

Materiały do ćwiczeń laboratoryjnych

MECHANIKA PŁYNÓW

Temat ćwiczenia: Pomiar ciśnienia i wzorcowanie manometrów

(autorzy instrukcji: mgr inż. B.Flisowska-Wiercik, mgr inż. J.Paduchowska)

Cel i zakres ćwiczenia:

Celem niniejszego ćwiczenia jest zapoznanie się z budową i obsługą przyrządów do pomiaru ciśnienia oraz metodami ich wzorcowania.

Wymagane wiadomości:

1. Definicja ciśnienia; jednostki i ich przeliczanie.
2. Rodzaje ciśnień; pojęcie ciśnienia hydrostatycznego.
3. Klasyfikacja przyrządów do pomiaru ciśnienia.
4. Na czym polega wzorcowanie przyrządów pomiarowych?
5. Na czym polega prawo naczyń połączonych;
6. Podać zasadę pomiaru ciśnień względnych (zasada działania manometru w postaci U-rurki);
7. Jak działają manometry: jednoramienne, mikromanometr z pochyłą rurką, manometry sprężynowe, manometry elektryczne

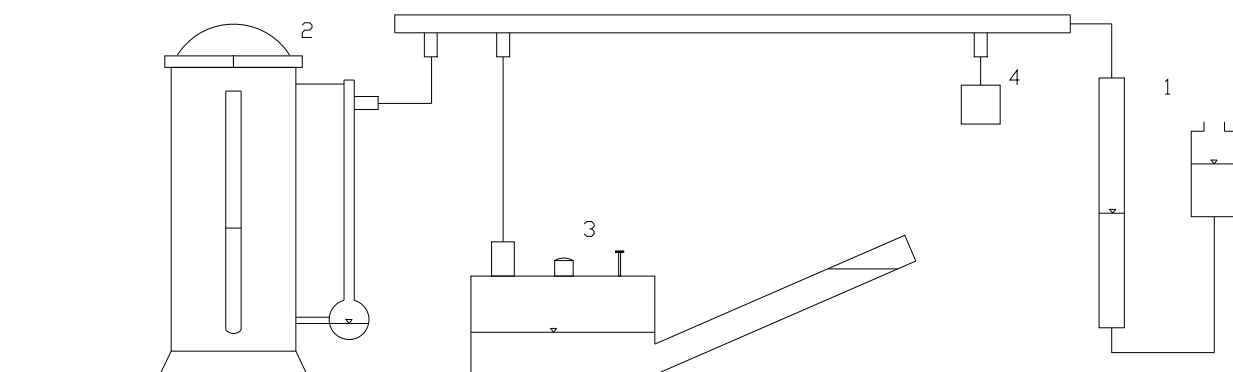
Opis stanowiska pomiarowego:

Ćwiczenie realizowane będzie na dwóch oddzielnych stanowiskach pomiarowych.

Stanowisko 1:

W skład stanowiska 1 wchodzi: mikromanometr z pochyłą rurką (3), mikromanometr Askania (2), czujnik elektryczny ciśnienia (4), sieć przewodów oraz pompka wodna (1).

Za pomocą pompki wodnej w układzie wytwarzane jest ciśnienie, którego wartość odczytujemy z ww. manometrów.



Rysunek 1

Przebieg pomiarów:

Wzorcowanie manometru z pochyłą rurką polega na ustaleniu rzeczywistego błędu wskazania przyrządu i porównaniu go z błędem granicznym, wynikającym z klasy przyrządu. Sprawdzenia dokonuje się

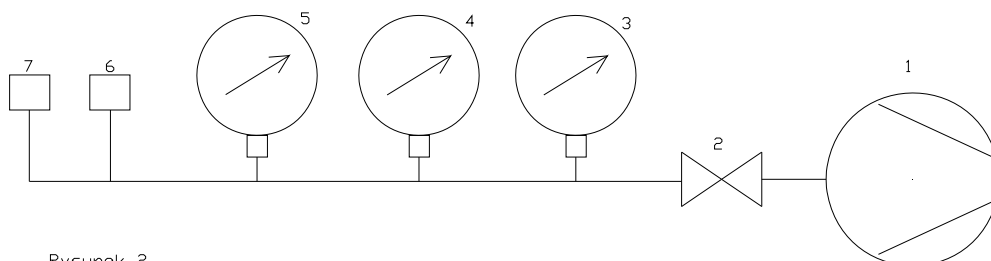
mierząc jednocześnie zadaną wartość ciśnienia na manometrze wzorcowym (Askania) i manometrze badanym (mikromanometr z pochyłą rurką).

Wykonanie:

1. Za pomocą wbudowanych poziomicy ustawić manometry w pozycji pracy.
2. Wyzerować manometr Askania.
3. Za pomocą pompki wodnej wytworzyć ciśnienie w układzie.
4. Odczytać wartość ciśnienia z wzorcowego manometru Askania.
5. Odczytać wartość ciśnienia z czujnika elektrycznego.
6. Odczytać wychylenie cieczy z wzorcowanego manometru z pochyłą rurką.
7. Podnieść naczynie z cieczą (pompka wodna), tak aby wytworzyć wyższe ciśnienie. Następnie powtórzyć punkty 1-6.
8. Podnieść naczynie z cieczą (pompka wodna), tak aby w ostatniej serii uzyskać maksymalne wychylenie w mikromanometrze z pochyłą rurką, za każdym razem powtarzając czynności 1-6.

Stanowisko 2:

W skład stanowiska 2 wchodzi: trzy manometry tarczowe (3,4 i 5), dwa czujniki elektryczne ciśnienia (6,7), sprężarka (1) oraz sieć przewodów. Za pomocą sprężarki w układzie wytwarzane jest ciśnienie, którego wartość odczytujemy z ww. manometrów.



Rysunek 2

Przebieg pomiarów:

Rysunek 2 przedstawia schemat stanowiska pomiarowego 2. Manometrami badanymi będą manometry tarczowe oznaczone na rysunku jako 3 i 5, manometrem wzorcowym będzie natomiast manometr 4. Sprawdzenia manometrów 3 i 5 dokonuje się mierząc jednocześnie zadaną wartość ciśnienia na wszystkich manometrach w układzie. Czujniki elektryczne ciśnienia posłużą jako kontrola.

Wykonanie:

1. Zamknąć zawór 2.
2. Podłączyć sprężarkę i wytworzyć w układzie żądane ciśnienie.
3. Otworzyć zawór 2.
4. Po ustabilizowaniu się wskazań na manometrach odczytać dokładnie wskazanie manometru wzorcowego.
5. Odczytać wskazania pozostałych manometrów.

6. Odczytać wskazania z czujników ciśnienia.
7. Zmniejszyć ciśnienie w układzie i powtórzyć czynności 1-6.
8. Dokonać odczytów w całym dostępnym zakresie pomiarowym.

Opracowanie wyników pomiarów:

Na podstawie wykonanych pomiarów należy:

1. Uzupełnić tabele pomiarowe 1 i 2
2. Sporządzić wykres ciśnienia w funkcji wskazywanego napięcia dla obu czujników elektrycznych (na jednym wykresie); wykorzystać wartości ciśnienia wg manometru tarczowego o najniższej klasie.
3. Wyznaczyć współczynnik przeliczeniowy dla każdego z czujników elektrycznych, pozwalający przeliczyć wskazania z [V] na [Pa]. Współczynnik można wyznaczyć dzieląc przez siebie wartości p i U (p/U) dla poszczególnych pomiarów, a następnie uśrednić otrzymany wynik.

Tabela pomiarowa 1

[illegible]

Tabela pomiarowa 2

[illegible]

Temat ćwiczenia: Pomiary prędkości miejscowej w kanale wentylacyjnym

(autor instrukcji: dr inż. M.Rdzak)

Cel i zakres ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest pomiar prędkości przepływu powietrza przez przewód wentylacyjny prostokątny o wymiarach 300x300mm oraz okrągły o średnicy 250mm dla różnych wartości natężenia przepływu powietrza.

Wykaz ważniejszych oznaczeń:

h	– wysokość słupa cieczy manometrycznej, m
p_d	– ciśnienie dynamiczne, N/m^2
p_c	– ciśnienie całkowite, N/m^2
p_s	– ciśnienie statyczne, N/m^2
w	– prędkość płynu, m/s
ρ_{cm}	– gęstość cieczy manometrycznej, kg/m^3

Wymagane wiadomości

Właściwości fizyczne powietrza

Wykorzystywanym w ćwiczeniu czynnikiem roboczym, przepływającym przez układ pomiarowy jest powietrze będące mieszaniną gazów, głównie dwuatomowych: azotu i tlenu oraz niewielkiej ilości pary wodnej, dwutlenku węgla i gazów szlachetnych. W pewnym uproszczeniu powietrze może być traktowane jako gaz dwuatomowy. Gazy wykazują wiele cech wspólnych z ciekami. Podstawową cechą wspólną jest brak sprężystości postaciowej czyli zdolności zachowania kształtu. Gaz zawsze wypełnia całkowicie naczynie, w którym się znajduje, natomiast ciecz objętość równą jej objętości wprowadzonej do tego naczynia. Ciecz w naczyniu tworzy zawsze tzw. powierzchnię swobodną chyba, że wypełnia je całkowicie. W odróżnieniu od cieczy gazy charakteryzują się bardzo dużą ściśliwością, czyli łatwością zmiany objętości pod wpływem sił zewnętrznych. Dopóki w gazach nie zachodzą zmiany objętości, ich zachowanie nie różni się jakościowo od zachowania cieczy wypełniających tę samą przestrzeń co gaz i nie posiadającej powierzchni swobodnej. W tym przypadku równania mechaniki płynów rządzące równowagą i ruchem są takie same dla cieczy i gazów. Większa ściśliwość gazów wynika z ich budowy. W gazach odległości między cząsteczkami są znacznie większe niż w ciekach, a siły spójności bardzo małe. Stąd też wynika stosunkowo niewielka gęstość gazów. Ponieważ poszczególne gazy różnią się między sobą właściwościami fizycznymi zachodziła trudność sformułowania dokładnych praw dla wszystkich rodzajów gazów.

Wobec powyższego, jako podstawowy, przyjęto model gazu doskonałego. Gazem doskonałym nazywamy gaz, w którym nie ma sił przyczepności między cząsteczkami, a same cząsteczki przedstawione są w postaci punktów materialnych. Pojęcie gazu doskonałego jest pojęciem hipotetycznym, do którego w celu uproszczenia rozważań odnosimy zmiany właściwości fizycznych i chemicznych gazów rzeczywistych.

Przyjmujemy, że gaz doskonały ma następujące właściwości:

- niezmienna budowa chemiczna i cząsteczkowa,
- stałe ciepło właściwe,
- brak zdolności przeniesienia naprężeń stycznych (jest nie lepki),

- stan fizyczny gazu można określić za pomocą trzech parametrów stanu: ciśnienia p , objętości właściwej v i temperatury T .

Ciśnienie w poruszającym się płynie

W poruszającym się strumieniu płynu (gaz lub ciecz), wyróżniamy ciśnienie statyczne, ciśnienie dynamiczne i ciśnienie całkowite. Ciśnienie statyczne jest to ciśnienie wskazywane przez przyrząd poruszający się w strumieniu płynu z taką samą prędkością i w tym samym kierunku, w którym porusza się płyn tak, aby prędkość względna przyrządu i płynu była równa zero. Jeżeli płyn nie porusza się, tj. pozostaje w stanie spoczynku ciśnieniem, jakie w nim panuje, jest ciśnienie statyczne. Ciśnienie dynamiczne występuje tylko podczas ruchu płynu.

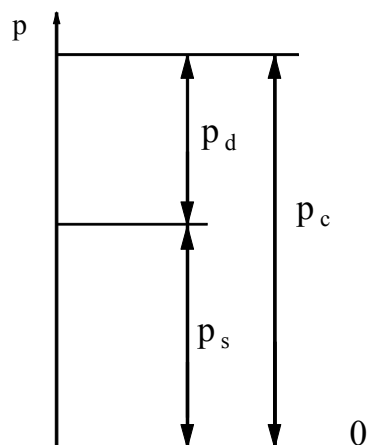
Jest ono nierozdzielnie związane z prędkością przepływu płynu. Wielkość ciśnienia dynamicznego wyraża zależność:

$$p_d = \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

Ciśnienie całkowite (spiętrzenia) p_c jest sumą ciśnienia statycznego p_s i ciśnienia dynamicznego p_d :

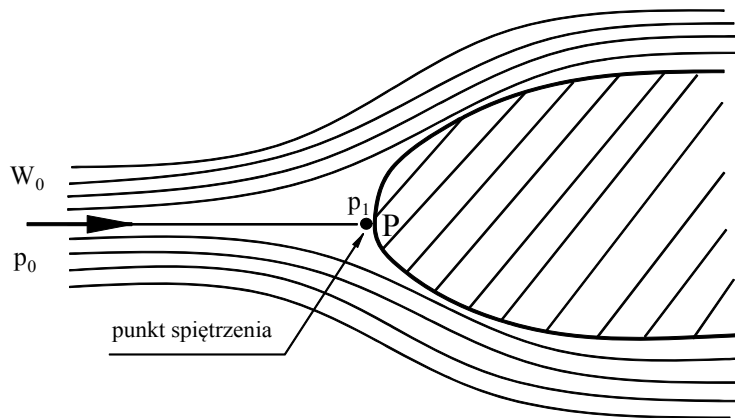
$$p_c = p_s + p_d$$

W płynie pozostającym w spoczynku ciśnienie całkowite jest równe ciśnieniu statycznemu, zatem, jeżeli $w = 0$, to $p_c = p_s$.



Wyznaczenie prędkości przepływu

Pomiar ciśnienia dynamicznego umożliwia obliczenie odpowiadającej temu ciśnieniu prędkości przepływu. Do bezpośredniego pomiaru ciśnienia dynamicznego służy tzw. rurka Prandtla. Aby łatwiej zrozumieć zasadę jej działania, należy zapoznać się ze zjawiskami występującymi podczas opływu płynu wokół przeszkody (rys. 1).



Rys. 1 Opływ płynu wokół przeszkody

Jeżeli na drodze płynu poruszającego się ze stałą prędkością w_0 , znajdzie się przeszkoda w postaci ciała zanurzonego, wówczas bezpośrednio przed nią występuje zjawisko spiętrzenia przepływu. W punkcie P, zwanym punktem spiętrzenia (rys.1), następuje całkowite zahamowanie przepływu (prędkość przepływu w tym punkcie jest równa zero). Rozpatrzmy przepływ wzdłuż linii prądu (zaznaczonej na rysunku strzałką) biegnącej do tego punktu. W znacznej odległości przed przeszkodą prędkość przepływu jest równa w_0 .

Ciśnienie panujące w punkcie spiętrzenia oznaczono przez p_1 , a ciśnienie panujące w miejscu niezakłóconego przepływu - w znacznej odległości od przeszkody i na tej samej wysokości, na której znajduje się punkt spiętrzenia oznaczono przez p_0 . Wówczas dla rozpatrywanej poziomej linii prądu równanie Bernoulliego przyjmuje postać:

$$0 + \frac{p_1}{\rho} = \frac{w_0^2}{2} + \frac{p_0}{\rho}$$

stąd ciśnienie w punkcie spiętrzenia:

$$p_1 = p_0 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w_0^2$$

Zatem przyrost ciśnienia w punkcie spiętrzenia wyniesie:

$$p_1 - p_0 = \frac{1}{2} \rho \cdot w_0^2$$

Obliczona wielkość różnicy ciśnień jest więc ciśnieniem dynamicznym. Jeżeli w punkcie spiętrzenia rozpatrywanej przeszkody wywiercony zostanie niewielki otwór, to wówczas wewnątrz tego otworu będzie panowało ciśnienie spiętrzenia p_1 . Ciśnienie to może być doprowadzone do przyrządu pomiarowego.

Rurka Prandtla zbudowana jest z dwóch współosiowo umieszczonych rurek metalowych. Część rurki skierowana pod prąd w stosunku do kierunku przepływu płynu zakończona jest półkulą, w osi której wywiercony jest mały otwór. Na półkuli tej występuje zjawisko spiętrzenia; poprzez otwór i rurkę doprowadzane jest do manometru ciśnienie spiętrzenia. Pomiar ciśnienia statycznego realizowany jest za pomocą otworków umieszczonych symetrycznie na obwodzie zewnętrznej rurki. Przyjmuje się, że w odległości równej trzem średnicom rurki zewnętrznej (licząc od jej początku) ciśnienie statyczne na powierzchni rurki osiąga wartość ciśnienia statycznego odpowiadającego przepływowi niezakłóconemu.

Konstrukcja rurki umożliwia oddzielny pomiar ciśnienia całkowitego, ciśnienia statycznego oraz dynamicznego w zależności od sposobu połączenia jej z mikromanometrem cieczowym (rys. 2). Stosuje się go do pomiaru małych ciśnień do 160 mm H₂O. Składa się on ze zbiornika pomiarowego (1) zamocowanego na podstawce i szklanej rurki (2) umieszczonej na ruchomym ramieniu, składającym się m.in. z kątownika (3). Wartość różnicy ciśnień Δp oblicza się ze wzoru:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h \cdot a \quad , \text{ N/m}^2$$

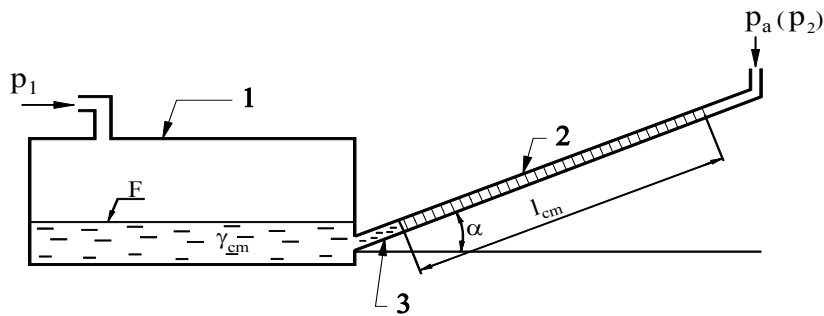
gdzie: $a = \left(\sin\alpha + \frac{f}{F} \right)$ - przełożenie manometru,

α – kąt nachylenia rurki pomiarowej, rad

f – pole powierzchni przekroju rurki, m^2

F – pole powierzchni przekroju zbiornika, m^2

Ponieważ wartość stosunku $\frac{f}{F}$ jest pomijalnie mała w porównaniu z wartością $\sin\alpha$, powszechnie przyjmuje się, że $a = \sin\alpha$.



Rys. 2 Schemat mikromanometru cieczowego

Na rys. 3. pokazano zasadę pomiaru ciśnienia dynamicznego za pomocą rurki Prandtla. Rozpatrzmy strugę leżącą w osi tej rurki i obierzmy na niej dwa przekroje, z których jeden wypada w punkcie spiętrzenia, a drugi leży w obszarze przepływu niezakłóconego (przyjmuje się, że jest on oddalony od punktu spiętrzenia co najmniej o trzy średnice rurki)

Zakładając, że przepływający płyn jest nieściśliwy i przepływ jest ustalony równanie Bernoulliego dla przekrojów 1-1 i 2-2 przyjmie następującą postać:

$$\frac{w_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + z_1 = \frac{w_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + z_2$$

Przy poziomym usytuowaniu rurki $z_2 = z_1$. Ponadto w punkcie spiętrzenia mamy $w_1 = 0$ oraz $p_1 = p_c$.

W płaszczyźnie otworków w zewnętrznej części rurki Prandtla (przekrój 2 – 2) mamy $p_2 = p_s$ oraz $w_2 = w$.

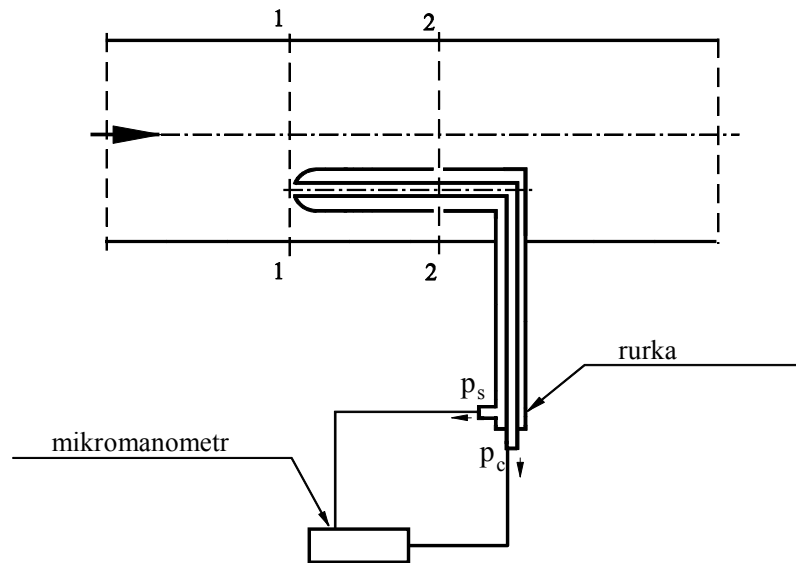
Po podstawieniu powyższych wartości do równania otrzymuje się:

$$\frac{w^2}{2 \cdot g} + \frac{p_s}{\rho \cdot g} = \frac{p_c}{\rho \cdot g}$$

skąd:

$$w = \sqrt{\frac{2(p_c - p_s)}{\rho}}$$

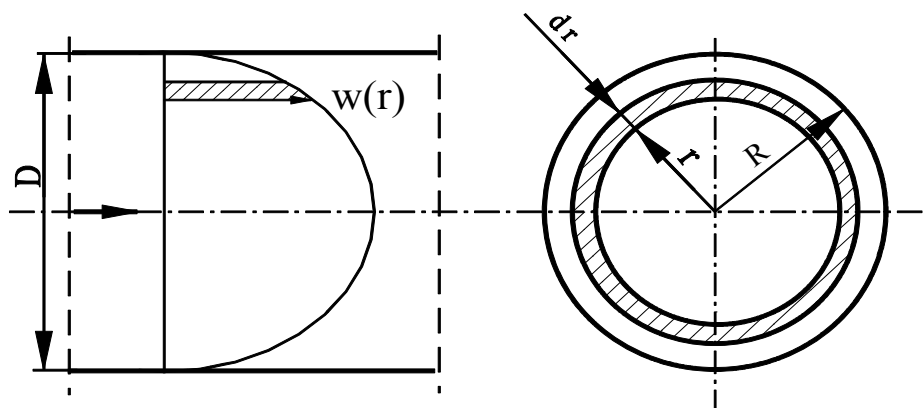
Jeżeli rurkę podłączymy do manometru różnicowego, to zmierzmy różnicę ciśnień całkowitego i statycznego. Znając różnicę ciśnień i korzystając ze wzoru można obliczyć prędkość przepływu w .



Rys. 3 Zasada pomiaru ciśnień rurką Prandtla

Rozkład prędkości

W przewodzie prosto osiowym o przekroju kołowym w dostatecznej odległości od wlotu przepływ można traktować jako osiowosymetryczny (rys. 4). Jeżeli dysponujemy rozkładem prędkości wzdłuż promienia $w = f(r)$, uzyskanym drogą pomiaru za pomocą rurki Prandtla, to możemy sporządzić rzeczywisty rozkład prędkości.



Rys. 4 Rozkład prędkości w przepływie osiowosymetrycznym

Opis stanowiska pomiarowego:

Stanowisko pomiarowe znajduje się w Sali 322 budynku C-6 Politechniki Wrocławskiej. Wentylator umieszczony na kondygnacji technicznej budynku wymusza obieg powietrza przez sieć kanałów wentylacyjnych. W dwóch miejscach na instalacji (w kanale prostokątnym 300x300mm oraz w kanale okrągłym o średnicy 250 mm) wykonano otwory umożliwiające pomiar ciśnienia dynamicznego za pomocą rurki Prandtla. Sterowanie przepływem powietrza a) do kanału prostokątnego oraz b) do kanału o przekroju kołowym następuje za pomocą przepustnic wskazanych podczas ćwiczenia przez prowadzącego. Zmianę natężenia przepływu powietrza realizuje się poprzez zmianę prędkości obrotowej wentylatora.

Sposób wykonania ćwiczenia:

Dla różnych wartości natężenia przepływu wskazanych przez prowadzącego należy wykonać pomiary prędkości przepływającego powietrza w kanale prostokątnym i okrągłym. Pomiar należy wykonać dla przewodu prostokątnego i kołowego. Do wykonania pomiaru ciśnienia dynamicznego należy posłużyć się rurką Prandtla podłączoną do mikromanometru z rurką pochylą wypełnionego cieczą manometryczną o gęstości 809kg/m^3 .

Dla przepływu osiowosymetrycznego (kanał okrągły) należy sporządzić rozkład prędkości $w=f(r)$.

Wzory tabel, wykresów.

Wzór tabelki pomiarowej dla kanału prostokątnego

Lp.	h mm	Δp Pa	w m/s
1.			
2.			
.			
.			

Wzór tabelki pomiarowej dla kanału okrągłego

Lp.	r mm	h mm	Δp Pa	w(r) m/s
1.				
2.				
.				
.				

Uwagi

Podczas opracowania sprawozdania należy wykonać następujące czynności:

- dla każdego dokonanego pomiaru należy obliczyć ciśnienie dynamiczne oraz prędkość
- sporządzić rozkład prędkości dla kanału okrągłego oraz przedstawić graficznie wyniki pomiarów dla kanału prostokątnego.

Temat ćwiczenia: Pomiary natężenia przepływu powietrza w przewodach wentylacyjnych.

(autor instrukcji: dr inż. M.Rdzak)

Cel i zakres ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest pomiar natężenia przepływającego powietrza przez przewód wentylacyjny prostokątny oraz okrągły różnymi metodami.

Wykaz ważniejszych oznaczeń:

- h – wysokość słupa cieczy manometrycznej, m
- p_d – ciśnienie dynamiczne, N/m^2
- p_c – ciśnienie całkowite, N/m^2
- p_s – ciśnienie statyczne, N/m^2
- w – prędkość płynu, m/s
- ρ_{cm} – gęstość cieczy manometrycznej, kg/m^3

Wymagane wiadomości

Masowym oraz objętościowym natężeniem przepływu płynu nazywamy odpowiednio ilość masy lub objętość płynu (cieczy lub gazu) przepływającego w jednostce czasu przez dany przekrój rurociągu. Stosowanymi jednostkami są kg/s i m^3/s .

Większość stosowanych metod pomiaru natężenia przepływu polega na pomiarze objętościowego natężenia przepływu. Wartość masowego natężenia przepływu wymaga znajomości (lub pomiaru) gęstości płynu. Są to więc pośrednie metody pomiaru masowego natężenia przepływu.

Metody zwężkowe pomiaru natężenia

Jeśli do przewodu, przez który przepływa ciecz lub gaz (płyn), wstawimy przewężenie, tzw. zwężkę i będziemy mierzyli manometrem różnicowym ciśnienie przed przewężeniem i blisko za przewężeniem, to manometr wykaże różnicę ciśnień.

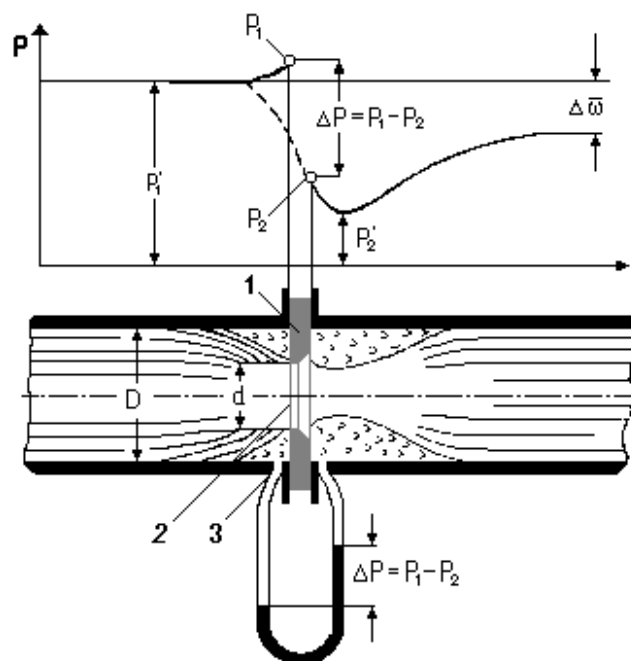
Ciśnienie przed zwężką będzie większe niż ciśnienie za zwężką. Różnica ta (Δp) będzie tym większa, im większe będzie natężenie przepływu płynu przez rurociąg. Opisuje to prawo Bernoulliego, które mówi, że suma energii potencjalnej i kinetycznej płynu w każdym przekroju przewodu ma wartość stałą.

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = const.$$

Zastosowanie powyższego równania dla przekroju przed zwężką i dla przekroju za zwężką, w miejscu największego zwężenia strumienia, umożliwia otrzymanie zależności pomiędzy prędkością przepływu i różnicą ciśnień.

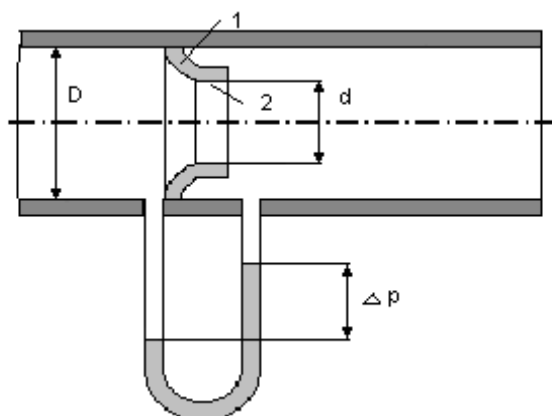
$$v = const \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (p_1 - p_2)}$$

Tę zależność różnicy ciśnień (przed i za urządzeniem zwężającym strumień płynu) od natężenia przepływu wykorzystuje się do pomiaru natężenia przepływu cieczy i gazów w rurociągach. Przyrządy pomiarowe oparte na tej zasadzie są bardzo szeroko stosowane w praktyce i często są jedynymi przyrządami pozwalającymi na dokonanie pomiaru. Poza tym poważną ich zaletą jest prosta budowa. Stosowane są trzy zasadnicze typy zwężek: *kryzy*, *zwężki*, i *zwężki Venturiego*.



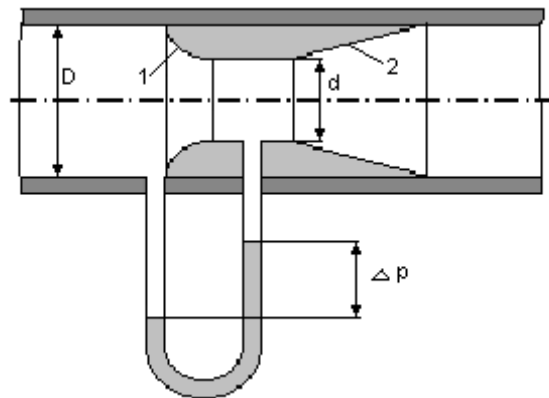
Rys.1 Kryza pomiarowa

Na rys. 1. przedstawiono kryzę. W przewód między dwoma kołnierzami wstawiona jest cienka tarcza **1** z okrągłym otworem **2** pośrodku. Środek otworu ustawiony jest w osi rury. Z obu stron tarczy-kryzy wprowadzone są rurki, tzw. **rurki impulsowe 3**, do których podłącza się manometr różnicowy. Strumień cieczy już w pewnej odległości od kryzy ulega stopniowemu zwężeniu. Jednakże największe zwężenie uzyskuje się nie w otworze kryzy, ale w pewnej odległości za nim, tak że przekrój strumienia w jego najwęższym miejscu jest mniejszy od przekroju otworu kryzy. Następnie strumień stopniowo rozszerza się, wypełniając w końcu cały przekrój przewodu. Przy ścianie przewodu, jak to zaznaczono na rysunku, powstają wiry, przy czym po stronie dopływu płynu zajmują one przestrzeń dużo mniejszą niż po stronie odpływu. Rozkład ciśnień w pobliżu kryzy pokazany jest u góry rysunku. Linia ciągła obrazuje zmiany ciśnienia statycznego wzdłuż ścianki przewodu, a linia przerywana - wzdłuż osi. Jak wynika z tego wykresu, ciśnienie przy ścianie przewodu tuż przed kryzą (wskutek jej dławiącego działania wzrasta od wartości p'_1 do p_1). Za kryzą następuje spadek ciśnienia do p_2 . Najmniejszą wartość p'_2 ciśnienie uzyskuje w miejscu, gdzie strumień jest najwęższy. Później ciśnienie stopniowo wzrasta, ale nigdy nie osiąga swej pierwotnej wartości p_1 (ciśnienia przed kryzą). Różni się ono od tego ciśnienia zawsze o pewną wartość $\Delta \bar{w}$. Ta wartość $\Delta \bar{w}$ jest stratą ciśnienia płynu, spowodowaną działaniem kryzy.



Rys. 2. Schemat zwężki.

Na rys. 2 przedstawiono **zwężkę** wstawioną w przewód, przez który przepływa płyn. Dysza, jak widać na rysunku, różni się od kryzy tym, że po stronie dopływu nie ma ostrej krawędzi, lecz specjalnie profilowaną krzywiznę. Dzięki temu zwężenie strumienia płynu odbywa się łagodniej, co powoduje zmniejszenie się obszaru wirów po stronie dopływowej zwężki, a tym samym zmniejsza stratę energii przepływającego płynu. Krzywizna przechodzi w część cylindryczną **2**, która jest odpowiednikiem otworu w kryzie. Dzięki specjalnym kształtom dyszy (którą jest trudniej wykonać niż kryzę) strata ciśnienia Δp jest mniejsza.



Rys.3. Schemat zwężki Venturiego

Na rys. 3 pokazano schematycznie trzeci typ zwężki – **zwężkę Venturiego**. Składa się ona z dwóch części: jednej zwężającej **1**, profilowanej podobnie jak u dyszy i przechodzącej w krótki odcinek cylindryczny, i drugiej **2** stopniowo rozszerzającej się, aż do wymiaru przewodu, zwanej **dyfuzorem**. Dzięki odpowiedniemu kształtowi części dopływowej przestrzeń przy ściankach, zajmowana przez wiry, jest niewielka; rozszerzająca się stopniowo część za przewężeniem pozwala na całkowite usunięcie wirów na tym odcinku. Zwężka Venturiego przy przepływie przez nią płynu powoduje najmniejszą stratę ciśnienia Δp . Jest to wynikiem z jednej strony odpowiedniego profilowania części dopływowej, a z drugiej - stopniowego rozszerzania się strumienia płynu za przewężeniem, uwarunkowanego kształtem drugiej części rury.

Zasada działania zwęzek wszystkich typów jest taka sama, a więc i zasadnicza zależność natężenia przepływu od różnicy ciśnień przed nimi i za nimi jest również taka sama. Występujące różnice w zmianach strumienia, jak również w rozkładzie ciśnień w pobliżu zwężki ujęte są w postaci współczynników wyznaczonych doświadczalnie. Aby móc korzystać z wyznaczonych doświadczalnie współczynników musi być zachowane podobieństwo między zwężką, na której zostały przeprowadzone prace badawcze w celu wyznaczenia tych wartości, a tymi zwężkami, które mają być użyte do pomiarów. W tym celu zwężki znormalizowano. Zwężki znormalizowane można stosować bez uprzedniego wzorcowania, tzn. bez doświadczalnego wyznaczania zależności spadku ciśnienia przed i za zwężką od natężenia przepływu.

Powyższe zagadnienia ujęte są w normie PN-93/M-53950/01 -Pomiar strumienia masy i strumienia objętości płynów za pomocą zwęzek pomiarowych.

Podstawowe zależności

Podstawowy wzór, z którego oblicza się strumień masy jest następujący:

$$q_m = C \cdot \varepsilon_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho_1}}{\sqrt{1 - \beta^4}}$$

gdzie:

C – współczynnik przepływu [bezwymiarowy],

ε_1 – liczba ekspansji [bezwymiarowa],

d – średnica otworu zwężki [m],

Δp – różnica ciśnień [Pa],

ρ_1 – gęstość płynu przed zwężką [kg/m³],

β – przewężenie zwężki pomiarowej [bezwymiarowe].

Przewężenie β zwężki pomiarowej jest charakterystycznym parametrem zwężki i stanowi stosunek średnicy otworu zwężki do średnicy rurociągu.

$$\beta = \frac{d}{D}$$

gdzie:

d – średnica otworu zwężki [mm],

D – średnica rurociągu [mm].

Współczynnik przepływu C – określony dla przepływu płynu nieściśliwego, charakteryzuje zależność między rzeczywistym a teoretycznym strumieniem masy lub objętości, i dla tych samych zwęzek jego wartość nie zależy od instalacji a tylko od liczby Reynoldsa. Określa go równanie Stolza:

$$C = 0,5959 + 0,0312 \cdot \beta^{2,1} - 0,1840 \cdot \beta^3 + 0,0029 \cdot \beta^{2,5} \cdot \left[\frac{10^6}{Re_D} \right]^{0,75}$$

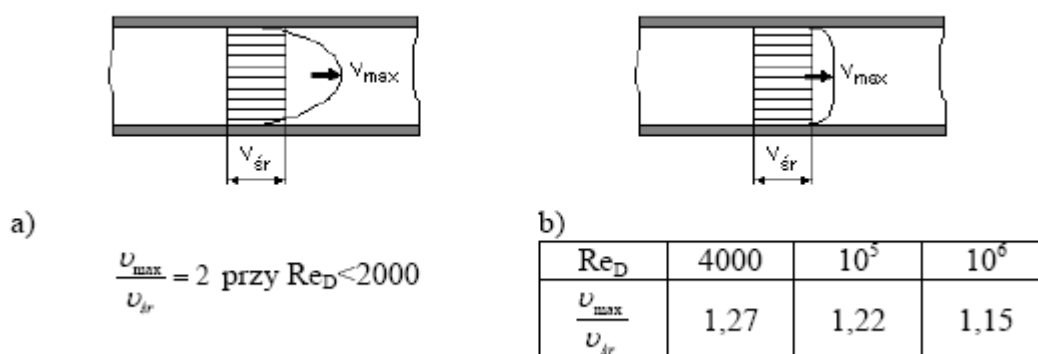
gdzie:

Re_D – liczba Reynoldsa [bezwymiarowa].

Liczba Reynoldsa Re_D – parametr bezwymiarowy wyrażający iloraz sił bezwładności i sił lepkości.

Parametr ten jest bardzo ważny w technice pomiarów przepływów, gdyż wykorzystywany jest m.in. do określania momentu przejścia z przepływu laminarnego na przepływ burzliwy (turbulentny)

Warunek, aby przepływ miał charakter turbulentny jest istotny, ponieważ tylko wtedy stosunek maksymalnej prędkości (w osi zwężki) do prędkości średniej w całym przekroju jest stały – nie zależy od prędkości płynu.



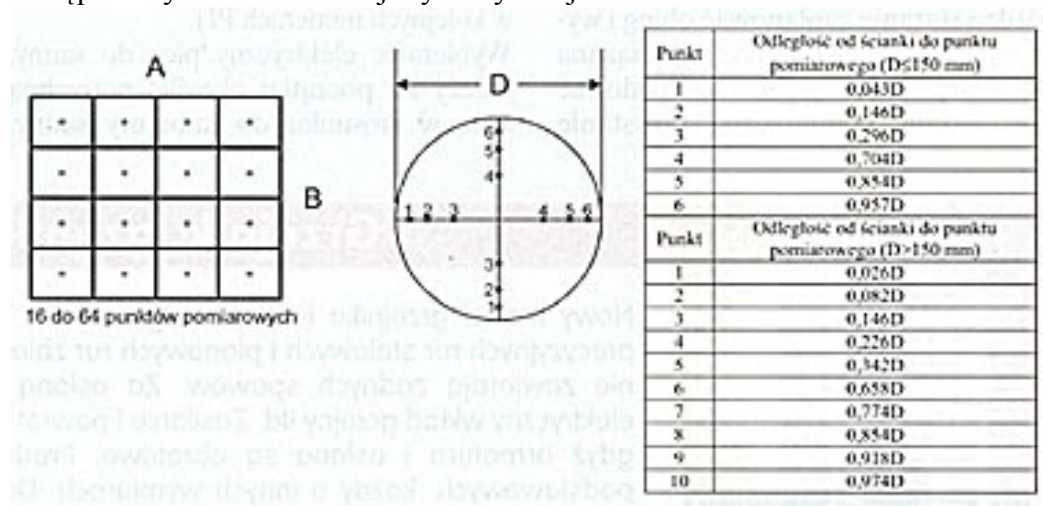
Rys. 4. Modele przepływów: a) laminarnego, b) turbulentnego

Po co mierzyć wydajność w przewodach wentylacyjnych?

Instalacja wentylacyjna musi doprowadzić odpowiednią ilość powietrza do pomieszczenia. Niestety, w praktyce to podstawowe zadanie jest bardzo często nie spełniane. Jednym z głównych defektów pracy układów wentylacyjnych jest zbyt mała wydajność w poszczególnych odgałęzieniach sieci. Przyczyn tego może być wiele: niewłaściwie wykonane obliczenia, niedotrzymanie lub zły dobór parametrów wentylatorów, liczne zmiany na etapie wykonywania instalacji. Niezależnie jednak od tego, czy układ już źle działa, czy dopiero jest uruchamiany, w pewnym momencie pojawia się konieczność przeprowadzenia pomiarów wydajności. Na ich podstawie możemy ocenić poprawność pracy układu oraz podejmować działania związane z jego naprawą czy wyregulowaniem.

Jaką metodą określić przepływ w przewodzie?

Aby obliczyć strumień powietrza w przewodzie wentylacyjnym, trzeba określić prędkość średnią w przekroju pomiarowym. Wartość przepływu wyrażona w m³/s będzie więc iloczynem prędkości średniej i pola przekroju poprzecznego przewodu. Jedną z podstawowych metod wyznaczania prędkości średniej jest tzw. „sondowanie”. Badanie polega na pomiarach prędkości w poszczególnych punktach pomiarowych przekroju, a następnie wyliczenie średniej arytmetycznej.



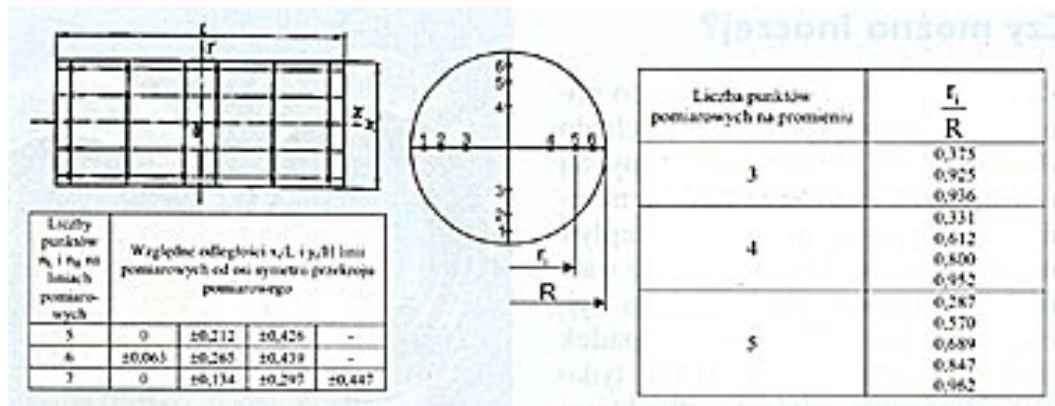
Rys. 5A Rozmieszczenie punktów pomiarowych wg metody podziału na pola o równej powierzchni

Jak rozłożyć punkty pomiarowe?

Kanały prostokątne. Dzielimy przekrój pomiarowy na pola o równej powierzchni (rys. 5A). Takich pól powinno być od 16 do 64. Przez otwory wywiercone w ściance przewodu wprowadzamy sondę pomiarową i mierzymy prędkości w środkach wyznaczonych pól. Otrzymane wyniki uśredniamy.

Kanały o przekroju kołowym. Pomiar w nich jest tylko nieco bardziej skomplikowany. Rozłożenie punktów pomiarowych na średnicy nie jest równomierne i trzeba je każdorazowo wyliczyć. Pomiary wykonujemy na dwóch prostopadłych średnicach.

Obszerne zalecenia dotyczące pomiarów przepływu i lokalizacji punktów pomiarowych można także znaleźć w normie PN-ISO 5221 „Metody pomiaru przepływu strumienia powietrza w przewodzie.” Przytoczona tam jest m.in. inna metoda rozmieszczania punktów pomiarowych, tzw. metoda „Log-Czebyszewa”. Sam sposób pomiaru wg tej metody jest identyczny jak poprzednio, inna jest tylko lokalizacja punktów pomiarowych w przekroju. Niestety, metoda „Log-Czebyszewa” nie zakłada podziału na równe pola, co powoduje konieczność korzystania z odpowiednich współczynników przeliczeniowych także dla przewodów prostokątnych.



Rys.5B Rozmieszczenie punktów pomiarowych wg metody "Log-Czebyszewa"

Jakie przyrządy pomiarowe?

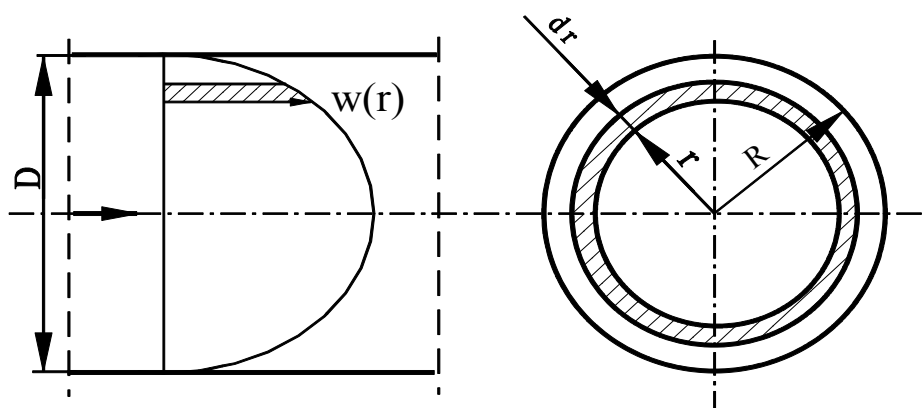
Podstawowym, najbardziej znanym przyrządem do pomiaru prędkości w przewodzie wentylacyjnym jest rurka Prandtla. Sygnałem wyjściowym z rurki jest różnica pomiędzy ciśnieniem całkowitym a statycznym, czyli ciśnienie dynamiczne. Zależy ono od kwadratu prędkości. Wyliczenia prędkości w każdym punkcie możemy dokonać po zastosowaniu zależności:

$$v = \sqrt{(2 \cdot p_d) / \rho} \text{ [m/s]},$$

w której p_d to uzyskiwane z rurki ciśnienie dynamiczne [Pa], a ρ to gęstość powietrza [kg/m³].

Pomiar wydatku za pomocą pomiaru rozkładu prędkości

W przewodzie prosto-osiowym o przekroju kołowym w dostatecznej odległości od wlotu przepływ można traktować jako osiowosymetryczny (rys. 6). Jeżeli dysponujemy rozkładem prędkości wzdłuż promienia $w = f(r)$, uzyskanym drogą pomiaru za pomocą rurki Prandtla, to możemy obliczyć wydatek objętościowy zgodnie z podaną niżej procedurą.



Rys. 6. Rozkład prędkości w przepływie osiowosymetrycznym

Pole elementarnego pierścienia kołowego o promieniu r i szerokości dr wynosi (przy założeniu, że $\pi \cdot dr^2 \approx 0$):

$$dF = 2\pi \cdot r \cdot dr$$

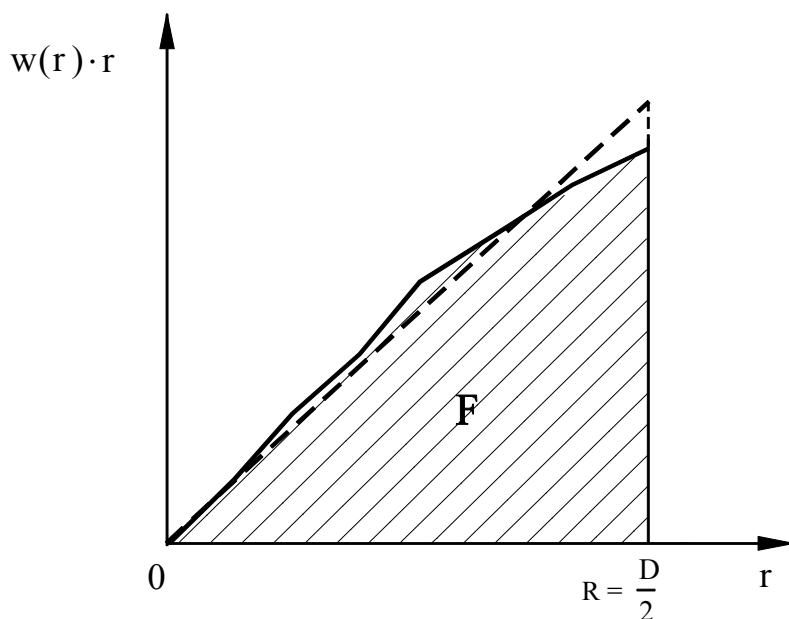
Dla przepływu osiowosymetrycznego prędkość w każdym punkcie pierścienia kołowego wynosi $w(r)$, zatem elementarny wydatek objętościowy wyraża się wzorem:

$$dQ = 2\pi \cdot r \cdot dr \cdot w(r)$$

Całkowity wydatek objętościowy Q można wyrazić za pomocą następującej zależności:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot \int_0^R r \cdot w(r) dr$$

Dysponując rozkładem prędkości $w = w(r)$ można obliczyć wydatek całkowity. Obliczenia wydatku dokonuje się zazwyczaj metodą graficzną sporządzając wykres funkcji podcałkowej $r \cdot w(r) = f(r)$, a następnie planimetrując pole ograniczone tym wykresem (rys. 7).



Rys. 7. Przykładowy wykres $r \cdot w(r) = f(r)$.

Niech F oznacza pole pod wykresem $r \cdot w(r) = f(r)$, a κ stałą wynikającą z doboru skal na obu osiach. Wtedy:

$$Q = Q_{rz} = 2 \pi \cdot F \cdot \kappa$$

Obliczając pole wykresu F np. w cm^2 , stałą κ wyznaczamy określając, ilu m^3/s wydatku odpowiada

1 cm^2 pola figury otrzymanej na wykresie. Na przykład: przyjmując, że 1 cm na osi odciętych odpowiada $0,20 \text{ m}$ rzeczywistego promienia rury a na osi rzędnych 1 cm odpowiada $0,02 \text{ m}^2/\text{s}$, to stała odpowiadająca 1 cm^2 pola wykresu wynosi $\kappa = x \cdot y = 0,20 \cdot 0,02 \text{ m} \cdot \text{m}^2/\text{s} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

Opis stanowiska pomiarowego:

Stanowisko pomiarowe znajduje się w Sali 322 budynku C-6 Politechniki Wrocławskiej. Wentylator umieszczony na kondygnacji technicznej budynku wymusza obieg powietrza przez sieć kanałów wentylacyjnych. W dwóch miejscach na instalacji (w kanale prostokątnym $300 \times 300 \text{ mm}$ oraz w kanale okrągłym o średnicy 250 mm) wykonano otwory umożliwiające pomiar ciśnienia dynamicznego za pomocą rurki Prandtla. Sterowanie przepływem powietrza a) do kanału prostokątnego oraz b) do kanału o przekroju kołowym następuje za pomocą przepustnic wskazanych podczas ćwiczenia przez prowadzącego. Zmianę natężenia przepływu powietrza realizuje się poprzez zmianę prędkości obrotowej wentylatora.

Sposób wykonania ćwiczenia:

Dla różnych wartości prędkości obrotowych wentylatora wskazanych przez prowadzącego należy wykonać pomiary wydajności powietrza dwoma metodami: za pomocą wyznaczenia prędkości średniej oraz za pomocą przepływomierza. Do wykonania pomiaru prędkości średniej należy zmierzyć ciśnienie dynamiczne rurką Prandtla podłączoną do mikromanometru z rurką pochyłą wypełnionego cieczą manometryczną o gęstości 809kg/m^3 . Punkty pomiarowe należy wyznaczyć zgodnie z przedstawioną w instrukcji metodą. Na podstawie prędkości średniej i pola powierzchni przekroju kanału wyznaczyć wydajność.

$$Q = w \cdot A$$

Wzór tabelki nr 1 do ćwiczenia

Lp.	h [mm]	pd [Pa]	w [m/s]	Q [m ³ /s]
1.				
2.				

Wzór tabelki nr 2 do ćwiczenia

Lp.	r , mm	w, m/s	r·w(r), mm·m/s
1.			
2.			

Dla każdego dokonanego pomiaru należy obliczyć iloczyn $\mathbf{r \cdot w(r)}$ w mm m/s.

Narysować, w odpowiedniej skali wykres funkcji $\mathbf{r \cdot w(r) = f(r)}$.

Określić pole F pod wykresem $\mathbf{r \cdot w(r) = f(r)}$ w granicach od 0 do R i obliczyć pole powierzchni otrzymanego trójkąta w cm^2 po dokonaniu graficznej aproksymacji linii krzywej linią prostą obliczyć wydatek objętościowy rzeczywisty:

$$Q_{rz} = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot \kappa, \text{ m}^3/\text{s}$$

gdzie: κ - współczynnik skali w $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{cm}^2)$,

Temat ćwiczenia: Wyznaczanie współczynnika przepływu dla zaworu regulacyjnego

(autorzy instrukcji: mgr inż. B.Flisowska-Wiercik, mgr inż. J.Paduchowska)

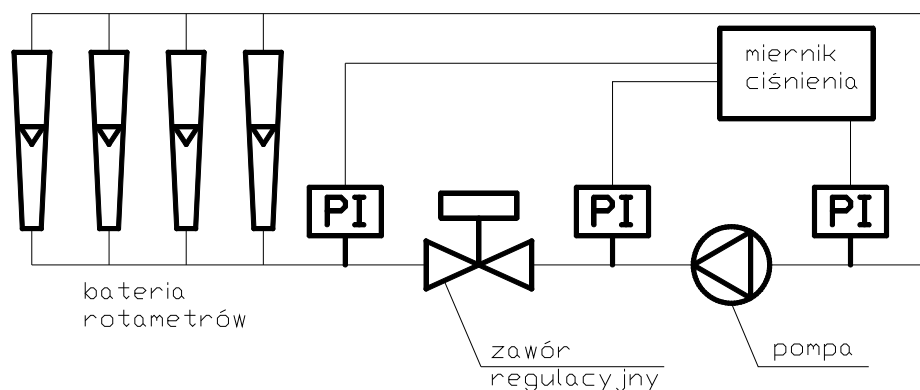
Cel i zakres ćwiczenia: Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika przepływu dla zaworu regulacyjnego.

Wymagane wiadomości:

1. Co to jest strumień objętości i strumień masy?
2. Jak mierzymy strumień przepływu płynu?
3. Jakie są rodzaje zaworów regulacyjnych (jakie mogą mieć charakterystyki)?
4. Co to jest charakterystyka zaworu regulacyjnego?
5. Wg jakiej zależności określamy współczynnik przepływu dla zaworu regulacyjnego (kvs)?

OPIS STANOWISKA POMIAROWEGO

Schemat stanowiska laboratoryjnego przedstawiono na rysunku 1.



Badany zawór regulacyjny typu STA DN 25 umożliwia zmiany oporności hydraulicznej układu pompowego, a tym samym pozwala na regulację wydajności pompy poprzez dławienie na tłoczeniu. Sterowanie zaworem odbywa się ręcznie poprzez zmiany jego nastawy za pomocą pokrętła umieszczonego na obudowie zaworu.

Sterowanie pompą typu Wilo TOP-E może być ręczne (za pomocą pokrętła zainstalowanego na obudowie pompy) lub automatycznie (za pomocą pilota).

Do pomiaru natężenia przepływu wody w badanym układzie służą cztery rotametry połączone równolegle. Rotametry wyposażone są w stalowe pływaki i zostały wyskalowane w [l/h] dla wody o temperaturze 15°C.

Pomiar ciśnienia (przed i za zaworem regulacyjnym) dokonywane są za pomocą przetworników ciśnienia o sygnale wyjściowym 0-10V odpowiadającym ciśnieniu 0-160kPa. Sygnały napięciowe są odczytywane przez uniwersalny miernik napięcia.

SPOSÓB WYKONANIA POMIARÓW

1. Ustawić zadaną prędkość obrotową pompy,
2. Dla kolejnych nastaw zaworu regulacyjnego odczytać przepływ wody oraz ciśnienia przed i za zaworem.
3. Obliczyć współczynniki przepływu dla każdej zadanej nastawy zaworu regulacyjnego ze wzoru:

$$k_v = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p}}$$

gdzie: q_v - przepływ przez zawór przy zadanej nastawie [m³/h],

Δp -strata ciśnienia na zaworze [bar]

4. Narysować wykresy obrazujące zależności:

$$\frac{k_v}{k_{v0}} = f(nastawa)$$

oraz

$$\frac{\Delta p}{\Delta p_0} = f\left(\frac{q_v}{q_{v0}}\right)$$

gdzie parametry: k_{v0} , Δp_0 , q_{v0} są wyznaczane dla zaworu w pełni otwartego.

5. Badania powtórzyć dla trzech różnych prędkości obrotowych wirnika pompy.

WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA PRZEPŁYWU DLA ZAWORU REGULACYJNEGO

[illegible]

Temat ćwiczenia: Wyznaczanie charakterystyki hydraulicznej instalacji z pompą obiegową

(autor instrukcji: dr hab. J.Bednarski)

1. Cel i zakres ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie charakterystyki hydraulicznej instalacji z pompą obiegową, czyli sporządzenie wykresu $\Delta p = f(q_v)$ dla badanej instalacji.

Zakres ćwiczenia obejmuje:

- Zapoznanie się z wymaganym materiałem przed ćwiczeniami,
- Wykonanie zadanej serii pomiarów na stanowisku badawczym,
- Opracowanie wyników pomiarów,
- Graficzne przedstawienie danych,
- Wnioski.

2. Wymagane wiadomości.

Wymaga się wiadomości na temat:

- Strat hydraulicznych wywołanych tarciami,
- Strat hydraulicznych wywołanych oporami miejscowymi.

Powyższe dane znajdują się np. w 7 rozdziale podręcznika:

Jeżowiecka-Kabsh K., Szewczyk H.: Mechanika płynów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001.

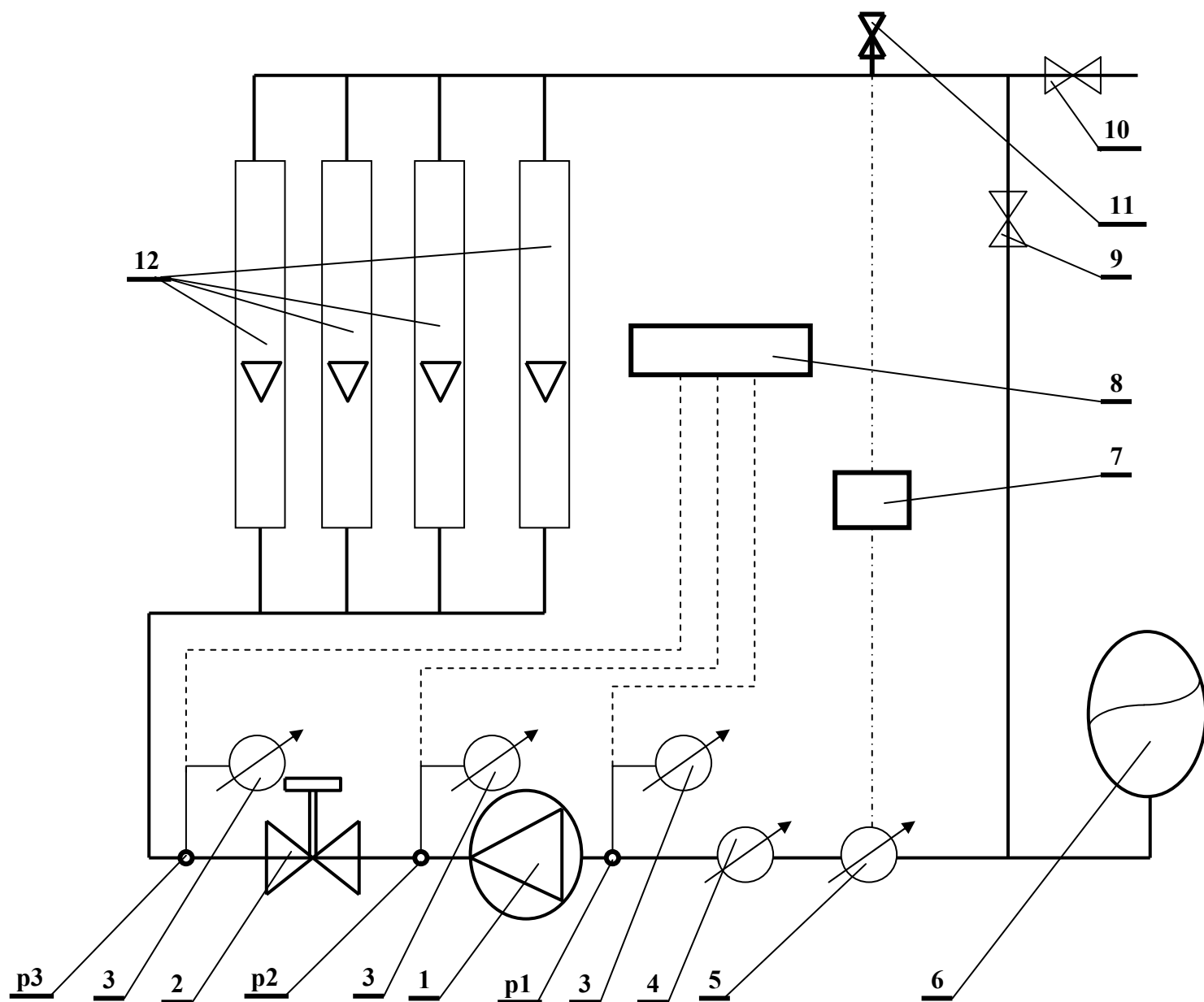
(Przepływ płynów w przewodach pod ciśnieniem)

3. Opis stanowiska pomiarowego.

Stanowisko pomiarowe stanowi zestaw elementów stanowiących układ przedstawiony schematycznie na rys.1. Poszczególne elementy przedstawionego układu to:

1. .Pompa, WILLO typ: TOP E 30/1-7,
2. Zawór regulacyjny,
3. Manometr,
4. Ultradźwiękowy miernik przepływu wody,
5. Skrzydełkowy miernik przepływu wody,
6. Naczynie przeponowe,
7. Wskaźnik przepływomierza skrzydełkowego,
8. Przetwornik ciśnień,
9. Zawór odcinający,
10. Zawór na doprowadzeniu wody,
11. Zawór odpowietrzający,

12. Rotametry,
p1,p2,p3. Punkty pomiarowe ciśnień.



Rys.1. Schemat stanowiska pomiarowego (opis w tekście).

W przedstawionym układzie przepływ wywołuje pompa (1). Badaną instalację stanowi zespół przewodów oraz elementów pomiędzy punktami pomiarowymi p2 i p1. Strumień przepływającej wody określamy za pomocą trzech przepływomierzy. Pomiaru ciśnień dokonujemy w trzech punktach: p1, p2 i p3.

4. Sposób wykonania pomiarów

Pomiary wykonujemy dla czterech różnych prędkości obrotowych pompy przy sześciu różnych nastawach zaworu regulacyjnego.

Przepływ wody określamy w l/s, a opory sieci w barach.

W efekcie otrzymamy cztery charakterystyki pompy dla czterech różnych jej prędkości obrotowych i sześć charakterystyk hydraulicznych instalacji dla sześciu różnych nastaw zaworu regulacyjnego.

Wyniki badań należy zobrazować na wykresie $\Delta p = f(q_v)$.

$\Delta p_1 = (p_2 - p_1)_{n = \text{const}}$ – wysokość podnoszenia pompy,

$\Delta p_2 = (p_2 - p_1)_{\text{nastawa zaworu} = \text{const}}$ – opory sieci,

$\Delta p_3 = (p_3 - p_2)_{\text{nastawa zaworu} = \text{const}}$ – opory zaworu regulacyjnego,

Wnioski powinny się odnosić do otrzymanych charakterystyk i odpowiadać na pytania czy są zgodne z oczekiwaniami, czy popełnione zostały jakieś błędy.

Temat ćwiczenia: Wyznaczanie współczynnika oporu miejscowego dla przepustnicy

(autorzy instrukcji: mgr inż. B.Flisowska-Wiercik, mgr inż. J.Paduchowska)

Cel i zakres ćwiczenia:

Celem niniejszego ćwiczenia jest zapoznanie się z budową i rodzajami przepustnic powietrza oraz wyznaczenie współczynnika oporu miejscowego przepustnicy.

Wymagane wiadomości:

1. Sposoby regulacji natężenia przepływu w instalacjach.
2. Rodzaje przepustnic i ich zastosowanie.
3. Zjawiska zachodzące podczas przepływu powietrza przez przepustnicę.
4. Opory w instalacjach (miejscowe, liniowe).
5. Od czego zależy współczynnik strat miejscowych.
6. Od czego zależy współczynnik strat liniowych (dla przepływów laminarnych i turbulentnych).
7. Pomiar natężenia przepływu za pomocą kryzy.

Opis stanowiska pomiarowego:

Do podstawowych elementów stanowiska pomiarowego należą: wentylator promieniowy ssący W, sieć przewodów powietrza oraz badane przepustnice: jednopłaszczyznowa P₁ i dwupłaszczyznowa P₂.

Wentylator zasysa powietrze z pomieszczenia poprzez 1 lub 2 w zależności od tego, która z zasuw zamykających (Zz1, Zz2) jest otwarta.

Regulację natężenia przepływu powietrza umożliwia zasuwę upustowo-regulacyjną Z_{UR} sterowaną z pomieszczenia.

Pomiaru natężenia przepływu dokonuje się za pomocą kryzy pomiarowej podwójnej K_p (charakterystyka kryzy na rysunku 2) zainstalowanej na przewodzie o przekroju kołowym D=250mm. Różnicę wysokości słupa cieczy manometrycznej ΔH_{K_p} odczytuje się na mikromanometrze M3.

Przy pomocy mikromanometrów M1 i M2 mierzy się różnicę ciśnień przed i za badaną przepustnicą, odczytując różnicę wysokości słupa cieczy manometrycznej ΔH_p ($\Delta P_p = g \Delta H_p (\rho_m - \rho_p) / 1000$).

Termometr T1 mierzy temperaturę powietrza w pomieszczeniu przed badaną przepustnicą. Umieszczone w kanałach termometry T2' i T2'' mierzą temperatury powietrza za badanymi przepustnicami.

Zasuwy zamykające Zz1 i Zz2 mają za zadanie zamknięcie aktualnie nie badanego układu pomiarowego.

Przebieg pomiarów:

Pomiary należy wykonać w kilku seriach dla różnych wartości strumienia powietrza. Każda seria rozpoczyna się od następujących pomiarów:

- natężenia przepływu powietrza V,

- spadku ciśnienia na przepustnicy ΔP_p ,
- temperatur przed i za przepustnicą dla całkowicie otwartej przepustnicy.

Wykonanie:

1. Sprawdzić czy zasuwę zamykającą badaną przepustnicę jest otwarta.
2. Należy zamknąć zasuwę zamykającą drugą przepustnicę.
3. Włączyć wentylator.
4. Ustawić łopatki badanej przepustnicy w pozycji całkowicie otwartej $\gamma=0^\circ$ (dla przepustnicy dwupłaszczyznowej $\gamma=15^\circ$).
5. Zamknąć zasuwę regulacyjno-upustową, celem uzyskania maksymalnej wartości natężenia przepływu.
6. Dokonać odczytu wartości natężenia przepływu powietrza V , spadku ciśnienia na przepustnicy ΔP_p i temperatur powietrza T przed i za badaną przepustnicą.
7. Następnie należy zmienić nastawienie łopatek przepustnicy o kąt $\gamma=10^\circ$, a przy każdej zmianie kąta odczytywać wartości V , ΔP_p , T . Seria pomiarów kończy się, gdy przepustnica badana jest całkowicie zamknięta ($\gamma=90^\circ$).
8. Po zakończeniu serii pomiarowej należy otworzyć zasuwę zamykającą drugą przepustnicę, zamknąć zasuwę zamykającą przepustnicę przebadaną i powtórzyć czynności serii pomiarowej wg punktów 1-7 dla tej przepustnicy.

Po zakończeniu serii pomiarowej dla obu przepustnic należy zmniejszyć strumień powietrza otwierając zasuwę upustowo-regulacyjną Z_{UR} , ustawić łopatki badanej przepustnicy w pozycji całkowicie otwartej ($\gamma=0^\circ$) i powtórzyć czynności serii pomiarowej zgodnie z punktami: 1-8.

Opracowanie wyników pomiarów:

Na podstawie wykonanych pomiarów należy:

1. Sporządzić charakterystykę oporu obu przepustnic w funkcji $\Delta P_p=f(V)$, przy różnych prędkościach napływu powietrza.
2. Na podstawie poniższej zależności obliczyć współczynnik oporu miejscowego ζ_p dla obu przepustnic w zależności od kąta nastawienia γ .

$$\zeta_p = (2 \Delta P_p) / (v^2 \rho)$$
3. Sporządzić wykres zależności $\zeta_p=f(\gamma)$.

[illegible]

Temat ćwiczenia: Sporządzanie wykresu Ancony

(autor instrukcji: dr inż. M.Maciejewska)

Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z zasadami wykonywania wykresu Ancony.

Zakres ćwiczenia obejmuje wykonanie wykresu Ancony dla szeregowego systemu hydraulicznego na podstawie obliczeń, z wykorzystaniem symulacji komputerowej.

Wymagane wiadomości

1. Znać następujące pojęcia: wysokość energii rozporządzalnej, ciśnienie absolutne, wysokość ciśnienia absolutnego, ciśnienie piezometryczne, wysokość ciśnienia piezometrycznego, straty hydrauliczne, wysokość strat hydraulicznych, straty liniowe, wysokość strat liniowych, straty miejscowe, wysokość strat miejscowych.
2. Znać wzory, które pozwalają obliczać wielkości wymienione w pkt.1.
3. Umieć posługiwać się tablicami do odczytu współczynników strat miejscowych dla różnych rodzajów oporów miejscowych.
4. Znać uogólnione równanie Bernoulliego i wiedzieć co oznaczają jego elementy.
5. Umieć zapisać uogólnione równanie Bernoulliego dla prostego, szeregowego systemu hydraulicznego, np. dwa zbiorniki połączone przewodem na którym znajduje się opór miejscowy.
6. Znać równanie ciągłości przepływu.

Literatura:

[1] K. Jeżowiecka-Kabsch, H.Szewczyk, Mechanika Płynów, PWr, Wrocław 2001

Rozdziały:

7.2 Straty hydrauliczne wywołane tarciem;

7.3 Straty hydrauliczne wywołane oporami miejscowymi;

7.4 Ustalony przepływ płynów w systemach hydraulicznych.

[2] H. Szewczyk, Mechanika Płynów, Ćwiczenia laboratoryjne, PWr, Wrocław 1989

Rozdziały:

5.6 Opory liniowe i miejscowe.

[3] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>

Opis stanowiska

Studenci otrzymają:

1. Schemat szeregowego układu hydraulicznego, dla którego obliczą i wykonają wykres Ancony.
2. Arkusz kalkulacyjny, który umożliwia:
 - wykonanie obliczeń:
 - o przepływu,
 - o strat liniowych i miejscowych,

- o wysokości energii rozporządzalnej, wysokości ciśnień absolutnych i wysokości ciśnień piezometrycznych w zadanych przekrojach kontrolnych układu hydraulicznego.
- wykreślenie linii energii rozporządzalnej, linii ciśnień absolutnych i linii ciśnień piezometrycznych, stanowiących elementy wykresu Ancony.

Sposób wykonania ćwiczenia

Do zadań studentów należy:

1. Zadanie parametrów szeregowego układu hydraulicznego przedstawionego na schemacie. Parametry zadawane to: ciśnienie nad lustrem cieczy w zbiorniku początkowym i końcowym, rzędna lustra cieczy w zbiorniku początkowym i końcowym, rzędna wlotu do układu, rzędna wylotu z układu, średnice i długości przewodów, współczynniki strat hydraulicznych dla poszczególnych oporów miejscowych.
2. Określenie strumienia cieczy w układzie hydraulicznym metodą kolejnych przybliżeń.
3. Obliczenie strat hydraulicznych liniowych i miejscowych w układzie.
4. Wykreślenie linii energii rozporządzalnej, linii ciśnień absolutnych i linii ciśnień piezometrycznych. Przeanalizowanie wykresów w kontekście geometrii układu hydraulicznego, zwłaszcza rozmieszczenie oporów liniowych i miejscowych.
5. Zmiana wartości wybranych parametrów układu hydraulicznego i dyskusja wpływu zmiany parametrów na położenie linii energii rozporządzalnej, linii ciśnień absolutnych i linii ciśnień piezometrycznych.

Uwagi

Brak.