

Wartość współczynnika wydatku przy wypływie wody z otworu znajdującego się w cienkiej ścianie zbiornika zależy głównie od współczynnika kontrakcji strumienia.

Wartości współczynnika wydatku μ dla małych otworów zawarte są w granicach $0,60 \div 0,62$.

5.2.2. WYPŁYW PRZEZ PRZYSTAWKI

Współczynniki wydatku mogą być w dość dużych granicach zmieniać się stosowaniem tzw. przystawek. Przystawką nazywamy krótką rurę o dowolnych kształtach, stanowiącą obramowanie otworu.

Długość przystawek powinna być od 3 do 5 razy większa od jej wewnętrznej średnicy, aby nastąpił wypływ cieczy z przystawki pełnym przekrojem. Rozpatrzmy najczęściej stosowane przystawki walcowe i stożkowe.

Przystawka walcowa zewnętrzna.

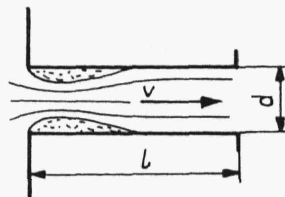
Przystawkę walcową stanowi rura o długości l , równej od 3 do 4 średnic wewnętrznych d (rys. 5.14).

Tuż przy samym wlocie przystawki następuje przewężenie przekroju strumienia, następnie strumień się rozszerza wypełniając przekrój wylotowy przystawki. W tym przypadku współczynnik kontrakcji strumienia na wylocie przystawki jest równy jedności $\beta = 1$.

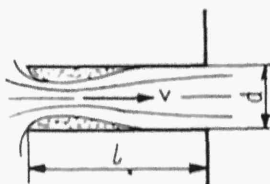
Z zależności $\mu = \alpha\beta$ wynika, że współczynnik wydatku na wylocie przystawki walcowej zewnętrznej równy jest współczynnikowi prędkości $\mu = \alpha$. Widzimy więc, że stosowanie przystawki walcowej znacznie wpływa na zwiększenie współczynnika wydatku. Otóż według danych doświadczalnych współczynnik wydatku przy zastosowaniu przystawki walcowej wynosi $\mu = 0,82$, natomiast współczynnik wydatku cieczy wypływającej przez mały otwór jest równy $\mu = 0,62$. A więc przystawka walcowa spowodowała w tym przypadku wzrost współczynnika wydatku, a więc i samego wydatku o 32%.

Wartość współczynnika wydatku zależy w dużym stopniu od kształtu brzegów przekroju wlotowego przystawki. Brzegi zaokrąglone zwiększają współczynnik wydatku do $\mu = 0,95$.

Przystawka walcowa wewnętrzna. W przystawkach walcowych wewnętrznych (rys. 5.15) zachodzą analogiczne zjawiska, jak i w przystawkach zewnętrznych. W przystawce wewnętrznej następuje tylko większe dławienie strumienia, który następnie raptownie się rozszerza. Zjawisko to wpływa na wzrost oporów wewnętrznych przystawki wewnętrznej, co z kolei obniża współczynnik wydatku. Gdy $l \geq 3d$, a więc, gdy cały przekrój przystawki jest wypełniony, wtedy współczynnik kontrakcji $\beta = 1$, $\mu = \alpha = 0,71$.



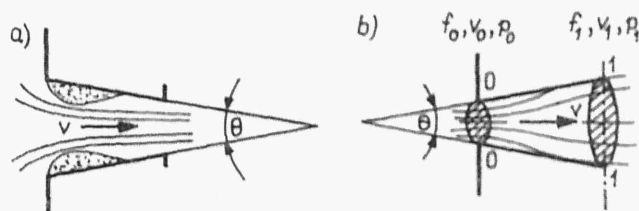
Rys. 5.14



Rys. 5.15

Natomiast przy $l \leq 3d$ następuje oderwanie strumienia cieczy. Wartość współczynnika wydatku wynosi wtedy $\mu = 0,51$.

Przystawka stożkowa zbieżna. W przystawce stożkowej zbieżnej (rys.5.16a) współczynniki wydatku, prędkości i kontrakcji zależą od kąta rozwarcia θ . Przewężenie strumienia przy wlocie do



Rys.5.16

przystawki nie ma zasadniczego znaczenia, ponieważ wartość prędkości w przewężeniu v_0 nie jest większa od prędkości w przekroju wylotowym, a zatem i ciśnienie w przewężeniu p_0 nie będzie mniejsze niż ciśnienie atmosferyczne p_a przy wypływie. W przystawce tego typu ma miejsce kontrakcja strumienia przy wypływie. Powyższe zjawiska powodują, że ze wzrostem kąta rozwarcia θ rośnie współczynnik prędkości a maleje współczynnik kontrakcji.

Według podanych w tablicy 5.1 wartości współczynników wydatku μ , prędkości α i kontrakcji β najwyższa wartość współczynnika μ przy $\theta = 13^\circ 24'$ wynosi 0,946.

Tablica 5.1

θ	0°	2°	3°	4°	5°	6°	8°	10°
μ	0,829	0,873	0,892	0,909	0,920	0,925	0,931	0,937
α	0,829	0,875	0,892	0,909	0,920	0,925	0,933	0,949
β	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,987

θ	12°	$13^\circ 24'$	16°	25°	30°	35°	45°
μ	0,942	0,946	0,938	0,908	0,896	0,883	0,857
α	0,955	0,963	0,969	0,974	0,975	0,977	0,983
β	0,986	0,982	0,968	0,932	0,919	0,904	0,857

Przystawka stożkowa rozbieżna. Kawitacja. Przy przepływie przez przystawkę stożkową rozbieżną (rys.5.16b) strumień cieczy po przewężeniu bardziej się rozszerza niż przy wypływie przez

przystawkę cylindryczną. W tego rodzaju przystawkach przyjmujemy, że współczynnik wydatku równy jest współczynnikowi prędkości $\mu = \alpha$.

W przewężeniu strumienia panuje podciśnienie, które można wyznaczyć z równania Bernoulliego i z równania ciągłości rozważając przekrój przewężony 0-0 i wylotowy 1-1

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma}$$

oraz

$$v_0 f_0 = v_1 f_1.$$

W równaniach tych oznaczono przez f_0, p_0, v_0 przekrój, ciśnienie i prędkość w przewężeniu strumienia, przez f_1, p_1, v_1 - analogiczne wielkości w przekroju wylotowym.

W naszym przypadku ciśnienie p_1 równe jest ciśnieniu atmosferycznemu p_a , czyli $p_1 = p_a$ oraz $f_1 > f_0$.

Z powyższych równań wyznaczmy ciśnienie w przewężeniu strumienia

$$p_0 = p_a - \frac{\rho v_1^2}{2} \left[\left(\frac{f_1}{f_0} \right)^2 - 1 \right].$$

Ponieważ drugi wyraz prawej strony równania jest dodatni, to $p_0 < p_a$, a więc w przewężeniu strumienia panuje ciśnienie mniejsze od atmosferycznego. Gdy ciśnienie p_0 obniży się do ciśnienia wrzenia cieczy w danej temperaturze, wówczas w obszarze przewężenia strumienia nastąpi burzliwe parowanie (wrzenie cieczy) i wytwarzanie się pęcherzyków wypełnionych parą. Spadek ciśnienia może występować także na powierzchni łopatek przy ruchu szybkoobrotowych turbin wodnych, pomp odśrodkowych i śrub okrętowych oraz w dyszach Venturiego. W tych przypadkach duże miejscowe prędkości powodują znaczne spadki ciśnienia.

Również w wysoko położonych partiach rurociągu możemy się spotkać z dużymi spadkami ciśnienia.

W tych obszarach, gdzie występują spadki ciśnienia do wartości $p = p_w$ materiał rurociągu lub łopatka doznaje bardzo znacznych uszkodzeń podobnych do tych, jakie wywołuje działanie silnym kwasem. Struktura materiału staje się gąbczasta. Wżery sięgają głęboko w głąb materiału. Stosowanie stali chromoniklowej oraz emalii zabezpieczających metale przed działaniem kwasów nie dało pozytywnych wyników. Całokształt zjawisk towarzyszących spadkowi ciśnienia w cieczy aż do ciśnienia wrzenia i powodujących korozję metalu nosi nazwę kawitacji.

Przepływ z kawitacją znacznie różni się od zwykłego przepływu, ponieważ tworzenie się pęcherzy pary powoduje nieciągłość strumienia a ponadto rosną straty przepływu.

Zagadnienie kawitacji nie jest całkowicie zbadane i wyjaśnione. Istnieje natomiast szereg hipotez. Według jednej z nich w przekrojach rurociągu, w których ciśnienie $p = p_w$ powstają pęcherze pary, przemieszczające się wzdłuż ścianek przewodu aż do przekrojów, w których $p > p_w$. W tych przekrojach następuje gwałtowna kondensacja pęcherzy pary powodując na skutek gwałtownego zanikania pęcherzy uderzenie cieczy o ściankę. Uderzenia cieczy o ściankę z dużą częstotliwością są przyczyną tzw. korozji kawitacyjnej. Początkowo na powierzchni metalu pojawiają się nieznaczne wżery i bruzdy, które stopniowo, przy trwającej dłuższy czas kawitacji, stają się coraz głębsze i rozrastają się do takich wymiarów, że z materiału przewodu odpadają odłamki metalu. W ten sposób powstają charakterystyczne głębokie wżery w metalu o budowie gąbczastej.

Doświadczenie potwierdza tę hipotezę, ponieważ największe uszkodzenia materiału przewodu występują w strefie kondensacji pęcherzy pary, a nie w strefie ich powstawania. Na podstawie doświadczenia stwierdzono również, że pęcherzyki powietrza i gazu znajdujące się w przepływającej cieczy znacznie ułatwiają powstawanie kawitacji.

Aby wypływający przez przystawkę stożkową rozbieżną strumień cieczy mógł wypełnić przystawkę na całej jej długości, ustalono niezbyt duży zakres wartości kąta rozwarcia θ od 5° do 7° .

Dla kąta $\theta = 5^\circ \div 7^\circ$ wartość współczynnika $\mu = 0,50$.

W tablicy 5.2 podano porównawcze wartości współczynnika prędkości α i współczynnika wydatku μ wymienionych typów przystawek.

Tablica 5.2

Rodzaj przystawki	α	μ
Walcowa zewnętrzna	0,820	0,820
Walcowa wewnętrzna	0,710	0,710
Stożkowa zbieżna ($\theta = 13^\circ 24'$)	0,963	0,946
Stożkowa rozbieżna ($\theta = 5^\circ \div 7^\circ$)	0,500	0,500

Przykład 5.2. Woda przepływa z górnego zbiornika do dolnego przez rozszerzającą się rurę, czyli tzw. dyfuzor. Określić wysokość H_1 na jakiej winna znajdować się powierzchnia swobodna w zbiorniku górnym, przy której w przewężeniu dyfuzora wystąpi zjawisko kawitacji.

Dane są: $d_1 = 100$ mm; $d_2 = 150$ mm, $H_2 = 1,15$ m; $p_a = 1,033$ kG/cm². Temperatura wody $t = 20^\circ\text{C}$, dla której ciśnienie wrzenia $p_w = 0,02382$ kG/cm² (rys.5.17).

Rozwiązanie. Układamy równanie Bernoulliego dla przekrojów 0-1

$$\frac{p_a}{\gamma} + H_1 = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g},$$

a następnie dla przekrojów 0-2

$$\frac{p_a}{\gamma} + (H_1 + H_2 + z) = \frac{p_a + \gamma z}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g},$$

skąd

$$H_1 + H_2 = \frac{v_2^2}{2g}.$$

Z równania ciągłości otrzymamy

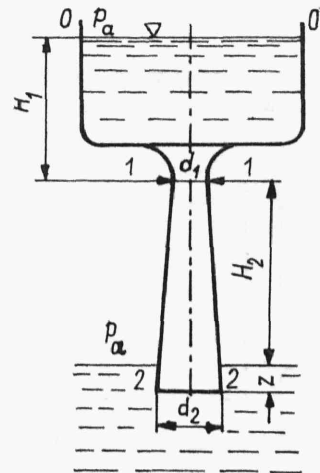
$$v_2 = v_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2.$$

Rozwiązując ten układ 3 równań względem H_1 otrzymamy

$$H_1 = \frac{\frac{p_a - p_1}{\gamma} - H_2 \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4}{\left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 - 1}.$$

Kawitacja może powstać w przewężeniu dyfuzora, gdy ciśnienie p_1 będzie równe ciśnieniu wrzenia p_w . Podstawiając odpowiednie dane liczbowe otrzymamy

$$H_1 = \frac{10,333 - 0,238 - 1,15 \cdot \left(\frac{150}{100} \right)^4}{\left(\frac{150}{100} \right)^4 - 1} = 0,85 \text{ m}.$$



Rys.5.17