

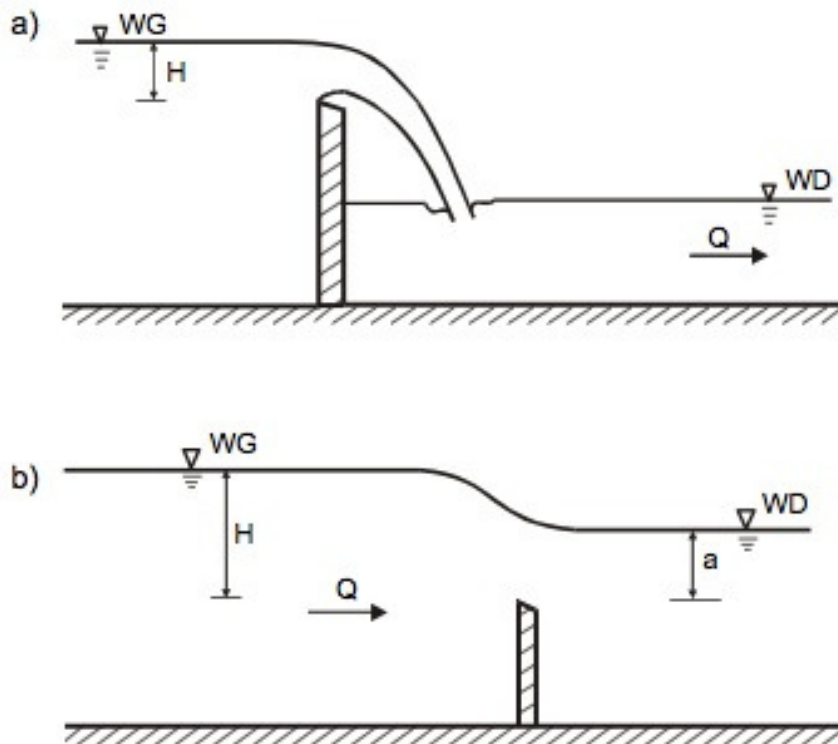
Metody doświadczalne w hydraulice

Ćwiczenia laboratoryjne

1. Badanie przelewu o ostrej krawędzi

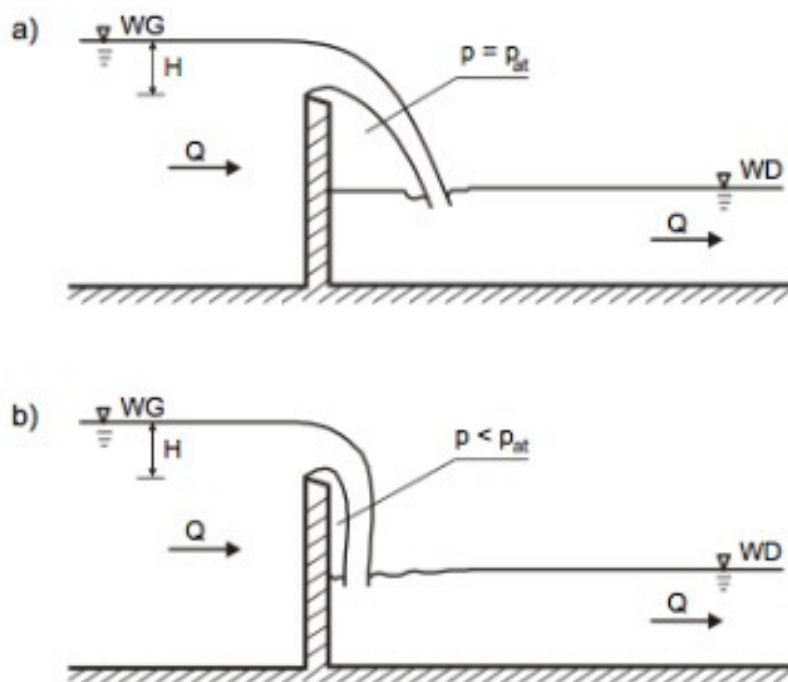
Wprowadzenie

Przelewem nazywana jest część przegrody umiejscowionej w kanale, ponad którą może nastąpić przepływ. Jeżeli przelew ma kształt wąskiej ścianki umieszczonej w poprzek koryta, nosi nazwę **przelewu o ostrej krawędzi**. Grubość ścianki d w przypadku tego typu przelewów spełnia zależność $d < 0.67 H$, gdzie H jest tzw. obciążeniem przelewu, określającym położenie zwierciadła wody przed przelewem w stosunku do położenia krawędzi przelewowej.



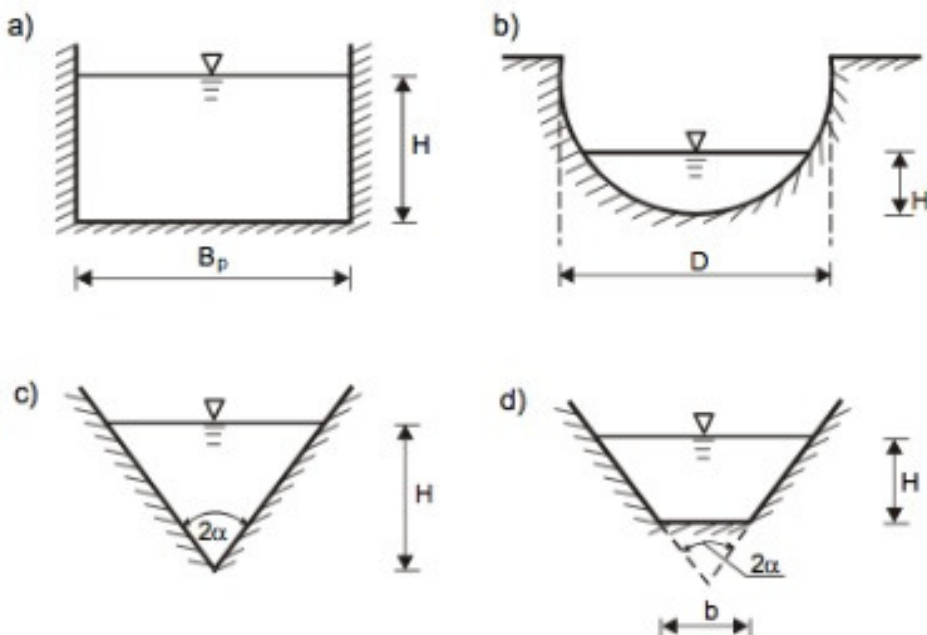
Rys.1. Hydrauliczne warunki pracy przelewów o ostrej krawędzi:
a) przelew niezatopiony, b) przelew zatopiony

W zależności od układu zwierciadła wody za przelewem, urządzenie może pracować jako **niezatopione** (przelew zupełny – rys. 1a) lub **zatopione** (przelew niezupełny – rys. 1b). W przypadku przelewów niezatopionych, między strumieniem przelewającej się cieczy a ścianką powstaje wolna przestrzeń. Jeżeli do przestrzeni tej może swobodnie dopływać powietrze z otoczenia, panujące w niej ciśnienie jest równe ciśnieniu atmosferycznemu, a przelew nosi nazwę **swobodnego** (rys. 2a). Taki typ przelewu jest często stosowanym urządzeniem do pomiaru natężenia przepływu, dającym wyniki o dużej dokładności. Jeżeli jednak przestrzeń między ścianką a strumieniem pozbawiona jest swobodnego dostępu powietrza, powstaje tam podciśnienie powodujące częściowe lub całkowite wypełnienie przestrzeni wessaną ze strumienia wodą. W takiej sytuacji przelew nazywany jest **nieswobodnym** (rys. 2b).



Rys. 2. Przelewy o ostrej krawędzi – układ strumienia przelewającej się cieczy:
a) przelew swobodny, b) przelew nieswobodny

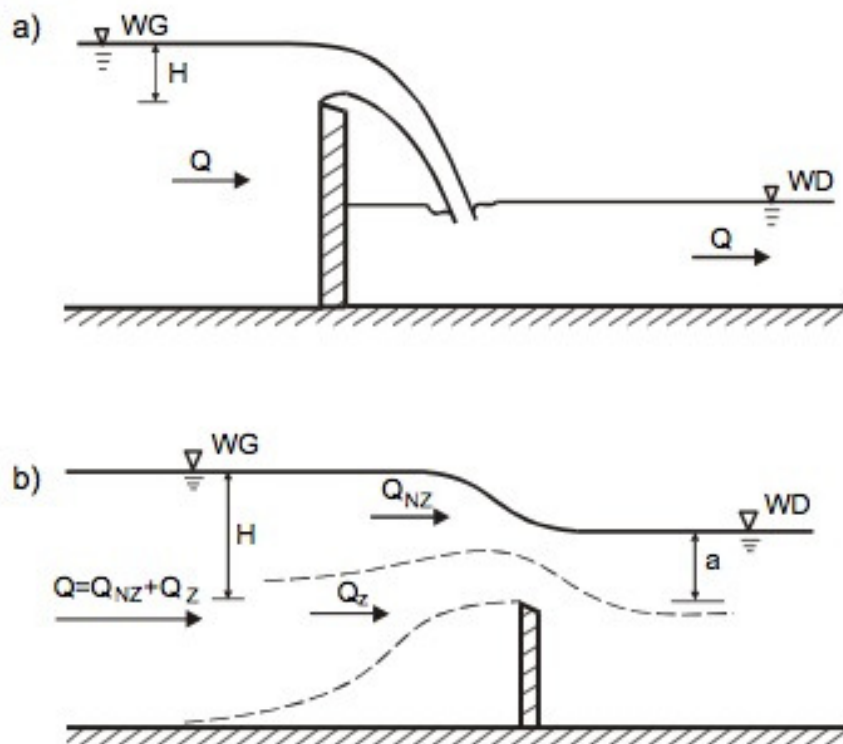
W skrajnym przypadku, zwykle przy cienkiej warstwie przelewającej się cieczy, strumień może ulec przyklejeniu do ścianki, tworząc tzw. **przelew podtopiony**. Obie z powyższych sytuacji nie są korzystne, zarówno ze względu na możliwości pomiaru natężenia przepływu, jak i bezpieczeństwa (możliwość powstania zjawiska kawitacji).



Rys. 3. Kształty przekrojów poprzecznych przelewów o ostrej krawędzi:
a) prostokątny, b) kołowy, c) trójkątny, d) trapezowy

Przelewy o ostrej krawędzi można dodatkowo klasyfikować ze względu na ich kształt w przekroju poprzecznym przez kanał (rys. 3). Do najpopularniejszych należą przede wszystkim przelewy prostokątne, kołowe oraz trójkątne, a wśród tych ostatnich tzw. **przelew Thomsona**, który jest przelewem o kształcie trójkąta prostokątnego. Rzadziej stosowane są przelewy trapezowe lub o kształtach specjalnych.

Relacje między natężeniem przepływu a położeniem zwierciadeł wody przed i za przelewem zależna jest od hydraulicznych warunków pracy tego urządzenia (przelew niezatopiony lub zatopiony). W przelewie niezatopionym zwierciadło wody dolnej znajduje się poniżej krawędzi przelewowej i jego położenie nie ma wpływu na natężenie przepływu (rys. 4a).



Rys. 4. Obliczanie wydatku prostokątnego zależności od hydraulicznych warunków pracy przelewu:
a) przelew niezatopiony, b) przelew zatopiony

Wydatek **prostokątnego przelewu niezatopionego** może być określany formułą:

$$Q = \frac{2}{3} \mu B_p \sqrt{2g} H_o^{3/2} \quad (1)$$

Gdzie B_p jest szerokością przelewu, μ - współczynnikiem wydatku przelewu, zaś

$$H_o = H + \frac{\alpha v^2}{2g} \quad (2)$$

Przy czym H jest tzw. obciążeniem przepływu (rys.4), v – średnią prędkość przepływu w przekroju przed przelewem zaś α – współczynnikiem de Saint Venanta. Najczęściej jednak człon $\alpha v^2/2g$ jest pomijany ze względu na niewielką wartość i ostatecznie:

$$Q = \frac{2}{3} \mu B_p \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (3)$$

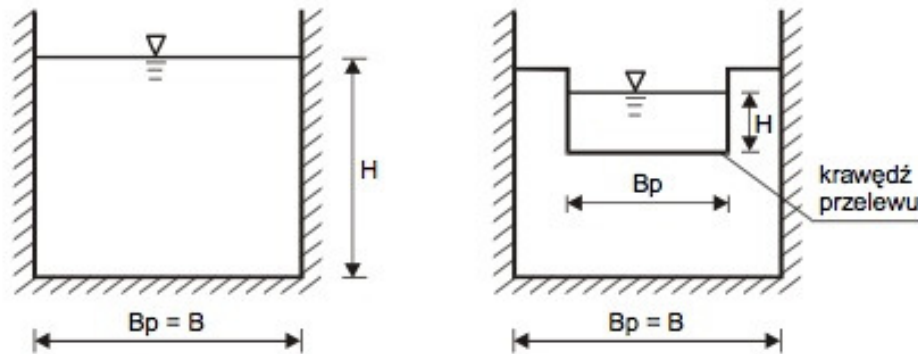
W przypadku **przelewu zatopionego** zwierciadło wody dolnej znajduje się powyżej krawędzi przelewanej (rys. 4b) i jego położenie wpływa na wydatek w kanale. Obliczeniowo strumień przepływającej cieczy najczęściej dzielony jest na dwie części, a wydatek wyznaczany jest jako suma natężeń przepływu przez część niezatopioną i zatopioną:

$$W = \frac{2}{3} \mu_{NZ} B_p \sqrt{2g} (H - a)^{3/2} + \mu_z B_p a \sqrt{2g(H - a)} \quad (4)$$

gdzie μ_{NZ} i μ_z są współczynnikami wydatku odpowiednio dla części niezatopionej i zatopionej, zaś a jest spiętrzeniem wody dolnej nad krawędzią przelewającą (rys. 4b).

Na wydatek przelewu istotny wpływ ma zjawisko **kontrakcji bocznej**. Jeżeli szerokość przelewu jest równa szerokości kanału ($B_p = B$), mówimy o przelewie bez kontrakcji bocznej (bez dławienia bocznego). W przeciwnym przypadku mamy do czynienia z przelewem z kontrakcją boczną (rys. 5). Efekt dławienia uwzględniny jest w formule na wydatek w różnej wartości współczynnika wydatku.

Jak widać, z praktycznego punktu widzenia korzystniejsze są warunki braku zatopienia przelewu, gdyż do określenia natężenia przepływu wystarczająca jest jedynie znajomość położenia zwierciadła wody przed przelewem, podczas gdy dla przelewu zatopionego należy określić rzędne zwierciadła wody zarówno przed jak i za przelewem.



Rys. 5. Dławienie boczne strumienia przy przepływie przez przelew:
a) bez kontrakcji, b) z kontrakcją

Współczynniki wydatku przelewu o ostrej krawędzi

Jak wiadomo, współczynnik wydatku przelewu jest parametrem wiążącym wydatek rzeczywisty na przelewie z wydatkiem teoretycznym, czyli takim, jaki byłby obserwowany, gdyby przepływ odbywał się bez strat energii, przelew pracował bez kontrakcji oraz spełnione były inne założenia, czynione na etapie wyprowadzenia teoretycznego wydatku z równania Bernoulliego dla cieczy nielekkiej. Zatem:

$$Q = \mu Q_{\text{teor}} \quad (5)$$

Współczynnik wydatku można więc uważać za pewną "poprawkę" nakładaną na wydatek teoretyczny w celu uzyskania rzeczywistej jego wartości. Można wykazać, że wydatek teoretyczny niezatopionego przelewu, wyprowadzony z równania Bernoulliego dla cieczy

nielekkiej i równania ciągłości, przy założeniu pominięcia prędkości dopływowej do przelewu, określa zależność:

$$Q_{teor} = \frac{2}{3} B_p \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (6)$$

Po podstawieniu do (5) formuły na Q_{teor} (6) uzyskuje się relacje (3). Analogicznie można postąpić w przypadku przelewu zatopionego, przy czym osobno rozpatrywana jest część zatopiona i niezatopiona, z których każdą może charakteryzować inny współczynnik wydatku. Ostatecznie uzyskuje się formułę (4). Jednakże, jak już wspomniano, przypadek przelewu zatopionego nie jest korzystny z punktu widzenia pomiaru natężenia przepływu. W dalszej części zostanie zatem omówione wyznaczanie współczynnika wydatku przelewu niezatopionego.

Najlepszą metodą określenia współczynnika wydatku przelewu jest metoda doświadczalna. W przypadku przelewu niezatopionego sprowadza się ona do zmierzenia natężenia przepływu w kanale i rzędnej zwierciadła wody przed przelewem, a następnie określenia wartości współczynnika μ z przekształconej zależności (3):

$$\mu = \frac{3}{2} \frac{Q}{B_p \sqrt{2g} H^{3/2}} \quad (7)$$

Ze względu jednak na zmienność tego współczynnika w zależności od obciążenia przelewu H , czynność tę należy powtórzyć dla zmiennych wartości H i ostatecznie możliwe jest podanie średniej wartości μ dla danego przelewu.

Oprócz metody doświadczalnej, współczynnik wydatku można w sposób przybliżony określić na podstawie wzorów empirycznych. Do najpopularniejszych należy wzór Bazina dla przelewu niezatopionego bez kontrakcji bocznej:

$$\mu_B = \left(0,6075 + \frac{0,0045}{H} \right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{H}{H+P} \right)^2 \right] \quad (8)$$

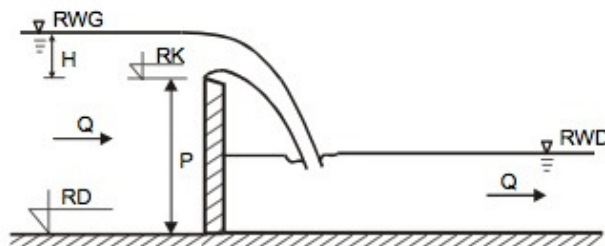
gdzie H jest obciążeniem przelewu, zaś P – wysokością przelewu, przy czym obie te wartości należy pozostawić w metrach. Wzór ten był sprawdzany dla $0,08\text{m} \leq H \leq 0,7\text{m}$; $0,2\text{m} \leq P \leq 2,0\text{m}$ oraz $B_p > 4H$ i ważny jest dla przelewu swobodnego.

W ćwiczeniu przeprowadzane jest tarowanie niezatopionego przelewu o ostrej krawędzi oraz określany jest profil podłużny zwierciadła wody przy przepływie przez ten przelew.

Przebieg ćwiczenia:

- 1) Ustalić natężenie przepływu Q w kanale (przelew o ostrej krawędzi powinien pracować jako niezatopiony). Upewnić się, czy przelew jest swobodny; jeśli nie – za pomocą rurki doprowadzić powietrze do przestrzeni między strumieniem a ścianką aż do zrównania ciśnienia w tej przestrzeni z ciśnieniem atmosferycznym. Wyznaczyć profil zwierciadła wody w strumieniu (należy pomierzyć górną i dolną powierzchnie strumienia przelewającej się cieczy) oraz pomierzyć rzędną dla RD i rzędną krawędzi przelewowej RK (rys. 6). Pomiaru RD dokonać w 3 punktach i do dalszych obliczeń przyjąć wartość średnią (założenie, że dno kanału jest poziome). Wyniki zanotować.
- 2) Zmierzyć szerokość kanału B , określić światło przelewu B_p .

- 3) Obliczyć współczynnik wydatku przelewu za pomocą wzoru Bazina (8) oraz wydatek przelewu Q .
- 4) W formie tabelarycznej w przedstawić pomierzone i obliczone wielkości.
- 5) Obliczyć wartość wysokości krytycznej dla przepływu poniżej przelewu (woda dolna).
- 6) Obliczyć teoretyczne wartości parametrów odskoku hydraulicznego: h_1 , h_2 , F_r , L .



RWG - rzędna wody górnej,
 RWD - rzędna wody dolnej,
 RD - rzędna dna kanału,
 RK - rzędna korony przelewu,
 H - obciążenie przelewu ($H = RWG - RK$)

Rys. 6. Schemat przelewu o ostrej krawędzi.

Opracowanie wyników pomiaru:

Wyznaczyć wartość współczynnika wydatku według wzoru Bazina oraz obliczyć wartość wydatku przepływu dla zmierzonych wartości geometrycznych.

Zawartość sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

- Cel ćwiczenia.
- Krótki wstęp teoretyczny z przedstawieniem wzorów na natężenie przepływu przez przelew niezatopiony i zatopiony.
- Szkic stanowiska pomiarowego.
- Opis przebiegu doświadczenia;
- Zestawienie wyników pomiarów i obliczeń w tabeli.
- Obliczyć wartość wysokości krytycznej.
- Obliczyć teoretyczne wartości parametrów odskoku hydraulicznego: h_1 , h_2 , F_r oraz L (wzór Wójcickiego i Pawłowskiego).
- Współczynnik zatopienia odskoku.
- Wyjaśnić co to jest ruch podkrytyczny oraz odskok hydrauliczny, w jakich warunkach powstają (szkic)?
- Wnioski, spostrzeżenia

Przykładowa forma tabeli z wynikami

Pomiar	RWG [m]	RWD [m]	RK [m]	H [m]	Współczynnik wydatku przelewu	Wydatek przelewu	Głębokość krytyczna
					μ_b	Q [m ³ /s]	h_{kr} [m]
1							
2							