

INSTRUKCJA

Do ćwiczenia pt.: Badanie wypływu cieczy ze zbiornika.

BADANIE WYPIŁYU CIECZY ZE ZBIORNIKA

1. Wprowadzenie.

Spośród zagadnień związanych z wypływem cieczy ze zbiornika do najważniejszych należą:

- obliczenie natężenia wypływu cieczy przez otwór w ścianie zbiornika,
- wyznaczenie czasu opróżniania zbiornika.

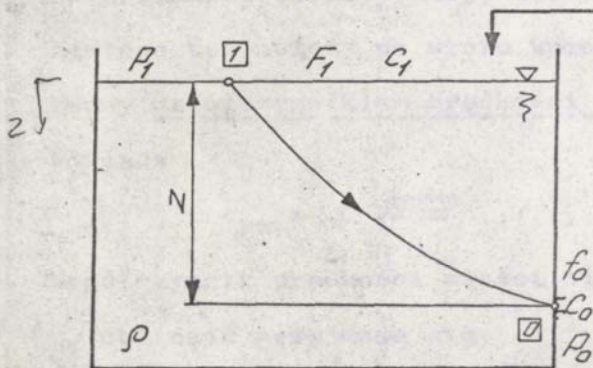
2. Cel ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest doświadczalne określenie współczynników prędkości, kontrakcji i wydatku oraz wyznaczenie czasu wypływu cieczy ze zbiornika, a następnie porównanie otrzymanych rezultatów z wynikami uzyskanymi na drodze analitycznej. Badania dotyczą wypływów przez otwory małe oraz przez przystawki.

3. Wiadomości wstępne.

Wypływ ustalony przez mały otwór.

Wypływ ustalony cieczy ze zbiornika zachodzi wówczas, gdy powierzchnia swobodna cieczy w zbiorniku pozostaje na niezmiennej wysokości w stosunku do osi otworu $/z = \text{const}/$, rys.1.



Rys.1. Wypływ cieczy ze zbiornika przez mały otwór.

Zakładając, że przepływ odbywa się bez strat energii, równanie Bernoulliego dla linii prądu 0 - 1 przyjmie postać

$$\frac{c_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + gz = \frac{c_0^2}{2} + \frac{p_0}{\rho} \quad /1/$$

w przepływie ustalonym, jeżeli

$$z = \text{const} \quad \text{to} \quad c_1 = 0.$$

Jeżeli ponadto rozważa się wypływ cieczy do atmosfery z otwartego zbiornika, wówczas

$$p_1 = p_0$$

Uwzględniając powyższe założenia, otrzymuje się w szczególnym przypadku prędkość wypływu cieczy ze zbiornika w postaci wzoru Torricelliego

$$c_0 = c = \sqrt{2gz} \quad /2/$$

Ze wzoru wynika, że prędkość wypływu na różnych poziomach otworu jest różna; w szczególności na górnej krawędzi otworu jest mniejsza niż na dolnej. A zatem otwór można traktować jako mały wówczas, gdy jego powierzchnia jest mała w porównaniu do powierzchni zwierciadła cieczy oraz gdy wymiar pionowy otworu jest mały w porównaniu z głębokością zanurzenia jego środka.

Rzeczywista prędkość wypływu c_{rz} jest o około 3% mniejsza od prędkości teoretycznej, obliczonej przy pomocy wzoru /2/.

Dlatego też należy do wzoru wprowadzić współczynnik poprawkowy, zwany współczynnikiem prędkości α .

Wówczas

$$c_{rz} = \alpha \sqrt{2gz} \quad /3/$$

Współczynnik prędkości mieści się w granicach $0,96 \div 0,99$.

Do obliczeń przyjmuje się

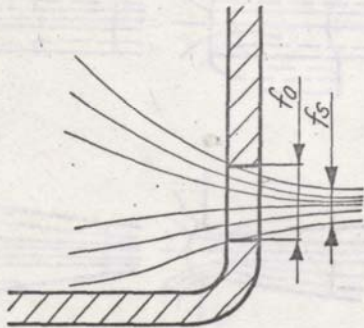
$$\alpha = 0,98.$$

Okazuje się jednak, że w wypadku obliczania natężenia przepływu ciecchy za pomocą wzoru

$$\dot{V} = \alpha \sqrt{2gz} \cdot f_0$$

f_0 - powierzchnia przekroju otworu/

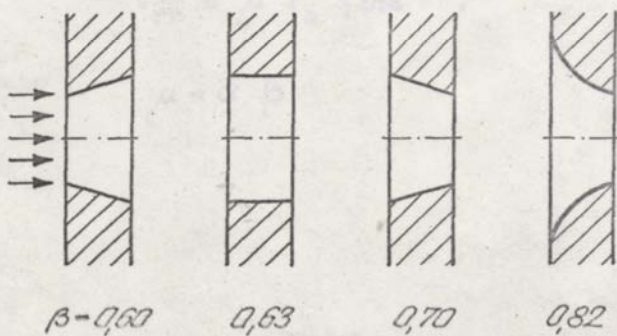
otrzymuje się wartości znacznie większe /średnio o 40%/ od wartości rzeczywistych /zmierzonych/. Przyczyną tego jest zjawisko zwężenia strugi /kontrakcji/ towarzyszące przepływowi ciecchy przez otwory ostrokrawędziowe /rys.2/.



Rys.2. Przewężenie /kontrakcja/ strugi ciecchy.

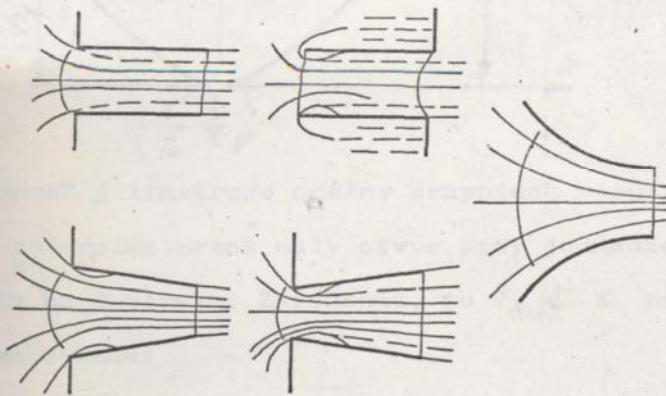
Stosunek $\frac{f_s}{f_0} = \beta$ nosi nazwę współczynnika kontrakcji.

Stwierdzono doświadczalnie, że dla otworów ostrokrawędziowych wartość współczynnika kontrakcji zmienia się w granicach $0,60 \div 0,64$. Nieznaczne nawet zaokrąglenie ostrych krawędzi otworu powoduje wzrost wartości współczynnika β .



Rys.3. Wpływ kształtu otworu na wartość współczynnika kontrakcji.

Zwężenie strugi, jako czynnik zmniejszający natężenie wypływu cieczy jest na ogół zjawiskiem niepożądanym. Dlatego dla wyeliminowania go stosowane są przystawki, formujące przekrój strugi na pewnym odcinku przed wylotem. Przystawki mogą być walcowe /zewnętrzne i wewnętrzne/, stożkowe /zbieżne i rozbieżne/ oraz konoidalne /rys.4/. Te ostatnie zapewniają wypływ prawie bez kontrakcji / $\beta \approx 1$ /.



Rys.4. Przystawki walcowe, stożkowe i konoidalna.

Rzeczywisty wydatek cieczy wypływającej przez otwór lub przystawkę wyniesie więc

$$\dot{V}_{rz} = \alpha \beta f_0 \sqrt{2gz} \quad /4/$$

Iloczyn współczynnika prędkości α i współczynnika kontrakcji β nosi nazwę współczynnika wydatku μ .

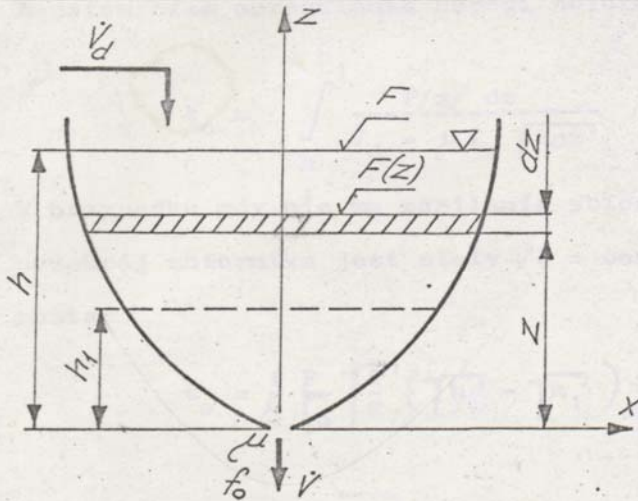
A zatem

$$\dot{V}_{rz} = \mu f_0 \sqrt{2gz} \quad /5/$$

gdzie

$$\mu = \alpha \cdot \beta \quad /5a/$$

Czas opróżniania zbiornika przez mały otwór.



Rys.5. Nieustalony wypływ cieczy ze zbiornika

Rysunek 5 ilustruje ogólny przypadek nieustalonego wypływu cieczy ze zbiornika przez mały otwór przy jednoczesnym zasilaniu zbiornika na dopływie. Założenie, że $\dot{V}_d < \dot{V}$ prowadzi do następującego wywodu:

Jeżeli w chwili początkowej opróżniania zwierciadło cieczy znajdowało się na wysokości "h" nad otworem, to po upływie czasu "dt" opadnie ono do wysokości "z", pole jego powierzchni wyniesie F/z , zaś prędkość wypływu będzie równa $\sqrt{2gz}$. A zatem w czasie "dt" przez otwór lub przystawkę wypłynie ciecz w ilości

$$\mu f_0 \sqrt{2gz} dt, = m^2 \frac{m}{s^2} \cdot s$$

zaś zwierciadło cieczy obniży się o "dz".

Jeżeli więc natężenie zasilania wynosi \dot{V}_d to w czasie "dt" ze zbiornika ubywa ciecz w ilości

$$\dot{V}_d dt - F/z dz.$$

Bilans masowy dostarcza równania

$$\dot{V}_d dt - F/z dz = \mu f_0 \sqrt{2gz} dt.$$

Podczas opróżniania zbiornika między dowolnymi poziomami wysokość

"z" zmienia się od "h" do "h₁".

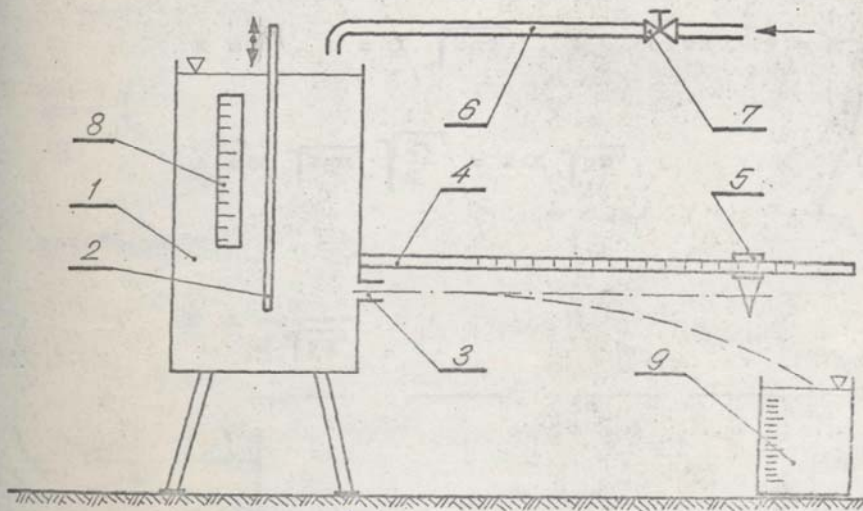
A zatem czas opróżniania części zbiornika oblicza się jako całkę

$$t_o = \int_h^{h_1} \frac{F/z/ dz}{\dot{V}_d - \mu f_o \sqrt{2gz}} \quad /6/$$

W przypadku gdy nie ma zasilania zbiornika $\dot{V}_d = 0/$ oraz gdy przekrój zbiornika jest stały $/F = \text{const}/$ wzór /6/ przyjmuje postać

$$t_o = \frac{1}{\mu} \frac{F}{f_o} \sqrt{\frac{2}{g}} (\sqrt{h} - \sqrt{h_1}) \quad /7/$$

4. Opis stanowiska pomiarowego.



Rys.6. Schemat stanowiska pomiarowego.

Stanowisko składa się ze zbiornika /1/ o prostokątnym przekroju poprzecznym z ruchomą przegrodą /2/ służącą do ustalania poziomu cieczy. Wypływ cieczy odbywa się przez otwór lub przystawkę /3/.

Pozioma listwa /4/ z naniesioną podziałką milimetrową oraz wskaźnik /5/ pozwalają określić współrzędne odpowiedniego punktu strumienia. Woda doprowadzana jest do zbiornika przewodem /6/ poprzez zawór regulacyjny /7/. Wodowskaz /8/ służy do określania poziomu wody w zbiorniku. Do wyznaczenia wydatku rzeczywistego należy użyć zlewki /9/.

5. Metodyka obliczeń.

Współczynnik wydatku μ na podstawie wzoru /5/ wynosi

$$\mu = \frac{\dot{V}_{rz}}{f_0 \sqrt{2gz}} \quad /8/$$

Współczynnik prędkości α określa się w oparciu o wzory :

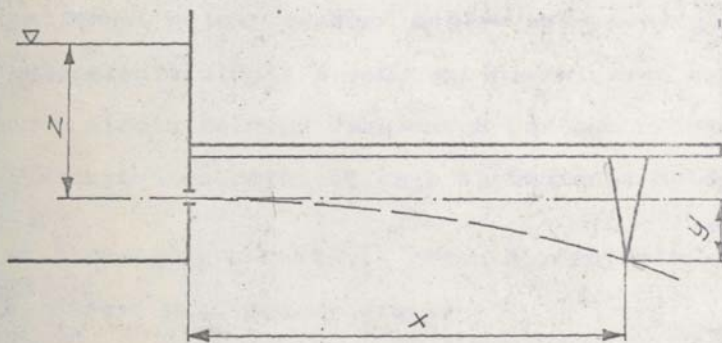
$$x = c \cdot t = \alpha \sqrt{2gz} \cdot t \quad \text{oraz} \quad y = g \frac{t^2}{2},$$

skąd

$$x = \alpha \sqrt{2gz} \sqrt{\frac{2y}{g}} = 2\alpha \sqrt{yz}$$

ostatecznie

$$\alpha = \frac{x}{2 \sqrt{yz}} \quad /9/$$



Rys.7. Schemat pomiaru współrzędnych x i y.

Współczynnik kontrakcji β wyznaczyć można przy pomocy równania /5a/

$$\beta = \frac{\mu}{\alpha} \quad /10/$$

Czas opróżniania zbiornika między dowolnymi poziomami oblicza się ze wzoru /7/.

6. Metodyka pomiarów.

- Za pomocą przegrody /2/ w zbiorniku /1/ należy ustalić wskazany poziom, a następnie zaworem /7/ włączyć dopływ wody. Po ustaleniu się poziomu wody w części pomiarowej zbiornika można odsłonić odpowiedni otwór lub przystawkę /3/; przesuwając wskaźnik /5/ po listwie /4/ do punktu w którym włos wskaźnika przecnie oś wypływającego strumienia odczytuje się wartość współrzędnej "x" /współrzędna "y" ma wartość stałą i podana jest w tablicy/.
- Wydatek rzeczywisty \dot{V}_{rz} wyznacza się metodą objętościową, przy pomocy zlewki /9/ i stopera.
- Dla wyznaczenia czasu opróżniania zbiornika między wskazanymi poziomami należy zamknąć dopływ wody przy górnym położeniu zwierciadła cieczy i jednocześnie włączyć sekundomierz. Po osiągnięciu dolnego wskazanego poziomu należy zatrzymać stoper i odczytać rzeczywisty czas opróżniania zbiornika t_{rz} .
- Błąd względny określenia czasu opróżniania zbiornika można wyznaczyć przy pomocy wzoru:

$$\varepsilon = \left| \frac{t_0 - t_{rz}}{t_0} \right| 100 \quad [\%]$$

