

dr inż. Dariusz Kowalski

Laboratorium: HYDRAULIKA STOSOWANA



Specjalność:

Wodociągi i kanalizacja (WiK)

- 30 godzin

Technologia Wody, Ścieków i Odpadów (TWSiO) - 15 godzin

Lp.	Wykaz ćwiczeń	TWSiO	WiK
	Ćwiczenia wstępne	X	X
1	Cechowanie urządzeń do pomiaru natężenia przepływu	X	X
2	Pomiary stabilności ciśnienia w sieci wodociągowej		X
3	Badanie współczynnika oporów liniowych przepływu λ	X	X
4	Badanie współczynnika oporów miejscowych przepływu ζ		X
5	Badanie charakterystyki zaworu		X
6	Kawitacja w oporach miejscowych	X	X
7	Badanie charakterystyki pomp odśrodkowych		X
8	Cechowanie koryta otwartego	X	X
9	Wyznaczanie parametrów odskoku hydraulicznego		X
10	Przepływ cieczy przez przelewy	X	X
11	Przepływ cieczy przez zwężkowe kanały miernicze		X
12	Ruch cieczy w ośrodku porowatym - wyznaczenie współczynnika filtracji	X	X
13	Pomiary prędkości przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym		X
	Zajęcia zaliczeniowe	X	X

Literatura:

1. Bonetyński K.: Laboratorium MCG. Wyd. Politechniki Lubelskiej 1987
2. Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R.: Mechanika płynów w inżynierii środowiska, WNT, Warszawa 1997, 2001.
3. Mitosek M.: Mechanika płynów w inżynierii środowiska. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2007.
4. Jeżowiecka-Kabsch K., Szewczyk H.: Mechanika płynów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001
5. Walden H.: Mechanika płynów. WPW, Warszawa 1978
6. Burka E.S., Nałęcz T.J.: Mechanika płynów w przykładach. WN PWN, Warszawa 1994.
7. Kołodziejczyk L, Mańkowski S., Rubik M.: Pomiary w inżynierii sanitarnej. Arkady, Warszawa 1980.
8. Wyszowski T.: Tablice do MCG. Wyd. Politechniki Warszawskiej 1990.

Ćwiczenie nr 1

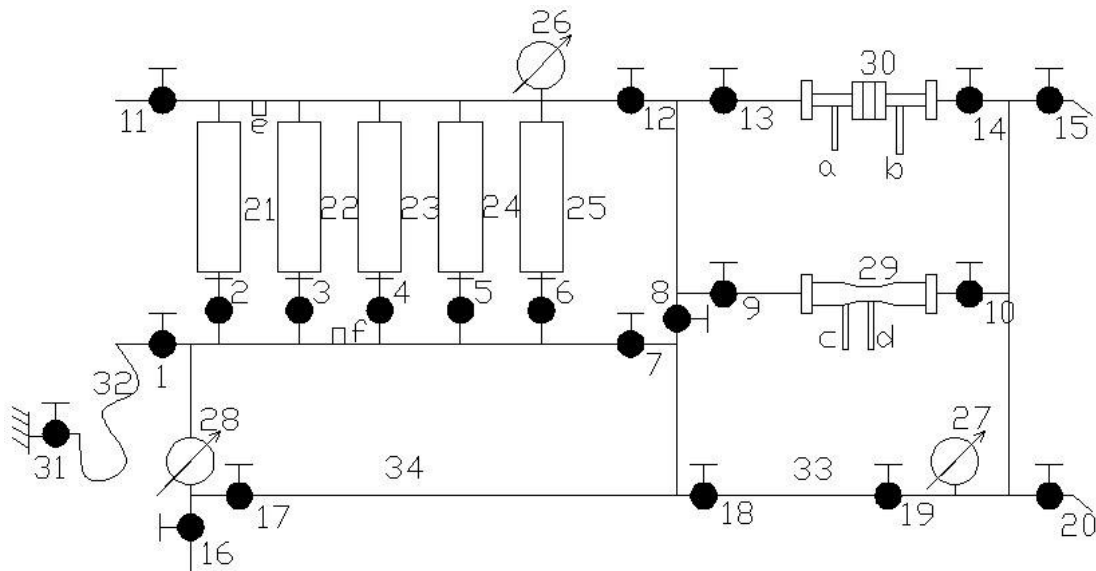
Cechowanie urządzeń do pomiaru natężenia przepływu

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest cechowanie urządzeń pomiarowych do mierzenia natężenia przepływu takich jak:

- rotametry.
- zwężka pomiarowa,
- kryza pomiarowa,
- bezinwazyjne przepływomierze ultradźwiękowe.

2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego

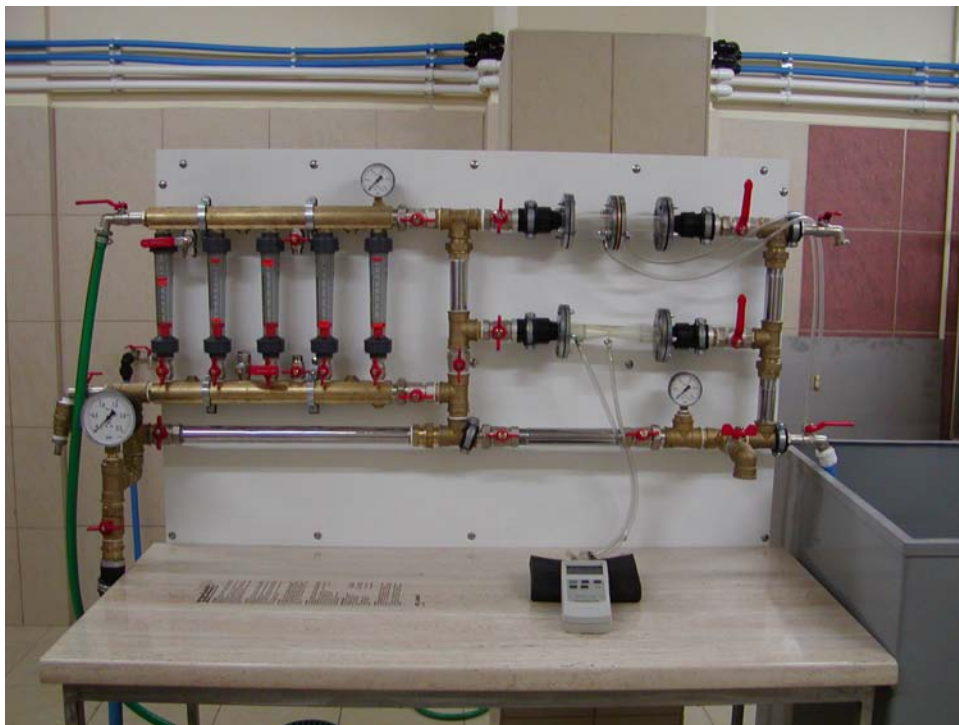


Rysunek 1.1. Schemat stanowiska doświadczalnego: 1-10-zawory kulowe odcinające; 11-zawór spustowy; 12, 13, 14-zawory kulowe odcinające; 15-zawór spustowy; 16-zawór czepalny; 17, 18, 19-zawory kulowe odcinające; 20-zawór spustowy; 21, 22, 23, 24, 25-rotametry; 26, 27, 28-manometry; 29-zwężka Venturiego; 30-kryza pomiarowa; 31-zawór zasilający; 32-wąż gumowy; 33,34-rura stalowa o średnicy 25mm; a, b, c, d - wężyki impulsowe; e, f- przetworniki ciśnienia

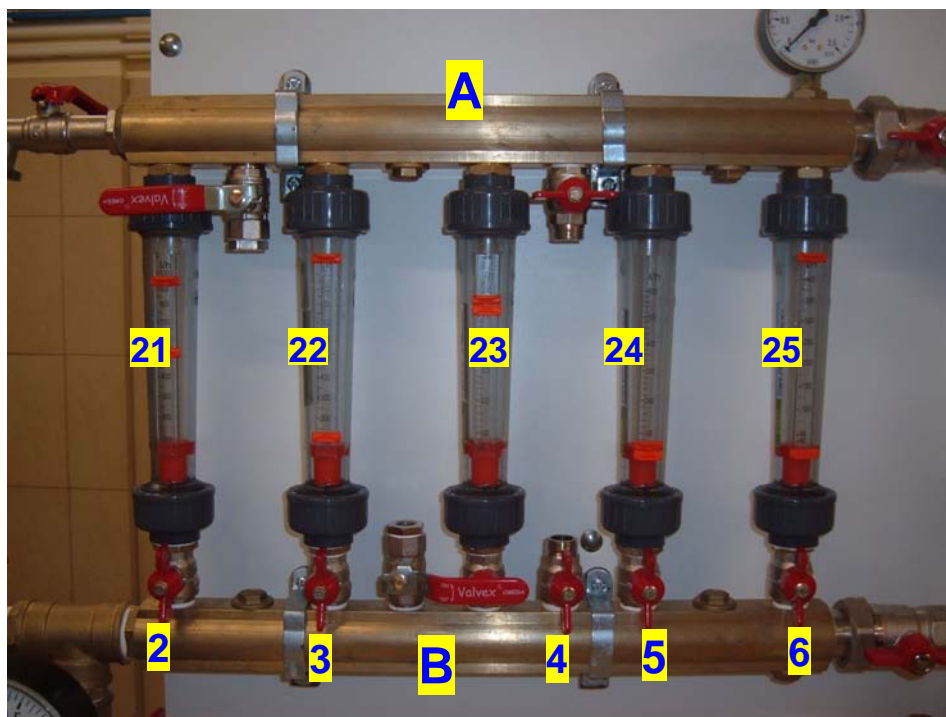
Stanowisko pomiarowe (rys 1.1) wyposażono w:

- pięć rotametrów: (21, 22, 23, 24, 25),
- zwężkę pomiarową (29),
- kryzę pomiarową (30),
- osprzęt pomiarowy – manometry (26, 27, 28), przetworniki ciśnienia (e, f),
- osprzęt regulacyjny - zawory kulowe (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19),

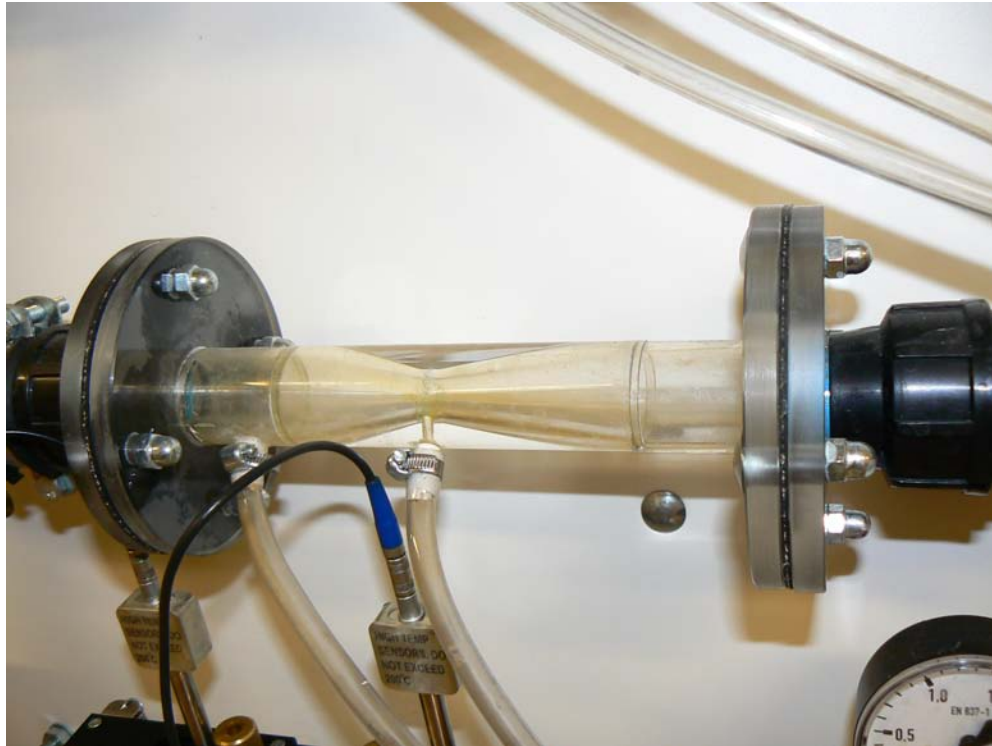
- wężyki impulsowe do odbioru ciśnienia (a, b, c, d) wraz z manometrami różnicowymi do pomiaru tego ciśnienia,
- bezinwazyjny przepływomierz ultradźwiękowy, instalowany na przewodzie (33).



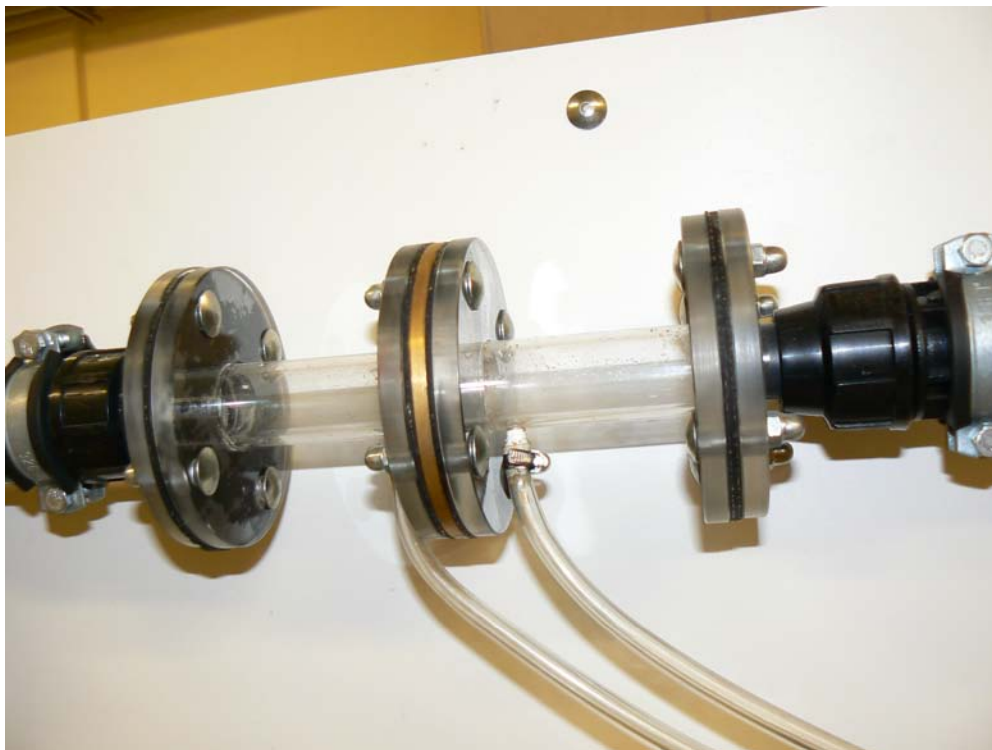
Rys. 1.2. Widok stanowiska pomiarowego



Rys. 1.3 Widok rotametrów



Rys. 1.4 Widok zwężki pomiarowej



Rys. 1.5 Widok kryzy pomiarowej

3. Sposób wykonania ćwiczenia

Pomiary służące do cechowania rotametrów (21, 22, 23, 24, 25-wg rys.1.1.) należy wykonać w następujący sposób: otworzyć zawór zasilający (31), następnie zamknąć zawory (7, 12). Cechowanie rotametrów należy wykonywać kolejno zaczynając od rotametrów (25). W tym celu otworzyć zawór (6). Po ustabilizowaniu się przepływu odczytać wartość z podziałki rotametrów (mierzona ilość wody spływa zaworem spustowym (11) do wycechowanego naczynia podstawionego). Równocześnie należy mierzyć czas napełnienia naczynia i temperaturę wody. Następnie używając zaworu zasilającego (31) zwiększyć przepływ i ponownie wykonywać opisane powyżej pomiary. Wykonać serię 10 pomiarów przy rosnącym oraz malejącym przepływie. Kolejne rotametry, wg wskazań prowadzącego należy cechować według podanego powyżej sposobu.

Pomiary cechowania kryzy pomiarowej wykonać następująco: otworzyć zawór zasilający (31) oraz zawory (1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 13, 14, 15). Zawory (16, 17, 7, 8, 9, 10, 11) należy zamknąć. Zaworem zasilającym (31) regulować przepływ. Po ustabilizowaniu się przepływu odczytać wartość z rotametrów oraz stratę ciśnienia z elektronicznego manometru różnicowego. Wykonać serie 20 pomiarów przy rosnącym oraz malejącym przepływie.

Pomiary cechowania zwężki Venturiego należy wykonać następująco: otworzyć zawór zasilający (31) oraz zawory (1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 9, 10, 20). Zawory (7, 8, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 19) należy zamknąć. Zaworem zasilającym (31) regulować przepływ, po ustabilizowaniu się przepływu odczytać wartość z rotametrów oraz stratę ciśnienia z elektronicznego manometru różnicowego. Wykonać serię 20 pomiarów przy rosnącym oraz malejącym przepływie.

Pomiary natężenia przepływu za pomocą przepływomierza ultradźwiękowego firmy PORTAFLOW 300 należy wykonać następująco: otworzyć zawór zasilający (31) oraz zawory (1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 19, 20). Zawory (11, 13, 14, 15, 9, 10, 16, 17) należy zamknąć. Zaworem zasilającym (31) regulować przepływ, po ustabilizowaniu się przepływu odczytać wartość z rotametrów oraz z przepływomierza ultradźwiękowego prędkość cieczy i natężenie przepływu. Przed przystąpieniem do pomiarów w przepływomierzu wpisać średnicę zewnętrzną przewodu, grubość ścianki oraz temperaturę i „damping” (czas uśredniania pomiarów). Wykonać serię 20 pomiarów przy rosnącym

oraz malejącym przepływie, pomiary wykonać również przy ustawieniu różnych grubości ścianek, różnych wartości „dampingu” oraz temperatury.

Pomiary natężenia przepływu za pomocą przepływomierza ultradźwiękowego firmy ULTRASONIC FLOW METER FD 613 należy wykonać w następujący sposób: otworzyć zawór zasilający (31) oraz zawory (1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 19, 20). Zawory (11, 13, 14, 15, 9, 10, 16, 17) należy zamknąć. Zaworem zasilającym (31) regulować przepływ, po ustabilizowaniu się przepływu odczytać wartość z rotametrów oraz prędkość cieczy z przepływomierza ultradźwiękowego. Wykonać serię 20 pomiarów przy rosnącym oraz malejącym przepływie. Przepływomierz wymaga ustawienia jednostek SI. Nie wymaga dodatkowych ustawień.

4. Zestawienie wyników

Cechowanie rotametrów

Rotametr :				
lp	Q	V	t	T
-	dm ³ /h	dm ³	s	°C

Cechowanie zwężki pomiarowej

lp	ΔH	R1	R2	R3	R4	R5	ΣQ
-	mH ₂ O	dm ³ /h	dm ³ /h	dm ³ /h	dm ³ /h	dm ³ /h	dm ³ /h

Cechowanie kryzy pomiarowej

lp	ΔH	R1	R2	R3	R4	R5	ΣQ
-	mH ₂ O	dm ³ /h	dm ³ /h	dm ³ /h	dm ³ /h	dm ³ /h	dm ³ /h

Cechowanie przepływomierza ultradźwiękowego

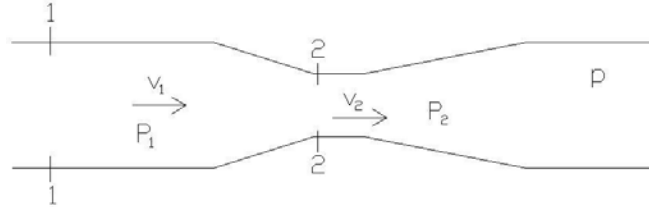
ΣQR	R5	R4	R3	R2	R1	v	Qsonar	dzew	dwew	T	damping
dm ³ /h	dm ³ /h	dm ³ /h	dm ³ /h	dm ³ /h	dm ³ /h	m/s	dm ³ /min	mm	mm	°C	sek.

Natężenie przepływu przez rotametry wyznacza się przy wykorzystaniu następującego wzoru :

$$Q = \frac{V}{t} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1)$$

gdzie: Q – natężenie przepływu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], V – objętość cieczy z naczynia podstawionego [m^3], t - czas napełnienia naczynia podstawionego [s]

Natężenie przepływu dla zwężki pomiarowej oblicza się wg następującego toku postępowania:



Rys. 1.6. Schemat ideowy zwężki pomiarowej

Dla zwężki (rys 1.6) można napisać równanie Bernoulli`ego dla przekrojów 1-1, 2-2:

$$h_1 + \frac{P_1}{p \cdot g} + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{P_2}{p \cdot g} + \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2g} + \Delta h_s \quad (2)$$

gdzie:

$h_1 = h_2$ - wysokość położenia osi przepływu w stosunku do przyjętego poziomu porównawczego, $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ - współczynnik rozkładu prędkości w przekroju poprzecznym strumienia, Δh_s - wysokość strat miejscowych na przeszkodzie, P_1 - ciśnienie w przekroju 1-1, P_2 - ciśnienie w przekroju 2-2, p - gęstość płynu, g - przyspieszenie ziemskie, v_1 - średnia prędkość przepływu w przekroju 1-1, v_2 - średnia prędkość przepływu w przekroju 2-2.

Uwzględniając powyższe założenia można napisać:

$$\frac{P_1}{p \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{p \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (3)$$

$$\frac{P_1 - P_2}{p \cdot g} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (4)$$

$$\Delta H = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (5)$$

Korzystając z równania ciągłości: ($Q_1 = Q_2 = Q$) można wyznaczyć v_1 oraz v_2 ;

$$Q_1 = Q_2 = Q \quad Q = v \cdot F \quad F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$v_1 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_1^2} \quad \text{i} \quad v_2 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_2^2}$$

Podstawiając do wzoru (3) otrzymuje się:

$$\Delta H = \frac{\frac{16 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot d_2^4} - \frac{16 \cdot Q^2}{\pi \cdot d_1^4}}{2g}$$

$$\Delta H \cdot 2g = \frac{16 \cdot Q^2}{\pi^2} \cdot \left(\frac{1}{d_2^4} - \frac{1}{d_1^4} \right)$$

$$Q_t = \sqrt{\frac{\Delta H \cdot 2g \cdot \pi^2}{16 \cdot \left(\frac{1}{d_2^4} - \frac{1}{d_1^4} \right)}} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (6)$$

ΔH - różnica ciśnienia

g – przyspieszenie ziemskie [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

d_1 - średnica wewnętrzna w przekroju 1-1 [mm]

d_2 - średnica wewnętrzna w przekroju 2-2 [mm]

Wyznaczony wzór na wydatek teoretyczny $Q_t = \sqrt{\frac{\Delta H \cdot 2g \cdot \pi^2}{16 \cdot \left(\frac{1}{d_2^4} - \frac{1}{d_1^4} \right)}} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$

jest uzupełniany przez współczynnik korygujący (zwany współczynnikiem wydatku) z uwagi na wszystkie czynione w czasie obliczeń uproszczenia.

Rzeczywisty wydatek zwężki przedstawia wzór:

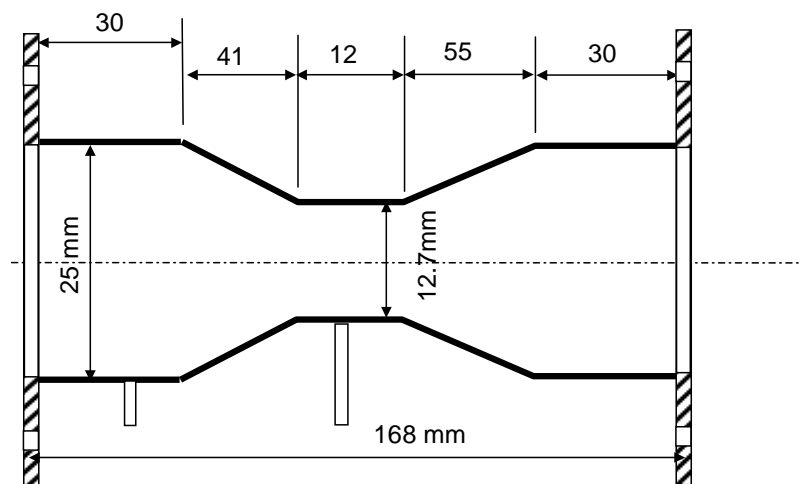
$$Q_{rz} = \mu \cdot Q_t \quad (7)$$

$$\mu = \frac{Q_{rz}}{Q_t}$$

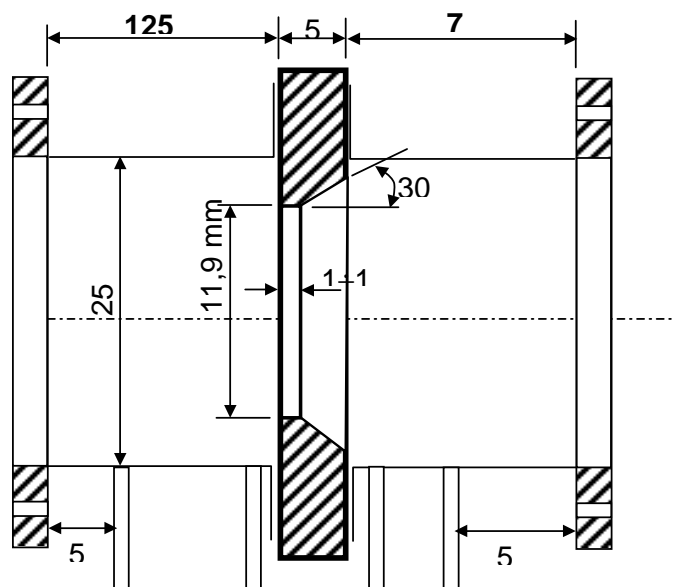
Następnie należy porównać wyznaczony wydatek teoretyczny ze wskazaniami pomiarowymi rotametrów. Na tej podstawie należy wyznaczyć współczynnik wydatku.

Tok obliczeń dla kryzy pomiarowej jest analogiczny jak opisany powyżej dla zwężki pomiarowej.

Do obliczeń zwężki i kryzy pomiarowej należy wykorzystać parametry geometryczne tych urządzeń, przedstawione na rysunkach 1.7 i 1.8.



Rys. 1.7 Parametry geometryczne zweźki pomiarowej



Rys. 1.8 Parametry geometryczne kryzy pomiarowej

5. Sprawozdanie z realizacji ćwiczenia i opracowanie wyników

Poprawnie wykonane sprawozdanie winno zawierać:

- opis i schemat stanowiska pomiarowego,
- opis metodyki pomiarów,
- opis urządzeń pomiarowych,
- wyniki pomiarów przedstawione w formie graficznej i tabelarycznej,

- rachunek błędów powinien zawierać obliczenia:
 - o średniej arytmetycznej i odchylenia standardowego procentowego odchylenia wskazań rotametrów od wartości wydatku wyznaczonych za pomocą naczynia podstawianego,
 - o wyznaczenia współczynnika wydatku zwężki i kryzy,
 - o średniej arytmetycznej i odchylenia standardowego procentowego odchylenia wskazań przepływomierza ultradźwiękowego od wartości wydatku wyznaczonych za pomocą rotametrów,
- wnioski (dotyczące analizy otrzymanych wyników, interpretacje wykresu, własne spostrzeżenia).

6. Zagadnienia sprawdzające

- Metody pomiaru natężenia przepływu cieczy w przewodach pod ciśnieniem.
- Schematy ideowe podstawowych urządzeń do tych pomiarów.
- Przyczyny rozbieżności wskazań różnych urządzeń do pomiaru natężenia przepływu.
- Podstawowe źródła błędów we wskazaniach urządzeń do pomiaru natężenia przepływu.
- Wykorzystanie pomiarów przepływu w sieciach i instalacjach wodociągowych.
- Różnice pomiędzy przepływomierzami, a wodomierzami.
- Pojęcie monitoringu przepływów w sieci wodociągowej.
- Podstawowe metody rejestracji wskazań sieciowych mierników przepływu.

Ćwiczenie nr 2

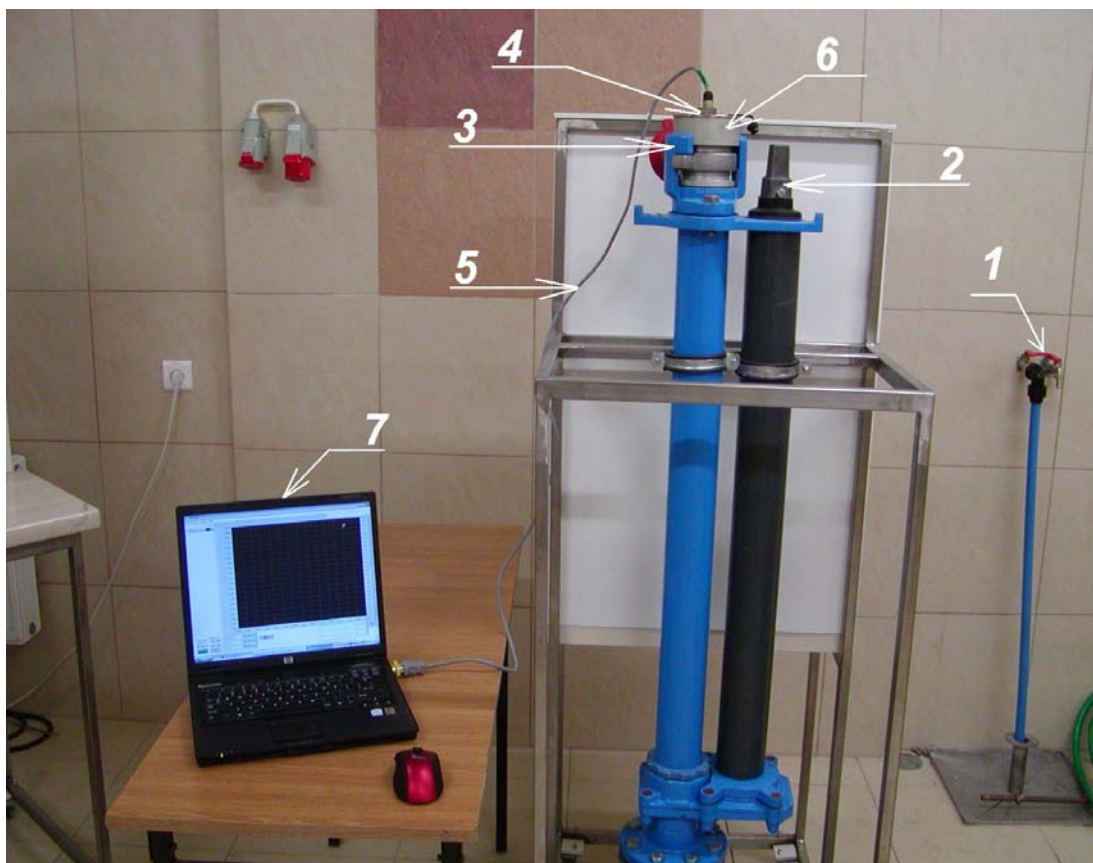
Pomiary stabilności ciśnienia w sieci wodociągowej

1. Cel ćwiczenia

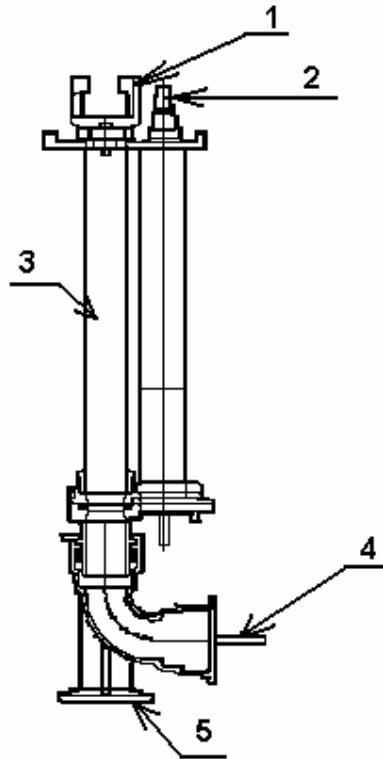
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z rzeczywistymi warunkami ciśnieniowymi panującymi w sieciach i instalacjach wodociągowych oraz metodą pomiaru ciśnienia w hydrancie podziemnym przy użyciu przetwornika ciśnienia.

2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego

Schemat stanowiska przedstawiono na rysunkach 2.1 i 2.2.



Rys.2.1 Widok stanowiska do pomiaru ciśnienia: 1 – zawór zasilający, sieciowy, 2 – zamknięcie nożowe hydrantu, 3 – mocowanie w kłach hydrantu, 4 – śruba dociskająca miernik, 5 – przewody sygnałowe, 6 – przetwornik ciśnienia



Rys.2.2 Schemat zastosowanego na stanowisku hydrantu wolnoprzelotowego z odcięciem nożowym: 1 – kły hydrantu, 2 – śruba zamknięcia hydrantu, 3 – hydrant, 4 – doprowadzenie wody z sieci, 5 – stopa hydrantu

Stanowisko pomiarowe składa się z:

- hydrantu wodociągowego podziemnego, wolnoprzelotowego, $\phi 80$, typu Hawle 5060, z uchwytem typu kłowego,
- hydrantowego przetwornika ciśnienia CellBox-H,
- komputera służącego do analizy otrzymanych wyników wraz z zainstalowanym oprogramowaniem HydraNet.

Wykorzystywany w laboratorium miernik CellBOX to urządzenie służące do pomiaru ciśnienia w sieci oraz rejestracji tych pomiarów. Jest to programowalny rejestrator mikroprocesorowy. Wykorzystywana w laboratorium wersja zapewnia pomiar w czasie rzeczywistym ciśnienia i temperatury. Mierniki tego typu mogą być wykorzystywane jako autonomiczne moduły rejestrujące lub też zintegrowane ze sobą tworząc dużą sieć automatyki przemysłowej do przesyłania danych w czasie rzeczywistym do dyspozytorni i jednostek wizualizacyjnych SCADA.

Dane techniczne:

- pomiar ciśnienia:
 - zakres 0 – 1,6 MPa
 - krótkotrwałe przeciążenie max 3,2 MPa
 - dokładność 0.5 %
- pomiar temperatury
 - zakres -25 + 70 °C
 - dokładność ± 2°C
- rejestracja pomiarów
 - wewnętrzna pamięć nieulotna typu FLASH, pozwalająca na rejestrację 15360 rekordów z pomiarami w cyklu kołowym (tzn. po zapisaniu całej pamięci nowe zapisy są umieszczane ponownie od początku pamięci FLASH,
 - 1 rekord – pomiary obrazujące aktualny stan rejestratora (ciśnienie, temperatura), stan wejść analogowych, baterii, liczniki zdarzenia: otwarcie pokrywy skrzynki hydrantowej,
 - rejestracja danych z interwałem od 1 s do 31 dni z rozdzielczością 1 s.
- warunki pracy
 - temperatura otoczenia - 25 ... + 70 °C
 - temperatura przechowywania - 40 + 85 °C
- uwagi; rodzaj wykonania: obudowa metalowa przystosowana do montażu bezpośredniego w podziemnej skrzynce hydrantowej - w kłach oraz na hydrancie naziemnym – za pomocą złącza strażackiego.

3. Sposób wykonania ćwiczenia

W celu realizacji doświadczenia należy zawór odcinający sieciowy połączyć gumowym węzłem z hydrantem na stanowisku pomiarowym. Po przygotowaniu stanowiska pomiarowego do badań należy zgłosić ten fakt prowadzącemu zajęcia. Instrukcję postępowania podczas przygotowywania stanowiska i przeprowadzenia badań umieszczono poniżej.

- sprawdzić całkowite otwarcie zamknięcia nożowego (2 – rys.2.1 i 2.2) hydrantu,
- otworzyć zawór (1) i wypełnić hydrant wodą, następnie zakręcić zawór (1),
- zamocować przetwornik ciśnienia w tzw. kłach (3) hydrantu (9). Wymagana jest szczelność połączenia przetwornika z hydrantem. W tym celu należy początkowo mocować przetwornik ręcznie, a następnie dokręcić kluczem (4), znajdującym się na wyposażeniu stanowiska, by uszczelnić połączenie,
- ponownie otworzyć zawór (1) w celu sprawdzenia szczelności połączenia.
- podpiąć przewody sygnałowe (5) przetwornika (6) z komputerem (7) (wykorzystać złącze szeregowe komputera),

- uruchomić program HydraNT,
- dokonać pomiaru ciśnienia obejmujący okres co najmniej 10 minut,
- wyświetlić i nagrać odczyty miernika,
- po zakończeniu badań zakręcić zawór zasilający (1),
- odłączyć komputer i przewody elektryczne,
- za pomocą klucza (4) lekko poluzować miernik (6), by możliwy było jego dalszy ręczny demontaż,
- zdemontować i osuszyć miernik (6).

Procedura postępowania z programem Hydrant

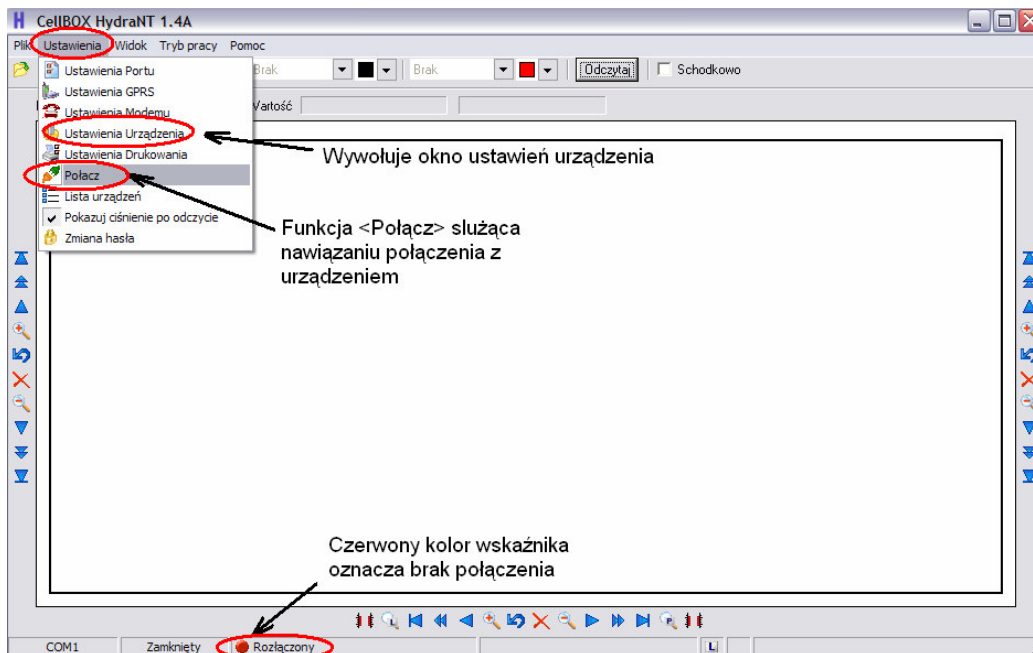
Do odczytywania wskazań miernika służy program HydraNT. Jest to oprogramowanie zarządzające i integrujące do rozproszonych, bezprzewodowych systemów M2M zbudowanych w oparciu o sterowniki CellBOX H. Umożliwia ono wizualizację pracy systemu oraz bezobsługowe gromadzenie danych pochodzących z rozpatrywanego urządzenia pomiarowego. Program HydraNT realizuje następujące funkcje:

- konfiguracja rejestratora poprzez port RS232 lub zdalnie poprzez sieć GPRS, EDGE,
- prezentacja wyników w formie wykresów,
- eksport danych do MS Excel lub pliku tekstowego,
- import danych z MS Excel lub pliku tekstowego (pliki archiwalne),
- archiwizacja danych.

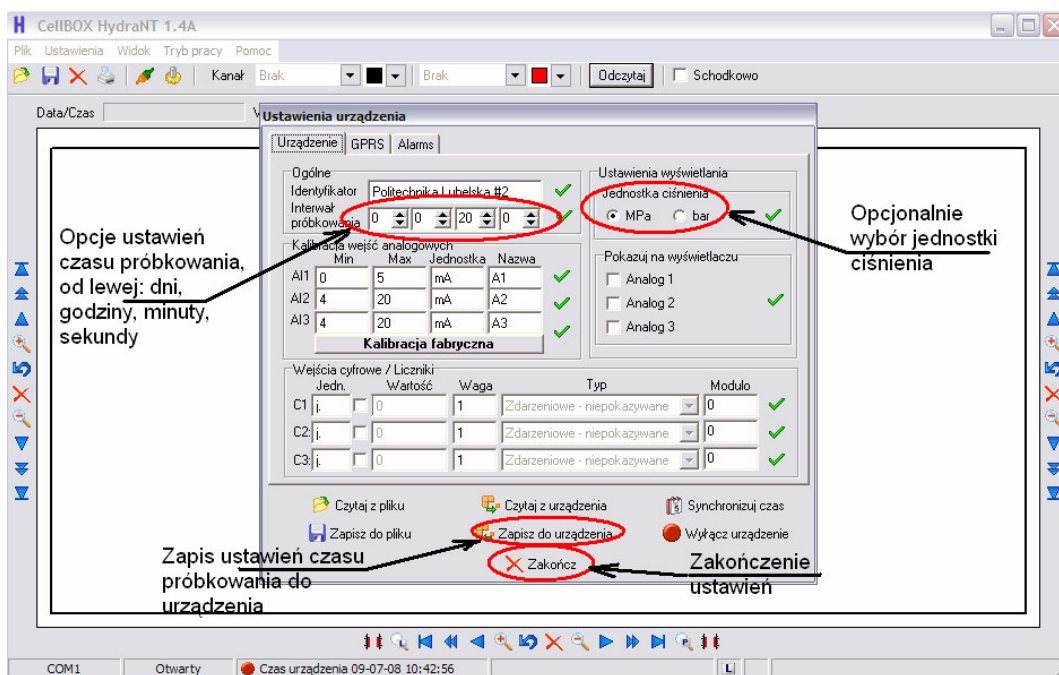
Podstawowe okno dialogowe programu przedstawiono na rysunku 2.3. W celu pobrania danych z przetwornika ciśnienia CellBOX-H należy z menu <Ustawienia> wybrać opcję <Połącz> by program połączył się z modułem przetwornika. Przed nawiązaniem połączenia wskaźnik na dolnej belce ekranu jest czerwony, w chwili nawiązania połączenia z urządzeniem zacznie migać na zielono.

Kolejnym krokiem jest wybranie w menu <Ustawienia> funkcji <Ustawienia Urządzenia> (rys.2.3), która wywołuje okno pokazane na rys.2.4. W oknie tym jest możliwość ustawienia wielu funkcji urządzenia pomiarowego jednak w naszym przypadku istotna będzie tylko funkcja <Interwału próbkowania>. Funkcja ta jest odpowiedzialna za częstotliwość z jaką miernik będzie dokonywał pomiarów ciśnienia. Największy odstęp czasowy to 31 dni, a najmniejszy 1s. W oknie mamy od lewej: ilość dni, godzin, minut i sekund – tutaj ustawiamy zadaną przez prowadzącego ćwiczenia

częstotliwość odczytu danych z miernika. Opcjonalnie funkcją <Jednostka ciśnienia>, możemy dokonać zmiany jednostki w jakiej będzie podawany odczyt. Następnie funkcją <Zapisz do urządzenia> ustawienia programu zostają zapisane, a przycisk <Zakończ> zamyka okno ustawień.



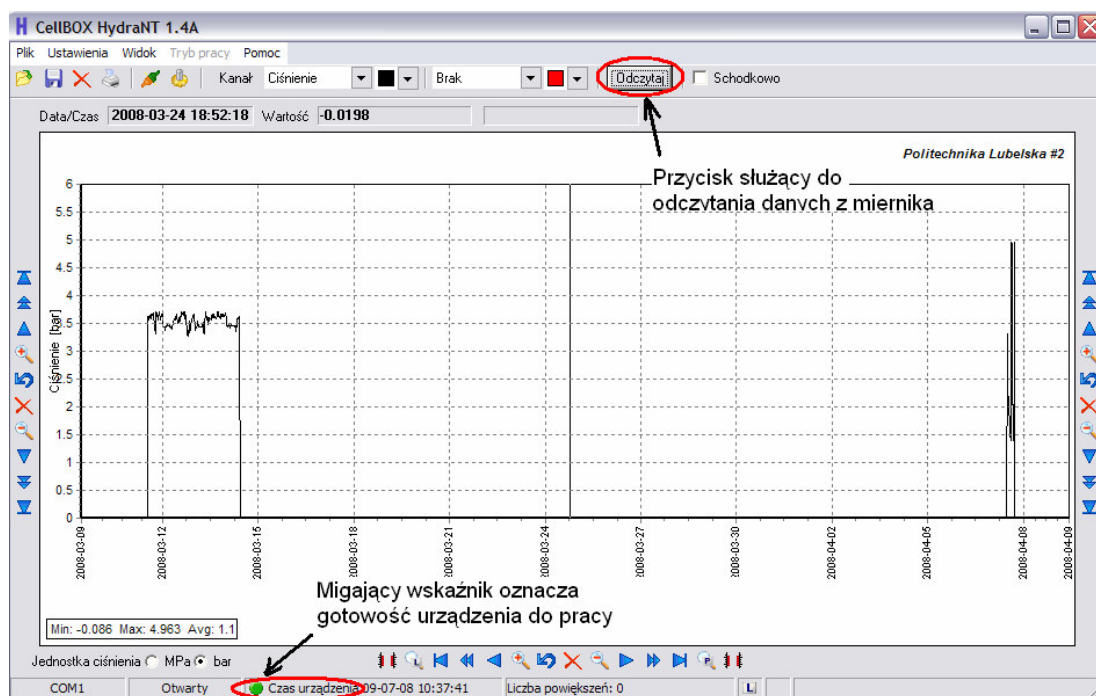
Rys. 2.3 Główne okno dialogowe programu HydraNT v.1.4A



Rys. 2.4 Okno ustawień urządzenia w programie HydraNT v 1.4A

Kiedy wszystkie ustawienia zostały dokonane pomyślnie należy przejść do funkcji <Odczytaj> (rys.3). Otworzy się okno edycji okresu, z którego mają być dokonane odczyty. Wybieramy interesujący nas okres i następnie przycisk <Odczytaj>. Pojawi się wówczas pasek postępu i mijający czas. Należy odczekać ok. 2-3 min by program dokonał odczytów, które przedstawione są w formie wykresu na rys.3. Jest to wykres ciśnienia w funkcji czasu

$$p = f(t).$$



Rys.3.6 Wykres sporządzony przez program HydraNT v 1.4A

4. Zestawienie wyników

Dzień i godzina pomiarów :				
Ustawiona częstotliwość odczytów:				
lp	H	p	T	Uwagi
-	mH ₂ O	Pa	°C	-

5. Sprawozdanie z realizacji ćwiczenia i opracowanie wyników

Poprawnie wykonane sprawozdanie winno zawierać:

- opis i schemat stanowiska pomiarowego,
- opis metodyki pomiarów,
- opis urządzenia pomiarowego,
- wyniki pomiarów przedstawione w formie graficznej i tabelarycznej,
- rachunek błędów powinien zawierać obliczenia:
 - o średniej arytmetycznej, mediany, odchylenia standardowego, pierwszego i trzeciego kwartyna,
- wnioski (dotyczące analizy otrzymanych wyników, interpretacje wykresu, własne spostrzeżenia).

6. Zagadnienia sprawdzające

- Metody pomiaru ciśnienia cieczy i gazów.
- Schematy ideowe podstawowych urządzeń do tych pomiarów, wraz z podstawowym opisem.
- Przyczyny niestabilności ciśnienia w sieciach i instalacjach.
- Wykorzystanie pomiarów ciśnienia w sieciach i instalacjach wodociągowych.
- Pojęcie monitoringu sieci wodociągowej.
- Wyjaśnić dlaczego ciśnienie mierzone w hydrantach jest niższe niż w samej sieci.
- Podstawowe metody rejestracji wskazań sieciowych mierników ciśnienia.

Ćwiczenie nr 3

Badanie współczynnika oporów liniowych przepływu λ

1. Cel ćwiczenia

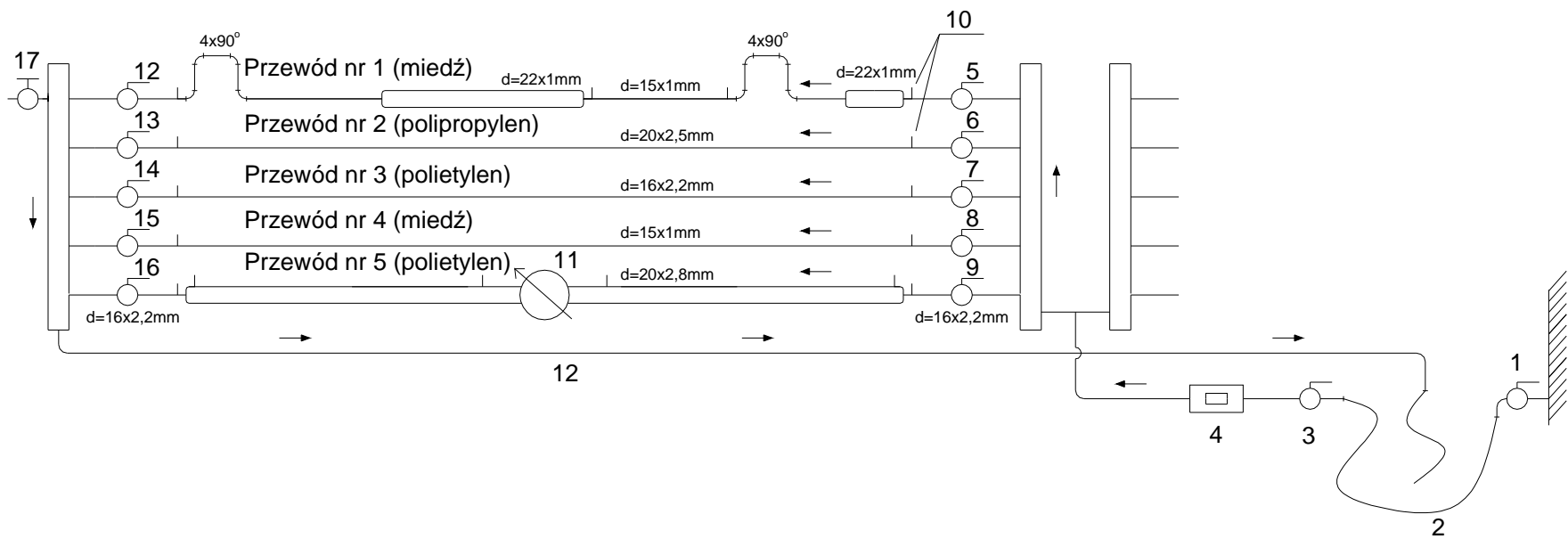
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodą pomiaru współczynnika oporów liniowych przepływu λ w przewodach pod ciśnieniem.

2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 3.1 –3.3. Badanie współczynnika λ zostanie przeprowadzone na odcinkach prostych rur wykonanych z trzech różnych materiałów tj. na przewodzie polipropylenowym (oznaczonym na schemacie nr 2), polietylenowym (oznaczonym na schemacie nr 3) i miedzianym (oznaczonym nr 4).

W skład stanowiska wchodzi następujące elementy (rys. 3.1):

- przewód prostoliniowy, miedziany, poziomy o stałej średnicy $d=15 \times 1\text{mm}$ i długości $l=4.1\text{m}$. Pomiar obejmuje długość $l=3.82\text{m}$,
- przewód prostoliniowy, polipropylenowy, poziomy o stałej średnicy $d=20 \times 2,5\text{mm}$ i długości $l=4.1\text{m}$. Pomiar obejmuje długość $l=3.78\text{m}$,
- przewód prostoliniowy, polietylenowy (PEX), poziomy o stałej średnicy $d=16 \times 2,2\text{mm}$ i długości $l=4.1\text{m}$. Pomiar obejmuje długość $l=3.80\text{m}$,
- przepływomierz elektroniczny turbinowy firmy *OMEGA* oznaczony nr 4,
- zawory odcinające, kulowe 6, 7, 8 i 13, 14, 15,
- zawór zasilający, grzybkowy 1,
- zawór odpowietrzający, kulowy 17,
- rozdzielacze,
- przenośny, elektroniczny manometr różnicowy firmy *Lutron Electronic*.



Rys 3.1. Schemat stanowiska pomiarowego



Rys. 3.2. Widok ogólny stanowiska pomiarowego.

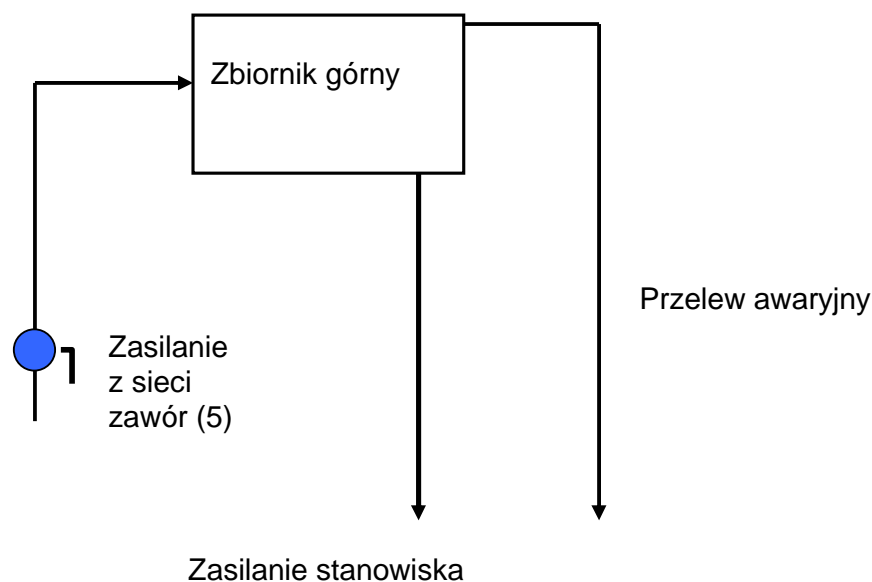


Rys.. 3.3. Widok ogólny stanowiska pomiarowego

3. Sposób wykonania ćwiczenia

Przygotowanie stanowiska pomiarowego:

- włączyć napełnianie zbiornika górnego dla uzyskania pracy przelewu (rys. 3.4),
- wyregulować tym samym zaworem intensywność napełniania zbiornika, aby przelew pracował spokojnie i jednostajnie przez okres prowadzenia badań,
- ustawić zawory odcinające tak, aby woda przepływała wyznaczonym odcinkiem pomiarowym do zrzutu,
- otworzyć zawór spustowy,
- sprawdzić czy wąż spustowy jest skierowany w stronę kratki ściekowej,
- odpowietrzyć stanowisko i rurki impulsowe,
- podłączyć manometr różnicowy do rurek impulsowych..



Rys. 3.4. Schemat zasilania stanowiska za pomocą zbiornika górnego

Przeprowadzenie doświadczenia:

- otworzyć zawór zasilający (1) rys. 3.1,
- po ustaleniu się przepływu odczytać z przepływomierza (4) natężenie przepływu Q ,
- odczytać z manometru wielkość wysokości strat ciśnienia h ,
- zmierzyć temperaturę wody na odpływie t_w ,
- zmieniać każdorazowo przepływ za pomocą zaworu (1) tak, aby wykorzystać cały zakres pomiarowy układu ,

- dla każdego z trzech przewodów pomiarowych (przewody nr 2, 3, 4), przeprowadzić 5 – krotnie cykl pomiarów,
- po zakończeniu badań zabezpieczyć manometry, wyłączyć zasilanie zbiornika wyrównawczego i zamknąć pozostałe zawory,
- odczytać z tablicy wartość kinematycznego współczynnika lepkości wody ν dla temperatury t_w ,
- obliczyć średnią wartość straty ciśnienia h_{sr} ,
- zamienić wartość straty ciśnienia Δp_L odczytanego w m H₂O na Paskale,
- obliczyć średnią prędkość przepływu v_{sr} ,
- obliczyć współczynniki oporów liniowych λ ,
- obliczyć liczby Reynoldsa Re , odpowiadające wartościom λ ,
- porównać obliczone wartości Re i λ ,
- wyniki pomiarów i obliczenia przedstawić na wykresie oraz w tablicy według załączonego wzoru,
- przedstawić graficzną interpretację zależności $\lambda = \lambda(Re)$.

Uwagi:

Wykonując badania należy zwrócić uwagę aby:

- podczas badania współczynnika oporów liniowych na jednym z przewodów, pozostałe były odłączone. Wówczas zagwarantowany zostanie jednakowy przepływ odczytany z przepływomierza,
- w czasie pomiarów przepływ musi być ustalony. Wymaga to kontroli stałości wskazań stosowanych przyrządów pomiarowych,
- w razie zapowietrzenia instalacji wodociągowej, objawiającej się widocznymi pęcherzykami powietrza w rurkach impulsowych, konieczne jest odpowietrzenie stanowiska, aby przystąpić do pomiarów,
- należy pamiętać, aby przed otwarciem zaworu zasilającego 1, uprzednio otworzyć zawór spustowy oraz zawory badawcze 6-13, 7-14, 8-15, gdyż w przeciwnym razie grozi to uszkodzeniem stanowiska.

4. Zestawienie wyników

Nr	Q	h	Δp	t_w	ν	α_1	v_{sr}	λ	Re
[-]	[dm ³ /min]	[m H ₂ O]	[Pa]	[°C]	[m ² /s]	[-]	[m/s]	[-]	[-]

5. Sprawozdanie z realizacji ćwiczenia i opracowanie wyników

Poprawnie wykonane sprawozdanie winno zawierać:

- szkic stanowiska badawczego,
- uwagi o przebiegu ćwiczenia,
- zestawienie tabelaryczne mierzonych i obliczonych wielkości,
- graficzną interpretację zależności $\lambda = \lambda(\text{Re})$,
- omówienie wyników doświadczenia (szczególną uwagę należy zwrócić na analizę zgodności obliczonych wartości współczynników oporów liniowych λ z wykresem Colebrooka – White'a),
- wnioski (dotyczyć mają wartości obliczonych współczynników oraz położeń i kształtów wykreślonych wykresów).

6. Zagadnienia sprawdzające

- Wykres linii ciśnień i linii energii dla odcinka przewodu bez oporu miejscowego, rozpatrywany dla cieczy rzeczywistej.
- Wzór na obliczenie współczynnika oporów liniowych, na podstawie wzoru Darcy – Weisbacha.
- Od jakich parametrów uzależniony jest współczynnik oporów liniowych dla ruchu laminarnego i turbulentnego.
- Wzór na obliczanie liczby Reynoldsa.

- Rodzaje przyrządów do pomiarów ciśnienia.
- Rodzaje przyrządów do pomiaru natężenia przepływu (wydatku).
- Wzór na obliczenie liczby przepływu α oraz wymienić parametry wpływające na jego zmianę.
- Schemat stanowiska do wyznaczania współczynników oporów liniowych.
- Jakie parametry wpływają na powstawanie strat ciśnienia w przewodach ciśnieniowych.
- Profil prędkości przy przepływie cieczy rzeczywistej w przewodach ciśnieniowych oraz wzór na obliczenie prędkości średniej.
- Pojęcie prędkości średniej, wydatku masowego i objętościowego oraz rola współczynnika poprawkowego Coriolisa α (na uśrednienie przepływu),
- Cechy cieczy doskonałej i rzeczywistej.
- Co to jest chropowatość względna i bezwzględna, jej wpływ na wielkość oporów liniowych.
- Co ma większy wpływ na wielkość oporów liniowych, wzrost chropowatości względnej czy zmniejszenie średnicy przewodu, wywołane postępującą korozją przewodu.

Ćwiczenie nr 4

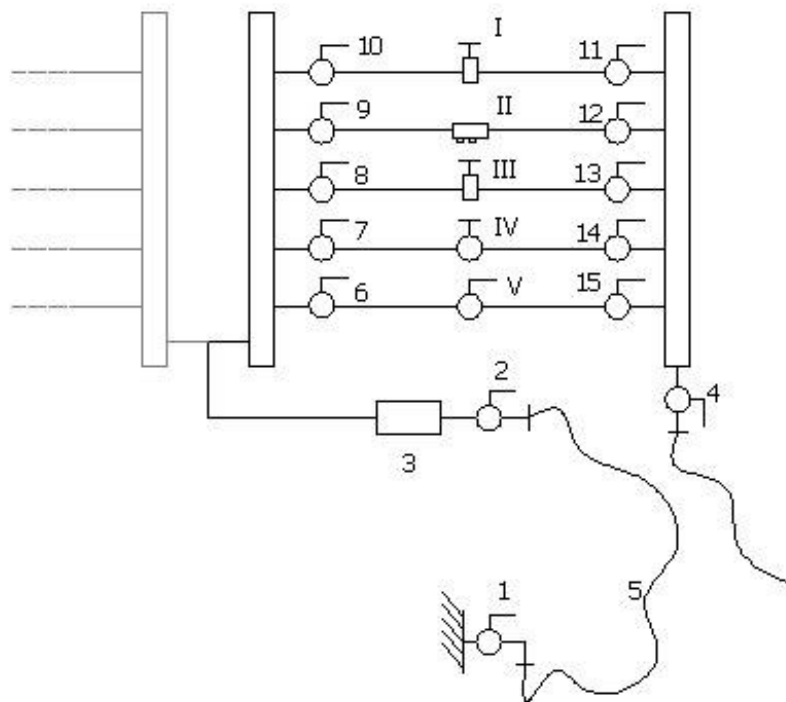
Badanie współczynnika oporów miejscowych przepływu ζ

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z laboratoryjną metodą wyznaczania wartości współczynników oporów miejscowych ζ na oporach miejscowych.

2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego

Schemat instalacji pomiarowej został przedstawiony na rys. 4.1 oraz 4.2. Do układu pomiarowego woda doprowadzana jest za pomocą węża elastycznego (4) poprzez zawór odcinający (2) i przepływomierz elektroniczny turbinowy (3). Przed i za każdym elementem badanej armatury zainstalowano wężyki impulsowe wyposażone na końcówkach w specjalne przyłącza do manometru różnicowego. Woda z układu pomiarowego odprowadzana jest do kanalizacji poprzez zawór (4).



Rysunek 4.1 Schemat stanowiska doświadczalnego: 1–zawór na dopływie wody, 2–zawór główny, 3– przepływomierz, 4–zawór spustowy, 6-15–zawory kulowe odcinające, I–zasuwa, II – zawór antyskażeniowy, III– zaszuwa, IV– zawór grzybkowy, V– zawór kulowy



Fot. 4.2. Widok stanowiska badawczego

3. Sposób wykonania ćwiczenia

- Pomiary strat ciśnienia w wybranym elemencie odcinka pomiarowego (I-V) wykonujemy po otwarciu zaworu głównego (2), odpowiednich zaworów odcinających przepływ do poszczególnych elementów oraz po otwarciu zaworu zasilającego (1). Po odpowietrzeniu układu oraz wężyków impulsowych dokonać pomiarów dla zadanych wartości natężenia przepływu.
- Po ustabilizowaniu się warunków przepływu wody, dokonać odczytu z elektronicznego manometru różnicowego oraz przepływomierza.
- Ponadto dla każdego natężenia przepływu pomierzyć stratę ciśnienia przy przepływie przez zawór dla zadanych przez prowadzącego nastaw zaworu. Po każdej zmianie nastawy korygować natężenie przepływu tak by dla każdego otwarcia przyjmowało tę samą wartość.
- Następnie ustawić następną wartość natężenia przepływu za pomocą zaworu (1), oraz dokonać kolejnych odczytów mierzonych wartości. Po skończeniu serii pomiarów określonych przez prowadzącego, wykonać kolejną.

- Pomiarowi podlega również temperatura wody przepływającej przez stanowisko
- Po zakończeniu badań zabezpieczyć sprzęt pomiarowy i zamknąć zawory.

Uwagi:

- Podczas badania współczynnika oporów miejscowych na wybranym przewodzie, pozostałe przewody muszą być odłączone. Wówczas zagwarantowany zostanie przepływ odczytany z przepływomierza.
- W czasie pomiarów przepływ musi być ustalony. Wymaga to kontroli stałości wskazań stosowanych przyrządów pomiarowych. Przy dużych wahaniami ciśnienia pomiary należy powtórzyć.
- W razie zapowietrzenia instalacji wodociągowej, objawiającej się widocznymi pęcherzykami powietrza w rurkach impulsowych, konieczne jest odpowietrzenie stanowiska.
- Należy pamiętać, aby przed otwarciem zaworu zasilającego 1, uprzednio otworzyć zawór spustowy 4, oraz zawór badawczy 6-10 i 11-15, gdyż w przeciwnym przypadku grozi to uszkodzeniem stanowiska.

4. Zestawienie wyników

Seria	L.p.	Q	Δh	T	d	v	Q	v	ζ	g	Re
		[dm ³ /min]	[mH ₂ O]	[°C]	[m]	m ² /s	m ³ /s	m/s	[-]	[m/s ²]	[-]

W przypadku realizowanego doświadczenia wartość współczynników oporów miejscowych oblicza się na podstawie pomierzonej za pomocą elektronicznego manometru różnicowego różnicy ciśnienia Δp .

$$\xi = \frac{2\Delta h g}{v^2} \tag{1}$$

gdzie:

ζ - współczynnik oporu miejscowego [-], Δh - zmierzona wartość różnicy ciśnienia [mH₂O], v - prędkość przepływu cieczy [m·s⁻¹], g - przyspieszenie ziemskie [m·s⁻²]

Wartość współczynnika lepkości kinematycznej dla każdego pomiaru temperatury (T) należy odczytać z tablic.

5. Sprawozdanie z realizacji ćwiczenia i opracowanie wyników

Poprawnie wykonane sprawozdanie winno zawierać:

- szkic stanowiska badawczego,
- uwagi o przebiegu ćwiczenia,
- zestawienie tabelaryczne mierzonych i obliczonych wielkości
- graficzną interpretację zależności $\zeta = \zeta(\text{Re})$,
- omówienie uzyskanych wielkości na tle współczynników oporów miejscowych ζ z literatury,
- wnioski (dotyczyć mają położenia i kształtów wykreślonych wykresów oraz ewentualnych różnic pomiędzy obliczonymi współczynnikami a współczynnikami podanymi w literaturze).

6. Zagadnienia sprawdzające

- Wykres linii ciśnień i linii energii dla odcinka przewodu z oporami miejscowymi w formie zwiększenia i zmniejszenia średnicy przewodu, rozpatrywany dla cieczy rzeczywistej.
- Wzór na obliczanie współczynników oporów miejscowych w formie rozszerzenia i zwężenia przewodu, korzystając z równania Bernoulliego.
- Interpretacja geometryczna równania Bernoulliego dla przewodu o nagłym wzroście przekroju.
- Wzór na obliczanie liczby Reynoldsa.
- Rodzaje przyrządów do pomiarów ciśnienia.
- Rodzaje przyrządów do pomiaru natężenia przepływu (wydatku).
- Wzór na obliczenie liczby przepływu α oraz parametry wpływające na jej zmianę.
- Schemat stanowiska do wyznaczania współczynników oporów miejscowych.

- Charakter przepływu (linie prądu) w rurze przy nagle rozszerzającym się przekroju poprzecznym.
- Charakter przepływu (linie prądu) w rurze przy nagle zwężającym się przekroju poprzecznym.
- Zamienić opór miejscowy ζ na równoważny opór na długości przewodu o współczynniku oporów liniowych λ i średnicy d .
- Interpretacja energetyczna równania Bernoulliego.
- Równanie Bernoulliego dla strugi i strumienia cieczy rzeczywistej i doskonałej.

Ćwiczenie nr 5

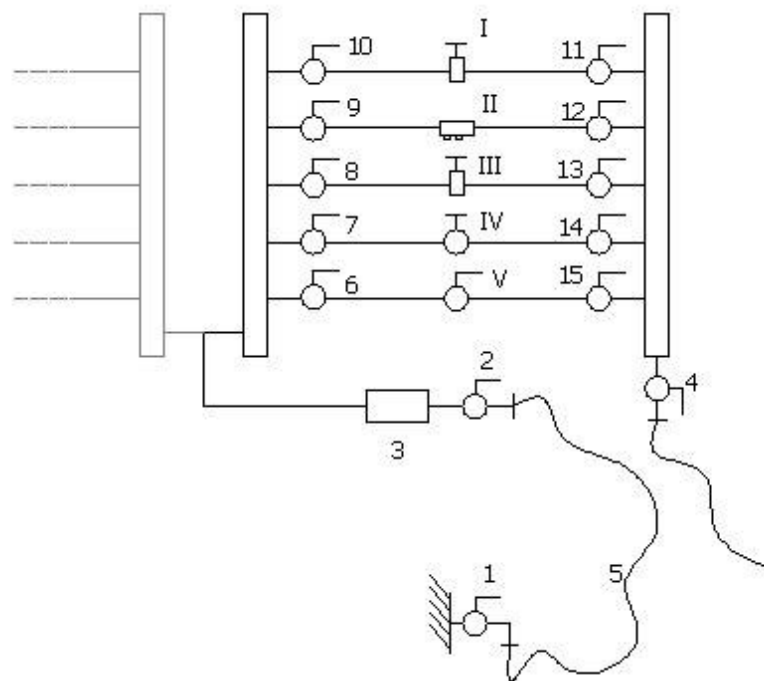
Badanie charakterystyki zaworu

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodą pomiaru współczynnika strat miejscowych ζ na zaworze, w zależności od jego kąta lub stopnia otwarcia.

2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego

Badanie spadku energii mechanicznej oraz wyznaczenia współczynnika oporów miejscowych ζ , przeprowadzone zostanie przy przepływie przez wybrany zawór zamontowany na stanowisku pomiarowym (rys. 5.1)



Rys. 5.1. Schemat stanowiska doświadczalnego: 1–zawór zasilający, 2–zawór główny, 3– przepływomierz, 4–zawór spustowy, 6-15–zaworu kulowe odcinające, I –zasuwa, II – zawór antyskażeniowy, III– zasuwa, IV– zawór grzybkowy, V– zawór kulowy



Rys. 5.2. Widok stanowiska pomiarowego

3. Sposób wykonania ćwiczenia

Przygotowanie stanowiska:

- odpowietrzyć układ pomiarowy oraz przewody impulsowe,
- podłączyć manometr różnicowy do rurek impulsowych przyłączonych do zaworu kulowego (V).

Wykonanie ćwiczenia:

- Wyznaczenie charakterystyki zaworu (V – zawór kulowy) wykonać po otwarciu zaworu głównego (2), odpowiednich zaworów odcinających przepływ do poszczególnych elementów oraz po otwarciu zaworu zasilającego (1). Po odpowietrzeniu układu oraz wężyków impulsowych dokonać pomiarów dla zadanych wartości natężenia przepływu.
- Po ustabilizowaniu się warunków przepływu wody, dokonać odczytu z elektronicznego manometru różnicowego oraz przepływomierza.

- Dla każdego ustawienia zaworu pomierzyć stratę ciśnienia przy przepływie przez zawór. Po każdej zmianie nastawy zaworu korygować natężenie przepływu tak by dla każdego otwarcia przyjmowało tę samą wartość.
- Po skończeniu serii pomiarów określonych przez prowadzącego, wykonać kolejną.
- Pomiarowi podlega również temperatura wody przepływającej przez stanowisko.
- Po zakończeniu badań zabezpieczyć sprzęt pomiarowy i zamknąć zawory.

Uwagi:

- Podczas badania współczynnika oporów miejscowych na wybranym przewodzie, pozostałe przewody muszą być odłączone. Wówczas zagwarantowany zostanie przepływ odczytany z przepływomierza.
- W czasie pomiarów przepływ musi być ustalony. Wymaga to kontroli stałości wskazań stosowanych przyrządów pomiarowych. Przy dużych wahaniami ciśnienia pomiary należy powtórzyć.
- W razie zapowietrzenia instalacji wodociągowej, objawiającej się widocznymi pęcherzykami powietrza w rurkach impulsowych, konieczne jest odpowietrzenie stanowiska.
- Należy pamiętać, aby przed otwarciem zaworu zasilającego 1, uprzednio otworzyć zawór spustowy 4, oraz zawór badawczy 6 i 15, gdyż w przeciwnym przypadku grozi to uszkodzeniem stanowiska.

4. Zestawienie wyników

Serial	l.p.	Q	Δh	T	d	ν	Q	ν	ζ	g	Re	Nastawa zaworu
		[dm ³ /min]	[mH ₂ O]	[°C]	[m]	m ² /s	m ³ /s	m/s	[-]	[m/s ²]	[-]	[°]

W przypadku realizowanego doświadczenia wartość współczynników oporów miejscowych oblicza się na podstawie pomierzonej za pomocą elektronicznego manometru różnicowego różnicy wysokości ciśnienia $\Delta h g$.

$$\xi = \frac{2\Delta h g}{v^2} \quad (1)$$

gdzie:

ζ - współczynnik oporu miejscowego [-], $\Delta h g$ - zmierzona wartość różnicy wysokości ciśnienia [mH₂O], v - prędkość przepływu cieczy [m·s⁻¹], g - przyspieszenie ziemskie [m·s⁻²]

Wartość współczynnika lepkości kinematycznej dla każdego pomiaru temperatury (T) należy odczytać z tablic.

5. Sprawozdanie z realizacji ćwiczenia i opracowanie wyników

Poprawnie wykonane sprawozdanie winno zawierać:

- wprowadzenie teoretyczne z opisem metody wyznaczania współczynników oporów miejscowych ζ dla zaworu,
- szkic stanowiska badawczego,
- uwagi o przebiegu ćwiczenia,
- zestawienie tabelaryczne mierzonych i obliczonych wielkości,
- graficzną interpretację zależności $\zeta = \zeta(\varphi)$,
- omówienie uzyskanych wielkości na tle współczynników oporów miejscowych ζ z literatury,
- wnioski (dotyczyć mają położeń i kształtów wykreślonego wykresu oraz ewentualnych różnic pomiędzy obliczonymi współczynnikami a współczynnikami podanymi w literaturze).

6. Zagadnienia sprawdzające

- Wykres linii ciśnień i linii energii dla odcinka przewodu z oporem miejscowym w formie zaworu, rozpatrywany dla cieczy rzeczywistej.

- Wzór na obliczenie współczynników oporów miejscowych dla zaworu, korzystając z równania Bernoulliego.
- Interpretacje geometryczna równania Bernoulliego dla przewodu z zamontowanym zaworem.
- Wzór na obliczenie liczby Reynoldsa.
- Rodzaje przyrządów do pomiaru ciśnienia.
- Rodzaje przyrządów do pomiaru natężenia przepływu (wydatku).
- Wzór na obliczenie liczby przepływu α oraz parametry wpływające na jej zmianę.
- Schemat stanowiska do wyznaczania współczynników oporów miejscowych dla zaworu względem jego kąta otwarcia.
- Narysować i opisać schemat zaworu kulowego.
- Wyjaśnić, czy zastosowanie zaworu grzybkowego jako elementu mierzonego będzie miało wpływ na wartość uzyskiwanych wyników.
- Podstawowe wady i zalety zaworów kulowych i grzybkowych.

Ćwiczenie nr 6

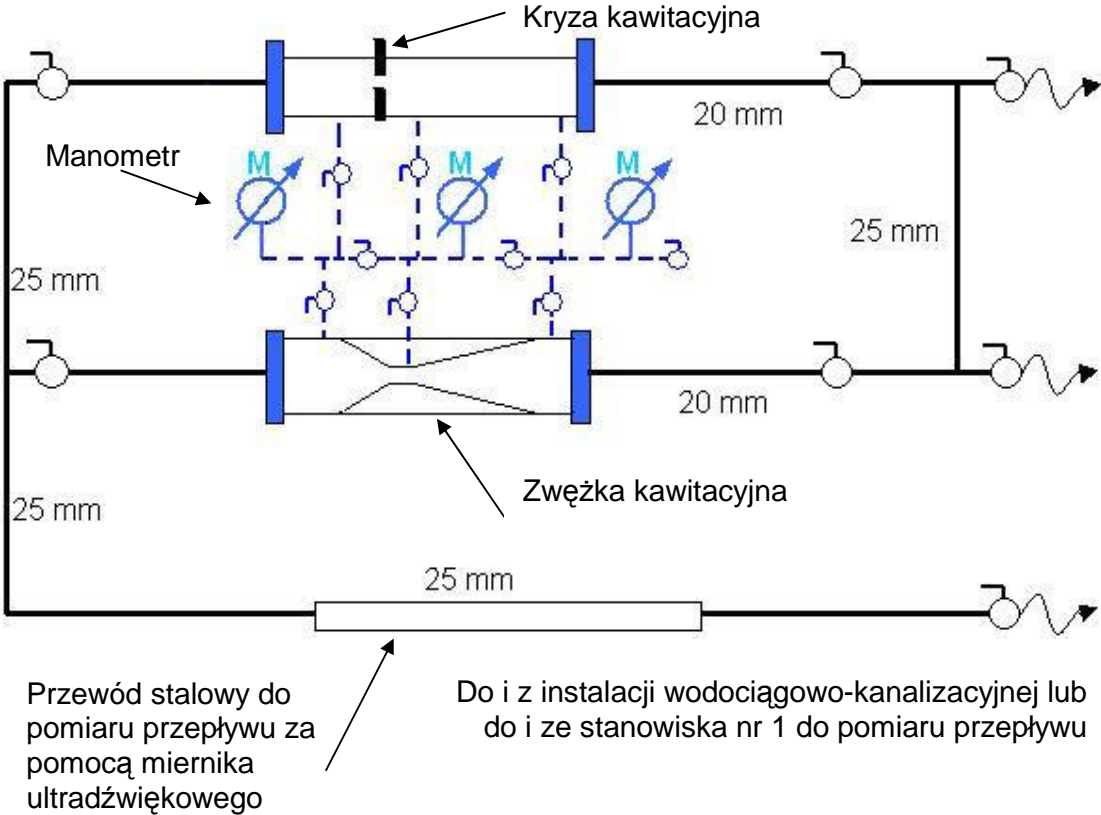
Kawitacja w oporach miejscowych

1. Cel ćwiczenia

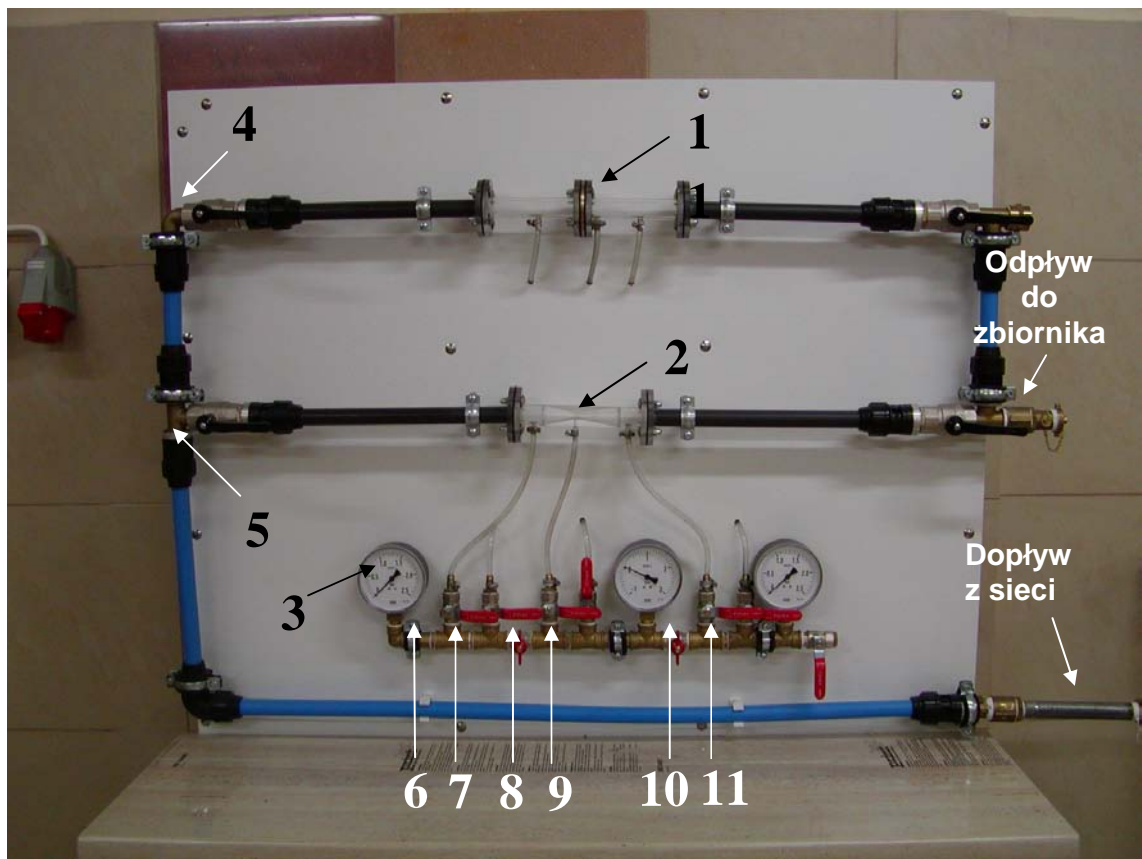
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z laboratoryjną metodą wyznaczania parametrów zjawiska kawitacji oraz obserwacji efektów dźwiękowych i wizualnych podczas trwania zjawiska.

1. Schemat i opis stanowiska pomiarowego

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rysunkach poniżej:

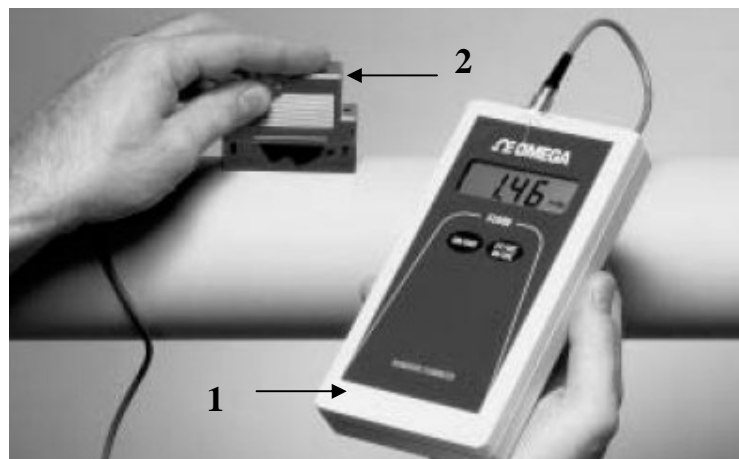


Rys. 6.1. Schemat stanowiska pomiarowego



Rys 6.2. Widok stanowiska pomiarowego: 1- kryza kawitacyjna; 2 – zwężka kawitacyjna; 3 – manometr; 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 – zawory

Do wykonania pomiaru przepływu wykorzystuje się miernik ultradźwiękowy pokazany poniżej:

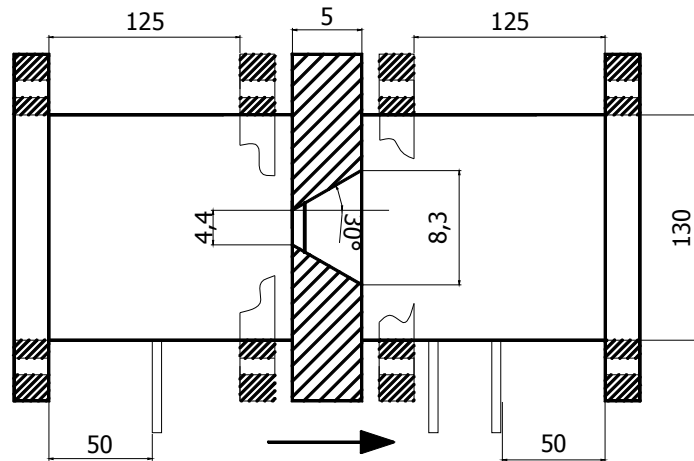


Rys.6.3. Przepływomierz ultradźwiękowy Omega FD613 (1) z sondą pomiarową US FD613-S (2)

Opis urządzeń:

- kryza kawitacyjna (wymiary na rysunku poniżej)

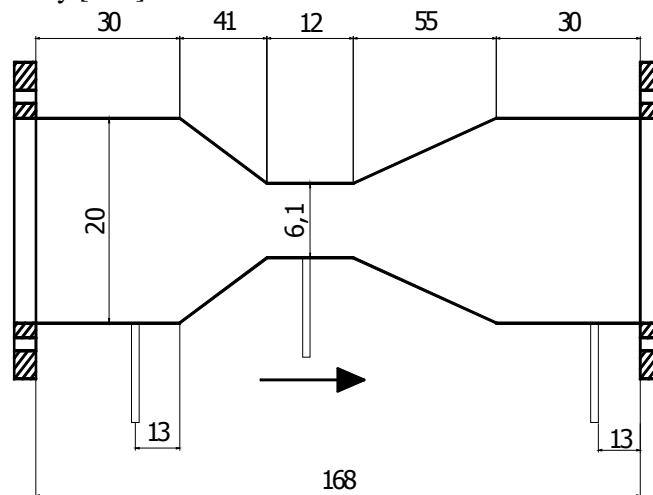
Wymiary [mm]



Rys. 6.4. Schemat ideowy kryzy kawitacyjnej

- zwężka kawitacyjna

Wymiary [mm]



Rys.6.5. Schemat ideowy zwężki kawitacyjnej

3. Sposób wykonania ćwiczenia

Stanowisko pomiarowe (rys. 6.1, 6.2) składa się z układu przewodów, na których zamontowano kryzę kawitacyjną (1), zwężkę kawitacyjną (2) oraz stalową rurę $\varnothing = 20$ mm służącą do pomiaru przepływu wody przez układ pomiarowy. Do pomiaru ciśnienia na

zweźce i kryzie kawitacyjnej użyto manometru podłączonego bezpośrednio do badanej zewężki lub kryzy kawitacyjnej, natomiast do pomiaru prędkości przepływu miernika ultradźwiękowego Omega FD613 z sondą pomiarową US FD613-S (rys. 6.3.). Pomiaru dokonuje się sondą ultradźwiękową US skierowaną przewodem sygnałowym zgodnie z kierunkiem przepływu wody. Odczytu prędkości należy dokonać po ok. 1 min. od chwili przyłożenia sondy do przewodu celem ustalenia się wartości prędkości przepływu.

Uwaga:

Przed przystąpieniem do pomiarów przepływu należy posmarować stalową rurę pomiarową specjalnym żelem, w miejscu kontaktu z przepływomierzem ultradźwiękowym.

W celu realizacji pomiarów należy tak ustawić zawory by przepływ odbywał się albo przez zewężkę kawitacyjną, albo przez kryzę kawitacyjną. W obu przypadkach należy odkręcić zawór by umożliwić wypływ wody z układu przewodów do zbiornika otwartego. Dodatkowo należy odpowiednio dobrać parametry mierników (ustawienie jednostek SI).

Pomiary w kryzie kawitacyjnej (1):

- Otworzyć zawór (4), (7), (9) i (11), zamknąć zawór (5),
- odkręcić zawór sieciowy i wypełnić stanowisko wodą,
- odczekać ok. 2 min w celu odpowietrzenia stanowiska,
- ustawić takie otwarcie zaworu (4) by zauważalne było zjawisko kawitacji. Pomiary należy wykonać dla kilku stopni otwarcia zaworu, by zaobserwować przy jakim przepływie i ciśnieniu zjawisko kawitacji zaczyna występować,
- zmierzyć ciśnienie w kryzie za pomocą manometru (3),
- zmierzyć przepływ za pomocą przepływomierza ultradźwiękowego (rys. 5.3),
- zakręcić zawór (4).

Pomiary w zewężce kawitacyjnej (2):

- Otworzyć zawór(5), (6), (8) i (10), zamknąć zawór (4),
- odczekać ok. 1 min w celu odpowietrzenia stanowiska,
- ustawić takie otwarcie zaworu (5) by zauważalne było zjawisko kawitacji. Pomiary należy wykonać dla kilku stopni otwarcia zaworu, by zaobserwować przy jakim przepływie i ciśnieniu zjawisko kawitacji zaczyna występować,
- zmierzyć ciśnienie w zewężce za pomocą manometru (3),
- zmierzyć przepływ za pomocą przepływomierza ultradźwiękowego (rys. 5.3),
- zakręcić zawór (5),
- zakręcić zawór sieciowy,

- opróżnić stanowisko z wody,
- odłączyć i odłożyć mierniki.

4. Zestawienie wyników

L.p.	T	v	P ₁	p ₂	p ₃	Q	Uwagi
	[°C]	[m/s]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[m ³ /s]	

5. Sprawozdanie z realizacji ćwiczenia i opracowanie wyników

Poprawnie wykonane sprawozdanie winno zawierać:

- Opis i schemat stanowiska pomiarowego,
- opis metodyki pomiarów,
- opis urządzeń pomiarowych,
- wyniki pomiarów przedstawione w formie tabelarycznej,
- obliczenia ciśnienia panującego w zwężce i kryzie pomiarowej,
- porównanie wyników obliczeń z wartościami pomierzonymi,
- rachunek błędu liczony metodą różniczkową,
- wnioski (dotyczące analizy otrzymanych wyników, interpretacje wykresu, własne spostrzeżenia).

6. Zagadnienia sprawdzające

- Kawitacja i liczba kawitacji.
- Równanie Bernoulli'ego dla zwężki i kryzy.
- Wyjaśnić na czym polega korozja kawitacyjna.
- Metody zapobiegania kawitacji.
- Miejsca szczególnie narażone na kawitację w sieciach i instalacjach wodnych.
- Sposoby zabezpieczenia pomp przed kawitacją.
- Urządzenia do pomiaru przepływu i ciśnienia.
- Zasada działania przepływomierza ultradźwiękowego i warunki jego stosowania.

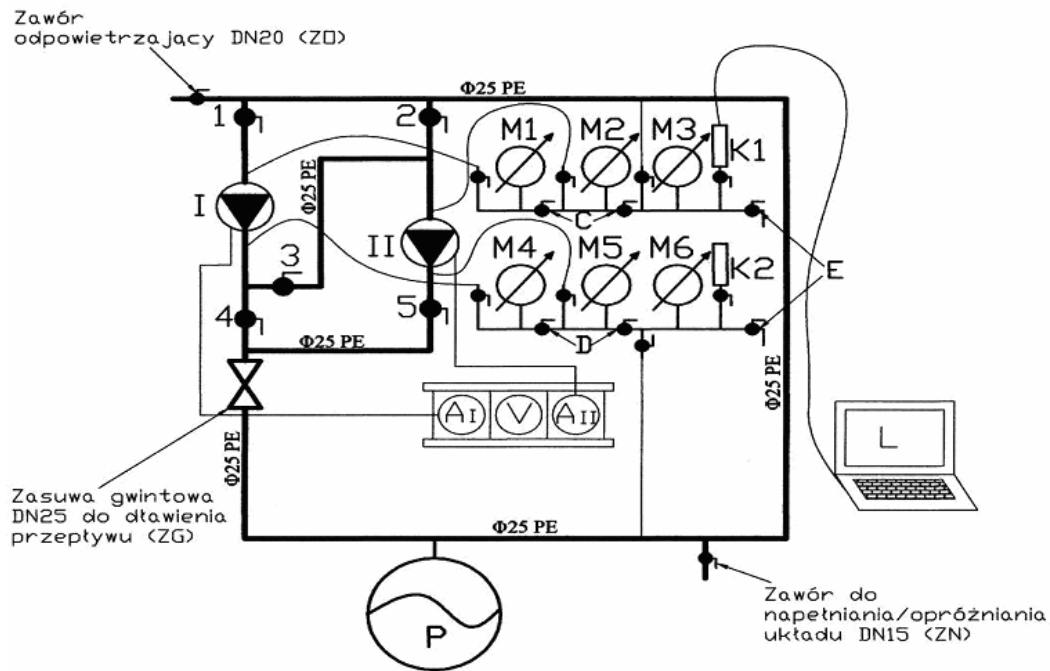
Ćwiczenie 7

Badanie charakterystyki pomp odśrodkowych

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodą wyznaczania charakterystyki pojedynczej pompy wirowej, a także pomp wirowych współpracujących w układzie szeregowym i równoległym.

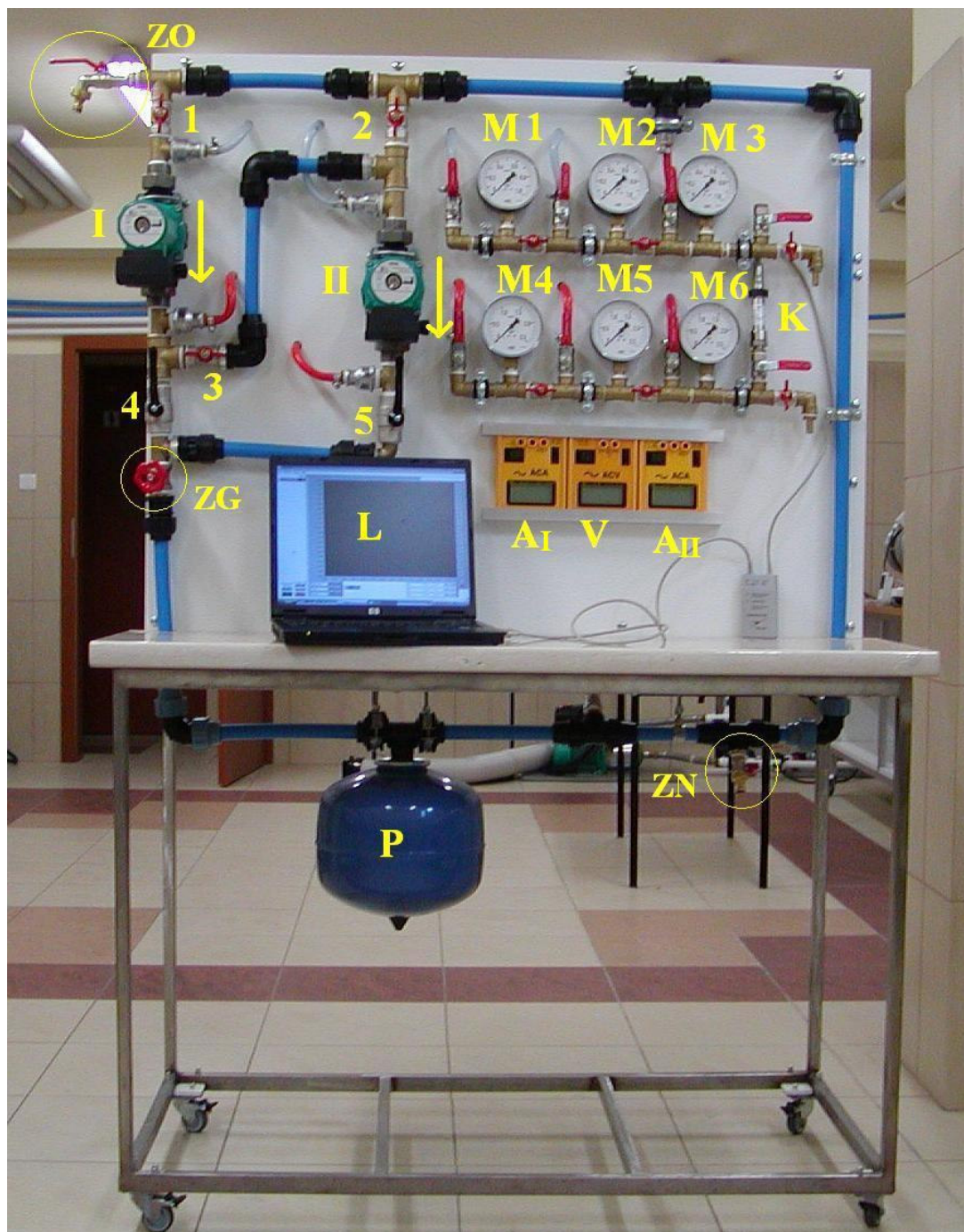
2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego



LEGENDA:

- I, II - pompy WILLO TOP-S25/5
- 1-5 - zawory kulowe DN25 decydujące o rodzaju współpracy pomp
- M1 - manometr strony ssawnej pompy I
- M2 - manometr strony ssawnej pompy II
- M3 - manometr strony ssawnej układu
- M4 - manometr strony tłocznej pompy I
- M5 - manometr strony tłocznej pompy II
- M6 - manometr strony tłocznej układu
- K1, K2 - przetworniki ciśnienia firmy Keller
- A_I, A_{II} - amperomierze
- V - woltomierz
- P - naczynie przeponowe Reflex Refix DE 12 o poj. 4 dm³
- L - komputer przenośny z oprogramowaniem "Keller Read30"
- C, D - zawory kulowe DN15
- E - zawory spustowe DN15

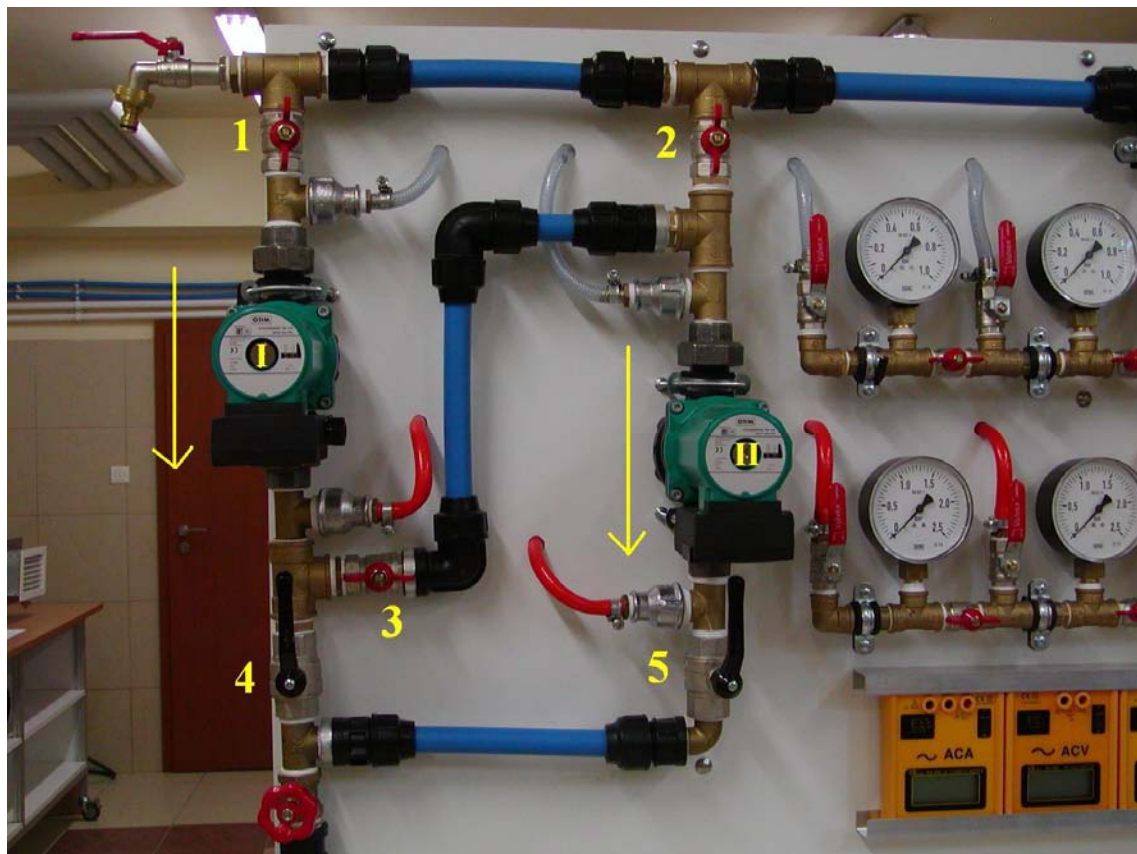
Rys. 7.1. Schemat stanowiska pomiarowego



Rys. 7.2. Widok stanowiska pomiarowego

Wyposażenie stanowiska przedstawia schemat widoczny na rys. 7.1. i 7.2. Zasadniczymi elementami stanowiska są pompy WILO typu TOP-S25/5, których charakterystyka jest przedmiotem badań. Wybór rodzaju współpracy między pompami (szeregowy, równoległy) bądź też pracy pojedynczej pompy, jest możliwy dzięki

odpowiedniemu ustawieniu zaworów oznaczonych jako 1 – 5 (rys. 7.1, 7.2. i 7.3). Tabela 7.1 pokazuje możliwe warianty pracy stanowiska zależnie od ustawień tych zaworów.

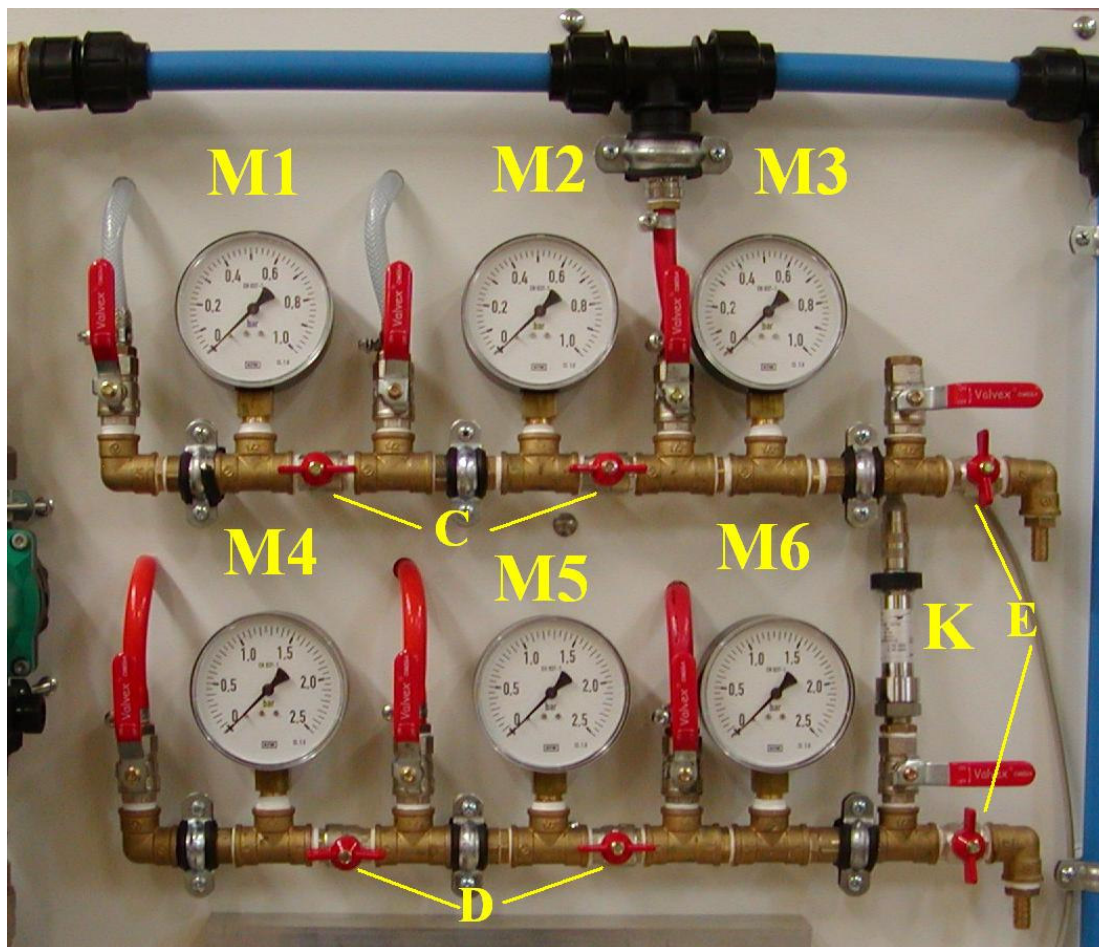


Rys. 7.3. Lokalizacja zaworów, których ustawienia warunkuje rodzaj pracy pomp

Tabela 7.1. Rodzaj pracy pomp zależnie od otwarcia zaworów

Praca pomp	Otwarcie „O” / zamknięcie „Z” zaworu nr				
	1	2	3	4	5
Pompa I sama	O	Z	Z	O	Z
Pompa II sama	Z	O	Z	Z	O
Pompy równoległe	O	O	Z	O	O
Pompy szeregowo	O	Z	O	Z	O

Podstawę do wyznaczenia charakterystyki pompy stanowią odczyty ciśnienia z zestawów manometrycznych – rys.7.4.



Rys. 7.4. Widok zestawów manometrycznych. M1 – manometr strony ssawnej pompy I, M2 – manometr strony ssawnej pompy II, M3 – manometr strony ssawnej całego układu, M4 – manometr strony tłocznej pompy I, M5 – manometr strony tłocznej pompy II, M6 – manometr strony tłocznej całego układu, K - przetwornik ciśnienia, C, D – zawory kulowe DN15 E – zawory spustowe DN15.

3. Sposób wykonania ćwiczenia

Przygotowanie stanowiska pomiarowego

- Podłączyć jeden koniec węża do zaworu służącego do napełniania układu ZN (ten powinien być zamknięty), a drugi koniec do zaworu zasilającego znajdującego się w pomieszczeniu laboratorium (w razie wątpliwości zapytać prowadzącego zajęcia), który to zawór zasilający następnie odkręcić.
- Otworzyć zawór odpowietrzający ZO uprzednio sprawdzając, czy drugi koniec podłączonego do niego węża jest skierowany w stronę kratki ściekowej.

- Sprawdzić czy wszystkie pozostałe zawory na stanowisku (za wyjątkiem dwóch zaworów spustowych zestawów manometrycznych oznaczonych jako E) są w pozycji otwartej.
- Rozpocząć napełnianie układu poprzez stopniowe odkręcanie zaworu ZN. Zachować ostrożność i obserwować wskazania manometrów (nie mogą przekroczyć ich wartości maksymalnej).
- Gdy woda zacznie się przelewać poprzez zawór ZO – odkręcić zawór spustowy E dolnego zestawu manometrycznego (uprzednio podstawiając pod króciec spustowy naczynie) celem usunięcia z niego powietrza. Następnie zawór zakręcić. Czynność powtórzyć dla górnego zestawu manometrycznego.
- Dokończyć odpowietrzanie górnej części układu.
- Zamknąć zawór ZN a następnie zawór ZO.
- Zakręcić zawór zasilający znajdujący się w laboratorium.
- Zamknąć 4 zawory oznaczone jako C, D, przedzielające sekcje manometrów.
- Do przetwornika ciśnienia firmy Keller podłączyć komputer przenośny i uruchomić na nim program Keller Read30 (instrukcja posługiwania się programem w dalszej części).

Przeprowadzenie doświadczenia

- Uruchomić pompę I w następujący sposób:
 - zamknąć zawory 2, 3, 5,
 - załączyć pompę I.
- Odczytać wskazania: manometrów (ciśnienia p_1 - p_6 odpowiednio dla M1-M6), amperomierzy (I_I oraz I_{II}), woltomierza (V) i bezinwazyjnego ultradźwiękowego miernika przepływu PortaFlow300 firmy Micronics (instrukcję obsługi urządzenia zawarto w Ćwiczeniu nr 1.) oraz zapisać wyniki pomiarów dokonane przez program Keller Read30 (instrukcja poniżej).
- Przystąpić do stopniowego dławienia przepływu zasuwą ZG, każdorazowo odczytując wskazania wymienione w punkcie 2.
- Po odczytaniu wskazań dla zamkniętej zasuwki ZG – otworzyć ją. Podczas odczytu pomiarów nie należy też pozostawiać zasuwki ZG zamkniętej na zbyt długo.
- Przejść do badania pracy równoległej pomp. W tym celu:
 - otworzyć zawór 2 oraz 5,
 - załączyć pompę II.

- Powtórzyć krok drugi, trzeci i czwarty.
- Przejść do badania pracy szeregowej pomp. W tym celu:
 - otworzyć zawór nr 3,
 - zamknąć zawór nr 4,
 - zamknąć zawór nr 2.
- Powtórzyć krok drugi, trzeci i czwarty.
- Po zakończeniu badań wyłączyć pompy.

Instrukcja obsługi programu Keller Read30

- Krok 1: Wciskamy „START” > ”WSZYSTKIE PROGRAMY” i odnajdujemy program o nazwie **READ30**, a następnie go uruchamiamy.
- Pojawia się następujące okno:



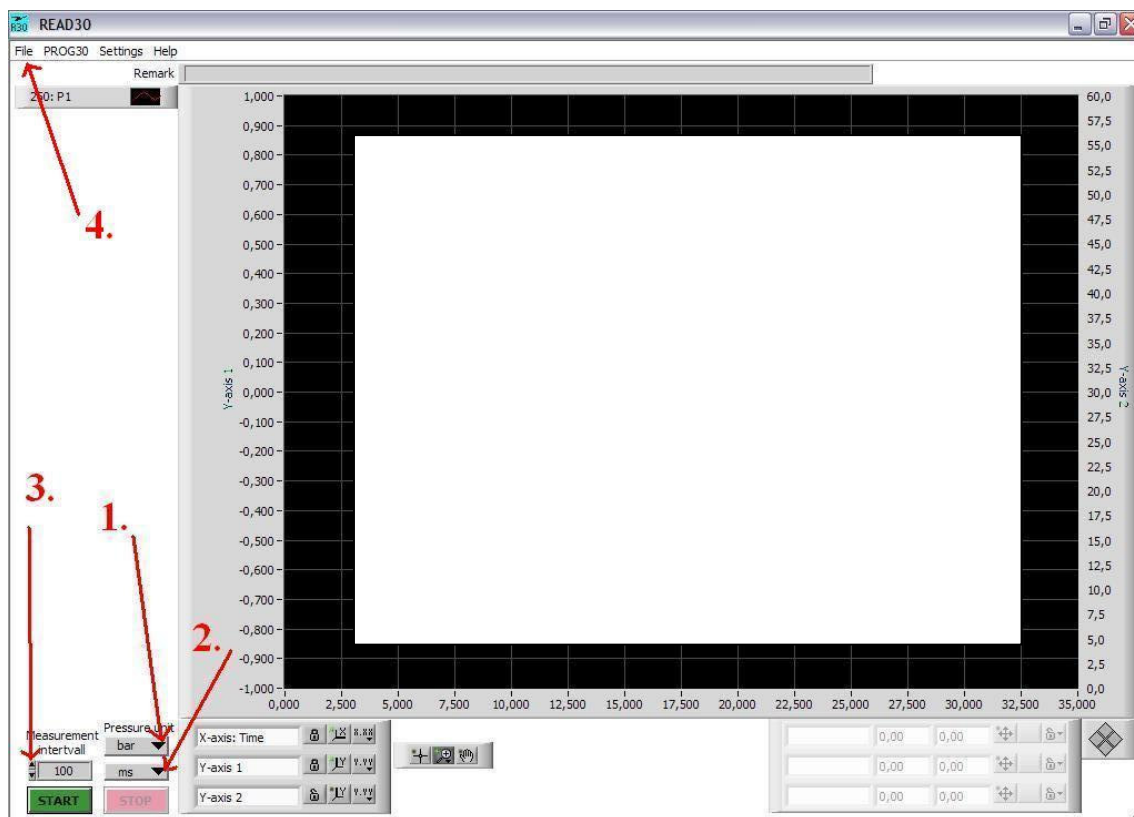
Rys. 7.5. Okno startowe programu

w którym niczego nie zmieniając wciskamy „OK”.

- Krok 3: Pojawia się główne okno programu – rys. 7.6.
 - Z menu oznaczonego jako „1.” wybieramy jednostkę w jakiej ma być wyrażane ciśnienie.
 - W menu oznaczonym jako „2.” wybieramy jednostkę w jakiej ma być wyrażony czas pomiaru.
 - W polu oznaczonym jako „3.” ustalamy krok czasowy (interwał) pomiaru
- Krok 4: Wciskamy zielony przycisk „START”. Rozpoczyna się rejestracja zmian ciśnienia w czasie. Oś pionowa Y wskazuje wartości ciśnienia w wybranych wcześniej

jednostkach, natomiast oś pozioma X wskazuje czas w również wcześniej określonych jednostkach.

- Krok 5: Aby zakończyć pomiar wciskamy czerwony przycisk „STOP”.
- Krok 6: W celu zapisania wyników rejestracji wciskamy napis „FILE” oznaczony jako „4.”
 - Z menu wybieramy „Export” („Eksportuj”).
 - Pojawia się nowe okno, w którym określamy nazwę pliku tekstowego oraz miejsce jego zapisania.



Rys. 7.6. Główne okno programu READ30

4. Zestawienie wyników

Nr	Q	p ₁	p ₂	p ₃	p ₄	p ₅	p ₆	H _I	H _{II}	H _U	P	I _I	I _{II}	U	P _e	η
[-]	[m ³ /h]	[ba]	[ba]	[ba]	[ba]	[ba]	[ba]	[m]	[m]	[m]	[W]	[A]	[A]	[V]	[W]	[-]

5. Sprawozdanie z realizacji ćwiczenia i opracowanie wyników

Sprawozdanie powinno obejmować:

- opis i schemat stanowiska,
- założenia badawcze,
- opis wykonywania ćwiczenia,
- spis urządzeń pomiarowych,
- wyniki obliczeń i ich opracowanie tabelaryczne i graficzne,
- rachunek błędów przeprowadzony metodą różniczkową.

6. Zagadnienia sprawdzające

- Charakterystyka pomp wirowych, hydrauliczna, energetyczna i sprawnościowa.
- Charakterystyka hydrauliczna przewodów.
- Współpraca układu pompa – przewód.
- Współpraca dwóch pomp połączonych szeregowo i równolegle.
- Regulacja wydajności pomp.
- Metody obliczania zapotrzebowania na moc.
- Zagadnienie sprawności w układach technicznych.

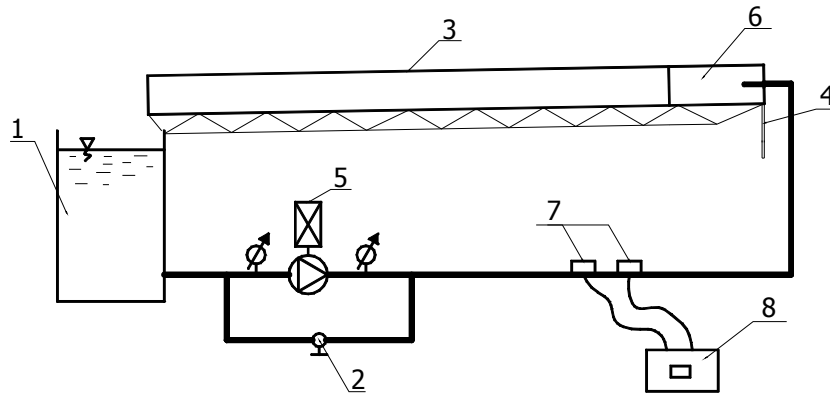
Ćwiczenie nr 8

Cechowanie koryta otwartego

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodyką cechowania koryt otwartych oraz wizualizacją podstawowych parametrów ruchu nad i podkrytycznego.

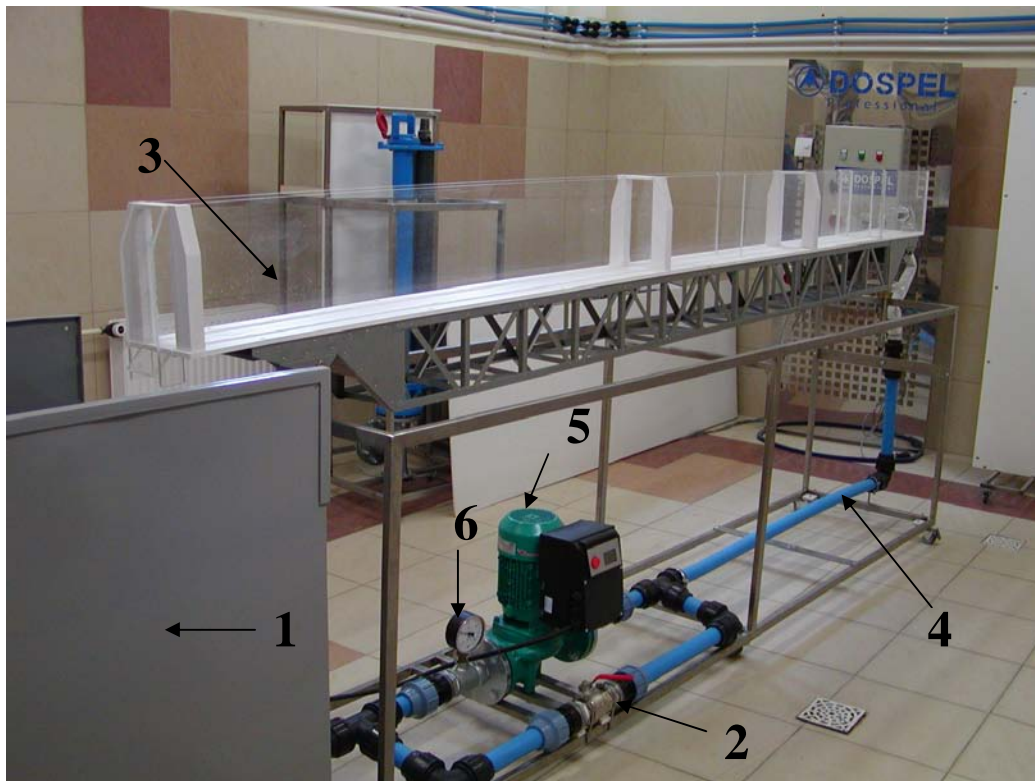
2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego



Rys. 8.1. Schemat stanowiska do cechowania koryta otwartego: 1 - zbiornik wody, 2 - zawór regulacyjny, 3 - koryto pomiarowe, 4 - śruba nastawcza, 5 - pompa, 6 - komora wyrównawcza, 7 - sonda pomiarowa Reflex typu A, 8 - ultradźwiękowy miernik przepływu

Stanowisko pomiarowe składa się z:

- koryta z tworzywa sztucznego, przezroczystego, o przekroju prostokątnym,
 - o wymiary: szer. $b = 0,084\text{m}$, $L = 3,45\text{m}$
 - o spadek: $i = [\%]$,
- pompy Wilo – VeroLine, z urządzeniem typu „soft – start”
- przewodów ssawnych i tłocznych $\varnothing = 50\text{mm}$,
- miernika wydatku i prędkości przepływu Portaflow 300 (rys. 8.3),
 - o dokładność: $\pm 2\%$ odczytu w całym zakresie pomiarowym,
- stopera,
- łódeczki,
- u-rurki z elastycznego przezroczystego przewodu.



Rys.8.2. Widok stanowiska do cechowania koryta otwartego: 1 – zbiornik wody, 2 – zawór regulacyjny, 3 - koryto pomiarowe, 4 – przewód tłoczny do badania prędkości przepływu za pomocą miernika US, 5 – pompa, 6 – manometr



Rys. 8.3. Widok miernika przepływu: 1 – sonda pomiarowa Reflex typu A, 2 – ultradźwiękowy miernik przepływu Portaflow 300

3. Sposób wykonania ćwiczenia

Przygotowanie stanowiska pomiarowego

Cechowanie koryta otwartego polega na sporządzeniu krzywej $Q=f(H)$, gdzie H jest napełnieniem koryta. Sprawdzana będzie również zależność pomiędzy prędkością warstwy powierzchniowej strumienia wody w korycie, a jej wartością średnią, wyznaczaną z równania ciągłości.

Przed przystąpieniem do pomiarów należy:

- sprawdzić napełnienie zbiornika 1 (rys. 8.1. i 8.2.),
- zmierzyć temperaturę wody w zbiorniku,
- zmierzyć parametry geometryczne koryta,
- wyznaczyć spadek geometryczny koryta, wykorzystując następujący wzór:

$$i = \frac{H_2 - H_1}{L} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (1)$$

gdzie: H_1, H_2 – wysokość początku i końca koryta [m], L – długość koryta [m], różnicę $H_2 - H_1$ należy wyznaczyć z wykorzystaniem u-rurki zbudowanej na bazie przewodu z przezroczystego tworzywa,

- ustawić w mierniku przepływu niezbędne parametry przewodu 4 (rys.8.1, 8.2), dane znajdują się w nadrukowanym na niego opisie,
 - o średnica zewnętrzna,
 - o grubość,
 - o materiał,
- sprawdzić wartość sygnału dźwiękowego miernika przepływu – powinien on przekraczać 60%,
- podłączyć pompę do instalacji energetycznej,
- otworzyć całkowicie zawór 2 (rys. 8.1).

Przeprowadzenie pomiarów

- Uruchomić pompę (5).
- Odczekać ok.. 1 min w celu ustalenia się warunków przepływu przez koryto (3).
- Zmierzyć temperaturę wody w zbiorniku.
- Zmierzyć prędkość przepływu miernikiem US na przewodzie tłocznym (4).

- Odczytać ciśnienia z manometrów przed i za pompą.
- Dokonać pomiaru głębokości strumienia w korycie (3) w połowie jego długości.
- Zmierzyć prędkość przepływu łódeczki przez koryto.
- Przydławić zawór (2) i dla zmienionych parametrów przepływu ponownie dokonać opisanych powyżej czynności pomiarowych.
- Zmieniać ustawienie zaworu (2) od wartości minimalnej do maksymalnej i powtórzyć pomiary dla minimum 5 ustawień.
- Wyłączyć pompę (5).
- Wyłączyć miernik przepływu.

3. Zestawienie wyników

Lp.	L	H2-H1	B	i	d
-	m	m	m	%	mm

L.p	T	v miernika	Q	p ₁	p ₂	H	v śr koryta	t	v łódeczki	Uwagi
	[°C]	[m/s]	[m ³ /s]	[Pa]	[Pa]	[m]	[m/s]	[s]	[m/s]	

5. Sprawozdanie z realizacji ćwiczenia i opracowanie wyników

Poprawnie wykonane sprawozdanie winno zawierać:

- opis i schemat stanowiska pomiarowego,
- opis urządzenia pomiarowego,
- opis metodyki pomiarów,
- wyniki pomiarów przedstawione w formie graficznej i tabelarycznej,
- rachunek błędów.

6. Zagadnienia sprawdzające

- Rodzaje ruchu w korycie otwartym, do czego można wykorzystać dany rodzaj ruchu.
- Równanie ruchu krytycznego, od jakich parametrów zależy.
- Definicja i zastosowanie liczby kryterialnej Fruda.
- Na czym polega cechowanie koryta.
- Metody pomiarów wysokości zwierciadła wody w korytach i kolektorach kanalizacyjnych.
- Równanie Chezy i równanie Manninga.
- Opisać spadek hydrauliczny w korytach otwartych.
- Zastosowanie koryt.
- Metody pomiaru prędkości cieczy w korytach otwartych.
- Rodzaje podnośników cieczy stosowanych w korytach otwartych.

Ćwiczenie nr 9

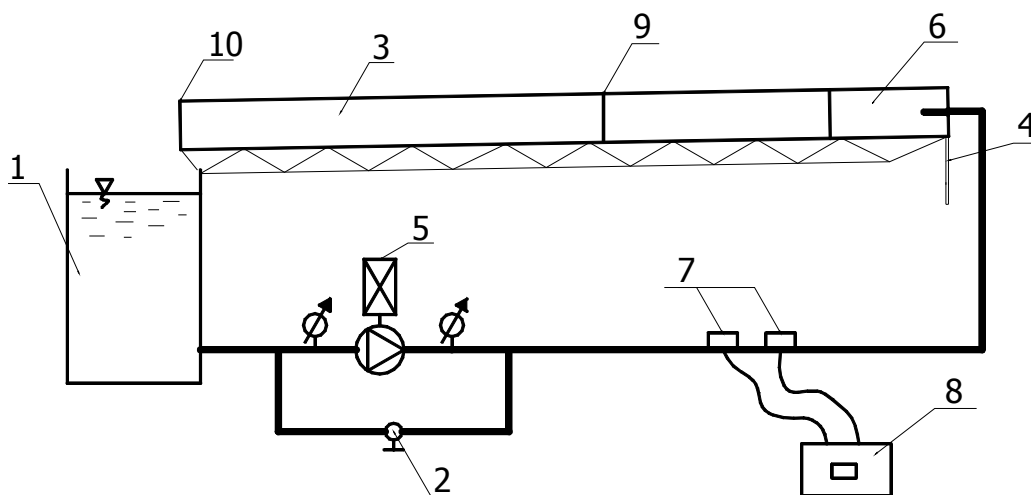
Wyznaczanie parametrów odskoku hydraulicznego

1. Cel ćwiczenia

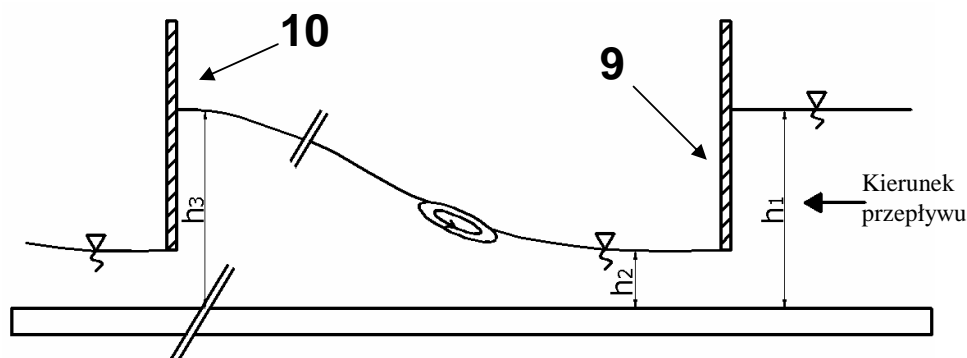
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze zjawiskiem odskoku hydraulicznego. Zadaniem jest wyznaczenie głębokości sprężonych oraz długości odskoku w oparciu o obserwację swobodnego wypływu wody spod zasuw.

2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego

Schemat i opis stanowiska pomiarowego jest identyczny jak w ćwiczeniu 8, rys. 8.1. i 8.2. Na schemacie poniżej pokazano miejsca (9) i (10), w których należy umieścić zasuwę piętrzącą wodę w celu uzyskania zjawiska odskoku hydraulicznego.



Rys. 9.1. Schemat stanowiska pomiarowego wraz z lokalizacją zasuw piętrzących.
1 - zbiornik wody, 2 - zawór regulacyjny, 3 - koryto pomiarowe, 4 - śruba nastawcza, 5 - pompa, 6 - komora wyrównawcza, 7 - sonda pomiarowa, 8 - ultradźwiękowy miernik przepływu, 9, 10 - zasuwę piętrzące



Rys. 9.2 Schemat wypływu wody spod zasuw (1): 2 – końcowa zasawa piętrząca

3. Sposób wykonania ćwiczenia

Aby uzyskać zjawisko odskoku hydraulicznego w warunkach laboratoryjnych należy spiętrzyć wodę przy pomocy zasuw piętrzących (9) i (10) – rys. 9.1, 9.2 na taką wysokość, by jak najlepiej było widoczne badane zjawisko. Należy je tak ustawić by woda nie przelewała się nad zasuwą piętrzącą (9), pozostawiając jej ujście o wysokości ok. 5cm od dna koryta do dolnej krawędzi zasuw. Następnie należy dokonać pomiarów głębokości strumienia przed i za zasuwą (9) oraz tuż przed zasuwą (10).

Przeprowadzenie pomiarów:

- Zmierzyć szerokość dna koryta (3) i wyznaczyć jego spadek, analogicznie jak w ćwiczeniu nr 8.
- Sprawdzić poziom wody w zbiorniku (1), w razie potrzeby uzupełnić.
- Umieścić w prowadnicy zasuw (9) i (10).
- Uruchomić pompę (5).
- Ustawić zawór (2) w celu regulacji ilości strumienia objętości przepływu wody przez koryto.
- Odczekać ok.. 3 min w celu ustalenia się warunków przepływu przez koryto (3).
- Zmierzyć prędkość przepływu miernikiem ultradźwiękowym w przewodzie tłocznym (4).
- Odczytać ciśnienia z manometrów przed i za pompą.
- Dokonać pomiaru głębokości strumienia h w korycie (3) za pomocą suwmiarki przed i za zasuwą (9) oraz przed zasuwą (10).

- Zmieniać ustawienie zaworu (2) od wartości minimalnej do maksymalnej i kilkakrotnie powtórzyć pomiary.

4. Zestawienie wyników

L.p.	T	v	p ₁	p ₂	H	L	B	Q	h ₁	h ₂	h ₃	Uwagi
	[°C]	[m/s]	[Pa]	[Pa]	[m]	[m]	[m]	[m ³ /s]	[m]	[m]	[m]	

5. Sprawozdanie z realizacji ćwiczenia i opracowanie wyników

Poprawnie wykonane sprawozdanie winno zawierać:

- Opis i schemat stanowiska pomiarowego,
- opis metodyki pomiarów,
- wyniki pomiarów przedstawione w formie graficznej i tabelarycznej.

6. Zagadnienia sprawdzające

- Co to jest odskok hydrauliczny i kiedy powstaje.
- Zastosowanie odskoku hydraulicznego.
- Niebezpieczeństwa związane z wystąpieniem odskoku w przewodach instalacyjnych i sieciowych.
- Podać przykład instalacji kanalizacyjnej, w której nie występuje odskok hydrauliczny.
- Metody zapobiegania powstawaniu odskoku,
- Metody zabezpieczenia przewodu w miejscu występowania odskoku,
- Obliczenie ilości energii traconej w odskoku.

Ćwiczenie nr 10

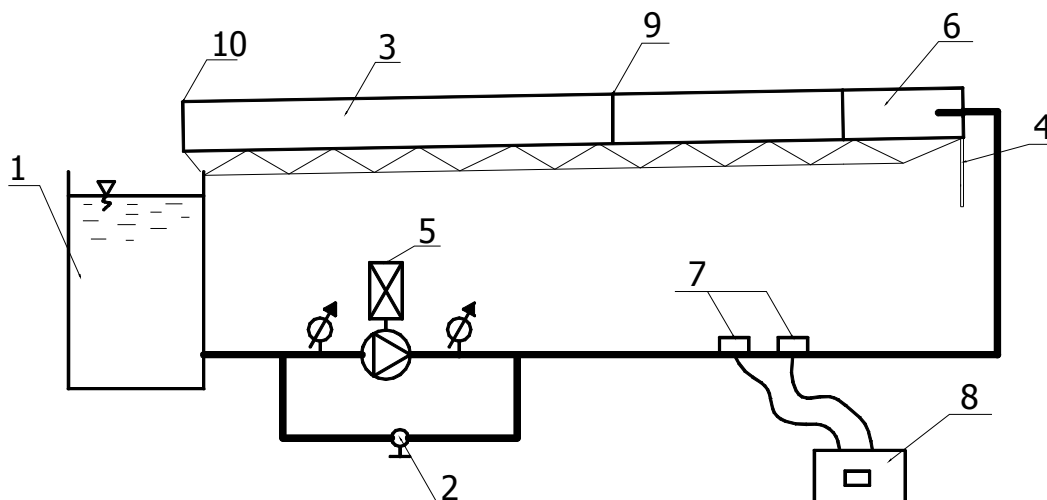
Przepływ ciecży przez przelewy

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie wartości współczynnika wydatku dla różnych rodzajów przelewów oraz sporządzenie ich charakterystyk.

2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego

Schemat i opis stanowiska pomiarowego jest identyczny jak w ćwiczeniu 8, rys 8.2, rys. 8.3. i 8.4. Dodatkowym elementem stanowiska są przelewy o różnych kształtach, które umieszcza się w korycie w prowadnicy 9 – rys. 10.1.



Rys. 10.1. Schemat stanowiska pomiarowego wraz z lokalizacją przelewów i zasowy piętrzącej: 1 - zbiornik wody, 2 - zawór regulacyjny, 3 - koryto pomiarowe, 4 - śruba nastawcza, 5 - pompa, 6 - komora wyrównawcza, 7 - sonda pomiarowa, 8 - ultradźwiękowy miernik przepływu, 9 - prowadnica przelewu, 10 - zasowa piętrząca

Zasadniczym elementem stanowiska jest koryto pomiarowe o przekroju prostokątnym (3), zaopatrzone w prowadnicę tarcz przelewowych (9) umieszczoną w bocznych ściankach. Do badań wykorzystywane będą przelewy o kształtach przedstawionych na rys. 10.2. Do koryta doprowadzana jest woda z instalacji wody obiegowej, której strumień regulowany jest za pomocą zaworu (2) i mierzony za pomocą

ultradźwiękowego miernika przepływu (8). Miernik umieszczony jest na przewodzie tłocznym. Dopływ wody z przewodu instalacyjnego odbywa się przez komorę (6) pełniącą rolę uspakajającą przepływ. Dodatkowym wyposażeniem jest zasuwa piętrząca (10), mocowana w końcowym odcinku koryta, umożliwiająca uzyskanie warunków pracy dla przelewów zatopionych.

a)



b)



c)



d)



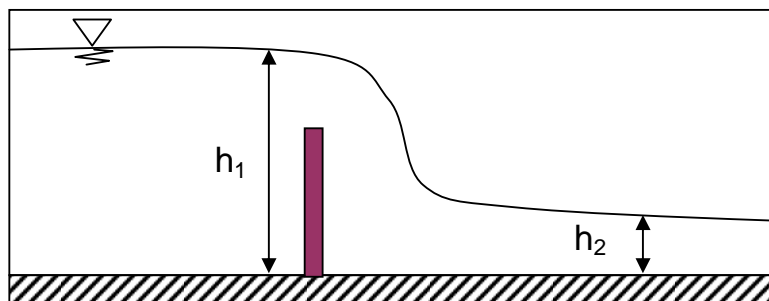
Rys. 10.2. Widok badanych przelewów: a) prostokątny, b) kołowy, c) trójkątny, d) trapezowy.

3. Sposób wykonania ćwiczenia

Przygotowanie stanowiska do badań jest analogiczne do opisanego w ćwiczeniach 8 i 9. Po przygotowaniu należy:

- zmierzyć szerokość dna koryta (3) i wyznaczyć jego spadek przy pomocy u-rurki,
- sprawdzić poziom wody w zbiorniku (1), w razie potrzeby uzupełnić go,
- umieścić w prowadnicy zadany kształt przelewu,
- uruchomić pompę (5),
- odczekać ok.1 min w celu ustalenia się warunków przepływu przez koryto (3),
- zmierzyć prędkość przepływu miernikiem ultradźwiękowym w przewodzie tłocznym (4),
- odczytać wartości ciśnienia z manometrów przed i za pompą,
- dokonać pomiaru głębokości strumienia h w korycie (3) za pomocą suwmiarki przed przelewem h_1 i w strefie ustalonego przepływu h_2 , (rys. 10.3),
- zmieniać ustawienie zaworu (2) od wartości minimalnej do maksymalnej i kilkakrotnie powtórzyć pomiary,
- otworzyć całkowicie zawór (2),
- wyłączyć pompę (5),
- wyłączyć miernik przepływu.

W przypadku badania pracy przelewów w warunkach zatopienia powyższe czynności należy uzupełnić o ustawienie zasuwy piętrzącej (10) tak, aby umożliwiła ona przepływ wody pod nią i jednocześnie piętrzyła ona wodę w korycie za przelewem.



Rys. 10.3. Schemat lokalizacji punktów pomiarów wielkości h_1 i h_2 .

4. Zestawienie wyników

Rodzaj przelewu										
L.p	T	v	P ₁	p ₂	H	L	B	h ₁	h ₂	Q	Uwagi
	[°C]	[m/s]	[Pa]	[Pa]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m ³ /s]	

5. Sprawozdanie z realizacji ćwiczenia i opracowanie wyników

Poprawnie wykonane sprawozdanie winno zawierać:

- opis i schemat stanowiska pomiarowego,
- opis metodyki pomiarów,
- wyniki pomiarów przedstawione w formie graficznej i tabelarycznej,
- obliczenia wydatków przelewów i współczynników wydatków,
- rachunek błędów wyznaczania współczynnika wydatku przelewu.

6. Zagadnienia sprawdzające

- Definicja, podział przelewów.
- Gdzie i w jakim celu stosuje się przelewy.
- Obliczenia wydatku różnych typów przelewów.
- Co to jest współczynnik wydatku i jak się go wyznacza i jaki musi być spełniony warunek.
- Na czym polega cechowanie przelewu.
- Zaproponować metodę cechowania przelewu w warunkach polowych.

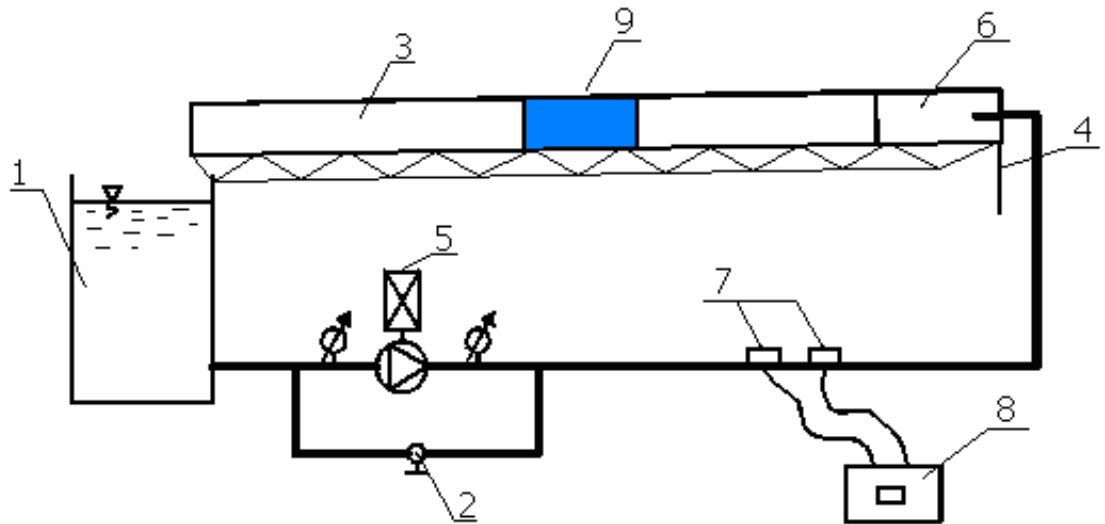
Ćwiczenie nr 11

Przepływ ciecży przez zwężkowe kanały miernicze

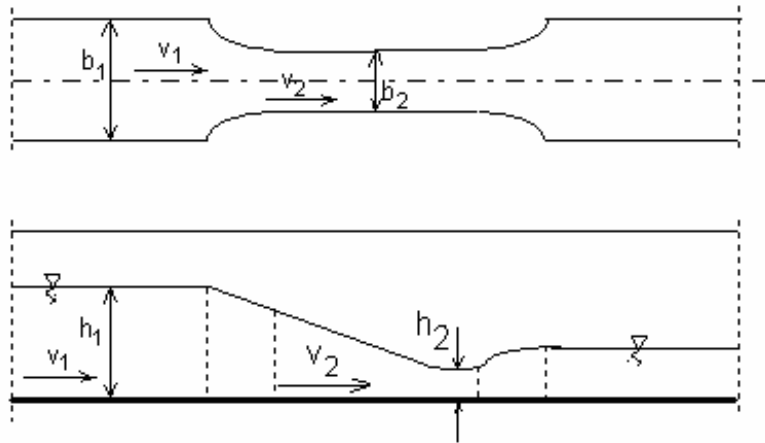
1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie metody sporządzania charakterystyki $h_1=f(Q)$ zwężkowego kanału mierniczego o przepływie podkrytycznym oraz wyznaczenie liczb kryterialnych Froude'a i Reynolds'a dla tego przepływu.

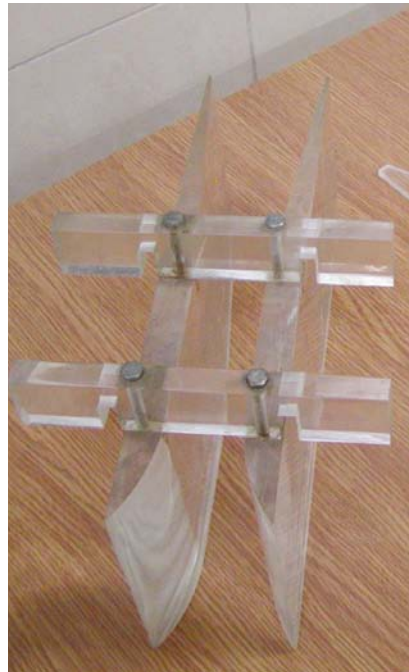
2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego



Rys. 11.1. Schemat stanowiska pomiarowego wraz z lokalizacją przelewów i zasowy piętzącej: 1 - zbiornik wody, 2 - zawór regulacyjny, 3 - koryto pomiarowe, 4 - śruba nastawcza, 5 - pompa, 6 - komora wyrównawcza, 7 - sonda pomiarowa, 8 - ultradźwiękowy miernik przepływu, 9 - koryto zwężkowe



Rys. 11.2. Schemat zwężki pomiarowej z zaznaczeniem wielkości charakterystycznych



Rys. 11.3. Widok zwężki pomiarowej

3. Sposób wykonania ćwiczenia

- Przygotować stanowisko do pracy, analogicznie jak to opisano w ćwiczeniach nr 8, 9 i 10,
- zmierzyć parametry geometryczne koryta zwężkowego,
- zmierzyć parametry geometryczne koryta przepływowego,
- umieścić na stanowisku koryto zwężkowe,
- uruchomić pompę (5),

- odczekać ok. 1 minuty w celu ustalenia się warunków przepływu,
- odczytać wartości wskazań manometrów przed i za pompą,
- zmierzyć prędkość przepływu w przewodzie tłocznym pompy, za pomocą miernika ultradźwiękowego,
- zmierzyć głębokość h_1 i h_2 (zgodnie z rys. 11.2),
- zmieniać ustawienie zaworu (2) od wartości minimalnej do maksymalnej i kilkakrotnie powtórzyć pomiary,
- otworzyć całkowicie zawór (2),
- wyłączyć pompę (5),
- wyłączyć miernik przepływu.

4. Zestawienie wyników

L.p	T	v	Q	P ₁	p ₂	i	b ₁	b ₂	h ₁	h ₂	Uwagi
	[°C]	[m/s]	[m ³ /s]	[Pa]	[Pa]	[%]	[m]	[m]	[m]	[m]	

5. Sprawozdanie z realizacji ćwiczenia i opracowanie wyników

Poprawnie wykonane sprawozdanie winno zawierać:

- opis i schemat stanowiska pomiarowego,
- opis metodyki pomiarów,
- wyniki pomiarów przedstawione w formie graficznej i tabelarycznej,
- rachunek błędów wyznaczania współczynnika wydatku koryta.

6. Zagadnienia sprawdzające

- Zastosowanie koryt zwężkowych w inżynierii sanitarnej.
- Cechy ruchu nad i podkrytycznego.
- Jaki rodzaj ruchu występuje w korycie zwężkowym.
- Co opisuje liczba Fruda.
- Zasady projektowania koryt zwężkowych.

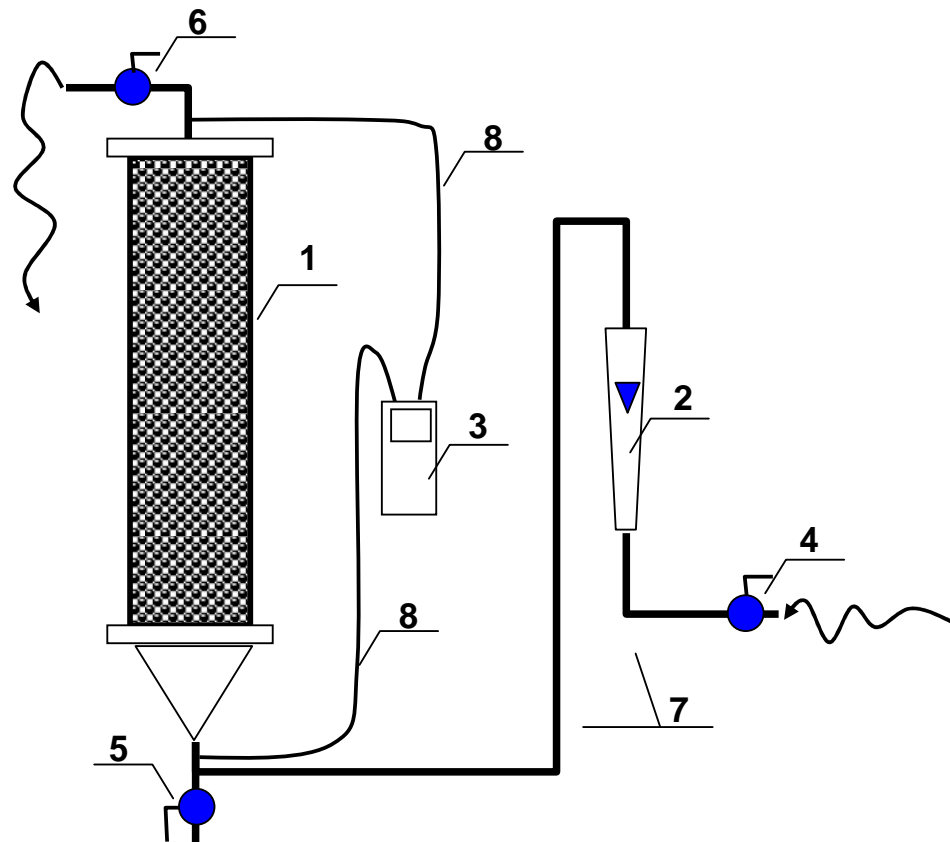
Ćwiczenie 12

Ruch cieczy w ośrodku porowatym - wyznaczenie współczynnika filtracji

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zaznajomienie się z warunkami przepływu cieczy w ośrodkach porowatych oraz metodami określenia współczynnika filtracji.

2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego



Rys. 12.1. Schemat stanowiska: 1- kolumna filtracyjna, 2 – rotametr, 3 – elektroniczny manometr różnicowy, 4 – zawór instalacyjny, 5 – zawór spustowy, 6 – zawór odprowadzający wodę do zbiornika, 7 – przewód dopływowy, 8 – przewody do manometru

Woda doprowadzana jest z instalacji wodociągowej za pomocą przewodów (7) do dolnej części filtra (1). Strumień objętości dopływu mierzony jest za pomocą rotametr (2) i regulowany za pomocą zaworu (4). Odpływ wody z urządzenia odbywa się przez przewód pełniący rolę odpływu (6). Pomiar temperatury wody dokonuje się termometrem zainstalowanym w zbiorniku umieszczonym za filtrem. Spadek ciśnienia na złożu mierzony jest za pomocą przewodów ciśnieniowych (8) i cyfrowego manometru różnicowego (3), opisanego już w ćwiczeniu nr 1. Całość zmontowana jest na odpowiedniej konstrukcji nośnej.



Rys.. 12.3 Widok filtra pomiarowego.

3. Sposób wykonania ćwiczenia

Wyznaczenie współczynnika filtracji k polega na pomiarze spadków ciśnienia na wypełnieniu, pomiarze temperatury oraz dokonaniu odczytu przepływu strumienia objętości wody przez rotametr.

W celu realizacji ćwiczenia należy:

- odpowietrzyć filtr, poprzez delikatne otwarcie zaworu zasilającego (4) oraz całkowite odpływowego (6),
- odpowietrzyć przewody łączące manometr różnicowy z kolumną filtracyjną,
- uruchomić manometr różnicowy, ustawiając jako jednostki mH_2O ,
- za pomocą zaworu (4) ustawić przepływ w dolnym zakresie wskazań rotametu (2),
- odczekać ok. 3 minuty w celu ustabilizowania przepływu,
- zmierzyć różnicę ciśnienia przed i za filtrem, za pomocą manometru (3),
- zmierzyć temperaturę wody opuszczającej filtr,
- powtórzyć czynności pomiarowe dla minimum 5 różnych wartości natężenia przepływu, regulowanego za pomocą zaworu (4),
- po zakończeniu badań zakręcić zawór (4), wyłączyć miernik (3), spuścić wodę ze zbiornika i kolumny filtracyjnej.

4. Zestawienie wyników

L.p	T	Q	ΔH	L	i	D	F	v	k	Uwagi
	[°C]	[m^3/s]	[mH_2O]]	[m]	[%]	[m]	[m^2]	[m/s]	[m/s]	

5. Sprawozdanie z realizacji ćwiczenia i opracowanie wyników

Poprawnie wykonane sprawozdanie winno zawierać:

- opis i schemat stanowiska pomiarowego,
- opis metodyki pomiarów,
- wyniki pomiarów przedstawione w formie graficznej i tabelarycznej,
- rachunek błędów wyznaczania współczynnika filtracji.

6. Zagadnienia sprawdzające

- Co to jest współczynnik filtracji.
- Metody wyznaczania współczynnika filtracji.
- Kiedy spełnione jest równanie Darcy filtracji.
- Jak zmienia się współczynnik filtracji w strefie nienasyconej.

- Czy możliwe jest obrazowanie współczynnika filtracji w warunkach naturalnych dla całej warstwy wodonośnej.
- Równania studni doskonałej.
- Odpływ wody do rowu wg zadanych parametrów.

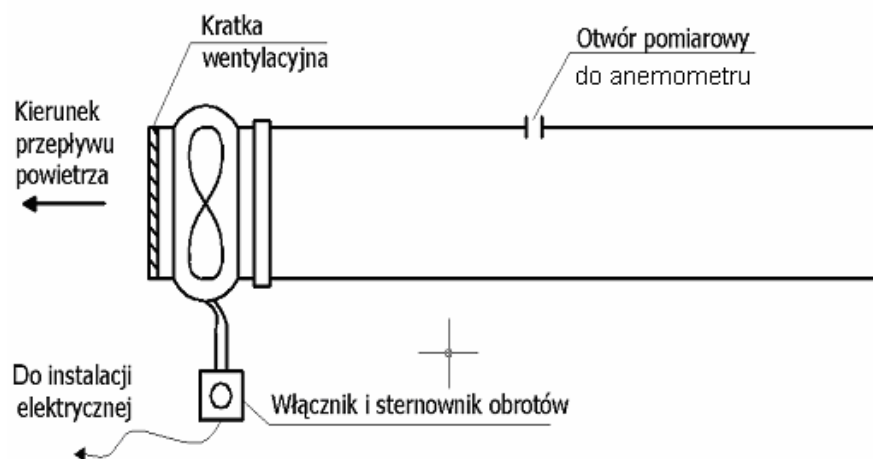
Ćwiczenie nr 13

Pomiary prędkości przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest praktyczne zapoznanie się z metodami wyznaczania prędkości przepływu powietrza w przewodach wentylacyjnych.

2. Schemat i opis stanowiska pomiarowego



Rys. 13.1. Schemat stanowiska pomiarowego

Stanowisko pomiarowe składa się z:

- przewodu wentylacyjnego (1) (rys. 13.2),
- wentylatora wywiewnego Danfoss (2),
- anemometru cyfrowego Omega (3).

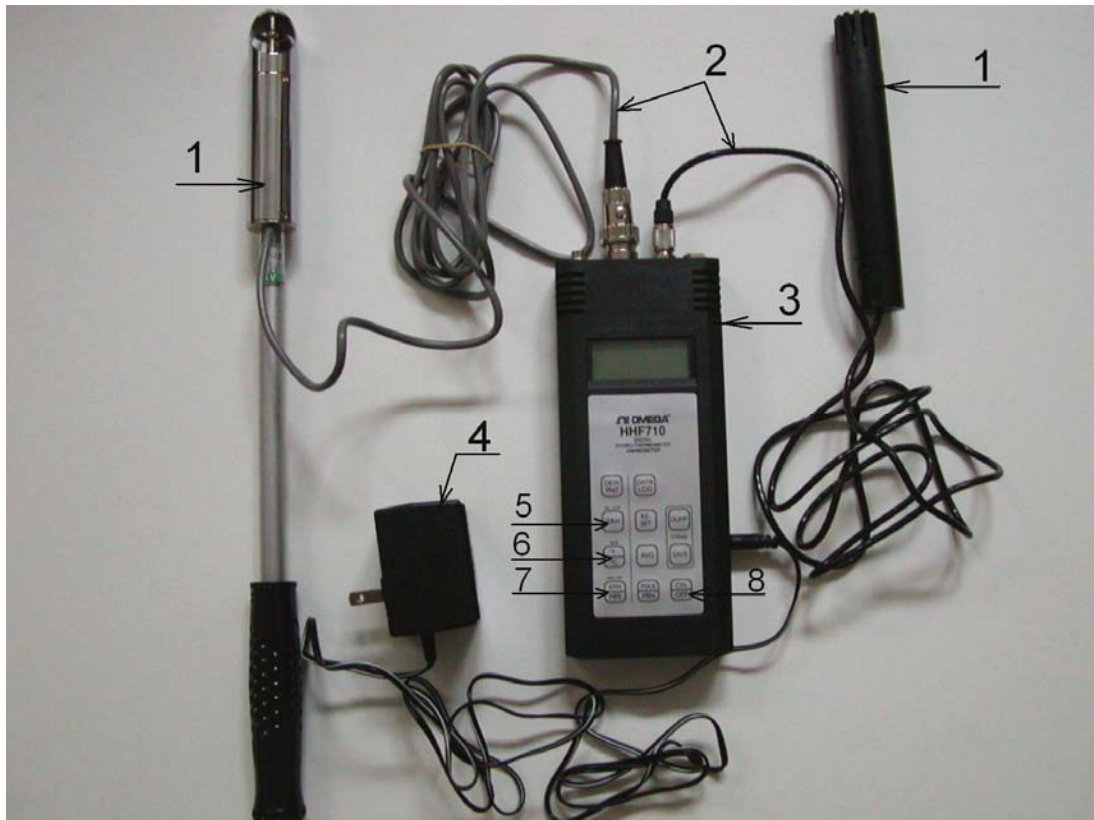


Rys. 13.2. Widok stanowiska do pomiaru prędkości powietrza w przewodzie: 1 – przewód kołowy z tworzywa sztucznego $\phi = 200\text{mm}$, 2 wentylator wywiewny, 3 – anemometr cyfrowy z sondą pomiarową, 4 – otwór pomiarowy do anemometru, 5 – wyłącznik i sterowni obrotów, 6 – gniazdo instalacji elektrycznej

Opis urządzeń:

- przewód z tworzywa sztucznego, przezroczystego o przekroju kołowym $\phi = 200\text{mm}$,
- wentylator wywiewny Danfoss AXC200A, $Q=750\text{ m}^3/\text{h}$, $P=340\text{Pa}$, $U=230\text{V}$, 50Hz , moc 80W ,
- anemometr cyfrowy Omega HHF710 z teleskopową sondą wiatraczkową,
 - o pomiar prędkości powietrza [FPS], [MPS],
 - o pomiar temperatury [$^{\circ}\text{C}$], [$^{\circ}\text{F}$], zakres -10 do $+80^{\circ}\text{C}$, dokładność $\pm 0,2\%$, rozdział $0,1^{\circ}\text{C}$, uśrednienie 60s ,
 - o pomiar wilgotności względnej [%], zakres $5-90\%$, dokładność $2,1\%$, rozdział $0,1\%$ uśrednienie 10s ,
 - o pomiar przepływu [m^3/s], $0,2 - 40\text{m}^3/\text{s}$, dokładność $0,75\%$, rozdział $0,01\%$,
 - o możliwość podłączenia do komputera za pomocą interfejsu RS232C.

Do wykonania ćwiczenia użyto aparatury pomiarowej pokazanej poniżej:



Rys. 13.3. Widok zestawu anemometru : 1 - teleskopowa sonda pomiarowa, z lewej do pomiaru prędkości i temperatury, z prawej do pomiaru temperatury i wilgotności powietrza, 2 – przewody sygnałowe, 3 - termo – hydro anemometr cyfrowy, 4 – zasilacz, 5 – przycisk odczytu wilgotności powietrza, 6 – przycisk opcji zmiany jednostki temperatury, 7 – przycisk opcji zmiany jednostki prędkości

Budowę sondy do pomiaru prędkości i temperatury pokazano na rysunku 13.4.



Rys. 13.4. Widok sondy pomiarowej: 1 – czujnik temperatury, 2 – skrzydełkowy wiatraczek pomiarowy

3. Sposób wykonania ćwiczenia

Powietrze zasysane jest przez wentylator (2- rys. 13.2) wyposażony w regulator obrotów umożliwiający regulację ilości zassanego powietrza odcinkiem pomiarowym kanału (1), w którym znajduje się otwór (4) umożliwiający wsunięcie sondy anemometru (3). Odcinek pomiarowy kanału (1) stanowi element o kształcie kołowym i średnicy $\phi = 200\text{mm}$. Otwór pomiarowy został umiejscowiony tak, aby uzyskać możliwie dokładne wyniki pomiarów prędkości strumienia powietrza. Pomiaru prędkości dokonuje się anemometrem cyfrowym w kilku punktach przekroju przewodu.

Przeprowadzenie pomiarów:

- dokonać pomiaru wilgotności względnej powietrza i temperatury,
- uruchomić wentylator (2) i ustawić odpowiednią prędkość obrotów wentylatora,
- odczekać ok. 1 min w celu ustalenia się warunków przepływu strumienia powietrza,
- ustawić jednostki układu SI w anemometrze cyfrowym,
- dokonać pomiarów prędkości w różnych punktach przekroju kanału przez otwór pomiarowy,
- wyłączyć wentylator,
- wyłączyć i odłożyć miernik.

Uwaga:

Pomiary należy wykonać dla różnych ustawień obrotów wentylatora.

4. Zestawienie wyników

Lp.	% ustawienia regulatora obrotów	T	ϕ	v_1 $r_1 =$	v_2 $r_2 =$	v_3 $r_3 =$	v_n $r_n =$	$v_{\text{śr}}$
		[°C]	[%]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]

5. Sprawozdanie

Poprawnie wykonane sprawozdanie winno zawierać:

- opis i schemat stanowiska pomiarowego,
- opis metodyki pomiarów,
- opis urządzenia pomiarowego,
- wyniki pomiarów przedstawione w formie graficznej i tabelarycznej,
- obliczenia prędkości średniej w przewodzie i wydatku przewodu,
- dyskusja błędów metodą różniczkową,
- wnioski (dotyczące analizy otrzymanych wyników, interpretacje wykresu, własne spostrzeżenia).

6. Zagadnienia sprawdzające

- Metody pomiaru prędkości w przewodach wentylacyjnych.
- Do czego wykorzystuje się pomiary prędkości w przewodach wentylacyjnych.
- Równanie Bernoulliego dla gazów.
- Rodzaje ruchu występujące w przewodach wentylacyjnych
- Podstawowe równania przemian gazowych.
- Metodyka pomiaru prędkości w przewodach wentylacyjnych przy użyciu anemometru cyfrowego.
- Źródła błędów w pomiarach przepływu powietrza.
- Zasady uśredniania wyników przepływu powietrza w kanałach wentylacyjnych.