

Tablica 7.10

Trójniki zbiorcze						
$\delta = 45^\circ$						
Q_a/Q	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
ξ_a	-0,9	-0,37	0,0	0,22	0,37	0,38
ξ_d	0,05	0,18	0,19	0,06	-0,18	-0,54
$\delta = 90^\circ$						
Q_a/Q	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
ξ_a	-1,2	-0,4	0,1	0,47	0,72	0,92
ξ_d	0,06	0,18	0,3	0,40	0,50	0,60

7.4. LINIE CIŚNIEŃ I ENERGII

Rozważając przepływ cieczy lepkiej w przewodach pod ciśnieniem, linię zmiany nadciśnienia otrzymamy łącząc poziomy cieczy w rurkach piezometrycznych ustawionych wzdłuż osi przewodu. Wykres nadciśnienia statycznego wzdłuż przewodu nazywamy linią ciśnień lub linią piezometryczną. Zmiana ciśnienia wzdłuż przewodu, zgodnie z równaniem Bernoulliego dla cieczy lepkiej, zależy od zmian wysokości poszczególnych przekrojów przewodu ponad poziom odniesienia, zmian energii kinetycznej oraz od strat energii strumienia. Spadki ciśnienia spowodowane oporami przepływów określają straty energii. Spadek ciśnienia wywołany wzniesieniem osi przewodu lub zwiększeniem prędkości przy zmniejszeniu przekroju przewodu stanowi tylko zmianę energii ciśnienia na energię położenia lub energię kinetyczną. Linia energii strumienia

wzniesiona jest nad linią ciśnień o wysokość prędkości $\frac{v^2}{2g}$. Wzdłuż odcińków przewodów o stałym przekroju poprzecznym wysokość prędkości, zgodnie z prawem ciągłości, jest wielkością stałą a linia ciśnień jest równoległa do linii energii.

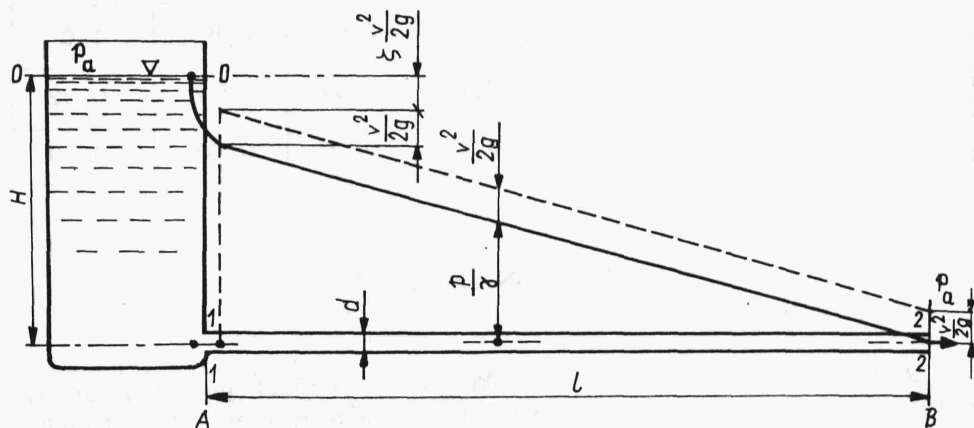
W ogólnym przypadku, tzn. przy zmiennym przekroju poprzecznym przewodu, linie te nie są do siebie równoległe. W odróżnieniu od linii energii, która stale obniża się w kierunku przepływu, linia ciśnień może się nie tylko obniżać lecz również wznosić.

Przy zwiększaniu się przekroju poprzecznego przewodu prędkość maleje i część energii kinetycznej zamienia się na potencjalną.

Jeżeli przyrost energii potencjalnej jest większy od straty ciśnienia, to linia ciśnień wznosi się.

Dla lepszego zapoznania się z przebiegiem zmian energetycznych zachodzących w rurociągu przedstawimy sposób sporządzania wykresów zmian ciśnienia i energii w następujących przykładach:

Przykład 7.1. Ciecz przepływa przewodem o zadanej średnicy d i długości l ze zbiornika do atmosfery, w którym zwierciadło wzniesione jest ponad oś przewodu o znaną wartość naporu H ; dane są ponadto współczynniki oporów λ i ζ (rys.7.20). Określić linie ciśnień i energii.



Rys.7.20

Rozwiązanie. Układamy równanie Bernoulliego dla przekrojów 0-0 i 2-2

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \zeta \frac{v_2^2}{2g} + \lambda \frac{l}{d} \frac{v_2^2}{2g}.$$

Przy założeniu ustalonego przepływu $H = \text{const}$:

$$v_0 = 0, p_0 = p_2 = p_a, z_0 = H, z_2 = 0, v_2 = v.$$

Po podstawieniu tych zależności do równania Bernoulliego otrzymamy

$$H = \frac{v^2}{2g} \left(1 + \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right), \quad (7.23)$$

skąd

$$v = \sqrt{\frac{2g H}{1 + \zeta + \lambda \frac{1}{d}}}.$$

Po wyznaczeniu prędkości v układamy równanie Bernoulliego dla przekrojów 1-1 i 2-2

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v^2}{2g} + \frac{p_a}{\gamma} + 0 + \lambda \frac{1}{d} \frac{v^2}{2g}.$$

W rozważanym przypadku:

$$v_1 = v, \quad z_1 = 0,$$

po czym otrzymamy wysokość nadciśnienia w przekroju 1-1 równą wysokości strat liniowych

$$\frac{p_1 - p_a}{\gamma} = \lambda \frac{1}{d} \frac{v^2}{2g}. \quad (7.24)$$

Porównując zależności (7.23) i (7.24) napiszemy

$$\frac{p_1 - p_a}{\gamma} = H - \left(\zeta \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{2g} \right).$$

W przekroju 2-2 nadciśnienie wynosi

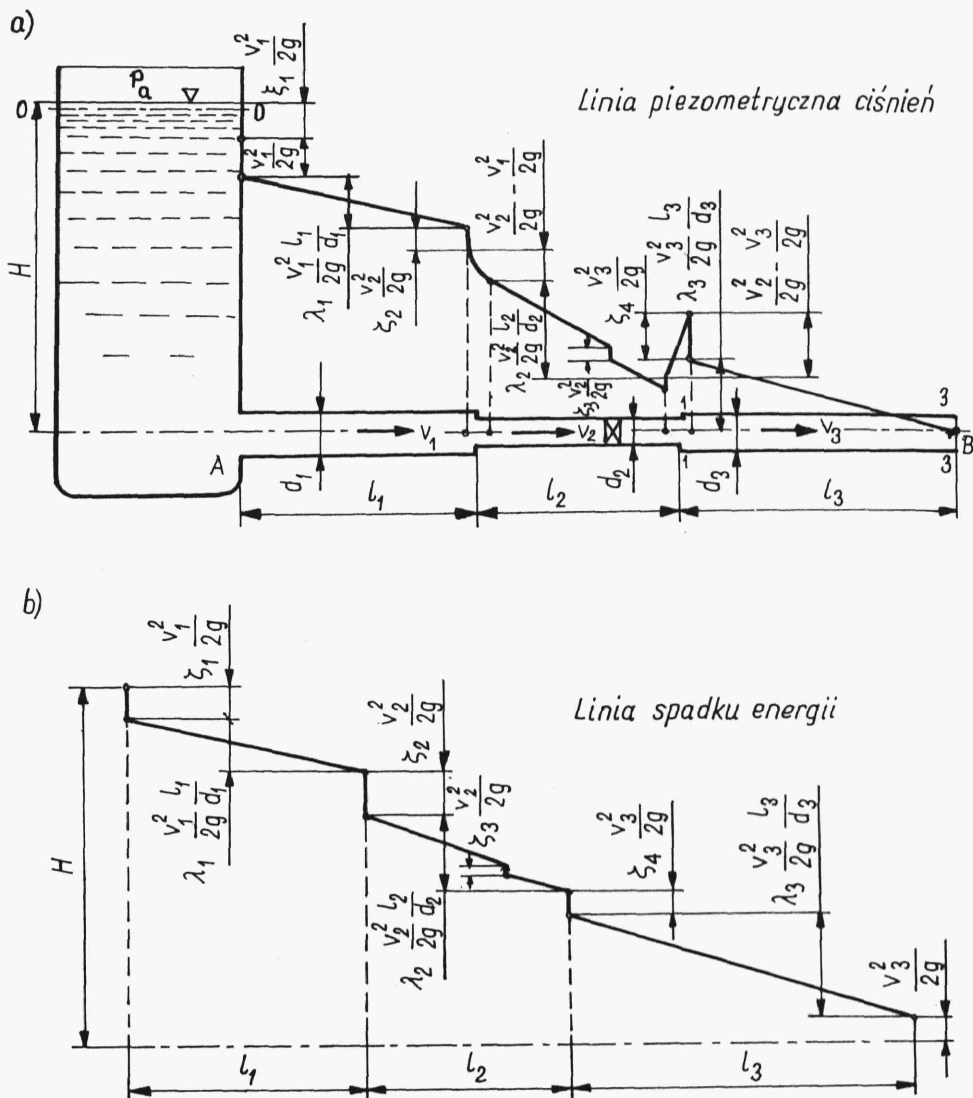
$$\frac{p_2 - p_a}{\gamma} = 0.$$

Łącząc punkt w przekroju 1-1 wzniesiony nad osią przewodu o wysokości $H - \left(\zeta \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{2g} \right)$ z punktem na osi w przekroju 2-2 wyznaczmy linię ciśnień.

Linia energii wzniesiona jest nad linią ciśnień o wielkość $\frac{v^2}{2g}$ (rys.7.20).

Przykład 7.2. Określić przebieg linii ciśnień i energii dla cieczy lepkiej, płynącej przewodem składającym się z trzech odcinków o za-

danych średnicach d_1, d_2, d_3 i długościach l_1, l_2, l_3 . W środkowym odcinku przewodu znajduje się zawór (rys.7.21). Zadane są również - chropowatość przewodu ε , wydatek Q , rodzaj i temperatura cieczy.



Rys.7.21

Rozwiązanie. Układamy równanie Bernoulliego dla przekrojów 0-0 i 3-3

$$H = \frac{v_3^2}{2g} + \zeta_1 \frac{v_1^2}{2g} + \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{v_1^2}{2g} + \zeta_2 \frac{v_2^2}{2g} + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{v_2^2}{2g} + \zeta_3 \frac{v_2^2}{2g} + \zeta_4 \frac{v_3^2}{2g} + \lambda_3 \frac{l_3}{d_3} \frac{v_3^2}{2g}. \quad (7.24')$$

Z prawa ciągłości wyznaczamy:

$$v_1 = \frac{4Q}{\pi d_1^2}, \quad v_2 = \frac{4Q}{\pi d_2^2}, \quad v_3 = \frac{4Q}{\pi d_3^2}.$$

Następnie obliczamy liczby Reynoldsa:

$$Re_1 = \frac{v_1 d_1}{\nu}, \quad Re_2 = \frac{v_2 d_2}{\nu}, \quad Re_3 = \frac{v_3 d_3}{\nu}.$$

Znając wartości chropowatości ε oraz liczb Re_1, Re_2, Re_3 wyznaczamy z wykresu Colebrooka i White'a $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$. Współczynniki oporów miejscowych $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4$ określamy z podanych poprzednio wzorów i tablic.

Znamy zatem wszystkie wyrazy po prawej stronie równania (7.24'), w związku z tym możemy wyznaczyć wartość naporu H oraz określić przebieg linii energii a następnie linii ciśnień (rys.7.21). Warto zwrócić uwagę na przyrost ciśnienia w przekroju 1-1 przy przejściu od przekroju mniejszego do większego. Wynika to z tego, że przyrost energii potencjalnej kosztem energii kinetycznej jest większy od straty

miejscowej $\zeta_2 \frac{v_2^2}{2g}$.

7.5. HYDRAULICZNE OBLICZANIE PRZEWODÓW PROSTYCH

Do przewodów prostych będziemy zaliczali przewody pojedyncze prostoliniowe lub zgięte o stałym lub zmiennym przekroju poprzecznym i dowolnej długości. Rozważany jest przepływ ustalony o stałym wydatku cieczy bez doprowadzenia dodatkowej energii z zewnątrz (np. bez udziału pompy).