



Politechnika Wrocławska

Wydział Mechaniczno-Energetyczny

Ćwiczenie L10

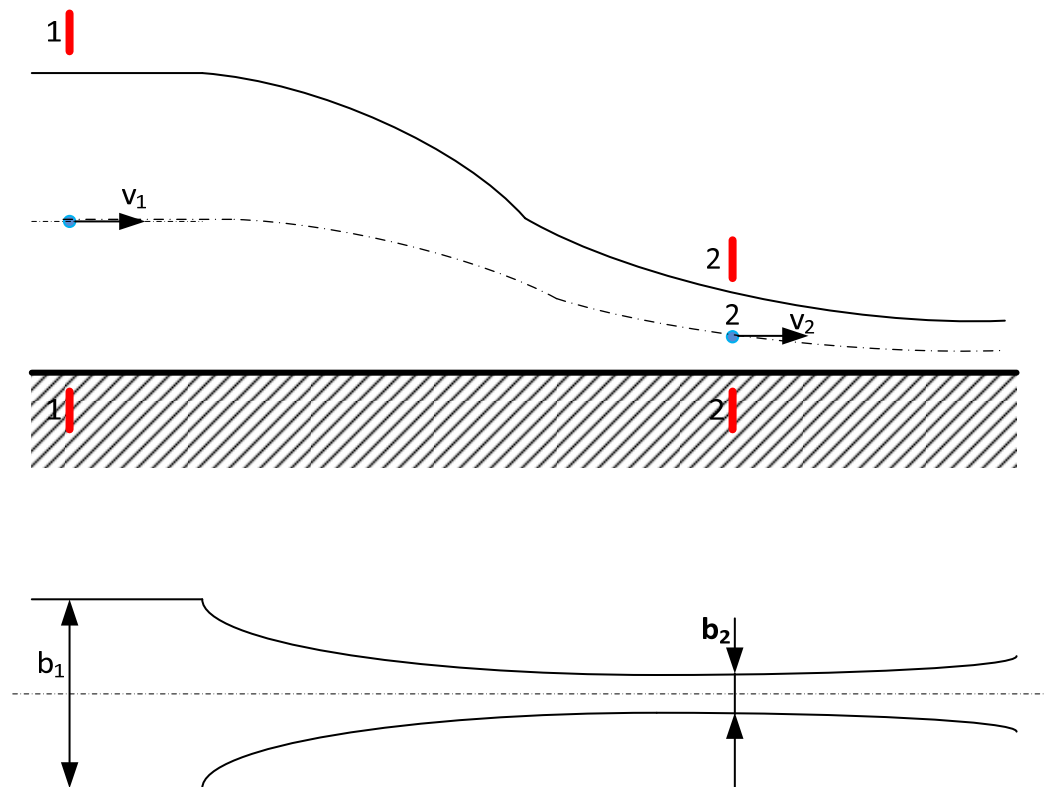
POMIAR STRUMIENIA OBJĘTOŚCI W KANAŁACH OTWARTYCH - KORYTO VENTURIEGO

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie zasady pomiaru strumienia objętości za pomocą mierniczego koryta Venturiego oraz sporządzenie jego charakterystyki przepływu.

2. Wstęp teoretyczny

Koryto miernicze znajduje zastosowanie do pomiaru strumienia objętości cieczy w kanałach otwartych. Powstaje ono poprzez zabudowanie w kanale otwartym zwężenia powodującego wzrost prędkości przepływającej cieczy. W celu wyjaśnienia zasady działania koryta mierniczego wybrano na jego długości przekroje poprzeczne 1 i 2 (rys. 1).



Rys. 1. Koryto miernicze Venturiego.

Przekrój 1 położony jest przed zwężeniem natomiast przekrój 2 leży w zwężeniu. Zakładając ruch ustalony ruch cieczy zapisano uogólnione równanie Bernoulliego w postaci (1). W obu przekrojach na powierzchni cieczy występuje ciśnienie barometryczne, a ciśnienie hydrostatyczne jest pomijalnie małe stąd w równaniu (1) nie występują człony wysokości ciśnienia.

$$h_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h_{12}^s. \quad (1)$$

Wysokości h_1 i h_2 reprezentują głębokość odpowiednio w przekroju 1 i 2. W celu wyznaczenia z równania (1) strumienia objętości przepływającej cieczy zastosowane zostaną dwa uproszczenia. Jeżeli przekroje 1 i 2 oddalone są od siebie o niewielką odległość to straty hydrauliczne pomiędzy tymi przekrojami można pominąć. Dodatkowo ze względu na duże pole przekroju 1 wysokość prędkości w tym przekroju jest znacząco mniejsza od wysokości położenia h_1 czyli spełniony jest warunek

$$\frac{\alpha_1 \frac{v_1^2}{2g}}{h_1} \ll 1, \quad (2)$$

stąd człon wysokości prędkości w przekroju 1 w równaniu (1) może zostać pominięty. Po podstawieniu do wzoru (1) prędkość v_2 wyznaczoną z równania ciągłości przepływu $q_{vr} = v_2 h_2 b_2$ otrzymamy

$$h_1 = h_2 + \alpha_2 \frac{\left(\frac{q_{vr}}{h_2 b_2}\right)^2}{2g}, \quad (3)$$

a po przekształceniu wyznaczony zostanie strumień objętości w postaci

$$q_{vr} = h_2 b_2 \sqrt{\frac{2g}{\alpha_1} (h_1 - h_2)}. \quad (4)$$

Z równania (4) wynika, że do wyznaczenia strumienia objętości konieczny jest pomiar dwóch wysokości. Jednej przed przewężeniem, a drugiej w przewężeniu. Jest to niedogodność, która komplikuje pomiar strumienia objętości i jest źródłem dodatkowych błędów pomiaru. Stąd zastosowano przewężenie o specjalnej geometrii powodujące przejście ruchu spokojnego przed przewężeniem w ruch rwący w przewężeniu. Koryto takie nazywa się korytem mierniczym Venturiego.

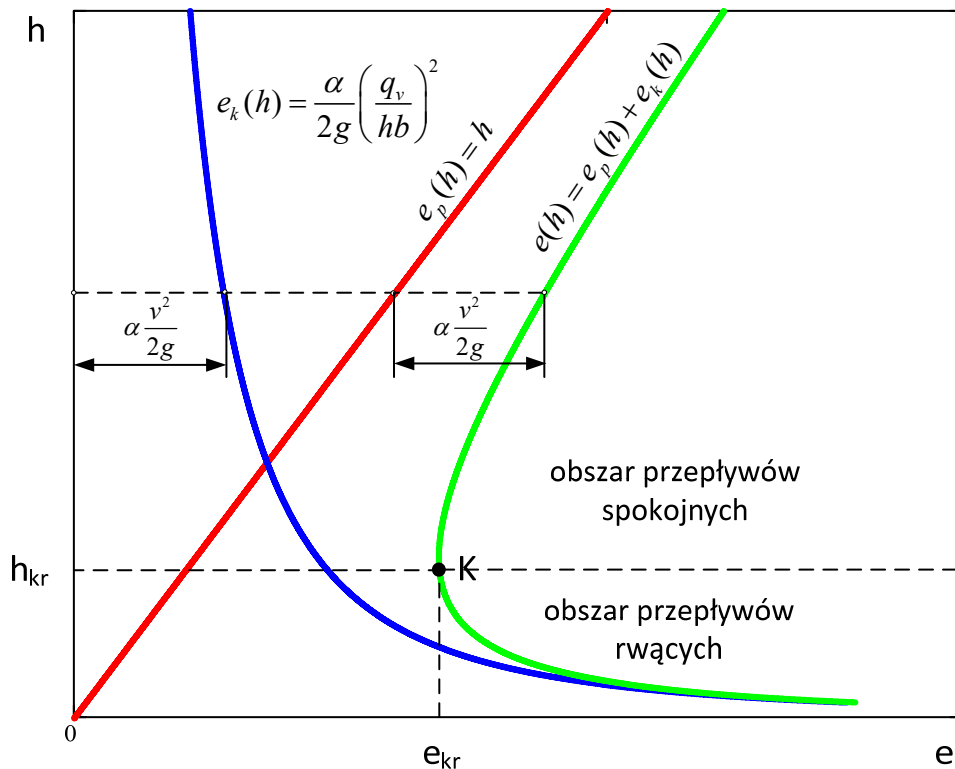
Energia rozporządzalna w dowolnym przekroju kanału wynosi

$$e = h + \alpha \frac{v^2}{2g}, \quad (5)$$

gdzie h reprezentuje energię potencjalną położenia e_p , natomiast $\alpha \frac{v^2}{2g}$ energię kinetyczną e_k ruchu cieczy. Po podstawieniu do (5) równania ciągłości przepływu otrzymamy

$$e = h + \alpha \frac{\left(\frac{q_v}{hb}\right)^2}{2g} = e_p + e_k \quad (6)$$

Z równania (6) wynika, że zarówno energia potencjalna położenia jak i energia kinetyczna ruchu zależna jest od wysokości h . Przy czym energia potencjalna położenia zależy liniowo od h , natomiast energia kinetyczna ruchu jest funkcją hiperboliczną. Na rys. 2 linią w kolorze czerwonym przedstawiono energię potencjalną położenia, linią w kolorze niebieskim energię kinetyczną ruchu, a linią w kolorze zielonym całkowitą energię rozporządzalną. Charakterystykę w kolorze zielonym przedstawiającą całkowitą energię rozporządzalną otrzymano poprzez graficzne zsumowanie w poziomie funkcji energii potencjalnej położenia oraz kinetycznej ruchu.



Rys. 2. Zależność energii potencjalnej położenia, energii kinetycznej ruchu oraz całkowitej energia rozporządzalnej w zależności od głębokości

Z rys. 2 można zauważyć, że jeśli $h \rightarrow 0$ to $e \rightarrow +\infty$ oraz jeśli $h \rightarrow +\infty$ to również $e \rightarrow +\infty$. Oznacza to, że na krzywej reprezentującej całkowitą energię rozporządzalną znajduje się minimum funkcji, w którym energia osiąga najmniejszą wartość przy wysokości h zmieniającej się od 0 do $+\infty$. Minimum to występuje w punkcie **K**, który nazywa się punktem krytycznym. W punkcie krytycznym występują tzw. parametry krytyczne, czyli wysokość krytyczna h_{kr} oraz energia krytyczna e_{kr} . Linia pozioma przechodząca przez punkt **K** rozdziela obszar przepływów spokojnych i rwących. Powyżej h_{kr} występują przepływy spokojne, natomiast poniżej h_{kr} przepływy rwące. Ze wzrostem głębokości energia rozporządzalna maleje w przepływach rwących, natomiast w przepływach spokojnych rośnie. W celu wyznaczenia wysokości krytycznej należy obliczyć minimum funkcji danej wzorem (6)

$$\frac{de}{dh} = 1 - \frac{b}{(bh)^3} \alpha \frac{q_v^2}{g} = 0, \quad (7)$$

po rozwiązaniu równania (7) ze względu na h otrzymamy wysokość krytyczną

$$h = h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q_v^2}{gb^2}}. \quad (8)$$

Ze wzoru (8) wynika, że wysokość krytyczna jest zależna od strumienia objętości. W przypadku, w którym w przewężeniu koryta nastąpi zmiana ruchu ze spokojnego w rwący oznacza to, że w jakimś przekroju poprzecznym zwężenia energia rozporządzalna osiągnęła wartość minimalną (punkt **K**), a wysokość odpowiada wysokości krytycznej h_{kr} . Stąd wysokość h_2 w równaniu Bernoulliego (1) może zostać zastąpiona wysokością krytyczną i po przyjęciu tych samych uproszczeń zastosowanych do wyprowadzenia równania (3) wyznaczono równanie na strumień objętości w postaci

$$q_{vt} = \frac{1}{\alpha_2} b_2 \sqrt{g} \left(\frac{2}{3} h_1 \right)^{\frac{3}{2}}. \quad (9)$$

Równanie (4) przedstawia strumień objętości w przypadku, w którym—nie zachodzi zmiana rodzaju ruchu, natomiast równanie (9) uwzględnia tę zmianę. Łatwo zauważyć, że w (9) występuje tylko jedna wysokość przed przewężeniem, przez co upraszcza się zasada pomiaru strumienia objętości korytem mierniczym Venturiego.

Żeby zapewnić zmianę ruchu ze spokojnego w rwący przewężenie w korycie mierniczym Venturiego musi mieć specjalną konstrukcję.

Do wyprowadzenia równania (9) zastosowano uproszczenia polegające między innymi na pominięciu strat hydraulicznych i wysokości prędkości w przekroju 1. Stąd w celu otrzymania rzeczywistego strumienia objętości równanie (9) musi być pomnożone przez współczynnik μ zwany współczynnikiem przepływu

$$q_v = \mu b_2 \sqrt{g} \left(\frac{2}{3} h_1 \right)^{\frac{3}{2}}. \quad (10)$$

Występujący w równaniu (10) współczynnik przepływu μ uwzględnia pominięte wielkości (straty hydrauliczne i wysokości prędkości w przekroju 1) oraz nierównomierny rozkład energii kinetycznej w przekroju poprzecznym (współczynnik Coriolisa α_2). Dodatkowo współczynnik przepływu μ zależy od geometrii przewężenia koryta (stosunku szerokości koryta do części zwężonej, długości przewężenia, chropowatości ścianek), ale także od właściwości fizycznych cieczy (lepkości, napięcia powierzchniowego). Współczynnik przepływu μ przedstawia stosunek rzeczywistego strumienia objętości do strumienia objętości wyznaczonego dla płynu idealnego (z równania Bernoulliego bez strat).

3. Opis stanowiska

Stanowisko badawcze składa się z następujących elementów:

- koryta otwartego z wbudowanym przewężeniem,
- części zasilającej w wodę w postaci dwóch pomp wirowych połączonych równolegle,
- zaworu regulacyjnego Z,
- zaworów odcinających (przy pompach),
- rotametu do pomiaru strumienia objętości q_v ,
- wodowskazu mierzącego wysokość h_1 przed przewężeniem,
- siatki pomiarowej w przewężeniu do pomiaru wysokości $z_1 - z_9$.

4. Procedura badawcza

Wykonanie badań polega na:

- 4.1. Zapoznaniu się z budową stanowiska i narysowaniu jego schematu z oznaczeniami urządzeń oraz wielkości mierzonych;
- 4.2. Włączeniu stanowiska (stanowisko włącza i wyłącza prowadzący);
- 4.3. Ustawieniu za pomocą zaworu regulacyjnego Z maksymalnego strumienia objętości wynoszącego $6,2 \text{ m}^3/\text{h}$;
- 4.4. Dokonaniu na wodowskazie odczytu wysokości h_1 ;
- 4.5. Odczytaniu z siatki pomiarowej współrzędnych $z_1 - z_9$ powierzchni cieczy w przewężeniu;
- 4.6. Za pomocą zaworu Z ustawić strumień objętości zgodnie z wartościami podanymi w tabeli pomiarowej, zapisać wartości z rotametu q_v , wysokość h_1 z wodowskazu oraz wysokości $z_1 - z_9$ z siatki pomiarowej.

5. Tabela wielkości mierzonych

Tabela wielkości pomiarowych do tego ćwiczenia zamieszczona jest na końcu instrukcji. Tabelę należy uzupełnić o jednostki wielkości mierzonych.

6. Opracowanie wyników pomiarów

Opracowanie wyników pomiarów należy wykonać zgodnie z poniższymi wytycznymi:

- 6.1. Dla każdego punktu pomiarowego obliczyć z równania (10) współczynnik przepływu μ_i ;
- 6.2. Obliczyć wartość średnią współczynnika przepływu μ (wartości znacząco odbiegające od średniej należy odrzucić);

$$\mu_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i}{n} \quad (11)$$

- 6.3. Podstawić do równania (10) $\mu = \mu_{sr}$;
- 6.4. Wyznaczyć z równania (10) wysokość teoretyczną h_{1t} ;

- 6.5. Na jednym rysunku sporządzić charakterystykę pomiarową $h_1=f(q_v)$ oraz teoretyczną $h_{1t}=f(q_v)$;
- 6.6. Sporządzić rozkład powierzchni cieczy na długości przewężenia $z=f(x)$;
- 6.7. Dla każdego punktu pomiarowego obliczyć h_{kr} z równania (8);
- 6.8. Wszystkie obliczone h_{kr} zaznaczyć we właściwych miejscach na charakterystykach $z=f(x)$.

7. Pytania kontrolne

- 1) Do czego służy i na jakiej zasadzie działa koryto miernicze Venturiego?
- 2) W jakim celu w korycie Venturiego następuje zmiana ruchu ze spokojnego w rwący?
- 3) Co to jest punkt krytyczny i kiedy występuje?
- 4) Ile wysokości należy zmierzyć w zwykłym korycie mierniczym (bez zamiany ruchu), a ile w korycie mierniczym Venturiego w celu wyznaczenia strumienia objętości?
- 5) Co to jest współczynnik przepływu koryta i od czego zależy?
- 6) Jak się zmienia energia rozporządzalna w przekroju poprzecznym koryta otwartego ze zmianą głębokości?
- 7) Jaki warunek rozdziela przepływ spokojny i rwący w korycie Venturiego?

Tabela pomiarowa do L10

Data wykonania pomiarów:.....

Lp.	q_v	h_1	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8	z_9
Jedn.											
1.	6,2										
2.	6,0										
3.	5,5										
4.	5,0										
5.	4,5										
6.	4,0										
7.	3,5										
8.	3,0										
9.	2,5										
10.	2,0										
11.	1,5										
12.	1,0										

Inne parametry

Symbol	Jednostka	Wartość
b	mm	25

Sekcja nr

Lp.	Nazwisko	Imię	Nr albumu
1.			
2.			
3.			

Data, podpis prowadzącego