

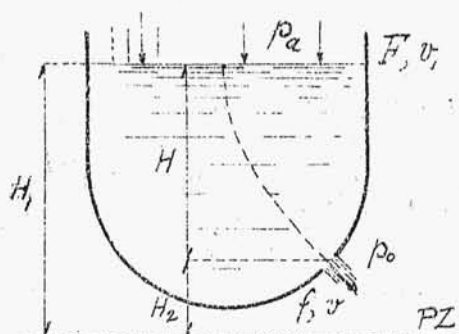
w przekrojach I i II strumienia wprost przez v_1 i v_2 i wówczas równanie D. Bernoulli'ego napiszemy:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \sum h_t$$

WYPŁYW CIECZY PRZEZ OTWORY.

132. Niech będzie naczynie ,napełnione cieczą ciężką do pewnej wysokości. Niech poziom cieczy będzie stały. W ścianie naczynia mamy otwór o niewielkiem polu f .

Znaleźć prędkość wypływu i wydatek wody w jednostce czasu.



rys. 82.

Przypuśćmy, że na razie mamy ciecz doskonałą. Wyobraźmy sobie strugę bardzo cienką, która się zaczyna na swobodnej powierzchni, będącej na wysokości H , nad poziomem zasadniczym; mamy tu po-

le o przekroju F' i ciśnienie zewnętrzne p_a ; koniec strugi niech będzie w otworze f , którego

środek znajduje się na wysokości H_2 ponad poziomem zasadniczym.

Przy wylocie niech będzie ciśnienie $p_0 \leq p_a$

Zastosujmy twierdzenie D. Bernoulli'ego do cząstki na początku i na końcu tak pomyślanej strugi, pisząc :

$$H_1 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = H_2 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$

Ponieważ ruch mamy ciągły, więc $v_1 F' = v \cdot f$
czyli $v_1 = v \cdot \frac{f}{F'}$, zatem:

$$H_1 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{v^2 \left(\frac{f}{F'}\right)^2}{2g} = H_2 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$

Stąd

$$v = \sqrt{\frac{2g \left[H_1 - H_2 + \frac{p_a - p_0}{\gamma} \right]}{1 - \left(\frac{f}{F'}\right)^2}}$$

Ponieważ $H_1 - H_2 = H$, gdzie przez H oznaczamy głębokość środka otworu f pod swobodną powierzchnią, więc :

$$v = \sqrt{\frac{2g \left(H + \frac{p_a - p_0}{\gamma} \right)}{1 - \left(\frac{f}{F'}\right)^2}}$$

Taki jest wynik teoretyczny.

Ponieważ, jednak, mamy ciecz rzeczywistą, zachodzą

dzie muszą, pewne opory przy wpływie, które dadzą mniejszą prędkość. Aby wynik rzeczywisty przedstawić wzorem podobnym do otrzymanego, należy poprawić go, wprowadzając współczynnik. Napiszemy wtedy:

$$v = \varphi \sqrt{\frac{2g(H + \frac{p_a - p_0}{\gamma})}{1 - \left(\frac{f}{H}\right)^2}} \quad \dots/54/$$

Współczynnik φ nazwiemy **współczynnikiem prędkości**; będzie to stosunek między prędkością rzeczywistą a prędkością teoretyczną.

Jeśli otwór będzie wykonany w ścianie cienkiej, wówczas φ jest dla wody bliski i $0,96 \sim 0,98$. Wartość współczynnika φ jest naogół trudna do określenia, gdyż, z jednej strony, trudno mierzyć prędkość w różnych miejscach strumienia, a z drugiej strony, jak wskazują doświadczenia, prędkość wypływu jest w różnych punktach przekroju różna, i następnie, zmienia się w niewielkich nawet odległościach od płaszczyzny otworu.

Zresztą, dla celów praktycznych ważniejsze jest znać wydatek wody, wypływającej z otworu.

133. Rozpatrując wzór / 54 / widzimy, że może tu zajść kilka przypadków.

a/ Przedewszystkiem, kiedy przekrój F' jest bardzo duży w porównaniu z f . Wtedy ułamek $\frac{f}{F'}$ jest bardzo mały w porównaniu z jednością, tem bardziej wzięty do kwadratu, może więc być przy jedności opuszczony. Otrzymujemy wzór :

$$v = \varphi \sqrt{2g\left(H + \frac{p_a - p_o}{\gamma}\right)} \quad \dots\dots/55/$$

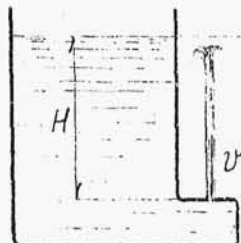
b/ Niech, dalej, będzie ten przypadek, że ciśnienie zewnętrzne na swobodną powierzchnię i przy otworze f są równe: $p_a = p_o$. Wtedy :

$$v = \varphi \sqrt{2gH} \quad \dots\dots/56/$$

Ten ostatni wzór znalazł na podstawie doświadczeń Torricelli /1608 - 1647 /.

Wzór Torricelli'ego dla cieczy doskonałej wskazuje, że cząstki cieczy przy wypływie mają taką prędkość, jaką by miały, spadając ruchem swobodnym z wysokości H ze swobodnej powierzchni. Wynik ten nie zależy od tego, w jakim miejscu ścianki wykonany jest otwór. Jeśli wyobrazimy sobie otwór

w miejscu, jak na rysunku, ciecz doskonała wypływać będzie z prędkością $v = \sqrt{2gH}$ do góry. Cząstki wyrzucone do góry z prędkością



v , mogą się podnieść na wysokość $= \frac{v^2}{2g}$, czyli w naszym przypadku na wysokość $= H$. Doświadcze-

rys. 83.

nie stwierdza ten wynik

niedokładnie, gdyż powstają opory podczas ruchu w powietrzu.

134. Teoretycznie wydatek Q możemy otrzymać ze wzoru :

$$Q = v \cdot F'$$

W rzeczywistości, jednak, okazuje się, że przekrój wypływającego z otworu strumienia nie jest taki sam jak otwór; zachodzi tu w pewnej mierze, jak będziemy to nazywali, **dławienie strumienia**; skutkiem tego przekrój strumienia jest nie F' , lecz $\psi F'$, gdzie ψ jest ułamkiem zwykłym, nazywanym **spółczynnikiem dławienia**. Jeśli uwzględnimy, że średnia prędkość rzeczywista jest γ razy większa niż teoretyczna, że rzeczywisty przekrój jest $\psi F'$,

wówczas otrzymamy, że rzeczywisty wydatek :

$$Q = \varphi \cdot v \cdot \psi F' = \varphi \cdot \psi \cdot v F' = \mu \cdot v F',$$

gdzie $\mu = \varphi \psi$ nazywany spółczynnikiem wydatku.

Spółczynniki ψ i μ dają się lepiej określić z doświadczeń, gdyż mamy do tego dostatecznie pewne sposoby i dokładne przyrządy. Znalazszy ψ i μ możemy pośrednio wywnioskować o wartości spółczynnika φ , według równania : $\varphi = \frac{\mu}{\psi}$.

135. Należy parę słów poświęcić spółczynnikom dławienia i wydatku, aby móc się lepiej orientować w liczbach, które są podawane w tablicach.

Spółczynniki wydatku, badane dla różnych otworów i przy rozmaitych okolicznościach wahają się od 0,59 do 0,75.



rys.84.



rys.85.

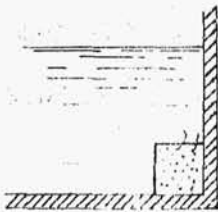
Otworki wykonane w c i e n k i e j ścianie /lub dnie /, odsunięte od sąsiednich ścian, dostarczają strumień ze wszystkich stron zdławiony, mamy wtedy t.zw. d ł a w i e n i e z u p e ł n e

Spółczynnik wydatku w takim razie jest

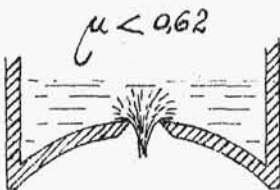
$$\mu = \infty 0,62.$$

Jeżeli otwór wykonany będzie w bliskości jednej ze ścian, wtedy dławienie będzie z trzech stron t.zn. dławienie niezupełne i spółczynnik wydatku μ będzie $> 0,62$.

Spółczynnik μ jeszcze więcej wzrośnie, jeśli otwór będzie w kącie naczynia, w bliskości dwóch ścianek, wtedy $\mu > 0,64$.



rys.86.



rys.87.

Jeżeli naczynie będzie miało ściankę / dno/ wklęsłą, jak to na rysunku pokazane, wówczas cząstki będą zmuszone przy wypływie do tem większego odchylenia się od pierwotnego kierunku i wtedy spółczynnik wydatku μ będzie $< 0,62$.

Następnie, ogólnie można zaznaczyć, że w miarę wzrostu słupa cieczy ponad środkiem otworu, spółczynnik wydatku cokolwiek zmniejszać się będzie.

Wzrost otworów przy pozostałych jednakowych

warunkach ma pewien wpływ na współczynnik wydatku.

Otwór okrągły ma współczynnik wydatku mniejszy, niż otwór innego kształtu. Kolejno mają coraz większe

μ : otwór kołowy, kwadratowy, trójkątny i prostokątny.

Powyżej mówiliśmy o współczynniku wydatku. Jeśli przypomnimy sobie uwagę, zrobioną wyżej co do współczynnika prędkości, że φ jest bliskie 1, przekonamy się, że współczynnik

$$\psi = \approx \mu.$$

136. PRZYSTAWKI. Współczynniki dławienia i wydatku mogą być znacznie zmienione przez zastosowanie t.zw. przystawki, t.j. rurki o różnych kształtach.

Zewnętrzna przystawka cylindryczna o średnicy d i długości $l = \begin{cases} 1d; & 2 \sim 3d; & 12d; \end{cases}$ daje współczynnik $\mu = \begin{cases} 0,88; & 0,82; & 0,77. \end{cases}$

Przystawka stożkowa o kącie δ nachylenia tworzącej do osi i długości $l = 3d$