

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA I ENERGETYKI
INSTYTUT MASZYN I URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH**

INSTRUKCJA

do ćwiczeń laboratoryjnych
z „Metrologii wielkości energetycznych”

Ćwiczenie M-12

Pomiar strumienia masy i objętości – część II

Opracował: dr inż. Daniel Węcel
Sprawdził: dr inż. Daniel Węcel
Zatwierdził: dr hab. inż. Janusz Kotowicz

Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest poznanie podstawowych technik pomiaru strumienia objętości cieczy w kanałach otwartych oraz doświadczalne wyznaczenie charakterystyk i cechowanie przyrządów mierniczych.

1. WSTĘP.

Aby móc kontrolować przepływy cieczy w kanałach trzeba je zmierzyć. Najczęściej stosowanymi przyrządami do pomiaru strumienia cieczy w kanałach otwartych są:

- przelewy miernicze,
- zwężkowe kanały miernicze (np. Venturiego, Parshalla, SANIIRI lub Palmer & Bowlus'a),
- przepływomierze elektromagnetyczne,
- przepływomierze korelacyjne.

Dwie pierwsze z wyżej wymienionych metod są najpowszechniejsze ze względu na prostotę konstrukcji przyrządów pomiarowych, niski koszt stosowania, niezawodność przy braku nadzoru.

2. WIADOMOŚCI TEORETYCZNE.

Jeżeli na poziomym odcinku 1-2 następuje zmniejszenie pola przekroju strugi cieczy od A_1 do A_2 , to wystąpi również spadek ciśnienia Δp . Zmianom tym towarzysza oczywiście straty energii określone poprzez wysokość h_s . Równanie Bernoulliego dla opisywanego odcinka ma postać:

$$\frac{w_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{w_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\gamma} + h_s$$

w_1, w_2 – prędkości cieczy w poszczególnych przekrojach

g – wartość przyspieszenia ziemskiego

p_1, p_2 – ciśnienie w punktach 1 i 2

γ – ciężar właściwy cieczy,

h_s – straty energetyczne cieczy na odcinku 1-2

Gdy jako stratę energii odniesiemy do energii kinetycznej strugi w przewężeniu oraz gdy wykorzystamy równanie ciągłości strugi i stosunek przekrojów otrzymamy następujące zależności:

$$h_s = \zeta_2 \cdot \frac{w_2^2}{2 \cdot g}$$

$$A_1 \cdot w_1 = A_2 \cdot w_2$$

$$m = \frac{A_1}{A_2}$$

$$\Delta p = \frac{\gamma \cdot w_1^2}{2 \cdot g} \cdot [(1 + \zeta_2) \cdot m^2 - 1]$$

$$w_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot g}{(1 + \zeta_2) \cdot m^2 - 1}} \cdot \frac{\Delta p}{\gamma}$$

ζ_2 – współczynnik strat miejscowych

Natomiast objętościowe natężenie przepływu cieczy to oczywiście:

$$q_v = A_1 \cdot w_1$$

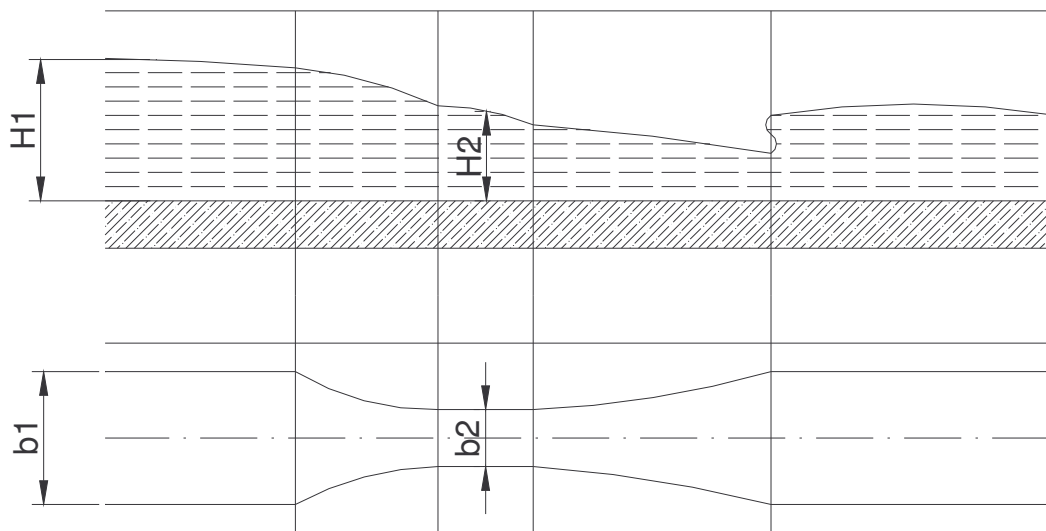
Aby więc obliczyć przepływ cieczy wystarczy wyznaczyć dowolny spadek ciśnienia powstający na pewnym odcinku. Wystarczy, więc zastosować kryżę, dyszę, zwężkę Venturiego dla rurociągów lub przelew zwężkowy, przewężenie miernicze dla kanałów otwartych.

Przeplwomierze dla kanałów otwartych służą do pomiarów cieczy między innymi w:

- kanałach ścieków surowych i oczyszczonych na oczyszczalniach ścieków,
- kanałach awaryjnych lub obejściowych na oczyszczalniach ścieków,
- kanałach odpływowych ścieków z zakładów przemysłowych,
- kolektorach odcieków z wysypisk śmieci,
- ciekach wodnych, rzekach i kanałach.

3. PRZYRZĄDY MIERNICZE ZASTOSOWANE PODCZAS POMIARU.

Jednym z przyrządów stosowanych w pomiarach jest zwężkowy kanał mierniczy, tzw. **przewężenie Venturiego**. Kanał taki powstaje przez odpowiednie zmniejszenie pola przekroju poprzecznego otwartego kanału. Przewężenie to ustawione jest w kanale o prostokątnym przekroju poprzecznym.



W przypadku tego przewężenia strumień objętości przepływającej nim cieczy można obliczyć ze wzoru:

$$q_v = C_v \cdot \frac{b_2 \cdot H_2}{\sqrt{1 - m^2}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H_1 - H_2)}$$

b_1 – szerokość kanału przed przewężeniem równa 0,150 m,

b_2 – szerokość kanału w najwęższym miejscu równa 0,040 m,

H_1, H_2 – wysokości zwierciadła cieczy przed i w środku przewężenia w [m],

C_v – stała przepływu dla zwężki Venturiego ($C_v = \text{idem}$, gdy $2b_2 \leq l \leq 5b_2$),

l – długość przewężenia, $l = 0.210$ m,

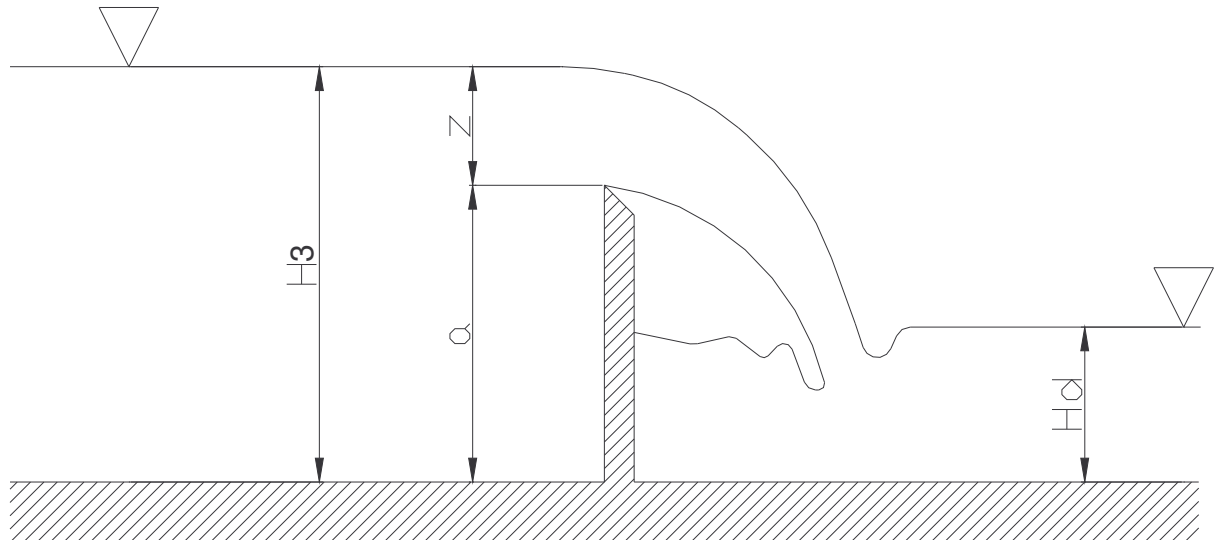
m – moduł kanału Venturiego, $m = \frac{b_2 \cdot H_2}{b_1 \cdot H_1}$.

Powyższy wzór jest prawdziwy dla przepływu spokojnego tzn., gdy $H_2/H_1 > 0,7$. W przypadku, gdy stosunek ten jest mniejszy lub równy 0,7 mamy do czynienia z przepływem rwącym. W takich warunkach strumień objętości cieczy oblicza się z następującej zależności:

$$q_v = 0,385 \cdot C_v \cdot b_2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_1^3}$$

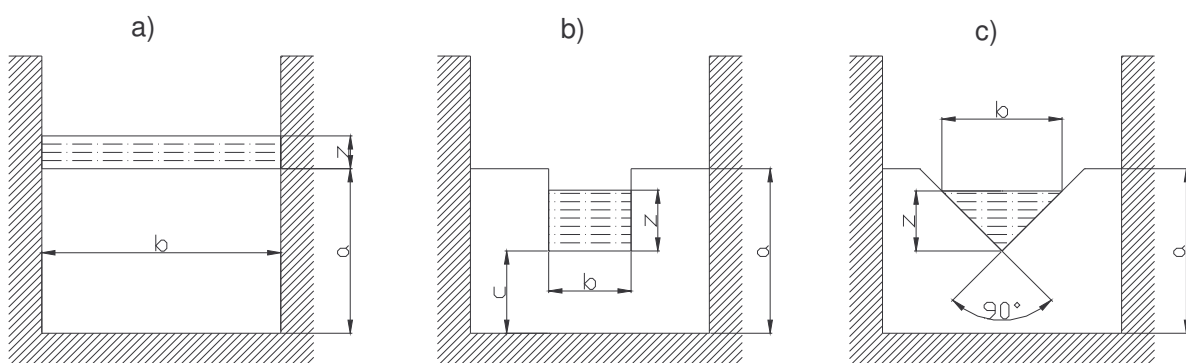
Widać, że w przypadku przepływu rwącego mierzy się tylko jedną wysokość zwierciadła cieczy. Jest to dużą zaletą pomiaru. Za pomocą odpowiednio ustawionego przyrządu pływakowego przed przewężeniem, można bezpośrednio odczytywać wielkość natężenia przepływu.

Drugim przyrządem mierniczym wykorzystywanym do pomiaru strumienia objętości wody na tym stanowisku jest **przelew mierniczy**.



Przelew mierniczy to odpowiednio ukształtowana przegroda wbudowana w kanał otwarty. Powoduje on zmniejszenie przekroju przepływającego strumienia i zwiększenie prędkości cieczy w tym przekroju. Pomiar ilości strumienia cieczy polega na ustaleniu związku między ilością strumienia, a wysokością spiętrzenia wywołanego przez przegrode. Na wyposażeniu stanowiska są trzy rodzaje przelewów:

1. przelew prosty,
2. przelew prostokątny,
3. przelew trójkątny.



Wymiary poszczególnych przegród wynoszą odpowiednio:

- a) wysokość przelewu prostego $a = 0,1$ m, szerokość przelewu prostego $b = 0,146$ m;
- b) wysokość przelewu prostokątnego $a = 0,1$ m, szerokość przelewu prostokątnego $b = 0,05$ m, wysokość krawędzi dolnej $c = 0,05$ m;

- c) wysokość przelewu trójkątnego $a = 0,1$ m, wysokość krawędzi dolnej przelewu trójkątnego $c = 0,05$ m.

Strumień objętości oblicza się ze wzoru:

- dla przelewów prostego i prostokątnego:

$$q_V = \frac{2}{3} \cdot C_p \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z^3}$$

gdzie:

- C_p - współczynnik przepływu, uwzględniający między innymi wpływ prędkości w części dopływowej kanału, zależny jest od wysokości przelewu $a = 0,1$ m oraz od wysokości strumienia przelewowego z [m],
 b - szerokość kanału otwartego $0,145$ m,
 z - wysokość strumienia przelewowego, $z = H_3 - a$ [m],
 g - przyspieszenie ziemskie [m/s²].

- dla przelewu trójkątnego:

$$q_V = \frac{4}{15} \cdot C_p \cdot z \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$$

gdzie:

- C_p - współczynnik przepływu, zależny jest od wysokości przelewu $a = 0,05$ m oraz od wysokości strumienia przelewowego z [m],
 b - szerokość przelewu, $b = 2 \cdot z$.

Po przekształceniu otrzymuje się zależność:

$$q_V = \frac{8}{15} \cdot C_p \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z^5}$$

Ze względu na trudności w określeniu współczynnika przepływu dla danego rodzaju przelewu, który nie jest wielkością stałą, w praktyce wyznacza się tzw. krzywą tarowania lub cechowania, opisaną zależnością:

$$q_V = A \cdot z^B$$

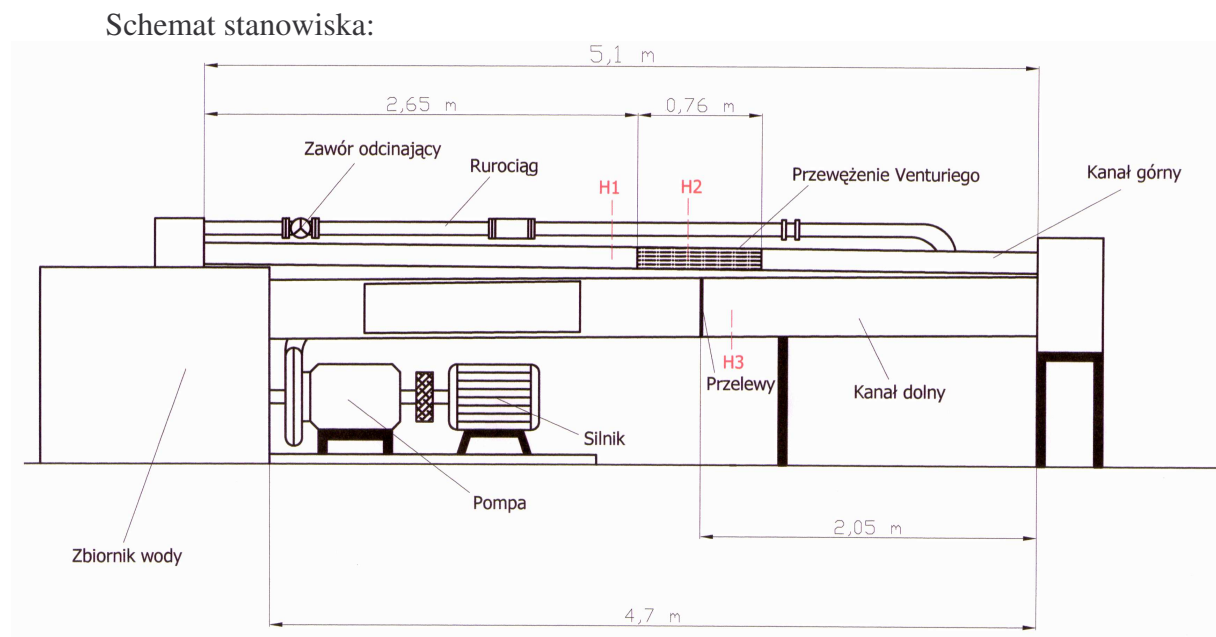
gdzie A i B są parametrami uzyskanymi z aproksymowania serii pomiarów występującego spiętrzenia wody ponad krawędzią przelewu z , uzyskanych przy danym strumieniu objętości q_V . Taka zależność uwzględnia automatycznie zmienność współczynnika przepływu.

Warunki do spełnienia w trakcie wykonywania pomiaru:

- dostatecznie długie proste odcinki koryta na dopływie i wypływie (stały przekrój, oś koryta jest linią prostą, dno płaskie i poziome, ściany boczne płaskie i pionowe),
- krawędź przelewowa wykonana zgodnie z normą,
- przegroda powinna być zabudowana w kanale pionowo i prostopadle do osi,
- dostateczne napowietrzenie przestrzeni pod przelewającym się strumieniem,
- dostateczna odległość przyrządu mierzącego od przegrody, większa od $3 \cdot z_{max}$,
- na dopływie należy zapewnić charakter laminarny przepływu cieczy.

4. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO.

W ćwiczeniu przeprowadzane jest cechowanie zwężkowego kanału mierniczego Venturiego i jednego z przelewów miernicznych. Badane przyrządy znajdują się w kanale doświadczalnym o przekroju prostokątnym i stałym spadku dna. Szerokość kanału górnego wynosi 0,150 [m], a w środku przewężenia 0,040 [m]. Szerokość kanału dolnego jest stała i wynosi 0,146 [m]. Woda do kanału dostarczana jest rurociągiem, na którym zamontowany jest zawór i zwężka typu kryza, wykorzystywana do pomiaru strumienia objętości odniesienia $q_{v\,odn}$. Średnice kryzy wynoszą $d = 0,0462$ [m] oraz $D = 0,089$ [m]. Stosunek średnicy wewnętrznej d do średnicy zewnętrznej D wynosi $\beta = 0,519$. Spadek ciśnienia na kryzie jest mierzony za pomocą U-rurki, wypełnionej cieczą wskaźnikową. Do pomiaru poziomu cieczy w kanałach wykorzystuje się poziomowskazy w postaci szklanych rurek z odpowiednio naniesioną skalą.



5. PRZEBIEG ĆWICZENIA.

- 1- Za pomocą zaworu ustalić żądany przepływ w kanale. Odczekać około 5 minut aż do momentu ustalenia się przepływu w całej instalacji.
- 2- Zmierzyć strumień objętości odniesienia $q_{v\,odn}$ na zwężce, poprzez pomiar spadku ciśnienia Δp (różnicy wysokości cieczy wskaźnikowej Δh).
- 3- Odczytać poziomy cieczy H_1 i H_2 na zwężce Venturiego oraz poziom $H_3 = a + z$ na przegrodzie.
- 4- Zmienić wielkość przepływu regulując stopniem zamknięcia zaworu. Po ustaleniu się przepływu powtórzyć czynności z punktów -2- i -3-. Pomiary wykonać dla 6 różnych wielkości przepływu.

6. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW.

- Dla wszystkich punktów pomiarowych obliczyć strumień objętości odniesienia zmierzony na kryzie:

$$q_{v\,odn} = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Przeliczenie ciśnienia:

$$\Delta p = \Delta h \cdot g \cdot (\rho_0 - \rho) \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Należy przyjąć do obliczeń:

$\rho_0 = 2000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ - gęstość cieczy wskaźnikowej,

ρ - gęstość wody $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$ w temperaturze otoczenia,

$C = 0,6$ - stała kryzy,

d - średnica wewnętrzna kryzy,

- Obliczyć współczynniki przepływu przelewu mierniczego C_p z odpowiedniej zależności dla każdego punktu pomiarowego, stosując wyznaczony strumień objętości odniesienia $q_{V\,odn}$.

- Dokonać sprawdzenia warunku przepływu spokojnego $\frac{H_2}{H_1} > 0,7$. Korzystając

z odpowiedniej zależności na strumień objętości, dotyczący przepływu spokojnego lub rwącego, dla każdego strumienia wyznaczyć współczynnik przepływu C_v zwężkowego kanału mierniczego.

- Na podstawie przeprowadzonych pomiarów i otrzymanych wyników obliczeń wykreślić charakterystyki badanych przepływomierzy: $q_{V\,odn} = f(z)$, $q_{V\,odn} = f(H_1)$ (tzw., krzywe tarowania lub cechowania).

Tabela pomiarowa.

Lp.	Pomiary				Obliczenia				
	H_1	H_2	H_3	Δh	$q_{V\,odn}$	C_p	C_v	m	<i>przepływ</i>
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m ³ /s]	-	-	-	spokojny/rwący
1									
2									
3									
4									
5									
6									

7. SPRAWOZDANIE.

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Stronę tytułową.
2. Szkice przekrojów pomiarowych z określeniem położenia punktów pomiarowych i zaznaczeniem charakterystycznych wymiarów przyrządów.
3. Tabelę wyników pomiarowych i obliczeń oraz wzory używane do obliczeń.
4. Charakterystykę przelewu i kanału zwężkowego.
5. Uwagi i wnioski.