

zaś składowa normalna do płytki

$$R_n = \rho Q (v_{on} - v_n),$$

w naszym przypadku:

$$v_{on} = v_o \sin \alpha,$$

$$v_n = 0.$$

Po podstawieniu otrzymamy

$$R = R_n = \rho Q v \sin \alpha. \quad (5.54)$$

Wydatki Q_1 i Q_2 otrzymamy rozwiązując układ równań:

$$Q_1 + Q_2 = Q,$$

$$\rho Q v \cos \alpha = \rho Q_1 v - \rho Q_2 v,$$

otrzymamy:

$$Q_1 = \frac{Q}{2} (1 + \cos \alpha),$$

$$Q_2 = \frac{Q}{2} (1 - \cos \alpha).$$

Dla $\alpha = \frac{\pi}{2}$ otrzymamy odpowiednio

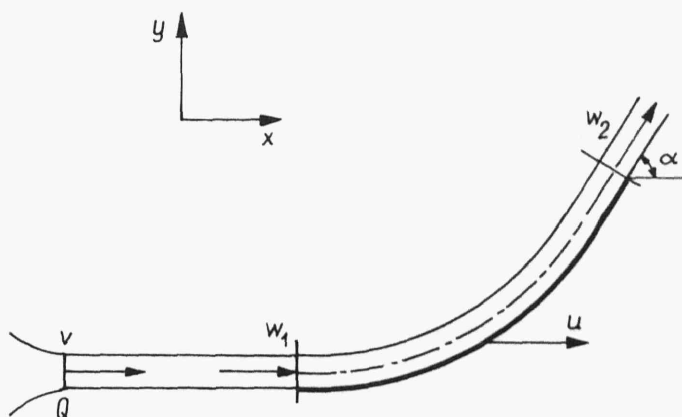
$$R = R_n = \rho Q v$$

oraz

$$Q_1 = Q_2 = \frac{Q}{2}.$$

5.7.2. REAKCJA STRUMIENIA NA PRZESZKODY RUCHOME

Rozpatrzmy strumień o prędkości v , wpływający stycznie na powierzchnię zakrzywioną, która porusza się z prędkością u i odchyła ten strumień o kąt α (rys. 5.46). Prędkość u i v są do siebie rów-



Rys.5.46

nolegie i mają jednakowe zwroty, przy czym $u < v$. W rozważanym przepływie pomijamy straty oraz ciężar cieczy. Prędkości względne na wlocie i wylocie strumienia są sobie równe

$$|w_1| = |w_2| = |w| = |v - u|.$$

Wydatek strumienia względem ruchomej powierzchni jest równy

$$Q' = F(v - u)$$

lub wobec zależności $Q = F v$ otrzymamy

$$Q' = \frac{Q}{v}(v - u). \quad (5.55)$$

Składowe reakcji na powierzchnię zakrzywioną w przyjętym układzie współrzędnych x y są równe:

$$R_x = \rho Q'(w_{1x} - w_{2x}),$$

$$R_y = \rho Q'(w_{1y} - w_{2y}).$$

Wobec zależności

$$w_{1x} = v - u, \quad w_{2x} = (v - u) \cos \alpha,$$

$$w_{1y} = 0, \quad w_{2y} = (v - u) \sin \alpha,$$

oraz uwzględniając zależność (5.41) otrzymamy:

$$R_x = \rho Q \frac{(v - u)^2}{v} (1 - \cos \alpha), \quad (5.56)$$

$$R_y = \rho Q \frac{(v - u)^2}{v} \sin \alpha.$$

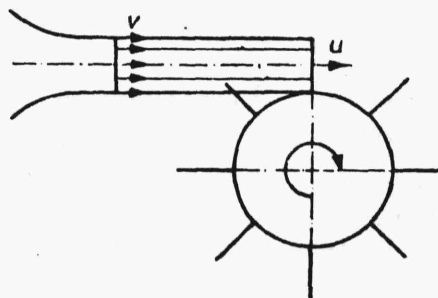
Reakcja wypadkowa

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \rho Q \frac{(v - u)^2}{v} \sqrt{2 \cdot (1 - \cos \alpha)}.$$

Z porównania wzorów (5.39) i (5.42) wynika, że reakcja strumienia na przeszkodę ruchomą jest mniejsza od reakcji działającej na identyczną przeszkodę nieruchomą wskutek zmniejszenia się zarówno prędkości cieczy względem przeszkody jak również wydatku, którego pęd ulega zmianie.

Jeżeli na drodze strumienia ustawimy szereg kolejno po sobie następujących powierzchni, np. układ łopatek osadzonych na obwodzie koła turbinowego (rys.5.47), to w tym przypadku uzyskana będzie zmiana ilości ruchu całego wydatku Q .

Składową i wypadkową reakcji strumienia względem układu łopatek napiszemy w postaci:



Rys.5.47

$$R_x = \rho Q(v - u)(1 - \cos \alpha),$$

$$R_y = -\rho Q(v - u) \sin \alpha, \quad (5.57)$$

$$R = \rho Q(v - u) \sqrt{2(1 - \cos \alpha)}.$$

Moc przekazywana przez strumień wyrazi się jako iloczyn $R_x u$ (składowa R_y jest prostopadła do kierunku prędkości u , a więc nie wykonuje pracy)

$$N = R_x u = \rho Q(v - u)(1 - \cos \alpha) u. \quad (5.58)$$

Maksymalną moc przy $\alpha = \text{const}$ znajdziemy z warunku

$$\frac{dN}{du} = \rho Q(v - 2u)(1 - \cos \alpha) = 0,$$

skąd

$$u = \frac{v}{2}$$

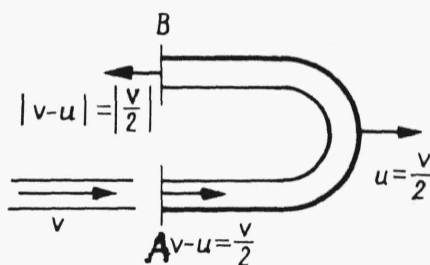
oraz

$$N_{\max} = \frac{1}{4} \rho Q v^2 (1 - \cos \alpha).$$

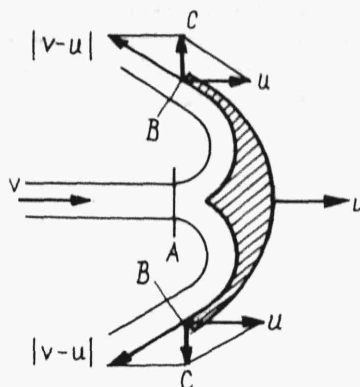
Jeżeli jeszcze przyjmiemy $\cos \alpha = -1 (\alpha = \pi)$, to otrzymamy maksymalnie możliwą moc uwzględniającą oba wymienione warunki, wówczas

$$N'_{\max} = \frac{1}{2} \rho Q v^2.$$

Na rys.5.48 przedstawiono kształt ruchomej łopatki o kącie $\alpha = 180^\circ$. Uwzględniając warunek (na N'_{\max}) $u = \frac{v}{2}$ otrzymamy dla przedstawionego kształtu łopatki w przekroju wylotowym prędkość wypadkową równą zero, co może spowodować zakłócenie pracy wirnika wskutek braku odprowadzenia cieczy.



Rys.5.48



Rys.5.49

W celu uzyskania pewnych prędkości potrzebnych do odprowadzenia cieczy zastosowano w praktyce turbinę Peltona, w której kąt α zagięcia łopatki jest nieco mniejszy od 180° (rys.5.49).

Dla skompensowania reakcji bocznych R_y stosowany jest w turbinie Peltona symetryczny układ łopatek.

Przykład 5.11. Obliczyć reakcję strumienia wody na nieruchomą płytkę nachyloną pod kątem $\alpha = 50^\circ$ do kierunku strumienia (rys.5.45), jeżeli znany jest wydatek wody $Q = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ wypływającej z dyszy o średnicy $d = 100 \text{ mm}$.

Rozwiązanie. Szukaną reakcję strumienia wyznaczymy ze wzoru (5.54)

$$R = \rho Q v \sin \alpha.$$

Przyjmując $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ oraz $v = \frac{4Q}{\pi d^2}$ otrzymamy

$$R = 1000 \cdot 0,25 \cdot \frac{4 \cdot 0,25}{\pi \cdot 0,1^2} \sin 50^\circ = 6,099 \text{ kN}.$$

Przykład 5.12. Obliczyć moc przekazywaną przez strumień wody ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) o przekroju poprzecznym $F = 78,5 \text{ cm}^2$ i wydatku $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$, napędzającą koło łopatkowe Peltona (rys.5.49) o średnicy $d = 900 \text{ mm}$. Liczba obrotów koła wynosi $n = 350 \text{ obr/min}$, zaś kąt zagięcia łopatek $\alpha = 175^\circ$.

Rozwiązanie. Dla określenia mocy skorzystamy ze wzoru (5.58)

$$N = \rho Q (v - u) (1 - \cos \alpha) u$$

Prędkość ruchu łopatek równa jest prędkości obwodowej koła

$$u = \pi d n.$$

Prędkość strumienia wynosi

$$v = \frac{Q}{F}.$$

Uwzględniając powyższe zależności napiszemy:

$$N = \rho Q \left(\frac{Q}{F} - \pi d n \right) (1 - \cos 175^\circ) \pi d n,$$

$$N = \left[\frac{1000}{9,81} \cdot \frac{1000}{3600} \left(\frac{1000}{3600} \cdot \frac{10^4}{78,5} - \pi \cdot 0,9 \cdot \frac{350}{60} \right) (1 + 0,996) \cdot \pi \cdot \frac{350}{60} \right] : 102.$$

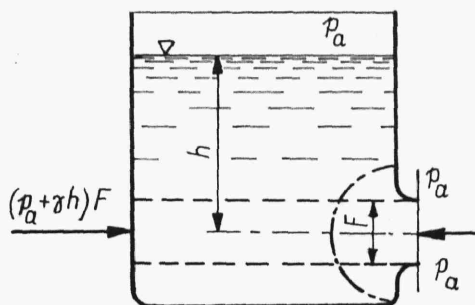
$$N = \frac{17\,615}{102} = 172,7 \text{ kW}.$$

5.7.3. REAKCJA HYDRODYNAMICZNA

Reakcją hydrodynamiczną strumienia płynu nazywamy siłę jaką ten strumień wywiera na ściany naczynia lub przewodu.

Określenie reakcji hydrodynamicznej służyć więc może do badania dynamiki strumienia, jak również oddziaływania płynu na otaczające go ściany.

Reakcja płynu wypływającego ze zbiornika.



Rys.5.50

Rozważmy otwarty zbiornik (rys.5.50), w którego ścianie bocznej znajduje się na głębokości h od powierzchni swobodnej niewielki w porównaniu z tą powierzchnią otwór F .

Zakładając, że wypływ cieczy ze zbiornika jest ustalony masa cieczy wypływającej w jednostce czasu wyniesie

$$\varrho v F = \varrho Q.$$

Przyrost pędu w jednostce czasu będzie równy

$$P_x = \varrho Q v = \varrho v^2 F,$$

gdzie P_x jest wypadkową sił zewnętrznych, wywołujących zmianę pędu, a ściślej wypadkową oddziaływania ścian zbiornika na ciecz w kierunku poziomym.

W tym przypadku reakcja wypływającej cieczy na ścianki naczynia wyniesie:

$$\bar{R} = -\bar{P}_x, \quad R = \varrho Q v = \varrho v^2 F.$$

Łatwo wykazać, że reakcja ta jest dwukrotnie większa od parcia statycznego, działającego na powierzchnię F usytuowaną na głębokości h .

Wiadomo, że wzoru (5.3), że prędkość wypływu cieczy ze zbiornika otwartego przez mały otwór wynosi

$$v = \sqrt{2g h}.$$