

1. Zasady opracowania sprawozdania

Sprawozdanie z ćwiczenia laboratoryjnego należy opracować na szablonie dostępnym na stronie internetowej wydrukowanym dwustronnie na papierze formatu A4. Sprawozdanie może zostać sporządzone na komputerze, z wyjątkiem aktualnego schematu stanowiska laboratoryjnego (rozdział 1.3) i wykresu (rozdział 1.7), które należy wykonać ręcznie. Sprawozdanie musi zawierać wszystkie wymienione w niniejszej instrukcji punkty, w kolejności omówionej szczegółowo poniżej.

1.1. Strona tytułowa

Pierwsza strona sprawozdania to strona tytułowa (rys. 1) zawierająca informacje o wykonanym ćwiczeniu laboratoryjnym, w tym jego numer i tytuł zgodny z harmonogramem ćwiczeń, imię, nazwisko i numer albumu studenta, sekcję, do której przypisany jest student oraz jego podpis. Na stronie tytułowej musi znaleźć się data wykonania pomiarów oraz data przedłożenia sprawozdania prowadzącemu. Pola wypełniane przez studenta mają białe tło, pozostałe natomiast są szare i wypełniane są przez prowadzącego. Są to miejsca na informacje od prowadzącego o ewentualnych błędach w sprawozdaniu, które należy poprawić. W dolnej części strony jest przewidziane miejsce na ocenę za sprawozdanie i ocenę za kolokwium/odповідь ustną. Pozytywna ocena za sprawozdanie wpisywana jest, gdy sprawozdanie nie zawiera błędów.

ĆWICZENIA LABORATORYJNE Z MECHANIKI PŁYNÓW					
Sprawozdanie					
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA Wydział Mechaniczno-Energetyczny Katedra Inżynierii Konwersji Energii Laboratorium Mechaniki Płynów			Nr ćwiczenia □ □ □ Temat		
Imię Nazwisko Nr albumu □ □ □ □ □ □ Sekcja □ Podpis studenta _____			Data wykonania pomiarów: 20□□ □□ □□ Termin oddania sprawozdania: 20□□ □□ □□		
Poprawa sprawozdania					
Lp.	Zakres poprawy				Data i podpis prowadzącego
	Schemat	Obliczenia	Wykres	Inne	
1					
2					
3					
Zaliczenie: Kolokwium □, □ Sprawozdanie □, □ Data i podpis					

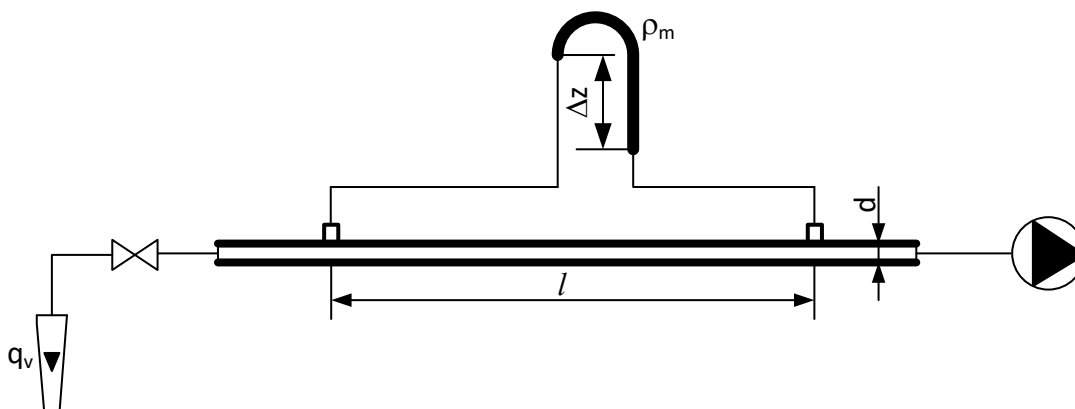
Rys. 1. Strona tytułowa sprawozdania.

1.2. Protokół z pomiarów

Druga strona sprawozdania to protokół z pomiarów. Protokoły pomiarowe dołączone są do każdej instrukcji ćwiczenia laboratoryjnego i znajdują się zawsze na jej końcu. W protokole z pomiarów powinny być wypełnione wszystkie pola, łącznie z wpisaniem warunków wykonywanego pomiaru. Wpisywane są do niego wszystkie mierzone wielkości wraz z jednostkami oraz wielkości stałe. Obowiązują jednostki z systemu SI – wyjątek stanowią jednostki podane na przyrządach pomiarowych np. temperatura w stopniach Celsjusza lub strumień objętości w litrach na minutę. Wpisujących do protokołu wartości wielkości zmierzonych nie wolno zaokrąglać. Zawsze zapisujemy je z dokładnością taką, jaką umożliwia odczyt z przyrządu pomiarowego.

1.3. Aktualny schemat stanowiska laboratoryjnego

Kolejny punkt sprawozdania to aktualny schemat stanowiska laboratoryjnego. Schemat stanowiska powinien narysowany na papierze formatu A5 – wrysowany lub wklejony trwale do sprawozdania. Schemat zawiera najważniejsze elementy i przyrządy pomiarowe oraz sposób ich połączenia. Standardowe elementy i przyrządy pomiarowe (wentylator, pompa, zawór, rotametr, itp.) oznaczamy za pomocą znormalizowanych i powszechnie stosowanych symboli. Obok każdego przyrządu pomiarowego musi się znaleźć oznaczenie takie, jak podano w protokole z pomiarów. Elementy stanowiska łączymy za pomocą pojedynczych linii poziomych lub pionowych. Wyjątek stanowi tzw. odcinek pomiarowy, który rysujemy za pomocą linii podwójnej (rys. 2). Rozmieszczenie elementów oraz połączenia między nimi należy tak rozplanować, aby uniknąć przecięć. Jeśli to niemożliwe to należy zminimalizować ich liczbę.



Rys. 2. Przykładowy schemat stanowiska z oznaczeniami.

1.4. Tabela pomiarów i wyników obliczeń

Tabela pomiarów i wyników obliczeń składa się z kolumn oraz wierszy i musi zawierać wszystkie wielkości mierzone oraz wyliczone. W pierwszej kolumnie znajduje się liczba porządkowa określająca kolejne serie pomiarowe. W kolejnych kolumnach znajdują się najpierw wszystkie wielkości zmierzone, a następnie wyliczone. Pierwszy wiersz tabeli zawiera symbole wszystkich wielkości zmierzonych oraz wyliczonych. Symbol danej wielkości musi być zgodny z protokołem pomiarowym, oznaczeniami na schemacie stanowiska oraz we wzorach wyjściowych i wynikowych. Drugi wiersz zawiera jednostkę

danej wielkości. W przypadku wielkości mierzonych jednostką jest taka jednostka, w jakiej wyskalowany był przyrząd pomiarowy. Natomiast w przypadku wielkości wyliczonych zawsze jednostka z układu SI. Dla niektórych ćwiczeń np. L12 możliwe jest przygotowanie dwóch lub więcej tabel z wynikami obliczeń.

Obliczenia wykonać korzystając z wyprowadzonych wzorów wynikowych. Wzory wynikowe otrzymujemy poprzez przekształcenie wzorów wyjściowych lub podstawienie do nich wartości zmierzonych oraz stałych. We wzorach wynikowych należy wykorzystać oznaczenia użyte w protokole pomiarowym oraz na schemacie. Unikamy obliczania wielkości pośrednich, które są źródłem dodatkowych błędów obliczeniowych. Niedopuszczalne jest obliczenie ze wzorów wynikowych wielkości z jednostką spoza układu SI. Stąd jeśli w wielkościach zmierzonych występują jednostki spoza układu SI to we wzorach wynikowych muszą się pojawić odpowiednie stałe umożliwiające konwersję tych jednostek do układu SI.

Wzory wyjściowe $Re = \frac{v d}{\nu}$, $q_v = v A$

Wzór wynikowy $Re = \frac{4V}{\pi d \nu \tau}$, V – objętość, τ – czas itd.

Przy zapisie wyników obliczeń należy zachować odpowiednią liczbę tzw. cyfr znaczących. Ogólnie, liczba cyfr znaczących wynika z analizy błędu pomiarowego, jednak na laboratorium „Mechaniki Płynów” analiza ta nie będzie wykonywana. Stąd przyjmujemy, że wielkości wyliczane zapisywane będą z 3 lub maksymalnie 4 cyframi znaczącymi. Dodatkowo, jeśli to możliwe należy stosować przedrostki przed jednostkami. Poniżej przedstawiono przykład zapisu dwóch wielkości: o małej oraz dużej wartości.

Przykład 1: Z metody objętościowej pomiaru strumienia otrzymujemy wartość strumienia objętości dzieląc zmierzoną objętość przepływającego płynu przez czas

$$q_v = \frac{V}{\tau} = \frac{2,34 \text{ m}^3}{1455,4 \text{ s}} = 0,0016078 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}. \quad (1)$$

Zapis wyniku obliczeń nie jest czytelny ze względu na liczbę zer, występujących na początku wartości. Zapis trzeba uprościć poprzez przesunięcie przecinka dziesiętnego o 3 pozycje w prawo. W ten sposób zapisujemy strumień objętości stosując 3 cyfry znaczące (cyfry na pierwszych 3 pozycjach, ale różne od zera) oraz zaokrąglamy wynik stosując ogólne zasady zaokrąglania

$$q_v = \frac{V}{\tau} = \frac{2,34 \text{ m}^3}{1455,4 \text{ s}} = 1,61 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}. \quad (2)$$

Następnie zastępujemy mnożnik 10^{-3} właściwym przedrostkiem przed jednostką.

$$q_v = \frac{V}{\tau} = \frac{2,34 \text{ m}^3}{1455,4 \text{ s}} = 1,61 \cdot (10^{-1})^3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1,61 \cdot \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}. \quad (3)$$

Przykład 2: Obliczmy ciśnienie z równania stanu gazu doskonałego

$$p = \rho RT = 1,18 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 287,1 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot (273,16 + 20) \text{K} = 99316,158 \text{ Pa} \quad (4)$$

Zapisana w ten sposób liczba podaje ciśnienie rzędu 100 000 Pa z dokładnością do 1/1000 Pa, czyli z błędem około $10^{-6}\%$. Tak mały błąd jest oczywiście nierealny do uzyskania, stąd cyfry znajdujące się po przecinku dziesiętnym należy traktować jako szum obliczeniowy i odrzucić. Jeśli dodatkowo zapis ograniczymy do 4 cyfr znaczących (pierwsze 4 cyfry) oraz zastosujemy zasady zaokrąglania to otrzymamy wartość ciśnienia $p = 99320 \text{ Pa}$. Następnie stosując odpowiedni przedrostek (kilo odpowiadający mnożnikowi 10^3 lub hekto odpowiadający 10^2) otrzymamy zapis wyliczonego ciśnienia $p = 99,32 \text{ kPa}$ lub $p = 993,2 \text{ hPa}$. Oba przedstawione zapisy ciśnienia są poprawne.

1.5. Wykres

Kolejnym punktem sprawozdania jest graficzne przedstawienie wyników pomiarów i obliczeń, czyli sporządzenie wykresu. Wykres należy wykonywać ręcznie na papierze milimetrowym formatu A5 trwale wklejony do sprawozdania. Wyjątek stanowią ćwiczenie L12, do którego wykres wykonuje się na formularzu formatu A3 oraz ćwiczenia L7 i L13, które należy sporządzić na formularzu formatu A4. Formularze do w/w ćwiczeń dostępne są na stronie internetowej.

W sprawozdaniach z laboratorium mechaniki płynów najczęściej będą rysowane wspólne wykresy wielkości zmierzonych oraz wielkości obliczonych, w celu ich porównania.

Do sporządzenia wykresu stosujemy układ współrzędnych kartezjańskich (prostokątny). Rysowanie wykresu rozpoczynamy od narysowania osi odciętych (poziomej) oraz rzędnych (pionowej). Na osi należy nanieść podziałkę. Podziałkę dobiera się w zależności od przedziału zmienności wielkości, znajdującej się na osi oraz jednostki, w jakiej jest wyrażona. Do zapisu wartości liczbowych na danej osi stosujemy zasady opisane w punkcie 1.4. Podziałka na osi musi być zawsze równomierna tzn. skok pomiędzy poszczególnymi działkami musi być równy. Jednak skok nie może być dowolny. Jest on znormalizowany, stąd dopuszczalne wartości skoku to 1; 2; 5 oraz wielokrotności i podwielokrotności tych wartości. Oznacza to, że skok może np. wynosić 0,1; 1; 10; 100;... lub 0,2; 2; 20;... lub 0,5; 5; 50;... Osie wykresu należy podpisać przedstawiając symbol i jednostkę wielkości – zawsze z układu SI. Jeżeli wielkość mierzona wyrażona jest w jednostkach innych niż SI, to należy ją przeliczyć na jednostkę SI.

Po przygotowaniu i opisaniu osi można przystąpić do narysowania charakterystyk. W tym celu należy na rysunku zaznaczyć punkty. Punkty zmierzone możemy oznaczać np. symbolami: ✕ ● ■ ◆. W przypadku charakterystyk zmierzonych zawsze zostawiamy same wyraźnie zaznaczone punkty nie łącząc ich ze sobą.

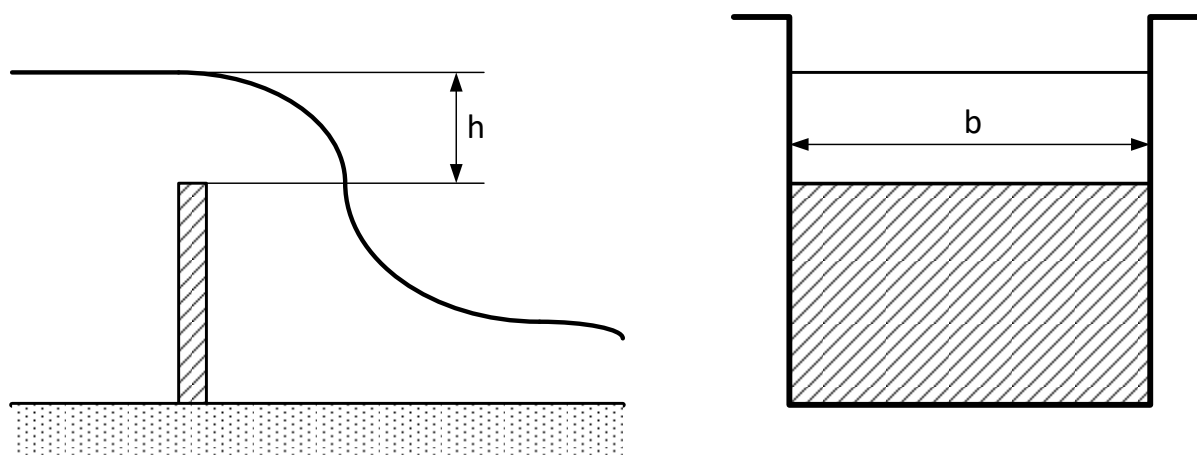
W celu narysowania charakterystyki teoretycznej należy ze wzorów końcowych obliczyć wartości rysowanej funkcji. Obliczenia wartości funkcji teoretycznej wykonujemy dla pionowych linii głównych siatki na papierze milimetrowym, przez co punkty łatwo oznacza się na wykresie. Nie wolno tych punktów obliczać dla wartości zmierzonych, które często są niecałkowite i niewymierne. Punkty delikatnie zaznaczamy na papierze milimetrowym, a następnie przykładając linijkę lub krzywik rysujemy linię, która przechodzi przez wszystkie zaznaczone punkty jednocześnie je przykrywając. Należy zauważyć, że w przypadku charakterystyki teoretycznej punkty nie mogą znajdować się poza linią. Jeżeli punkt znalazł się poza linią może to oznaczać, że linia została źle narysowana np. poprzez

złe przyłożenie linijki lub krzywika, współrzędne punktu zostały źle obliczone ze wzoru wynikowego lub punkt został niedokładnie lub źle zaznaczony.

Jeżeli na rysunku znajduje się kilka charakterystyk należy je opisać wykorzystując do tego legendę umieszczoną w takim miejscu, aby nie przysłaniała wykresów. Na koniec pod rysunkiem powinien znaleźć się podpis mówiący, co przedstawia rysunek.

Poniżej przedstawiono przykład rysowania charakterystyki zmierzonej i teoretycznej wysokości spiętrzenia od strumienia objętości prostokątnego przelewu mierniczego.

Przykład 3: W celu narysowania charakterystyki przepływu pomiarowej oraz teoretycznej prostokątnego przelewu mierniczego (rys. 3) dokonano pomiaru strumienia objętości metodą objętościową oraz pomiaru wysokości spiętrzenia h .



Rys. 3. Prostokątny przelew mierniczy

Otrzymano następujące wartości z pomiarów oraz obliczono strumień objętości (tabela 1).

Tabela 1. Wyniki pomiarów prostokątnego przelewu mierniczego.

Lp.	V	t	h	q _v
	m ³	s	mm	dm ³ /s
1.	2,24	18,5	132	121
2.	3,30	21,6	146	153
3.	4,38	22,5	180	195
4.	5,48	22,6	210	242
5.	6,87	24,2	230	284

Teoretyczny strumień objętości prostokątnego przelewu mierniczego opisany jest równaniem

$$q_v = \frac{2}{3} \mu b h \sqrt{2gh} . \quad (5)$$

Przekształcając równanie (5) obliczono współczynnik wypływu μ dla każdego punktu pomiarowego

$$\mu = \frac{V/t}{\frac{2}{3}b\sqrt{2gh^3}}. \quad (6)$$

Następnie wyznaczono wartość średnią współczynników wypływu μ_{sr} i obliczono funkcję odwrotną do (5), czyli zależność wysokości spiętrzenia teoretycznej $h_t(q_v)$ podstawiając zamiast μ wartość średnią μ_{sr} .

$$h_t = \left(\frac{q_v}{\frac{2}{3}\mu_{sr}b\sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}}. \quad (7)$$

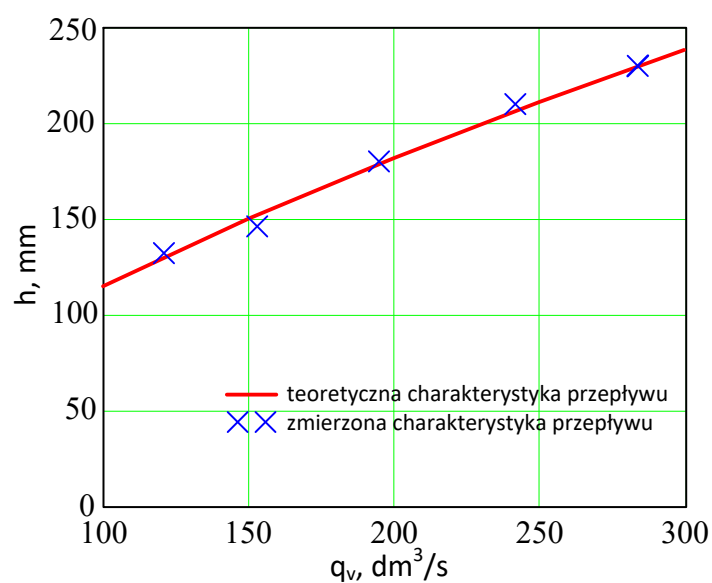
W tabeli 2 przedstawiono wszystkie wielkości zmierzone i obliczone. Teoretyczna wysokość spiętrzenia h_t została wyznaczona dla linii głównych siatki, czyli w tym przykładzie dla strumienia objętości wynoszącym 100, 150, 200, 250, 300 dm³/s. Wszystkie wielkości obliczone zapisano stosując 3 cyfry znaczące.

Tabela 2. Tabela wielkości zmierzonych i obliczonych.

Lp.	V m ³	t s	h mm	q _v dm ³ /s	μ -	q _{vt} dm ³ /s	h _t mm
1.	2,24	18,5	132	121	0,854	100	115
2.	3,30	21,6	146	153	0,929	150	150
3.	4,38	22,5	180	195	0,865	200	182
4.	5,48	22,6	210	242	0,852	250	211
5.	6,87	24,2	230	284	0,872	300	238
					μ _{sr} =0,874		

Rysowanie charakterystyk rozpoczynamy od doboru podziałek na osi odciętych (q_v) i rzędnych (h). Strumień objętości zarówno zmierzony jak i teoretyczny mieści się w przedziale od 100 do 300 dm³/s. Przyjęto na tej osi skok wynoszący 50 dm³/s. Skok o wartości 100 dm³/s spowodował zbyt duże odległości pomiędzy działkami, natomiast skok o wartości 10 dm³/s zbyt zagęszczone i przez to podziałka stałaby się nieczytelna. Z kolei na osi rzędnych maksymalna wysokość spiętrzenia to 230 mm stąd przyjęto podziałkę od 0 do 250 mm, również ze skokiem 50 mm.

Na rys. 4 przedstawiono przebieg zmierzonej i teoretycznej charakterystyki przepływu przelewu mierniczego prostokątnego.



Rys. 4. Charakterystyka przepływu prostokątnego przelewu mierniczego

1.6. Wnioski

Wnioski powinny zawierać najważniejsze spostrzeżenia wynikające z przeprowadzonego ćwiczenia laboratoryjnego oraz wykonania sprawozdania. We wnioskach można opisać od czego zależą i jak się zmieniały mierzone i obliczane wielkości, skomentować przebieg charakterystyk, spróbować wyjaśnić badane zjawiska.

Wnioski nie powinny zawierać informacji o błędach pomiarowych oraz niepewności wyznaczenia wielkości wynikowych chyba, że została przeprowadzona analiza błędów.