny 19600 kg paliwa o gęstości ρ=930 kg/m3 i współczynniku lepkości kinematycznej ν=0,000061 m**2/s. Obliczyć spadek ciśnienia w przewodzie jeżeli wymiary wynoszą:**

$$l_1 = 5[m], d_1 = 50[mm], l_2 = 10[m], d_2 = 100[mm], h = 5[m]$$



Rozwiązanie

Objętościowe natężenie przepływu: $Q = \frac{19600}{930 \cdot 3600} = 0{,}00585\left[m^3/s\right]$

Prędkość średnia w części 1: $c_1 = \frac{4Q}{\pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 0{,}00585}{3{,}14 \cdot 0{,}05^2} = 2{,}98\left[m/s\right]$

Prędkość średnia w części 2: $c_2 = \frac{4Q}{\pi d_2^2} = \frac{4 \cdot 0{,}00585}{3{,}14 \cdot 0{,}1^2} = 0{,}745\left[m/s\right]$

Liczba Reynoldsa w części 1: $\mathrm{Re}_1 = \frac{c_1 d_1}{\nu} = \frac{2{,}98 \cdot 0{,}05}{0{,}000061} = 2443$

Liczba Reynoldsa w części 2: $\mathrm{Re}_2 = \frac{c_2 d_2}{\nu} = \frac{0{,}745 \cdot 0{,}1}{0{,}000061} = 1221$

Współczynnik strat liniowych w części 1:

$$\lambda_1 = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{\mathrm{Re}_1}} = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{2443}} = 0{,}045$$

Współczynnik strat liniowych w części 2: $\lambda_2 = \frac{64}{\mathrm{Re}_2} = \frac{64}{1221} = 0{,}052$

Spadek wysokości ciśnienia wywołany stratami liniowymi wynosi:

$$h_\lambda = \frac{c_1^2}{2g}\lambda_1\frac{l_1}{d_1} + \frac{c_2^2}{2g}\lambda_2\frac{l_2}{d_2} = \frac{2{,}98^2}{2\cdot 9{,}81}0{,}045\frac{5}{0{,}05} + \frac{0{,}745^2}{2\cdot 9{,}81}0{,}052\frac{10}{0{,}1} = 2{,}183[m]$$

Spadek wysokości ciśnienia wywołany stratami w rozszerzeniu przekroju:

$$h_\varsigma = \frac{(c_1 - c_2)^2}{2g} = \frac{(2{,}98 - 0{,}745)^2}{2\cdot 9{,}81} = 0{,}255[m]$$

Całkowita strata wysokości ciśnienia wynosi:

$$h_s = h_\lambda + h_\varsigma = 2{,}183 + 0{,}255 = 2{,}438[m]$$

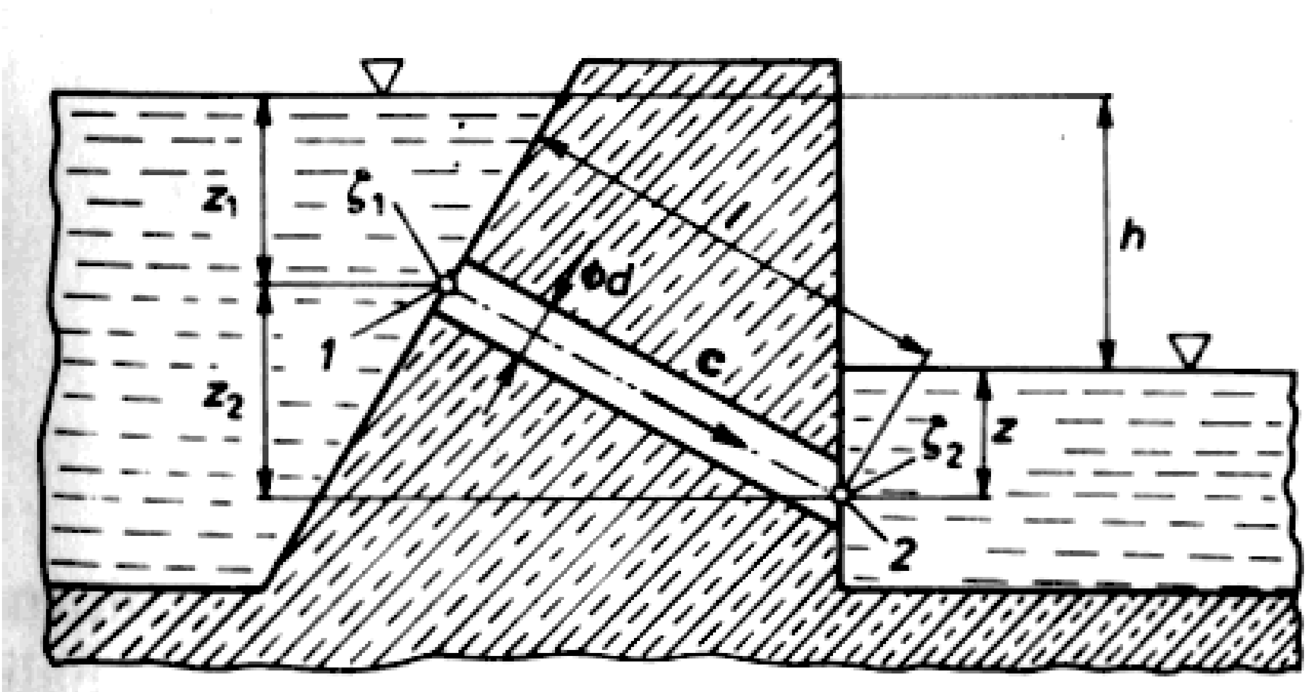
Równanie Bernoulliego względem punktu 2:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{c_1^2}{2g} + h = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{c_2^2}{2g} + h_S$$

Po przekształceniu równania spadek ciśnienia w przewodzie:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho g \left[\frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + h_s - h \right] = -27245 [Pa] \approx -0{,}0272 [MPa]$$

Przykład 2: Syfon o średnicy *d* i długości *l* łączy dwa zbiorniki, w których powierzchnie cieczy są oddalone o wysokość h. Określić objętościowe natężenie przepływu wody przez syfon znając współczynnik strat liniowych λ oraz współczynniki strat lokalnych na dopływie i na wypływie.



Rozwiązanie

Równanie Bernoulliego dla przekrojów 1 i 2:

$$\frac{c_1^2}{2g} + z_1 + z_2 = \frac{c_2^2}{2g} + z + \sum h_s$$

Dla przepływu ustalonego mamy: $c_1 = c_2 = c$

Co prowadzi do: $z_1 + z_2 - z = \sum h_s$

Ponieważ: $z_1 + z_2 - z = h$ oraz $\sum h_s = \frac{c^2}{2g}\left(\lambda \frac{l}{d} + \varsigma_1 + \varsigma_2\right)$

Otrzymujemy:

$$h = \frac{c^2}{2g}\left(\lambda \frac{l}{d} + \varsigma_1 + \varsigma_2\right)$$

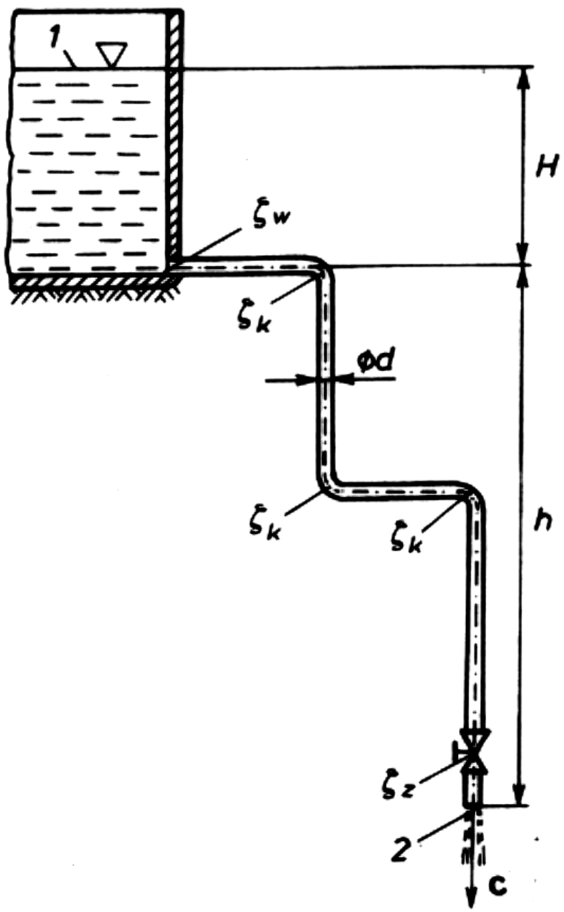
Z tego wyznaczamy średnią prędkość przepływu:

$$c = \sqrt{\frac{2gh}{\lambda \frac{l}{d} + \varsigma_1 + \varsigma_2}}$$

Następnie obliczamy objętościowe natężenie przepływu przez syfon:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2gh}{\lambda \frac{l}{d} + \varsigma_1 + \varsigma_2}}$$

Przykład 3



Z otwartego zbiornika wypływa woda przez przewód o długości l=200 [m] i średnicy d=100 [mm]. Jaka powinna być wysokość H poziomu wody w zbiorniku aby objętościowe natężenie wypływu z wylotu rurociągu wynosiło Q=40 [l/s]?

Dane: h=2 [m] $\upsilon = 1 \cdot 10^{-6} \left[{m^2}/{s} \right]$

$\varsigma_w = 0{,}5$ wlot ze zbiornika

$\varsigma_k = 0{,}2$ kolano

$\varsigma_z = 5{,}0$ zawór wylotowy

Rozwiązanie

Prędkość średnia wypływu z rurociągu wynosi:

$$\tilde{c} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0{,}04}{3{,}14 \cdot (0{,}1)^2} = 5{,}1 [m/s]$$

Liczba Reynoldsa wynosi:

$$\mathrm{Re} = \frac{\tilde{c}\, d}{\upsilon} = \frac{5{,}1 \cdot 0{,}1}{1 \cdot 10^{-6}} = 510000$$

Przepływ w rurociągu jest turbulentny, czyli współczynnik tarcia wynosi:

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{\mathrm{Re}}} = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{510000}} = 0{,}012$$

Wysokość H określamy z równania Bernoulliego:

$$\frac{\tilde{c}_1^{\,2}}{2g} + \frac{p_b}{\rho g} + h + H = \frac{\tilde{c}_2^{\,2}}{2g} + \frac{p_b}{\rho g} + \sum h_s$$

gdzie: $c_1 = 0$ $\qquad c_2 = \tilde{c}$

Łączna wysokość strat wynosi:

$$\sum h_s = \frac{\tilde{c}^2}{2g}\left(\varsigma_w + 3\cdot\varsigma_k + \varsigma_z + \lambda\frac{l}{d}\right)$$

Czyli niezbędny poziom wody H w zbiorniku wynosi:

$$H = \frac{\tilde{c}^2}{2g}\left(1 + \varsigma_w + 3\cdot\varsigma_k + \varsigma_w + \lambda\frac{l}{d}\right) - h$$

Po podstawieniu danych liczbowych:

$$H = \frac{(5{,}1)^2}{2\cdot 9{,}81}\left(1 + 0{,}5 + 3\cdot 0{,}2 + 5 + 0{,}012\frac{200}{0{,}1}\right) - 2 = 39{,}2[m]$$