

3.5.5. Opracowanie wyników

3.5.5.1. Sporządzenie wykresów wahań poziomów wody w komorze wyrównawczej

Na podstawie otrzymanych z notowań punktów, należy sporządzić wykres w układzie współrzędnych (y, τ) . Następnie sporządzić wykres oparty o metodę rachunkowo – wykreślną dla zadanych warunków i porównać otrzymane wykresy ze sobą, a następnie je omówić.

3.5.5.2. Sporządzenie wykresu zmian poziomów wody w komorze przy szybkim zwiększeniu wypływu

Na podstawie otrzymanych z notowań wielkości sporządzić wykres opadania poziomu zwierciadła wody w komorze wyrównawczej $y = y(\tau)$ i porównać z wykresem otrzymanym w wyniku odpowiednich obliczeń teoretycznych.

3.5.6. Własne uwagi i spostrzeżenia

Podać uwagi na temat przebiegu krzywych teoretycznych i otrzymanych na podstawie wyników z badań. Wyjaśnić dlaczego wskazane byłoby przed wykonaniem pomiarów przeciwzyć czynności pomiarowe w zespole. Podać ewentualnie inne uwagi i spostrzeżenia.

3.6. Ruch cieczy w korytach otwartych

3.6.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest określenie parametrów przepływu krytycznego wody w korycie otwartym oraz zapoznanie się ze zmianą rodzaju ruchu na drodze wizualizacji przepływu.

3.6.2. Wprowadzenie

Pod pojęciem koryta otwartego rozumiemy w hydraulice każdy przewód, w którym istnieje swobodne zwierciadło cieczy. Wynika stąd, że warunkiem przepływu w korycie otwartym jest pochylenie dna koryta w kierunku mającego odbywać się przepływu, inaczej mówiąc jest ułożenie go z pewnym spadkiem.

Swobodne zwierciadło oznacza, że ciecz może nie przylegać do ścian ze wszystkich stron.

Korytem otwartym jest więc kanał żeglugi, rzeka a także przewód o zamkniętym przekroju poprzecznym, lecz nie całkowicie wypełniony cieczą.

W tych wszystkich przypadkach mamy do czynienia z bezciśnieniowym przepływem wody. Dlatego też obok nazwy koryta otwartego stosuje się bardzo często określenie przewodu bezciśnieniowego.

Obserwując przepływ wody przez koryto otwarte dochodzimy do wniosku, że mamy do czynienia z przepływami spokojnymi – nadkrytycznymi i rwącymi – podkrytycznymi. Umowne kryterium podziału przepływów stanowią tzw. parametry krytyczne h_{kr} , v_{kr} , i_{kr} , przy których energia strumienia osiąga wartość minimalną. Energię rozporzą-

działną strumienia w dowolnym przekroju koryta liczoną względem dna można wyrazić wzorem:

$$E = E_p + E_k = h + \frac{\alpha v^2}{2g} \quad (3.6.1)$$

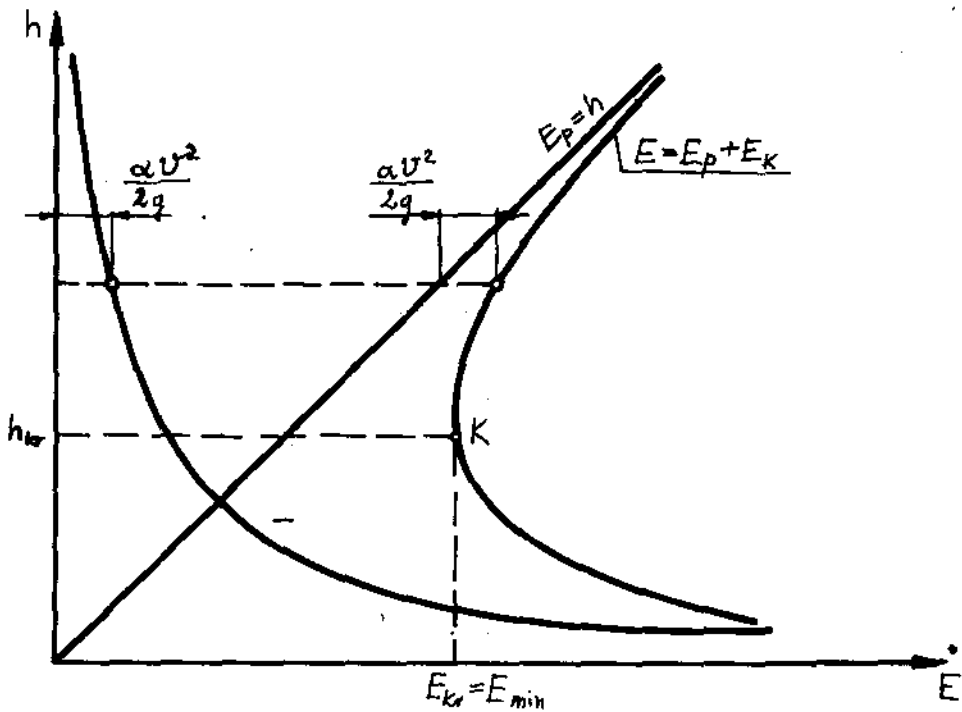
Prędkość średnią v możemy wyrazić w funkcji objętościowego natężenia przepływu \dot{V} , a mianowicie $V = \frac{\dot{V}}{A(h)}$

Podstawiając tę wartość do 3.6.1. otrzymamy:

$$E = h + \frac{\alpha v^2}{A(h)^2 2g} \quad (3.6.2)$$

Jeżeli w rozważaniach przyjmiemy, że $\dot{V} = \text{const.}$, to zauważymy, że wzniesienie linii energii jest funkcją tylko głębokości h .

Zależność wyrażoną równaniem 3.6.2 przedstawiono graficznie na rysunku 3.6.1.



Rys. 3.6.1.

1374 1 25
10 20

Krzywa ilustrująca zależność $E = f(h)$ ma punkt K, w którym energia jest minimalna. Poniżej tego punktu występują obszary przepływów rwących, powyżej spokojnych.

Rozpatrując zależność między głębokościami, prędkościami i spadkami w omawianych rodzajach ruchu, łatwo ustalić następujące nierówności:

Ruch podkrytyczny		Ruch krytyczny		Ruch nadkrytyczny
h	$<$	h_{kr}	$<$	h
V	$>$	V_{kr}	$>$	V
i	$>$	i_{kr}	$>$	i

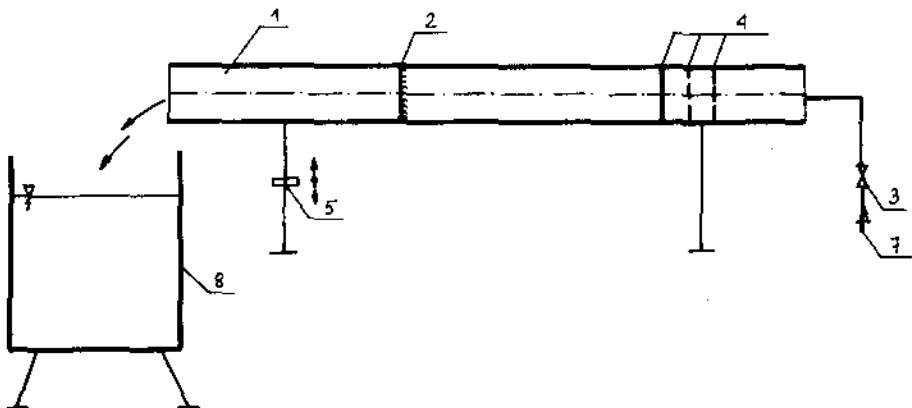
• Ostatnia zależność dotycząca spadków wymaga dodatkowego zastrzeżenia o jednostajności ruchu, gdyż tylko wtedy spadek równy jest spadkowi zwierciadła wody w korycie.

Omawiany wyżej podział na ruch spokojny i rwący z ruchem krytycznym jako granicą tego podziału ma ogromne znaczenie praktyczne. Mianowicie w obszarze ruchu rwącego dominuje energia kinetyczna, a więc znaczne prędkości przepływu wody, które mogą powodować rozmywanie koryt, stanowiąc istotne niebezpieczeństwo dla budowli hydrotechnicznych i kanałów. Wynika stąd konieczność ograniczenia tego ruchu do tych części budowli i kanałów, które są odpowiednio umocnione.

Ruch krytyczny natomiast jest takim, który zapewnia nam przy minimum energii maksimum przepływu.

3.6.3. Schemat i opis stanowiska

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rysunku 3.6.2. Składa się ono z koryta (1), przymiaru liniowego do pomiaru głębokości wody w korycie (2), zaworu do regulacji natężenia przepływu (3), siatek uspakajających przepływ (4), urządzeń do zmiany kąta pochylenia koryta (5).



Rys. 3.6.2.

Woda do koryta doprowadzona jest z instalacji wody obiegowej przewodem (7). Pomiar strumienia objętości przepływającej wody korytem odbywa się za pomocą naczynia pomiarowego (8).

3.6.4. Sposób wykonania ćwiczenia

Wyznaczanie parametrów ruchu krytycznego h_{kr} , v_{kr} w korycie otwartym lub kanale polega na pomiarze wielkości niezbędnych do sporządzenia zależności $E = f(h)$ podobnie jak to przedstawiono na rysunku 3.6.2.

Pomiary rozpoczynamy od zmierzenia szerokości dna koryta B. Następnie ustalamy za pomocą zaworu (3) strumień objętości przepływu wody przez koryto.

Pierwsze „ilości” cieczy, aż do uzyskania stanu przepływu ustalonego kieruje się do zbiornika wody obiegowej za pomocą rynny (9) która jest elementem ruchomym stanowiska.

Przyjmuje się, że stan ustalony osiągnęliśmy gdy głębokość strumienia wody w korycie przy zachowaniu nachylenia nie zmienia się. Po ustaleniu się warunków przepływu przystępujemy do pomiarów strumienia objętości wody za pomocą metody objętościowej oraz odczytu głębokości strumienia H w korycie.

Dla wyznaczenia zależności $E = f(h)$, potrzebne są nam wartości h odpowiadające różnym pochyleniom dna koryta, przy zachowaniu stałego natężenia przepływu.

Potrzebne do sporządzenia charakterystyki $E = f(h)$ przy $\dot{V} = \text{const.}$ wartości uzyskujemy zmieniając spadek koryta za pomocą pokrętła (5) i powtarzając wyżej wymienione czynności odpowiednią liczbą razy przy zachowaniu stałego \dot{V} .

Dla potrzeb ćwiczenia należy dokonać taką liczbę pomiarów aby można było sporządzić wykres $E = f(h)$. Wyniki należy zestawić w tabelicy 3.6.1.

3.6.5. Opracowanie wyników

Na podstawie danych zawartych w tabelicy 3.6.1 wykonać wykres zależności energii rozporządzałnej od głębokości strumienia i odczytać wartość h_{kr} . Prędkość krytyczną przepływu obliczyć ze wzoru 3.6.3.

$$v_{kr} = \frac{\dot{V}}{V h_{kr} B} \quad (3.6.3)$$

3.6.6. Własne uwagi i spostrzeżenia

Podać jakie równania pozwalają oszacować zmianę rodzaju ruchu w korycie otwartym lub kanale.

Wyjaśnić czy w ćwiczeniu słuszne było przyjęcie do sporządzania wykresu $E = f(h)$ współczynnika $\alpha = 1$.

Co można powiedzieć o błędzie wyznaczania w ten sposób głębokości krytycznej h_{kr} .

Podać ewentualne inne uwagi i spostrzeżenia.

Tablica 3.6.1.

Zestawienie wyników i obliczeń badań ruchu w korytach otwartych

Nr	V m ³	\bar{t} s	$\dot{V} = \frac{V}{\bar{t}}$ m ³ /s	h m	$v = \frac{\dot{V}}{b \cdot h}$ m	$E_p = h$ m	$E_k = \frac{\alpha v^2}{2g}$ m	$v_{kr} = \frac{\dot{V}}{b h_{kr}}$ m/s	Rodzaj ruchu	Uwagi
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
										b = α = 10

3.7. Odskok hydrauliczny

3.7.1. Cel ćwiczenia

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

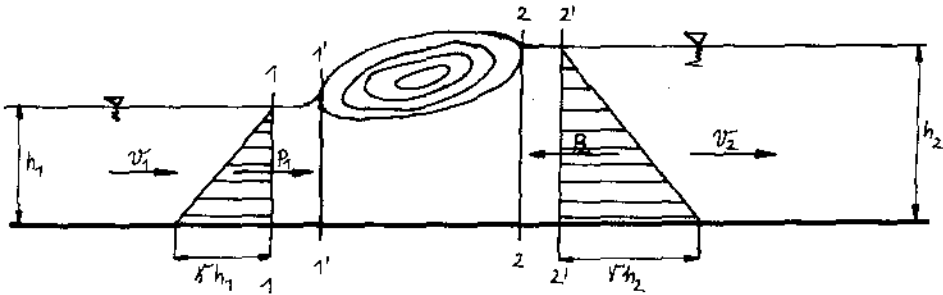
3.7.2. Wprowadzenie

Odskokiem hydraulicznym nazywamy gwałtowne zwiększenie głębokości strumienia od głębokości h_1 do głębokości h_2 przy jednoczesnym zmniejszeniu prędkości przepływu.

Zjawisko odskoku hydraulicznego można zaobserwować przy przepływie podkrytycznym przez kanał Venturiego, przy wypływie swobodnym spod zasowy oraz tam gdzie ma miejsce przejście ruchu podkrytycznego w nadkrytyczny np. załamania spadku kanałów ściekowych a więc i kanalizacyjnych.

Powstanie odskoku hydraulicznego w praktyce inżynierskiej wykorzystuje się do rozpraszania energii strumienia wody, co umożliwia ekonomiczne projektowanie budowli piętrzących i upustowych w kanalizacji studzien przepadowych itp.

W celu zdefiniowania podstawowych wielkości rozpatrzmy sytuację jak pokazano na rysunku 3.7.1.



Rys. 3.7.1.

Pęd masy między przekrojami 1-2 i 2-2 zmieni się na skutek działania różnych, co do wielkości naporów hydrostatycznych P_1 i P_2 . Zmiana pędu masy cieczy ograniczonej przekrojami 1-1 i 2-2 w czasie $d\tau$ równa jest różnicy pędów masy cieczy wypływającej przez przekrój A_2 oraz masy cieczy wpływającej do objętości 1-1 i 2-2 przez przekrój A_1 . Równanie zmiany pędu masy przedstawić można jak niżej:

$$\alpha \rho A_2 v_2 d\tau v_2 - \alpha \rho v_1 A_1 d\tau v_1 = \alpha \rho (A_2 v_2^2 - A_1 v_1^2) d\tau \quad (3.7.1)$$

Uwzględniając równanie ciągłości napiszemy:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = \dot{V} \quad (3.7.2)$$

po podstawieniu do 3.7.1 równania 3.7.2 otrzymamy:

$$\rho g \dot{V} (V_2 - V_1) d\tau \quad (3.7.3)$$

Impuls sił w kierunku poziomym stanowi impuls parcia hydrodynamicznego w przekroju 1-1 i 2-2 i da się opisać zależnością:

$$\rho g (A_1 y_1 - A_2 y_2) d\tau \quad (3.7.4)$$

Porównując zmianę pędu masy z impulsem sił otrzymamy:

$$\rho g \dot{V} (V_2 - V_1) d\tau = \rho g (A_1 y_1 - A_2 y_2) d\tau \quad (3.7.5)$$

Porządkując wyrazy równania 3.7.5 dochodzimy do postaci matematycznej równania odskoku hydraulicznego:

$$\frac{a \dot{V}^2}{g A_1} + A_1 y_1 = \frac{a \dot{V}^2}{g A_2} + A_2 y_2 \quad (3.7.6)$$

Wobec stałego \dot{V} każda ze stron równości 3.7.6 jest funkcją napełnienia przekroju h_1 i h_2 .

Głębokości h_1 i h_2 spełniające to równanie nazywamy głębokościami sprzężonymi. W przypadku koryta prostokątnego o stałej szerokości B , oraz wprowadzeniu przepływu na jednostkę szerokości koryta zapisanego zależnością:

$$q = \frac{\dot{V}}{B} \quad (3.7.7)$$

i odpowiednim przekształceniu równania 3.7.6 dla koryt prostokątnych otrzymamy zależność na obliczenie jednej z głębokości z zależności:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{8 q^2 a}{g h_1^3}} - 1 \right) \quad (3.7.8)$$

lub

$$h_1 = \frac{h_2}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{8 a q^2}{g h_2^3}} - 1 \right) \quad (3.7.9)$$

uwzględniając zależność zapisaną w postaci:

$$h_{kr}^3 = \frac{q^3}{a g} \quad (3.7.10)$$

równanie 3.7.9 można przedstawić w postaci:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_{kr}}{h_1} \right)^3} - 1 \right) \quad (3.7.11)$$

Przyjmując $h_1 = h_{kr}$ z równania 3.7.11 wynika, że $h_2 = h_{kr}$ (a więc odskok hydrauliczny może powstać jedynie, gdy strumień płynie ruchem podkrytycznym) $V_1 > V_{kr}$ tzn. $h_1 < 2h_{kr}$

Przejście strumienia od głębokości h_1 do głębokości h_2 zachodzi na pewnej długości zwanej długością odskoku. Dotychczas nie ma teoretycznego opracowania tego zagadnienia w sposób ścisły. Literatura światowa podaje wiele wzorów empirycznych opracowanych na drodze doświadczalnej.

Najbardziej znanymi w kraju są:

– wzór Wóycickiego

(3.7.12)

$$L = \left(8 - 0,05 \frac{h_2}{h_1} \right) (h_2 - h_1)$$

– wzór Pawłowskiego

(3.7.13)

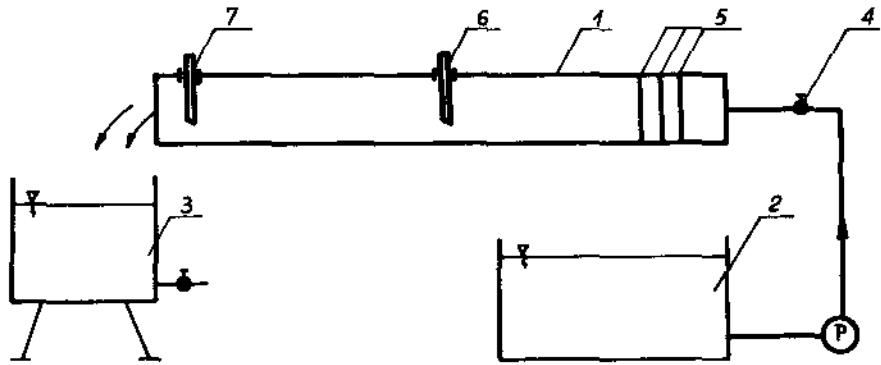
$$L = 2,5 (1,9 h_2 - h_1)$$

Straty energetyczne powstałe na odskoku mogą być obliczone ze wzoru:

$$\Delta h_s = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 h_1 h_2} \quad (3.7.14)$$

3.7.3. Schemat i opis stanowiska

Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 3.7.2. Zasadniczym elementem jest koryto doświadczalne (1) o przekroju prostokątnym i przezroczystych ścianach, które zaopatrzone w skalę wysokości. Woda do koryta pomiarowego dopływa ze zbiornika wody obiegowej (2) i przelewa się do zbiornika pomiarowego (3). Strumień objętości przepływającej wody regulowany jest przy pomocy odpowiednio otwartego zaworu (4).



Rys. 3.7.2.

W przedniej części koryta znajdują się siatki (5) uspokajające służące do wytłumienia energii wody. Część robocza koryta wyposażona jest w dwie zasuwy (6 i 7) służące do regulowania natężenia wypływu spod zasuwy oraz głębokości strumienia w części odpływowej.

Dotychczasowym wyposażeniem stanowiska jest zbiornik pomiarowy oraz sekundomierz do pomiaru czasu.

3.7.4. Sposób wykonania ćwiczenia

Wyznaczenie głębokości sprzężonych oraz długości odsoku hydraulicznego przeprowadzone zostanie w oparciu o obserwację swobodnego wypływu spod zasuwy (6).

Wypływ swobodny spod zasuwy powstaje wtedy, kiedy przy przejściu z ruchu podkrytycznego w nadkrytyczny powstaje zjawisko oddolnego odsoku hydraulicznego. Przebieg zjawiska pokazano na rysunku (3.7.1).

Układając równanie Bernoulliego dla przekrojów 1-1 i 2-2

$$h + \frac{V_0^2}{2g} = E = h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_{str.} \quad (3.7.15)$$

otrzymamy:

$$V_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \Sigma \xi}} \sqrt{2g(E - h_1)} = \varphi \sqrt{2g(E - h_1)} \quad (3.7.16)$$

gdzie:

φ - jest współczynnikiem prędkości i przyjmuje wartości od 0,85 do 0,95 w zależności od konstrukcji zasuwy.

3.7.5. Opracowanie wyników

Wielkości pomierzone należy porównać z wielkościami obliczonymi wg zależności i metod wskazanych przez prowadzącego ćwiczenia oraz zestawzić w tabeli. Wartość straconej energii obliczyć wg wzoru podanego w ćwiczeniu.

Na podstawie otrzymanych wyników należy przedstawić wnioski. Ponadto należy podać opis jakościowy przebiegu zjawiska powstawania odskoku hydraulicznego.

3.7.6. Własne uwagi i spostrzeżenia

Podać jakie równania pozwalają określić długość odskoku? Jaki jest przebieg formowania się odskoku przez wypływający spod zasuwę strumień?

Podać ewentualne inne uwagi i spostrzeżenia.

3.8. Przepływ cieczy przez zwężkowe kanały miernicze

3.8.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie metody sporządzania charakterystyki $h_1 = f(\dot{V})$ zwężkowego kanału mierniczego o przepływie podkrytycznym oraz wyznaczenie liczb kryterialnych Froude'a i Reynol ds'a dla tego przepływu.

3.8.2. Wprowadzenie

Pomiar strumienia objętości \dot{V} ścieków dopływających do oczyszczalni, cieczy przemysłowych unoszących zawieszony cząstki stałe, najczęściej odbywa się za pomocą zwężkowego kanału mierniczego.

Zwężkowe kanały miernicze otrzymuje się przez odpowiednie ukształtowanie kanału otwartego.

Ukształtowanie otrzymuje się przez:

- łagodne zwężenie ścian bocznych, przy zachowaniu płaskiego dna rys. 3.8.1.,
- zachowanie równoległości ścian bocznych i łagodnie wznoszącego się a następnie opadającego progu w dnie,
- jednoczesne zwężenie ścian bocznych i wzniesienie dna w postaci progu.

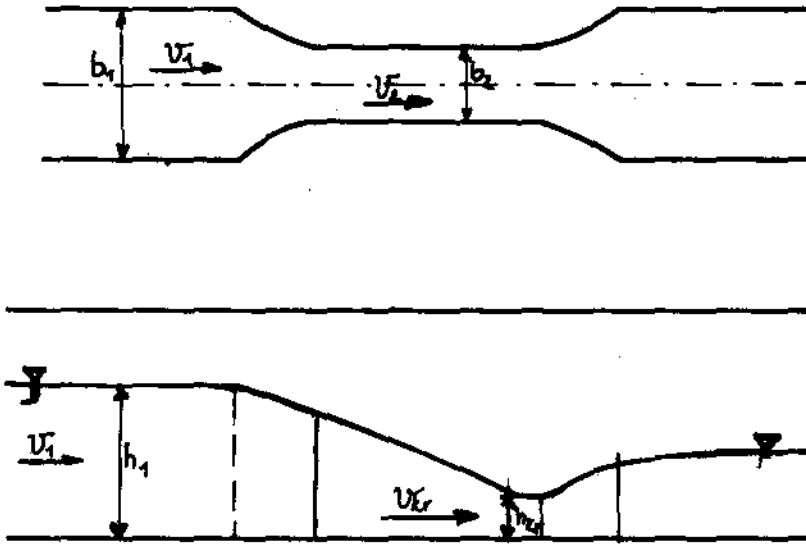
W zależności od rodzaju ruchu rozróżniamy kanały miernicze o nadkrytycznym i podkrytycznym przepływie.

Ruch podkrytyczny charakteryzuje się pojawieniem za przewężeniem strefy silnych zaburzeń, w której głębokość gwałtownie wzrasta, a na powierzchni tworzy się walec nazywany odskokiem hydraulicznym.

Przed przewężeniem ma miejsce akumulacja energii tak długo, aż wystarczy do zapewnienia przepływu przez przewężenie.

Minimalny zasób energii odpowiada ruchowi krytycznemu, który stanowi granicę dwóch stref ruchu nad i podkrytycznego.

Osobliwością ruchu krytycznego jest to, że najważniejszym składnikiem jest energia kinetyczna. Do kanału mierniczego z głębokością krytyczną rys. 3.8.1 ilość cieczy przepływającej przez kanał może być określana z zależności:



Rys. 3.8.1.

$$\dot{V} = \mu \Omega b_2 h_1 \quad (3.8.1)$$

gdzie:

- μ - współczynnik wydatku,
- b_2 - szerokość kanału w przewężeniu,
- h_1 - głębokość w kanale za przewężeniem,
- Ω - współczynnik zależny od stosunku $\varphi = \frac{b_2}{b_1}$
- b_1 - szerokość kanału

$$\Omega = \frac{2 \sqrt{2g}}{\varphi^{3/2}} \cos^{3/2} \left(\frac{\pi + \arccos \varphi}{3} \right)$$

Wartość współczynnika Ω do obliczeń przyjmujemy z tablicy 3.8.1 jest słuszna, jeżeli w zwężeniu kanału przepływ odbywa się przy głębokości krytycznej, którą wyznaczyć możemy ze wzoru:

$$3 \sqrt{\frac{\dot{V}^2}{g b_2^2}} \geq 0,55 \cdot h_0 \quad (3.8.2)$$

gdzie:

h_0 – głębokość przy ruchu jednostajnym w kanale, gdzie zabudowano kanał mierniczy.

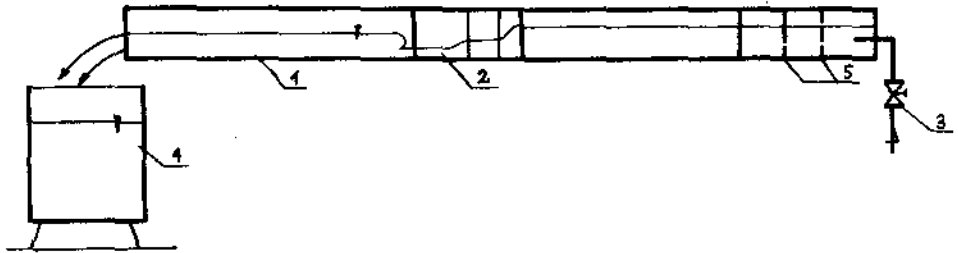
Tablica 3.8.1

Wartość współczynnika Ω do obliczeń głębokości krytycznej

Ω	ψ	Ω	ψ	Ω	ψ
1,71	0,00	1,75	0,333	1,95	0,70
1,71	0,40	1,77	0,40	1,99	0,75
1,72	0,20	1,82	0,50	2,07	0,80
1,725	0,25	1,88	0,60	2,28	0,90
1,74	0,30	1,89	0,666	3,13	1,00

3.8.3. Schemat i opis stanowiska

Schemat stanowiska przedstawiono na rys. 3.8.2.



Rys. 3.8.2.

Zasadniczymi jego elementami są kanał mierniczy (2) i koryto o przekroju prostokątnym (1). Koryto zaopatrzone w skalę wysokości umieszczoną na przezroczystej ścianie bocznej. Strumień wody przepływający przez kanał mierniczy (2) regulowany jest zaworem (3), natężenie przepływającego strumienia objętości mierzone jest za pomocą zbiornika (4) metodą objętościową. W części wlotowej wody do koryta z instalacji zostały zamontowane siatki uspakajające przepływ (5). Dodatkowym wyposażeniem jest zestaw stoperów i termometr.

3.8.4. Sposób wykonania ćwiczenia

Uruchomić przepływ wody przez częściowe odkręcenie zaworu (3). Następnie odczekać aż ustali się przepływ. Dla ustalonego przepływu strumienia należy na skali wysokości odczytać wysokość h_1 i h_2 mierząc jednocześnie metodą objętościową natężenie przepływu i temperaturę. Zadając różne wartości natężenia przepływu za pomocą zaworu regulacyjnego (3) i powtarzając czynności pomiarowe jak podano wyżej otrzymamy odpowiednią liczbę par wartości h_1 i V potrzebną do sporządzenia zależności $h_1 = f(V)$. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tablicy 3.8.2.

3.8.5. Opracowanie wyników

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów dokonać obliczeń sprawdzających występowanie ruchu krytycznego w przewężeniu koryta wykorzystując w tym celu zależność:

$$3 \sqrt{\frac{\dot{V}}{g b_2^2}} \geq 0,85 h_0$$

Po przeprowadzeniu powyższych obliczeń należy sporządzić wykresy z zależności $h_1 = f(V)$; $\mu = f(Fr)$; $\mu = f(Re)$ opierając się o wyniki z pomiarów i obliczeń zamieszczonych w tablicy 3.8.2. Przeprowadzić analizę błędów pomiaru.

Tablica 3.8.2

Zestawienie wyników pomiarów i obliczeń koryta Venturiego

p.	V	τ			$\bar{\tau}$	$\dot{V} = \frac{V}{\bar{\tau}}$	h_1	$n = h_1/h_0$	$v = \frac{\dot{V}}{A}$	$F_r = \frac{v^2}{hg}$	T	γ	$Re = \frac{vh}{\nu}$	$\mu = \frac{\dot{V}}{\Omega b_2 h_1^2}$	Uwagi
		τ_1	τ_2	τ_3											
	(m ³)	(s)	(s)	(s)	(s)	(m ³ /s)	m	(m ²)	m/s		K	m/s			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
															$h_1 = \dots$
															$h_2 = \dots$

3.8.6. Własne uwagi i spostrzeżenia

Podać uwagi na temat naniesionych punktów pomiarowych, własności mierniczych i hydraulicznych kanałów mierniczych.

Wymienić wszystkie zastosowane uproszczenia będące przyczyną rozbieżności otrzymanych wyników.

Podać ewentualne inne uwagi i spostrzeżenia.

3.9. Przepływ ciecży przez przelewy

3.9.1. Cel ćwiczenia

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

3.9.2. Wprowadzenie

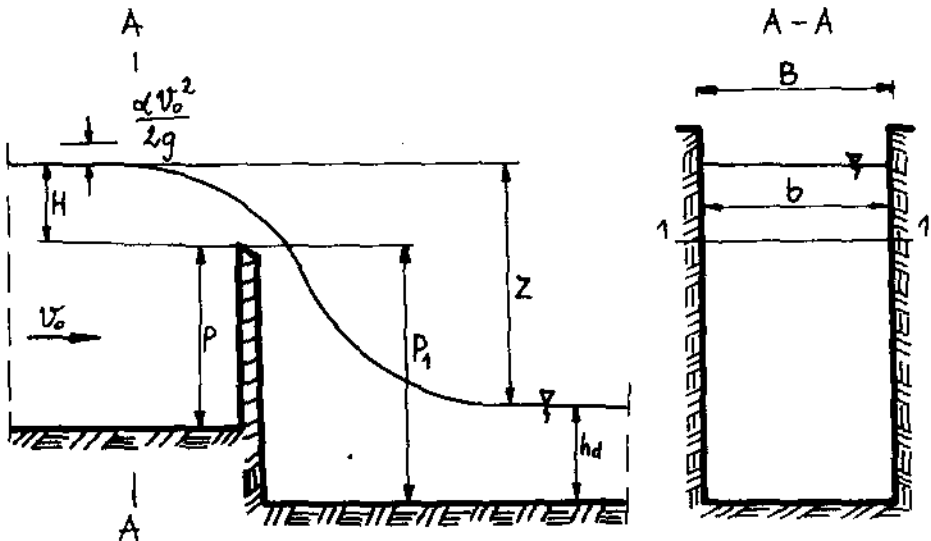
Przelewem nazywamy przegrodę ustawioną na drodze przepływu strumienia o swobodnym zwierciadle, powodującą spiętrzenie powierzchni cieczy, która dzięki spiętrzeniu przelewa się przez jego wierzch.

W technice sanitarnej, przelewy są praktycznie wykorzystywane jako elementy składowe wielu urządzeń stosowanych w stacjach uzdatniania wody, oczyszczania ścieków, kanalizacji ogólnospławnej oraz przy ujmowaniu wód powierzchniowych. Znajdują ponadto szerokie zastosowanie w hydrotechnice.

Każda budowla piętrząca posiada część przelewową, przez którą woda przepływa z górnego poziomu do dolnego. W stosunku do przelewów możemy stosować szereg podziałów opartych na różnych kryteriach np. kształtu wycięcia ścianki przelewowej, ustawienia przegrody w stosunku do kierunku przepływu przez przelew.

Przelewy służące do pomiaru natężenia przepływu nazywane są przelewami mierniczymi.

W przelewach wyróżniamy następujące elementy rys. 3.9.1.



Rys. 3.9.1.

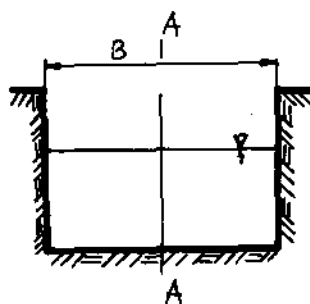
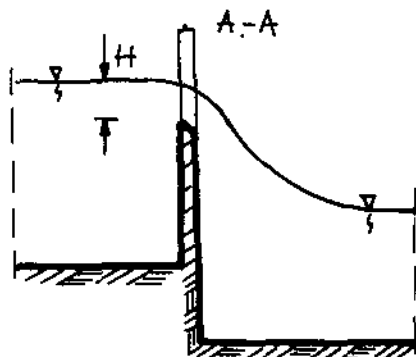
- 1-1 – korona przelewu,
- p_1 i p – wysokość przelewu od strony wody dolnej i górnej.

Pozostałe symbole występujące na rysunku 3.9.1 oznaczają:

- V_0 – średnia prędkość strumienia dopływającego do przelewu mierzona w tym miejscu, gdzie nie ma wpływu spiętrzenia prędkości ta nazywana jest często prędkością dopływu do przelewu,
- H – statyczny poziom wzniesienia wody nad koroną przelewu, mierzony on jest tam gdzie nie ma wpływu spiętrzenia,
- z – różnica górnego i dolnego poziomu wody mierzona w miejscach, gdzie nie ma wpływu spiętrzenia.

Ze względu na położenie zwierciadła wody, za i przed przelewem występuje następujący podział na przelewy:

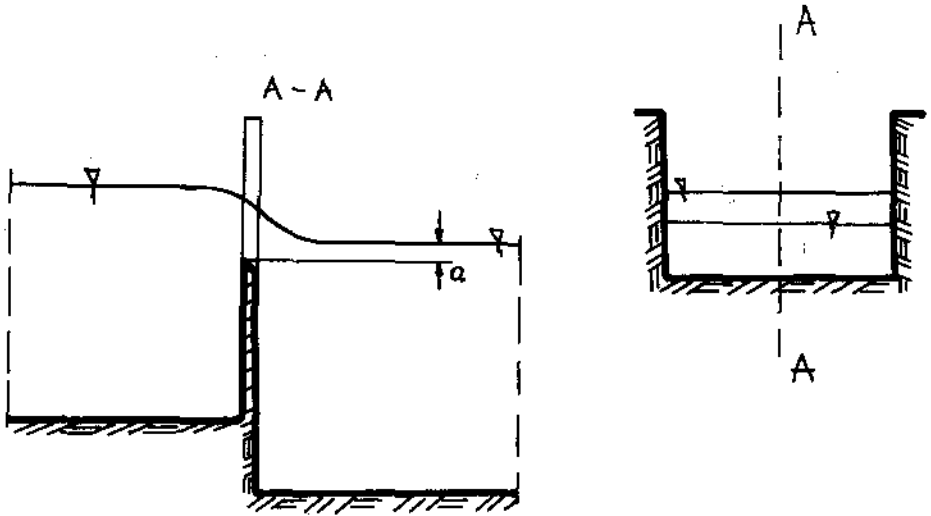
- nie zatopione – tj. takie, w których poziom zwierciadła wody dolnej nie wpływa na wydatek przelewu rys. 3.9.2.
- zatopione – tj. takie, których poziom zwierciadła wody dolnej wpływa na wydatek przelewu rys. 3.9.3.



Rys. 3.9.2.

Na wartość liczbową współczynnika wydatku wywierają wpływ następujące czynniki:

1. zwężenie strumienia przelewowego, zależne od ukształtowania, a w szczególności ostrość krawędzi przelewowych, oddalenie bocznych krawędzi przelewowych od ścian koryta oraz wielkości napięcia powierzchniowego,
2. opory przepływu przez otwór przelewowy,
3. rodzaj, a w szczególności lepkość kinematyczna cieczy,
4. wielkość natężenia przepływu,
5. warunki zasilania.



Rys. 3.9.3.

Strumień objętości przepływu wyrażamy jako funkcję wysokości spiętrzenia H w postaci zależności:

$$\dot{V} = f(H) \quad (3.9.1)$$

Krzywą przedstawiającą tę zależność dla przelewu o określonych kształtach nazywamy charakterystyką przepływu, a krzywą $H = f(\dot{V})$ krzywą wzorcowania. Kształty charakterystyki określonego przelewu zależą głównie od kształtu otworu przelewowego.

3.9.2.1. Przelewy niezatopione o ostrej krawędzi

Przepływ strumienia objętości przez przelew o ostrej krawędzi bez uwzględniania prędkości dopływającej wody określamy z zależności:

$$\dot{V} = \int_{\dot{V}} d\dot{V} = \int_0^H \mu b'(z) \sqrt{2gz} dz \quad (3.9.2)$$

gdzie:

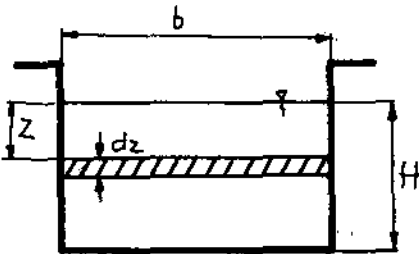
- μ – współczynnik wydatku przelewu,
- b – szerokość zwierciadła wody na przelewie, na głębokości pod swobodnym zwierciadłem wody – cieczy,
- z – zagłębienie rozpatrywanego przekroju pod zwierciadłem wody – cieczy.

Przystosowanie wzoru 3.9.2 do obliczeń przelewu w konkretnym kształcie wycięcia otworu wymaga przedstawienia zmiennej na ogół szerokości b w funkcji zagłębienia z pod powierzchnią zwierciadła wody, czyli określenia $b = f(z)$.

Najczęściej spotyka się przelewy z wycięciem prostokątnym, trójkątnym i trapezowym a rzadziej parabolicznym, kołowym i proporcjonalnym.

W dalszym ciągu rozważań podane zostaną tylko zależności odnoszące się do przelewów stosowanych w laboratorium tj. prostokątnego, trapezowego, trójkątnego i kołowego.

- dla przelewu prostokątnego rys. 3.9.4.



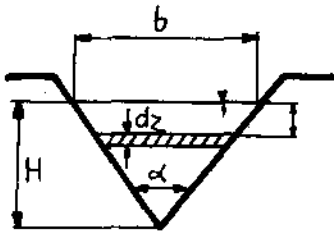
Rys. 3.9.4.

Wobec stałej szerokości b wzór 3.9.2 po scałkowaniu przyjmie postać:

$$\dot{V} = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (3.9.3)$$

gdzie:

H — wzniesienie zwierciadła wody górnej ponad koronę przelewu.



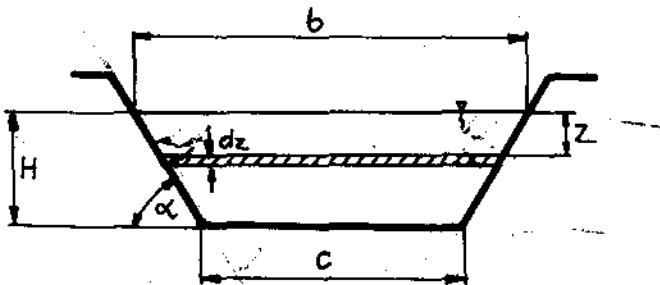
Rys. 3.9.5.

- przelew trójkątny rys. 3.9.5.

$$\dot{V} = \mu \sqrt{2g} \frac{8}{15} \operatorname{tg} \frac{a}{2} H^{5/2} \quad (3.9.4)$$

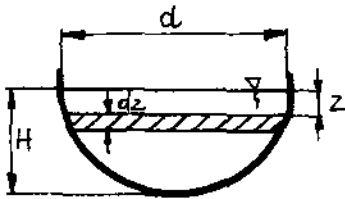
- przelew trapezowy rys. 3.9.6.

$$\dot{V} = \mu \sqrt{2g} \left[\frac{8}{15} \operatorname{tg} \frac{a}{2} H + \frac{2}{3} c \right] H^{3/2} \quad (3.9.5)$$



Rys. 3.9.6.

- przelew kołowy rys. 3.9.7.



Rys. 3.9.7.

$$\dot{V} = M \mu d^2 \sqrt{d} \quad (3.9.6)$$

gdzie:

d – średnica koła,

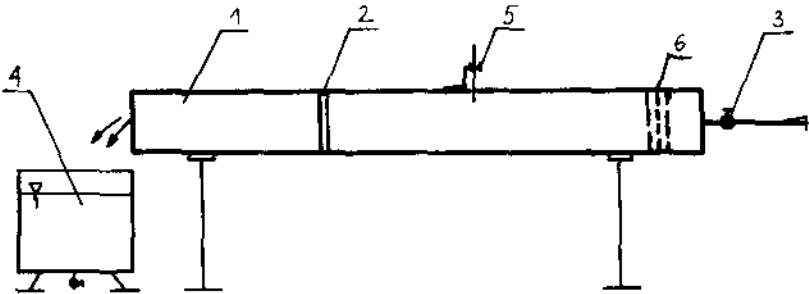
M – współczynnik zależny od stosunku wysokości strumienia H do średnicy przelewu

$$M = M \left(\frac{H}{d} \right).$$

Wartość M dla różnych stosunków $\frac{H}{d}$ podano w tablicach [10].

3.9.3. Schemat i opis stanowiska

Model stanowiska przedstawiono schematycznie na rys. 3.9.8.



Rys. 3.9.8.

Zasadniczym elementem jest koryto pomiarowe o przekroju prostokątnym (1), zaopatrzone we wnęki (2) umieszczone w bocznych ścianach, do których zakłada się przelew o dowolnym kształcie wycięcia otworu. Do koryta doprowadzona jest woda z instalacji wody obiegowej, której strumień regulowany jest zaworem (3) i mierzony metodą objętościową za pomocą naczynia podstawianego (4). Nad korytem został zainstalowany wodowskaz szpilkowy (5) służący do pomiaru poziomów wody przed przelewem. Dopływ wody z przewodu instalacyjnego do koryta odbywa się poprzez zestaw siatek uspakających przepływ (6). Dodatkowe wyposażenie stanowiska stanowią: przymiar liniowy, wymienne przelewy o dowolnych kształtach wycięcia otworu, zestaw stoperów.

3.9.4. Sposób wykonania ćwiczenia

Część doświadczalna ćwiczenia polega na bezpośrednim pomiarze strumienia dla kilku wartości H metodą objętościową: rozpoczynając od najniższej wartości H , a kończąc na maksymalnej możliwej do wskazania.

Po otwarciu zaworu (3), należy uruchomić silnik pompy wody obiegowej, otwierając stopniowo zawór (3) wykonać pomiary dla zwiększającego się strumienia objętości przepływającego przez przelew.

Należy pamiętać o tym, że każdy pomiar powinien odbywać się dla ustalonego przepływu strumienia objętości.

Wyniki pomiarów należy wpisać do tablicy 3.9.1 i dokonać obliczeń współczynników wydatków badanych przelewów.

3.9.5. Opracowanie wyników

Na podstawie wyników zamieszczonych w tablicy 3.9.1 należy sporządzić charakterystyki przelewów w układzie współrzędnych H, V i porównać je z podanymi w literaturze. Następnie obliczone współczynniki wydatków badanych przelewów porównać z odpowiednimi danymi zamieszczonymi w literaturze.

Tablica 3.9.1

Zestawienie danych do obliczeń μ badanego przelewu

Przelew					
Lp	Spiętrzenie h	Objętość V	Czas τ	\dot{V}	μ dla danego przelewu
	m	m ³	s	m ³ /s	—
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

3.9.6. Własne uwagi i spostrzeżenia

Jakie mogą być skutki pomiaru strumienia objętości w warunkach nieustalonego ruchu wody przez przelew?

Podać uwagi na temat naniesionych punktów pomiarowych-na podstawie, których wyznaczono charakterystyki przelewów.

Podać do jakich wartości, prędkości wody w korycie pomiarowym należy zwiększyć wartość głębokości wody górnej.

Podać dla czego pomiarów głębokości wody w korycie należy dokonać w odległości równej co najmniej trzykrotnej grubości warstwy na przelewie.

Obliczyć błędy pomiaru i podać ewentualne uwagi i spostrzeżenia.

3.10. Ruch cieczy w ośrodku porowatym

3.10.1. Cel ćwiczenia

Zaznajomienie się z warunkami przepływu cieczy w ośrodkach porowatych oraz metodami określania współczynnika filtracji.

3.10.2. Wprowadzenie

Do ośrodków porowatych zaliczamy grunt składający się z ziaren mineralnych i organicznych o różnych kształtach tworzących nieregularne kanaliki. Kształt kanalików w których odbywa się przepływ nie da się wyrazić funkcjami matematycznymi, co stanowi podstawową trudność przy teoretycznym badaniu przepływów w porowatych ośrodkach.

Ruch cieczy przez połączone ze sobą przestrzenie i kanaliki znajdujące się w gruncie nazywamy filtracją, a przestrzenie i kanaliki porami.

Technika sanitarna posługuje się prawami przepływu w ośrodkach porowatych przy projektowaniu urządzeń do uzdatniania wody, oczyszczania ścieków, budowy ujęć za pomocą studni, odwodnień wykopów itp.

Osobliwością filtracji w odróżnieniu od przepływu przez rurociągi i koryta jest to, że ruch odbywa się w przestrzeniach i kanalikach, których przekrój poprzeczny jest bardzo mały, a kanaliki i przestrzenie są ze sobą powiązane tworząc cały system.

Inną osobliwością filtracji jest występowanie dużych sił tarcia mimo bardzo małych prędkości, ponieważ filtrująca ciecz trze o bardzo wielką powierzchnię, którą stanowi suma powierzchni poszczególnych porów.

W zależności od siły wywołującej przepływ wody w ośrodku porowatym można rozróżnić następujące rodzaje ruchu: grawitacyjny, ciśnieniowy, kapilarny, elektrolityczny, chemiczny i termiczny.

W zależności od charakteru przepływu mamy do czynienia z ruchem laminarnym, turbulentnym lub mieszanym.

Rozwiązując rozmaite zagadnienia z inżynierii sanitarnej i ochrony środowiska najczęściej spotykamy się z ruchem laminarnym. Dlatego też ten rodzaj ruchu będzie przedmiotem dalszych rozważań.

Wielkością charakterystyczną dla danego ośrodka porowatego podczas przepływu cieczy jest współczynnik filtracji k .

Dla wyznaczenia współczynnika filtracji k możemy posłużyć się jedną z następujących metod:

– wykorzystaniu wzorów empirycznych,

- laboratoryjną,
- bezpośredniego pomiaru prędkości filtracji,
- próbnego pompowania,
- studni i dołów chłonnych.

Ze wzorów empirycznych najprostszymi znajdującymi zastosowanie w technice sanitarnej są wzory Hazena, Kozeny i Slichtera. W ćwiczeniu posłużymy się wzorem Hazena 3.10.1.

$$k = c (0,7 + 0,03 t) d_{10}^2 \quad (3.10.1)$$

gdzie:

- d_{10} – średnica miarodajna ziaren,
- c – stała, którą przyjmuje się odpowiednio dla piasków czystych $c = 1000$ do 800 , piasków zanieczyszczonych $c = 800$ do 400 i piasków równoziarnistych z pewną domieszką pyłu $c = 800$ do 700 ,
- t – temperatura wody w $^{\circ}\text{C}$.

Powyższy wzór znajduje zastosowanie dla piasków o średnicy ziaren $0,1 \text{ mm} \leq d \leq 3,0 \text{ mm}$, których współczynnik nierównomierności wynosi:

$$u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \leq 5 \quad (3.10.2)$$

gdzie:

- u – współczynnik uziarnienia gruntu,
- d_{60} – średnica ziaren gruntu rozdzielającego na wykresie uziarnienia drobniejsze ziarna, których jest w badanej próbce 60% w stosunku wagowym od ziaren grubszych, których jest 40%,
- d_{10} – średnica ziaren gruntu rozdzielającego na wykresie uziarnienia ziarna drobniejsze których jest w badanej próbce 10% w stosunku wagowym od ziaren grubszych, których jest 90%.

Współczynnik nierównomierności uziarnienia pozwala sklasyfikować grunty na:

- o równomiernym uziarnieniu gdy $u \leq 5$
- nierównomiernym uziarnieniu gdy $5 < u \leq 15$
- bardzo nierównym uziarnieniu gdy $u > 15$

Współczynnik filtracji k , charakteryzuje przepuszczalność warstwy filtracyjnej, zależy on od rodzaju gruntu, kształtu i wielkości ziaren, stopnia jednorodności, porowatości, lepkości cieczy, ciężaru właściwego, temperatury.

W praktyce inżynierskiej umownie przyjęto wartość współczynnika k sprowadzać do temperatury 283 K tj. 10°C , którą to temperaturę często ma woda gruntowa.

Związek między współczynnikiem filtracji w tym samym gruncie lecz w odmięnej temperaturze przedstawia zależność podana przez Hazena:

$$k_{10} = \frac{k_t}{0,7 + 0,33 t} \quad (3.10.3)$$

- k_t - współczynnik filtracji wyznaczony w temperaturze wody t °C,
 k_{10} - współczynnik filtracji wyznaczony w temperaturze $t = 10$ °C,
 t - temperatura, w której wyznaczona została wartość współczynnika filtracji °C.

Ruch wody w gruncie będzie ruchem laminarnym gdy spełniona zostanie zależność:

$$Re = \frac{v d}{\nu m^{1/3}} < 5 \quad (3.10.4)$$

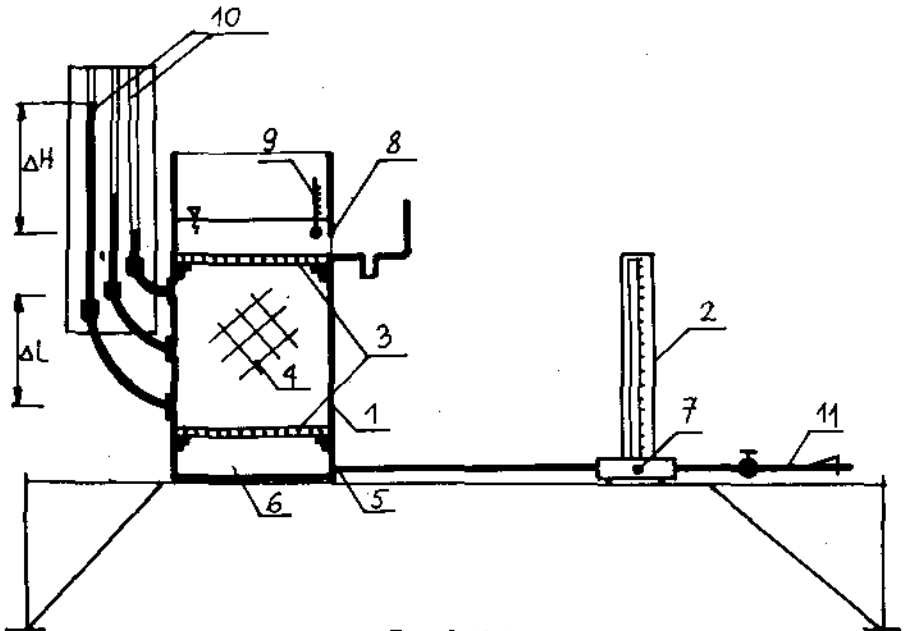
gdzie:

- d - średnica miarodajna ziaren d_{10} ,
 v - prędkość filtracji,
 ν - kinematyczny współczynnik lepkości cieczy,
 m - współczynnik porowatości.

3.10.3. Schemat i opis stanowiska

3.10.3.1. Schemat i opis stanowiska pomiarowego opartego na prototypie wg H.Darc'y

Schemat stanowiska przedstawiono na rys. 3.10.1. Zestaw pomiarowy składa się

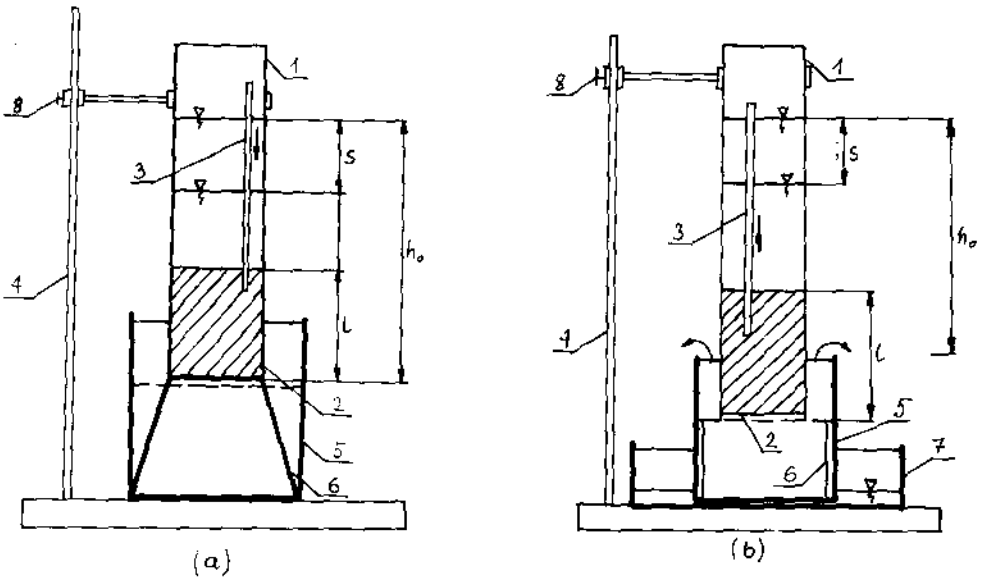


Rys. 3.10.1.

z pionowego zbiornika otwartego o stałym przekroju (1) rotametr (2). Próbkę gruntu (4) do badań umieszczona jest w zbiorniku między dwiema siatkami (3). Woda doprowadzana jest z instalacji wodociągowej (11) za pomocą króćca (5) do dolnej części zbiornika pod siatkę (6). Strumień objętości dopływu mierzony jest rotametrem i regulowany zaworem (7). Odpływ wody z urządzenia odbywa się przez przelew (8) do zbiornika a stąd woda kierowana jest do kanalizacji. Pomiar temperatury wody dokonuje się termometrem (9) zainstalowanym w górnej części zbiornika przed przelewem. Spadek ciśnienia na złożu mierzony jest za pomocą piezometrów (10). Całość zmontowana jest na odpowiedniej konstrukcji nośnej.

3.10.3.2. Schemat i opis stanowisk pomiarowych przy zmiennej wysokości hydraulicznej

Szybkiego pomiaru współczynnika filtracji można dokonać za pomocą prostych przyrządów pokazanych na schematach rys. 3.10.3.2. (a i b).



Rys. 3.10.2. (a i b)

Przyrządy składają się z rury szklanej wysokości 25 cm, średnicy 4 cm (1). Siatki utrzymujące badaną próbkę (2), skali z podziałką centymetrową przytwierdzonej do rury (3), statywu mocującego rurę (4) zbiornika pomiarowego (5), konstrukcji podtrzymującej siatkę (6), naczynia gromadzącego przefiltrowaną wodę (7). Dodatkowo dla potrzeb realizacji ćwiczenia niezbędny jest zestaw trzech stoperów, termometr laboratoryjny, młotek gumowy i pipeta. Przyrząd oznaczony jako (a) służy do określenia współczynnika filtracji piasków drobno i średnioziarnistych, (b) – służy do wyznaczania współczynnika filtracji w gruntach o ziarnach grubszych.

3.10.4. Sposób wykonania ćwiczenia

3.10.4.1. Sposób wykonania ćwiczenia oparty o metodę Darc'ya

Wyznaczanie współczynnika filtracji k przez wypełnienie polega na pomiarze spadków ciśnienia na wypełnieniu, pomiarze temperatury oraz dokonywaniu odczytu przepływu strumienia objętości wody przez rotometr. Określenie wartości k w tej metodzie oparte jest o wzór Darc'ya na prędkość filtracji:

$$V = k I \quad (3.10.5)$$

gdzie:

$$I = \frac{\Delta H}{\Delta L} \qquad V = \frac{V}{A}$$

a stąd

$$k = \frac{V \cdot \Delta L}{H \cdot \Delta H}$$

Przed rozpoczęciem pomiarów należy odnotować wymiary przekroju stanowiącego powierzchnię filtracyjną. Następnie otworzyć zawór (11) i odpowiednio regulując pokręteł zaworu rotometru (7) ustalić minimalny przepływ przez złożę.

Jeżeli stwierdzimy, że układ został napełniony wodą, co objawia się działaniem przelewu przystępujemy do odpowietrzania piezometrów (10). Odpowietrzania rurek piezometrycznych (10) najłatwiej jest przeprowadzić za pomocą gumowej gruszki. Po dokonaniu odpowietrzania możemy przystąpić do pomiarów.

Pomiar rozpoczynamy od ustalenia na rotametrze (2), co najmniej 5 różnych strumieni objętości wody, odnotowując dla każdego przepływu spadek ciśnienia wskazany przez rurki piezometryczne.

Jednocześnie należy odnotować temperatury wody na termometrze w górnej części naczynia przed przelewem. Wielkość ΔL i ΔH mierzy się bezpośrednio na modelu, podobnie jak wielkość A .

Pomiary wykonujemy zwiększając stopniowo natężenie przepływu wody przez złożę. Charakterystyka rotometru znajduje się na stanowisku. Wyniki pomiarów i obliczeń zapisujemy w tablicy 3.10.1.

3.10.4.2. Sposób wykonania ćwiczenia w oparciu o metodę Kamińskiego. Rys.3.10.3.2

– przyrząd (a)

Do suchej zamocowanej na statywie rury nasypujemy badany grunt oddzielnymi porcjami po 2 do 3 cm wysokości rury, każdą porcję przy pomocy pipety nasączamy wodą.

Po nawilgoceniu gruntu lekko stukamy gumowym młotkiem w ściany rury w celu zmniejszenia objętości próbki. Badany grunt – piasek wysypujemy na wysokość 10 cm

Tablica 3.10.1

Zestawienie wyników pomiarów i obliczeń współczynnika filtracji k metodą Darc y

Lp.	\dot{V}	\dot{V}	ΔH	ΔL	$k_t = \frac{\dot{V} \Delta L}{A \Delta H}$	$k_{10} = \frac{k_t}{0.7 + 0.03t}$	t	Uwagi
	l/h	m ³ /s	m	m	m/s		°C	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

licząc od siatki utrzymującej (2). Następnie na wierzch badanej warstwy nasypujemy 2 do 3 cm grubego żwiru, celem ochrony przed rozmyciem przy napełnianiu rurki wodą i sprawdzamy pionowość ustawienia jej nad naczyniem. Ustawienie w pionie przeprowadzamy za pomocą pokrętła (8). Po ustawieniu pionowo nad naczyniem (5), napełniamy rurkę wodą (najlepiej przy pomocy odpowiedniej menzurki) 2 do 3 cm powyżej poziomu odniesienia (kreski 0). Po pewnym czasie rozpocznie się filtracja i poziom wody w rurce zacznie opadać. Mierzy się czas jaki upływa przy obniżeniu poziomu wody od 0 do 4 lub 5 cm. Po czym ponownie napełniamy rurkę wodą powyżej zera i przy przepływie przez poziom zero ponownie włączamy stopery określając z góry wysokość obniżenia wody w rurce.

Dla każdego przyjętego obniżenia pomiar przeprowadzamy trzykrotnie, celem kontroli otrzymanych wyników. Pomiary należy przeprowadzić co najmniej dla trzech różnych poziomów obniżenia zwierciadła wody i trzykrotnie dla jednego położenia zwierciadła.

— przyrządem (b)

Stosując do określania współczynnika k metodą Kamińskiego należy dążyć do tego aby porowatość próbki odpowiadała porowatości gruntu w naturze.

W przypadku badań piasków gruboziarnistych, aby zapobiec powstawaniu zbyt wielkich prędkości przesączania, należy obniżyć początkową wysokość h_0 , realizuje się

to przez zanurzenie dolnego końca rurki w naczyniu wypełnionym całkowicie wodą jak pokazano na rys. b.

Sposób wykonania ćwiczenia jest taki sam jak w przypadku badań piasków drobnoziarnistych. W obydwu przypadkach mierzymy temperaturę wody przefiltrowanej.

Wyniki badań zapisujemy w tabelicy 3.10.2.

Tablica 3.10.2

Zestawienie wyników pomiarów i obliczeń współczynnika k za pomocą przyrządów a i b

Lp.	L	S	h_0	τ_1	τ_2	τ_3	$\bar{\tau}$	$\frac{L}{\bar{\tau}}$	$\ln\left(1 - \frac{s}{h_0}\right)$	k_e	k_{10}	uwagi
	(m)			(s)				m/s		m/s		

3.10.5. Opracowanie wyników

3.10.5.1. Opracowanie wyników otrzymanych z badań metodą Darc'y

Na podstawie wyników zamieszczonych w tabelicy 3.10.1 należy sporządzić wykres zależności $V = f(I)$ na papierze milimetrowym.

Otrzymane wartości z poszczególnych pomiarów będą się między sobą różniły, dlatego też należy obliczyć wartość oczekiwaną i błąd pomiaru.

Wartość współczynnika filtracji porównać z danymi literaturowymi oraz obliczonymi przy pomocy stosowanych dla danego rodzaju gruntu wzorów empirycznych.

Następnie sprawdzić czy spełniony został warunek ruchu laminarnego, posługując się odpowiednimi wzorami.

3.10.5.2. Opracowanie wyników z pomiarów metodą Kamińskiego

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów należy obliczyć współczynnik filtracji dla danego gruntu z zależności:

$$k_t = \frac{1}{\tau} \ln \left(1 - \frac{s}{H_0} \right)$$

oraz

$$k_{10} = \frac{k_t}{0,7 + 0,03 t}$$

gdzie:

- l — wysokość próbki w cm,
- τ — czas w sekundach w ciągu, którego zwierciadło wody obniży się o wielkość s,
- s — wielkość obniżenia zwierciadła wody w cm,
- h_0 — wysokość poziomu wody na początku w cm,
- t — temperatura w $^{\circ}\text{C}$, w której wyznaczono wartość k_t .

Obliczone wartości współczynnika filtracji k_t w temperaturze t $^{\circ}\text{C}$ zredukować do wartości T = 10 $^{\circ}\text{C}$ oraz sprawdzić, czy słusznie założono laminarny ruch przesączającej się wody przez złożę próbki.

3.10.6. Własne uwagi i spostrzeżenia

Podać dlaczego do obliczeń praktycznych przyjmujemy z krzywej przesiewu średnicę miarodajną ziaren?

Czy jest możliwe zobrazowanie współczynnika filtracji w warunkach naturalnych całej warstwy wodonośnej?

Porównać wyniki współczynnika filtracji z danymi otrzymanymi przez innych autorów i podać ewentualne rozbieżności otrzymanych wyników.

Podać ewentualne uwagi i spostrzeżenia własne.

3.11. Wyznaczanie prędkości średniej przepływu powietrza w przewodach wentylacyjnych

3.11.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest praktyczne zapoznanie się z wyznaczaniem prędkości średniej V_{sr} w przewodach wentylacyjnych.

3.11.2. Wprowadzenie

Powietrze jako gaz rzeczywisty przy przepływie przez przewody napotyka na opory tarcia.

Prędkość w kanale formuje się w zależności od oddziaływania sił stycznych między ściankami kanału a płynem. Przebieg formowania się rozkładu prędkości jest zależny od rodzaju ruchu.

Najczęściej w technice spotykamy się z przepływem burzliwym powietrza w kanałach. Osobliwością tego przepływu jest to, że im większa jest liczba Re, tym rozkład prędkości staje się bardziej płaski.

Znając rozkład prędkości można wyznaczyć prędkość średnią przez uśrednienie rozkładu prędkości a tym samym możemy wyznaczyć natężenie przepływu w określonym odcinku przewodu.

Najbardziej rozpowszechnionym w praktycznych pomiarach sposobem jest pomiar prędkości z wykorzystaniem rurki Prandtla.

Prędkość średnią określa się jako średnią arytmetyczną prędkość „lokalnych” V_i w kilku różnych punktach przekroju poprzecznego strumienia powietrza płynące przewodem.

Przekrój poprzeczny, w którym dokonuje się pomiaru prędkości należy wybrać możliwie z dala od elementów zakłócających warunki przepływu powietrza a więc w odległości co najmniej 5 do 6 średnic równoważnych przewodu przed i za przeszkodą. Prędkość V_i w danym punkcie przewodu wentylacyjnego określona jest wzorem:

$$V_i = \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}} \quad (3.11.1)$$

gdzie:

V_i – prędkość lokalna w danym punkcie,

Δp – miara wzrostu ciśnienia w punkcie całkowitego zahamowania prędkości,

ρ – gęstość powietrza.

Znając prędkości lokalne, średnią prędkość możemy określać z zależności:

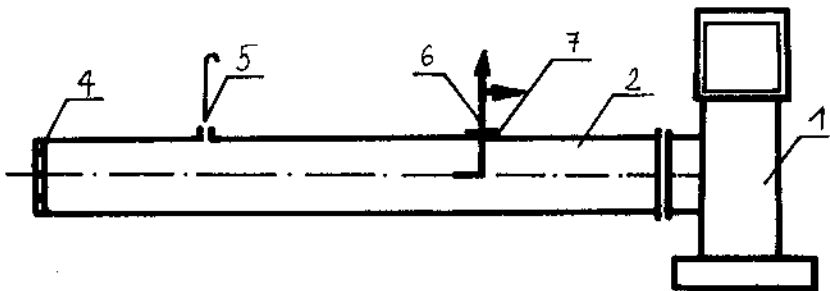
$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad (3.11.2)$$

gdzie:

n – jest liczbą płaszczyzn o równych polach, na które podzielono przekrój przepływowy.

3.11.3. Schemat i opis stanowiska

Wyznaczanie doświadczalne prędkości średniej przepływu powietrza odbywa się na stanowisku, którego schemat przedstawiono na rysunku 3.11.1.

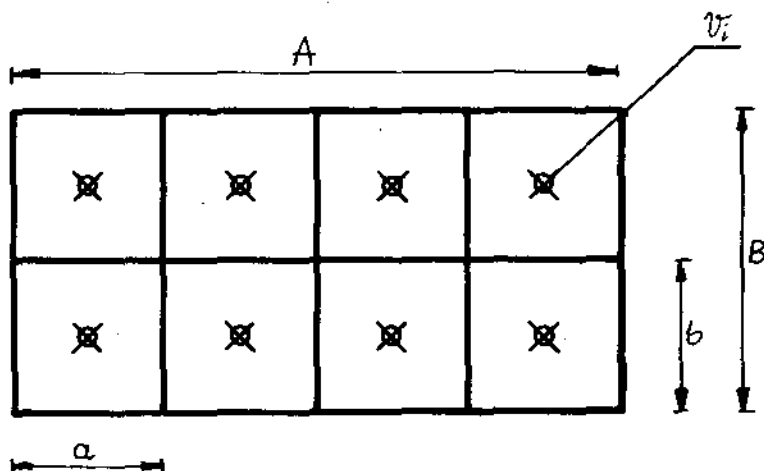


Rys. 3.11.1.

Powietrze ssane jest przez wentylator (1), odcinkiem pomiarowym kanału (2) w którym wbudowano rurkę Prandtla (3). Odcinek pomiarowy kanału (2) stanowi element wymienny i może być o kształcie kołowym, prostokątnym lub kwadratowym. Na początku odcinka pomiarowego zainstalowano kratkę wentylacyjną (4) i w pewnej odległości przesłonę (5), która służy do regulacji ilości zassanego powietrza. Uchwyt rurki Prandtla (6) został skonstruowany w ten sposób, że umożliwia dokonywanie pomiarów w różnych punktach przekroju poprzecznego przewodu. Pomiar ciśnienia prowadzony jest za pomocą mikromanometru typu Ascania, którego końcówki do odbioru impulsu ciśnienia zostały połączone do odpowiednich końcówek rurki Prandtla (6) za pomocą węży gumowych.

3.11.4. Sposób wykonania ćwiczenia

Jeśli przekrój poprzeczny przewodu jest prostokątny jak to pokazano na rys. 3.11.2 jego powierzchnię dzieli się na szereg powierzchni o różnych polach i w środkach ciężkości tych określa się lokalną prędkość V_i strumienia.

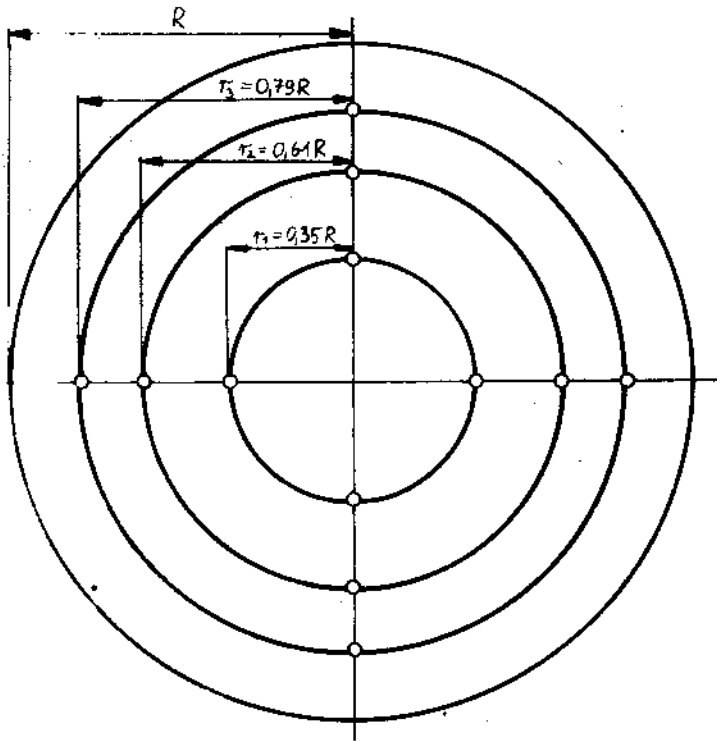


Rys. 3.11.2.

Podziału powierzchni w badanych przekrojach dokonuje się kierując następującymi zasadami:

- powierzchnie powinny mieć kształt zbliżony do kwadratu,
- kanał o polu przekroju $\leq 0,35 \text{ m}^2$ należy podzielić na co najmniej 16 części,
- kanał o polu przekroju $> 0,35 \text{ m}^2$ należy przedzielić na większą niż 16 części, tak aby pole 1 powierzchni nie było większe od $0,03 \text{ m}^2$.

Jeżeli przekrój poprzeczny jest kołowy, to jego powierzchnię dzieli się na n części o jednakowych polach okręgami zakreślonymi ze środka koła tworzącego przekrój. Pomiar prędkości lokalnych V_i określa się co najmniej w czterech punktach każdego pierścienia leżących na okręgu dzielącym powierzchnię pierścienia na dwie części rys. 3.11.3.



Rys. 3.11.3.

Liczba pierścieni na które został podzielony przekrój zależy od średnicy przewodu. Praktycznie zaleca się aby dla średnicy 200 mm liczba pierścieni wynosiła co najmniej 3, dla średnicy 200 do 400 mm liczba pierścieni wynosiła co najmniej 4, 400 do 700 mm liczba pierścieni wynosiła co najmniej 5.

Odległość punktów pomiaru od środka przewodu o promieniu R określa się z zależności:

$$r_i = R \sqrt{\frac{2i - 1}{n}} \quad (3.11.3)$$

gdzie:

r_i — odległość i — tego punktu pomiaru od osi przewodu,

i — numer początkowy punktu pomiaru,

n — całkowita liczba pierścieni, na którą podzielono powierzchnię przekroju przewodu.

3.11.5. Opracowanie wyników

Z odnotowanych w tablicy 3.11.1 danych prędkości przepływu obliczamy ze wzoru:

$$v = \sqrt{\frac{2 \rho_m g (h_1 - h_0)}{1000 k \xi}} \quad (3.11.4)$$

gdzie:

- ρ_m – gęstość cieczy manometrycznej,
- ξ – gęstość powietrza w przekroju pomiarowym.

Gęstość powietrza obliczamy ze wzoru:

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (3.11.5)$$

gdzie:

- p – ciśnienie powietrza w przybliżeniu równe ciśnieniu atmosferycznemu,
- R – stała gazowa dla powietrza (287 J/kg K)

$$p = p_a = \frac{\rho_{Hg} g h_a}{1000} \quad (3.11.6)$$

gdzie:

- ρ_{Hg} – gęstość rtęci,
- h_a – wskazanie barometru,
- T – temperatura powietrza w K, w przybliżeniu równa temperaturze powietrza atmosferycznego

$$T = 273 + t_{pa}$$

t_{pa} – temperatura powietrza według wskazań termometru.

W oparciu o wartości obliczonych prędkości lokalnych należy wykonać wykres rozkładu prędkości w przekroju przewodu.

Podać wnioski wynikające z wykresu dotyczące charakteru ruchu badanego strumienia. Wyniki obliczeń zamieścić w tablicy 3.11.2, której wzór podano poniżej. Wykres $v = h(r^2)$ sporządzić na papierze milimetrowym zachowując skalę dla prędkości v_1 przyjmując $1\text{m/s} = x\text{mm}$, a dla kwadratu promienia r^2 skalę $1\text{m}^2 = y\text{mm}$.

Obliczyć powierzchnię schodkową wykresu $A\text{mm}^2$. Wartość prędkości średniej obliczyć ze wzoru:

Zestawienie wyników pomiarów i obliczeń

Nr przekroju	Punkt pomiaru	r_n	$p=p_a$	T	A	α	$v_{\text{śr}}$	Re
—	n	mm	N/m ²	K	mm ²	$\frac{m^3}{s \cdot mm^2}$	—	—

$$v_{\text{śr}} = \frac{a \cdot A}{2 R^2} \quad (3.11.7)$$

gdzie:

a — całkowita skala wykresu

$$a = \frac{1}{x \cdot y} \quad (3.11.8)$$

A — powierzchnia schodkowa wykresu.

3.11.6. Własne uwagi i spostrzeżenia

Podać jak może wpływać na wyniki pomiarów skośne ustawienie rurki Prandtla, oraz podać ewentualne inne uwagi i spostrzeżenia własne.

4. TABLICE POMOCNICZE

4.1. Najczęściej używane w mechanice płynów litery alfabetu greckiego

A α	—	alfa;	N ν	—	ni,
B β	—	beta;	Ξ ξ	—	ksi;
Γ γ	—	gamma;	O o	—	omikron;
Δ δ	—	delta;	Π π	—	pi;
E ε	—	epsilon;	P ρ	—	ro;
Z ζ	—	dzeta;	Σ σ	—	sigma;
H η	—	eta;	Τ τ	—	tau;
Θ θ	—	theta;	Υ υ	—	ypsylon;
I ι	—	jota;	Φ φ	—	fi;
K κ	—	kappa;	X χ	—	chi;
Λ λ	—	lambda;	Ω ω	—	omega.
M μ	—	mi	Ψ ψ	—	psi

4.2. Ważniejsze stałe matematyczne i fizyczne niezbędne przy realizacji ćwiczeń

π	—	3,14159625;	g	—	9,809;
π ²	—	9,869604;	2g	—	19,63;
√π	—	1,772454;	g ²	=	96,2361;
			√g	=	3,132092;
e	—	2,718282;	ln 100	=	4,60517019;
e ²	—	7,389056;	ln	=	1,14472989;
√e	—	1,64872;	lg e	=	0,43429;
1 : e	—	0,367879;			

4.3. Wartości współczynnika lepkości wody w różnych temperaturach

Temperatura wody	Współczynnik lepkości	
	dynamiczny — μ	kinematyczny — ν
°C	Ns/m ²	m ² /s
0	0,001789	0,00000 1789

5. LITERATURA

1. Bukowski J.: Mechanika płynów, PWN, Warszawa 1975.
2. Czetwertyński E., Utrysko B. Hydraulika i hydromechanika, PWN, Warszawa 1969.
3. Ćwiczenia laboratoryjne z Mechaniki płynów (praca zbiorowa), PWN, Warszawa 1977.
4. Ćwiczenia laboratoryjne z mechaniki płynów (praca zbiorowa), PWN, Wrocław 1979.
5. Ćwiczenia laboratoryjne z Mechaniki płynów, Zdzisław Orzechowski, WPEŁ, Łódź 1976.
6. Kołodziejczyk L., Rubik M., Mańkowski S.: Pomiarzy w inżynierii sanitarnej, Arkady, Warszawa 1974.
7. Kuratow T.: Pomiarzy przepływów cieczy, par i gazów. Katowice, Wydawnictwo Śląsk 1967.
8. Prandtl L.: Dynamika przepływów, Warszawa, PWN 1956.
9. Prosnak W.J.: Mechanika płynów, t. I i II, PWN, Warszawa 1972.
10. Troskołański A.T.: Hydrodynamika techniczna, t. III. Pomiarzy wodne. Warszawa PWT 1957.
11. Walden H., Stasiak J.: Mechanika cieczy i gazów w inżynierii sanitarnej, Arkady, Warszawa 1971.
12. Strzałkowski A., Śliżyński A.: Matematyczne metody opracowania wyników pomiarów, PWN, Warszawa 1973.