

Z zależności $h = \frac{1}{2} g t^2$ oraz $a = v t$ możemy napisać

$$v = a \sqrt{\frac{g}{2h}} = \frac{2,215 a}{\sqrt{h}}$$

$$Q = v \frac{\pi d^2}{4} \text{ m}^3/\text{sek}$$

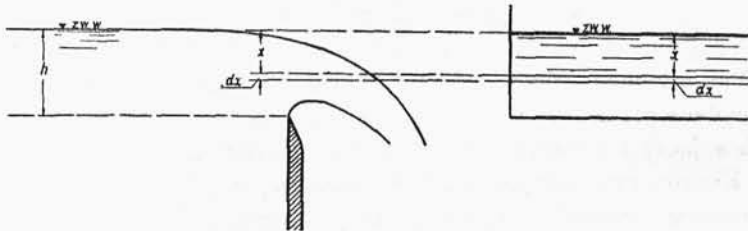
Jeżeli rura nachylona jest do poziomu pod kątem α , wzór przekształci się na

$$v = \frac{2,215 a}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{1}{h \pm a \operatorname{tg} \alpha}}$$

znak $+$ dla pochylenia ku górze, $-$ dla pochylenia ku dołowi. Doświadczenia wykonane w Politechnice Gdańskiej⁷⁵⁾ wykazały dokładność pomiaru obracającą się w granicach 0,4... 0,8%.

3. Pomiar przy pomocy przelewu

Pomiar przy pomocy przelewu polega na przegrodzeniu koryta przepływowego ścianą spiętrzającą wodę i zmierzeniu wysokości przelewającej się warstwy.



Rys. 188.
Przelew.

Ilość wody obliczymy (rys. 188) wzorem:

$$dQ = dA v = dA \sqrt{2gx}; \quad Q = \int_0^h dA \sqrt{2gx}$$

A oznacza pole przepływu, v — prędkość przepływu.

Przy założeniu regularnego kształtu przekroju przelewowego (prostokąta, trapezu, trójkąta lub koła) prawą stronę równania możemy zcałkować i otrzymać prosty wzór na wydatek wody. Np. dla przekroju prostokątnego o szerokości b otrzymujemy teoretycznie

$$Q = \int_0^h b \sqrt{2g} x^{1/2} dx = \frac{2}{3} b \sqrt{2g} h^{3/2} \text{ m}^3/\text{sek.}$$

⁷⁵⁾ R. Winkel. Ballistische Wassermengen-Ermittlung, Bautechnik. 1931 r. Nr 38.
Hydrologia III.

Wobec zwięzienia strugi przelewającej się wody i pewnych strat faktyczny wydatek będzie mniejszy, co korygujemy wprowadzając doświadczalny współczynnik wydatku μ . Wobec czego

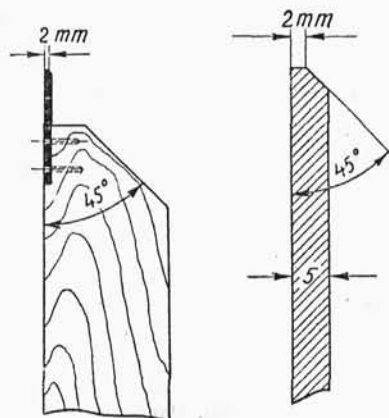
$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} h^{3/2} \text{ m}^3/\text{sek.}$ W razie znaczniejszej prędkości dopływającej wody przez x rozumieć należy wzniesienie linii energii ponad krawędź przelewu; wtedy zamiast $h^{3/2}$ otrzymamy $\left[\left(h + \frac{v^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{v^2}{2g} \right)^{3/2} \right]$.

Przelewy, które stosuje się do pomiarów, należy tak urządzać, by następował przelew zupełny. Wzniesienie korony ponad wodę dolną powinno być na tyle duże, by strumień wody był od dołu całkowicie wolny i by mogła się pod nim wytworzyć przestrzeń wypełniona powietrzem o ciśnieniu równym atmosferycznemu. W razie stosowania przelewu o szerokości równej szerokości koryta prowadzącego wodę, bez tak zwanej kontrakcji bocznej, dla spełnienia wyżej podanego warunku trzeba umożliwić dostatecznie duży dopływ powietrza pod przelewającą się strugę, w przeciwnym razie mogłoby nastąpić stopniowe wyssanie powietrza z przestrzeni zamkniętej i przyssanie strugi do ściany przelewu, a z tym—zmiana doświadczalnego współczynnika μ . Według niemieckich przepisów (Regeln für Wassermengen-Messungen bei Abnahme von Wasserkraftmaschinen wydane przez V. D. I. 1936) należy dawać na $0,1 \text{ m}^2$ przekroju przelewającej się warstwy wody 5 cm^3 przekroju powietrznego.

Koryto, prowadzące wodę na przelew, powinno być proste co najmniej na długości równej 4-krotnej maksymalnej wysokości przelewającej się warstwy wody albo 1,5-krotnej szerokości przelewu⁷⁶⁾. Ściany koryta muszą być prostopadłe do dna i równoległe do siebie oraz przed i za przelewem leżeć w tej samej płaszczyźnie. Dno koryta winno być poziome na długości co najmniej trzykrotnej maksymalnej wysokości przelewającej się warstwy, ściana przelewu pionowa i prostopadła do osi koryta. Przelewy bez kontrakcji bocznej powinny posiadać ściany boczne pionowe. Krawędź przelewowa powinna mieć kształt jak wykazuje rys. 189. Podobnie wyglądać muszą krawędzie boczne przelewów z kontrakcją zupełną. W tym ostatnim wypadku przelew należy umieścić symetrycznie, tak by oś przelewu schodziła się z osią koryta. Należy oddać pierwszeństwo przelewom bez bocznej kontrakcji ze względu na prostsze warunki ru-

⁷⁶⁾ Angielskie „Standard tests for hydraulic power plants” (Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. 1924, Str. 281) podają, że długość kanału powinna przekraczać wartość $30 h$.

chu. Przednia część przelewu (od strony wody) musi być gładka i dokładnie pionowa. Woda nie powinna doznawać przeszkód na przelewie i w sąsiedztwie przelewu. W wypadku użycia metalowej blachy, przymocowanej do drewnianej ściany, śruby powinny być wpuszczone. Jeśli używa się prostokątnego przelewu, korona musi być ustawiona dokładnie poziomo, jeśli trójkątnego, obie jego krawędzie muszą być jednakowo nachylone do poziomu.

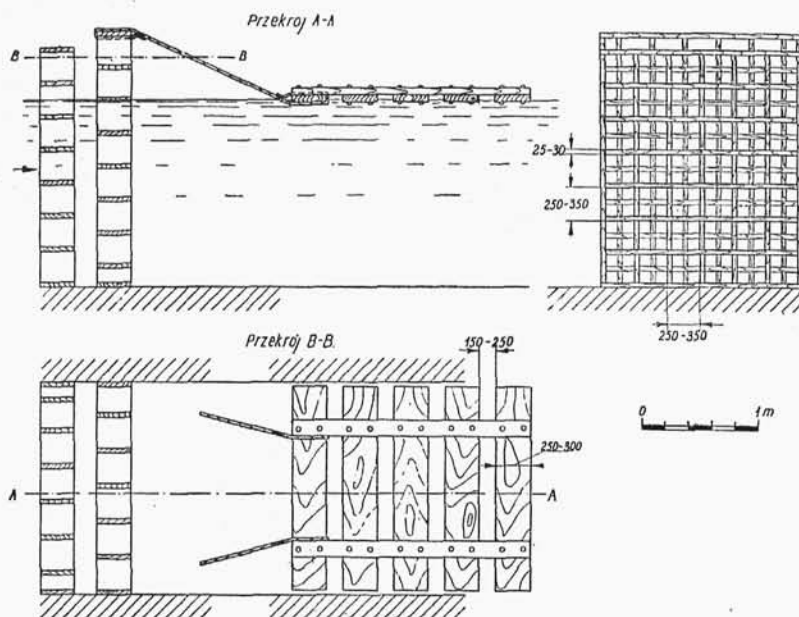


Rys. 189.

Krawędź przelewu.

Doprowadzenie wody do koryta przelewowego powinno być urządzone w kierunku osi koryta. Odchylenia od tej normy są dopuszczalne jedynie wtedy, gdy wlot do koryta może być urządzony w odległości równej co najmniej 10-krotnej szerokości przelewu. Jednak zawsze należy sprawdzić, czy przepływ powyżej przelewu jest równomierny, tj. czy strugi wody przebiegają równolegle, oraz czy woda na całej szerokości dopływa w przybliżeniu z jednakową prędkością do przelewu. Jeśli tak nie jest, to trzeba do tego doprowadzić przez umieszczenie uspokajających krat, sit lub przegród (rys. 190).

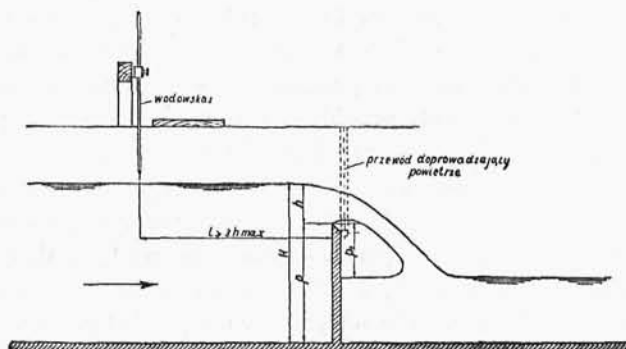
Wysokość warstwy przelewającej się wody należy mierzyć, według norm szwajcarskich, w odległości l równej co najmniej trzykrotnej maksymalnej wysokości przelewu (rys. 191 a, b, c). Angielskie „Standard tests . . .” (odsył. 76) określają tę minimalną odległość na $6h$ do $10h$. Przy przelewach, których szerokość jest mniejsza od 2 m, wystarcza pomiar wysokości warstwy przelewającej się wody w jednym miejscu, w osi kanału. Przy szerszych przelewach, 2 . . . 6 m, pomiar powinien być wykonany w dwóch punktach, a gdy szerokość jest większa od 6 m — w trzech punktach. Poszczególne punkty pomiarowe należy obrać w miejscach jednostajnie rozłożonych na szerokości



Rys. 190.

Sposób uspokojenia wody przed przelewem.

koryta. Przy pomiarze w wielu punktach za wysokość warstwy przelewającej się należy przyjąć wartość średnią arytmetyczną z poszczególnych odczytów.

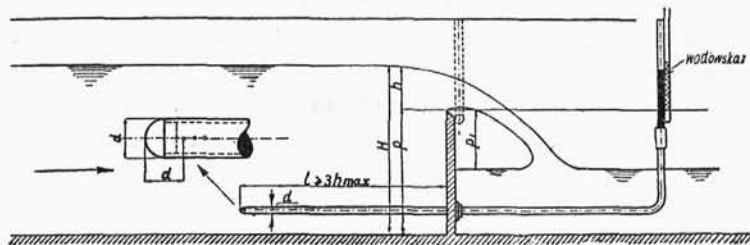


Rys. 191 a.

Umieszczenie wodowskazu przy przelewie.

Do dokładnego odczytywania poziomu wody używać należy wodowskazów szpilkowych. Najlepiej wodowskaz umieścić w skrzynce, przytwierdzonej na zewnątrz do ściany koryta i łączącej się z wodą

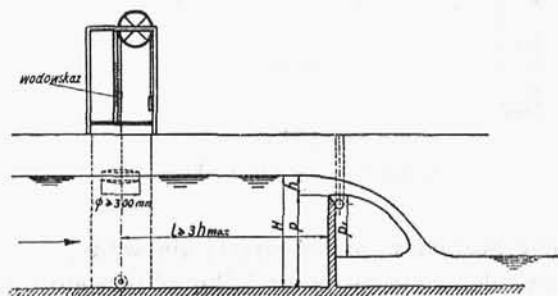
przed przelewem przy pomocy rury lub jednego albo więcej małych otworów w ścianie kanału. Kran umieszczony na rurze łączącej pozwoli na stłumienie ewentualnych wahań wody przed przelewem, a odpowiednie oświetlenie wody w skrzynce daje możliwość uzys-



Rys. 191 b.

Umieszczenie wodowskazu przy przelewie.

kania odbicia szpilki wodowskazowej w lustrze wody i przez to dwa razy dokładniejszego nastawienia szpilki. Przez umieszczenie noniusza na podziałce wodowskazu można odczytać poziom wody z dokładnością do 0,1 mm. Odczyty powinny być staranne, gdyż



Rys. 191 c.

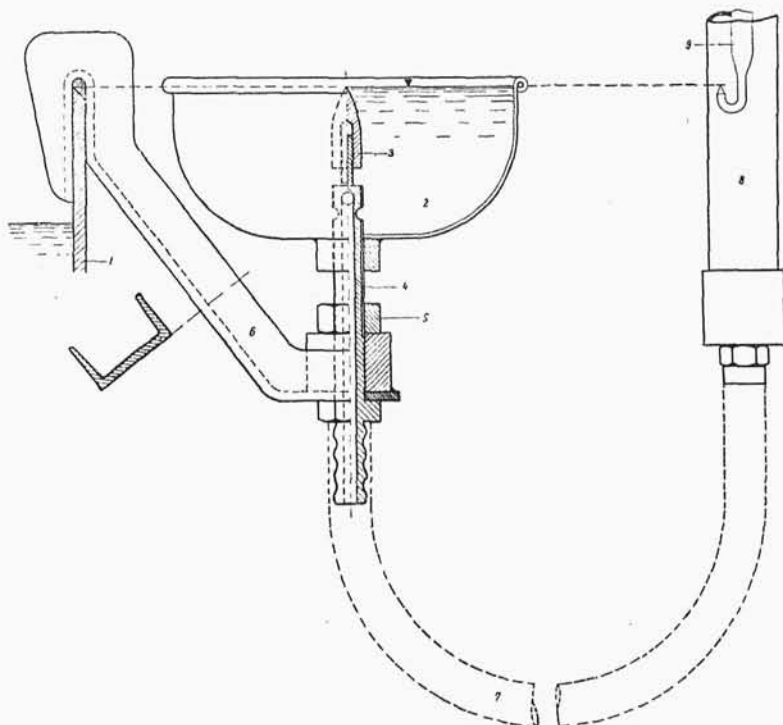
Umieszczenie wodowskazu przy przelewie.

błąd procentowy w odczycie daje 1,5 raza większy błąd w przepływie przy przelewach prostokątnych i 2,5-krotny błąd w przepływie przy trójkątnym przelewie.

Trzeba zwrócić baczną uwagę na to, by nie było przeciekania z boków i od dołu przelewu.

Ważną rzeczą jest ustalenie zera wodowskazu w stosunku do korony przelewu. W terenie wykonuje się to przy pomocy instrumentu niwelacyjnego. Dokładniej można ustalić zero wodowskazu przy pomocy przyrządu z poziomnicą przedstawionego na rys. 192a, lub przyrządu pokazanego na rys. 192b. Woda przed przelewem

Handeck⁷⁷⁾ (Oberhasliwerke — Szwajcaria), powtórzone następnie na modelu w laboratorium wykazały, że nierównomierność rozkładu prędkości w pionowych wpływa znacznie więcej na wielkość błędu niż nierównomierność w poziomych. Jeśli przepływ odbywa się



Rys. 192 b.

Ustalenie zera wodowskazu.

1. Przelew.
2. Naczynie z wodą.
- 3 i 9. Szpilki wodowskazowe nastawiane mikrometrycznie.
- 4 i 5. Pochwa i zaciski.
6. Ramię zakładane na koronę przelewu.
7. Rurka gumowa.
8. Cylinder szklany.

głównie przy dnie kanału (Grunddurchfluss), wzory dają za duże wartości, jeśli zaś woda płynie głównie w górnych częściach przekroju (Oberflächendurchfluss) — za małe wartości. Błędy pomiarów na wzmiankowanym przelewie dochodziły do $\pm 6,15\%$. Jeżeli więc

⁷⁷⁾ W. Dietrich. Wassermessungen mit Überfall in der Zentrale Handeck der Kraftwerke Oberhasli. Schweizerische Bauzeitung, 1932, Tom 99, Nr 1.

chodzi o bezwzględnie dokładne i pewne rezultaty pomiarów, to — o ile zachowanie wszelkich ostrożności nie wystarcza do osiągnięcia przepływu jednostajnego — przelew dla każdego wypadku winien być uprzednio wycechowany (cechowanie przeprowadzić można, jeśli warunki miejscowe w terenie są nieodpowiednie, na modelu w laboratorium).

Jak wykazuje R. Hailer⁷⁸⁾, nawet przy zachowaniu największych ostrożności błędy pomiarów przy pomocy przelewu dochodzić mogą do 1,7%. Używał on różnego rodzaju materiału na ścianę przelewową i stwierdził, że przy bardzo gładkich ścianach ze szkła błąd dochodził do 1,3%, przy ścianach z mosiądzu — do 1,7%. Stwierdził również, że — przy bardzo szorstkiej ścianie przelewu — tej samej wysokości przelewającej się wody odpowiadały większe przepływy, a to na skutek zmniejszonego wpływu składowej pionowej prędkości wody przed przelewem.

Doświadczenia szwajcarskie (Amsteg, Göschenen, Piotta, Grimsel) wykazują, że z używanych wzorów na przelewy najdokładniejsze wyniki (błędy mniejsze od $\pm 1/2\%$) dają wzory Rehbocka i S.I.A. (patrz odsyłacz 74). We wszystkich przeprowadzonych badaniach wzory Bazina i Fresego dawały przepływy zbyt duże, natomiast wzory Rehbocka i S. I. A. wykazywały odchyłki niewielkie w obydwu kierunkach: + i —, co się tłumaczy przypadkowym błędem każdego pomiaru. Można śmiało twierdzić, że przy zachowaniu warunków, na które już kilkakrotnie zwracano uwagę, wzór S. I. A. będzie dawał największą gwarancję dokładności. Mimo to nie ma pewności, czy w danym wypadku osiągniemy zupełną dokładność. Każdy przelew posiada swoje szczególne właściwości, które wywierają na przepływ niezaprzeczalny wpływ, lecz nie mogą być ujęte w formułę matematyczną. Czynnikiem najgłówniejszym, od którego zależy przede wszystkim dokładność wybranego wzoru, jest sposób określania wysokości warstwy przelewającej się wody. Czynność ta musi być wykonana w warunkach podobnych do tych, które posłużyły do ustalenia wzoru; ostrożności, które się zachowuje, nie są nigdy zbyt drobiazgowo. Wzory nie powinny być stosowane przy spiętrzeniach na przelewie wybiegających poza granice, w których robiono podstawowe doświadczenia, służące do opracowania wzoru. Frese i Bazin ustalili granicę górną na 60 cm; normy szwajcarskie dla wzoru S. I. A. podają 80 cm. Jako granicę dolną przyjęto 2,5 cm. Należy zauważyć, że we wszystkich doświadczeniach

⁷⁸⁾ R. Hailer. Fehlerquellen bei der Überfallmessung. Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule München. Zeszyt 2 i 3 (r. 1928 i 1929).

przedsięwziętych dla sprawdzenia wzoru stwierdzono dokładność rezultatów tym większą, im większe były wartości h . Przy wysokości warstwy wody h większej niż 80 cm trzeba się liczyć z koniecznością rozporządzania w kanale dostateczną wysokością ściany przelewu $\left(\frac{h}{p} \leq 1\right.$ porównaj rys. 191). Gdy głębokość poniżej koro-

ny przelewu jest zbyt mała w stosunku do grubości przelewającej się strugi, falowanie powierzchni wody osiąga amplitudę, która uniemożliwia dokładne zmierzenie wysokości h . Według Bazina wysokość h nie powinna przekraczać połowy wysokości przelewu.

Pomiary niewielkich wysokości h muszą być specjalnie staranne. Jeśli spokojny przepływ wody pozwala tu na łatwe odczytanie poziomu wody, to jednak nawet mały błąd odczytu wywołuje znaczny wpływ na wynik obliczenia. Np. gdy $h = 80$ cm, to $\frac{1}{2}$ -centymetrowy błąd odczytu h powoduje w obliczeniu przepływu błąd 1% , gdy przy $h = 2,5$ cm ten sam błąd 1% przepływu wyniknie, gdy odcytując wysokość h omylimy się o 0,2 mm.

Doświadczenia szwajcarskie wykazują, że pomiary przy $h = 10$ cm nie dawały nigdy rezultatów zadowalających. Jeżeli się chce mieć wynik dokładny, to (poza pomiarami w laboratorium) nie można robić pomiarów przy h mniejszym od 6 cm.

Dla przelewów prostokątnych istnieje wiele wzorów na współczynnik wydatku μ : Ponceleta, Bazina, Fresego, Hegly'ego, Bodaszewskiego. Wszystkich wzorów tu nie podano ze względu na zbyt duże różnice pomiędzy wartościami obliczonymi ze wzorów i mierzonymi w naturze (różnice dochodziły do $\pm 3\%$, co wykazały ostatnio liczne i dokładnie przeprowadzone doświadczenia). Uwzględniono tylko wzór Bazina. Prócz tego podano dwa nowsze wzory, pozwalające określić ilość przepływu z błędem nie dochodzącym do $\pm 1\%$; są to wzory Rehbocka i Szwajcarskiego Związku Inżynierów i Architektów (S. I. A.).

Bazin⁷⁹⁾ podaje na przepływ jednostkowy wzór następujący:

$$q = \left(0,405 + \frac{0,003}{h}\right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{h}{h+p}\right)^2\right] h \sqrt{2gh} \text{ m}^3/\text{sek mb} \quad (61)$$

gdzie h — wysokość warstwy przelewającej się wody, zaś p — wysokość korony przelewu ponad dnem koryta; obie wartości w metrach.

Wzór ważny jest o ile $0,10 \text{ m} \leq h \leq 0,60 \text{ m}$.

⁷⁹⁾ H. Bazin. *Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir*. Paris. Dunod, 1898.

Wzór Rehbocka⁸⁰⁾ ustalony został na podstawie kilkuset bardzo dokładnych pomiarów i dotyczy przelewu z kontrakcją dolną:

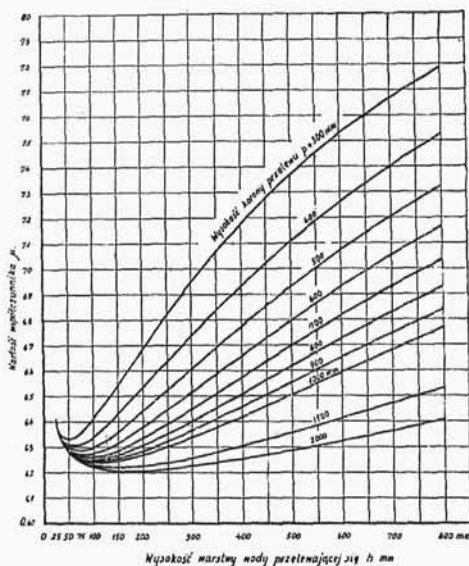
$$q = \left(1,782 + 0,24 \frac{h_e}{p} \right) h_e^{3/2} \text{ m}^3/\text{sek mb przelewu} \quad (62)$$

we wzorze tym $h_e = h + 0,0011 \text{ m}$ i jest to tzw. wysokość zastępcza. Wzór daje wyniki dokładne dla $h \leq 0,80 \text{ m}$.

Według Rehbocka współczynnik wydatku μ wynosi:

$$\mu = \left(0,6035 + 0,0813 \frac{h_e}{p} \right);$$

Pomiar wysokości warstwy przelewającej się wody zaleca Rehbock wykonywać w odległości $4h$ lub $2(h+p)$ od krawędzi przelewu.



Rys. 193.

Wartości współczynnika μ dla przelewu o ostrej krawędzi z kontrakcją dolną.

Wzór szwajcarski został ustalony podwójnie: 1^o dla przelewów z kontrakcją dolną i 2^o dla przelewów z kontrakcją dolną i boczną. Ma on kształt normalnego wzoru dla przelewu prostokątnego $Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} h^{3/2} \text{ m}^3/\text{sek}$, podane są zaś odpowiednie empiryczne wzory dla ustalenia μ .

⁸⁰⁾ T. Rehbock. Wassermessungen mit scharfkantigen Überfallwehren. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. 1929. Nr 24.

1^o Przy przelewie z kontrakcją dolną:

$$\mu = 0,615 \left(1 + \frac{1}{h+1,6} \right) \left[1 + 0,5 \left(\frac{h}{h+p} \right)^2 \right] \quad (63)$$

Wysokości przelewu p i warstwy wody h należy wstawiać do wzoru w milimetrach.

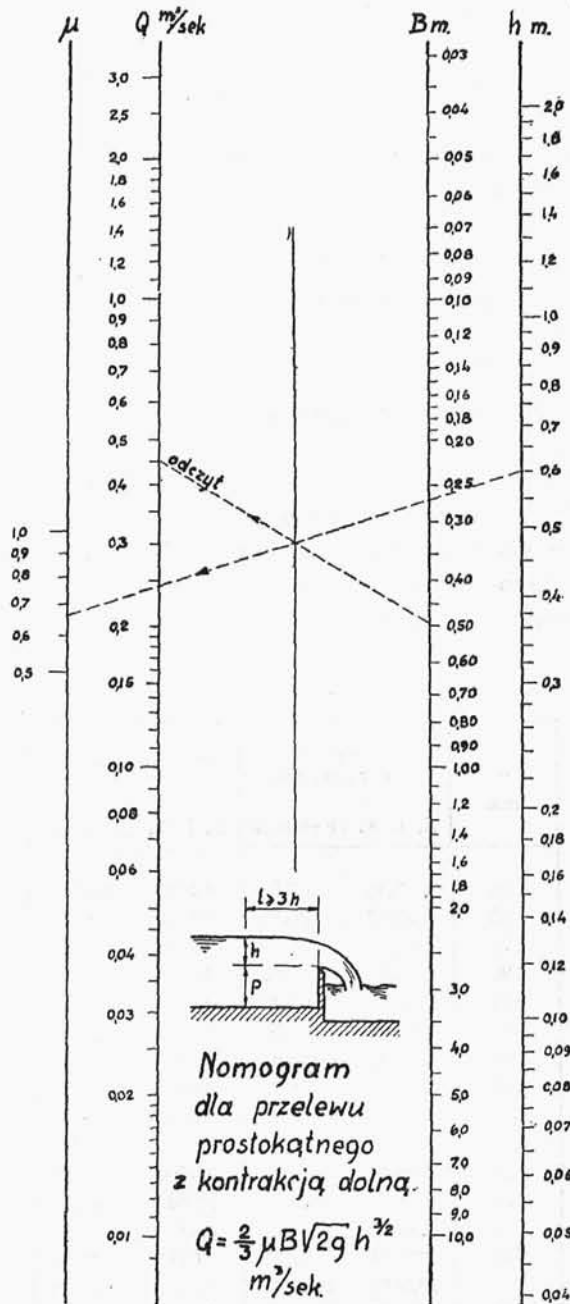
Jako granice stosowalności wzoru podają normy szwajcarskie wysokość przelewu $p \geq 300$ mm.

Wysokość warstwy przelewającej się wody $25 \text{ mm} \leq h \leq 800 \text{ mm}$ przy czym $\frac{h}{p} \leq 1$.

W Tab. 26 podano dla przelewu wysokości 1 metra ($p = 1$ m) objętości przepływu na 1 m szerokości, obliczone wzorem szwajcarskim i Rehbocka, oraz wartości współczynników wydatku μ . Na rys. 193 podano dla różnych h i p krzywe umożliwiające określenie współczynnika μ (stosownie do wzoru S. I. A.), a na następnych rysunkach podano nomogramy do obliczania przepływu wody przez przelew wzorem S. I. A. (rys. 194) oraz Rehbocka (rys. 195).

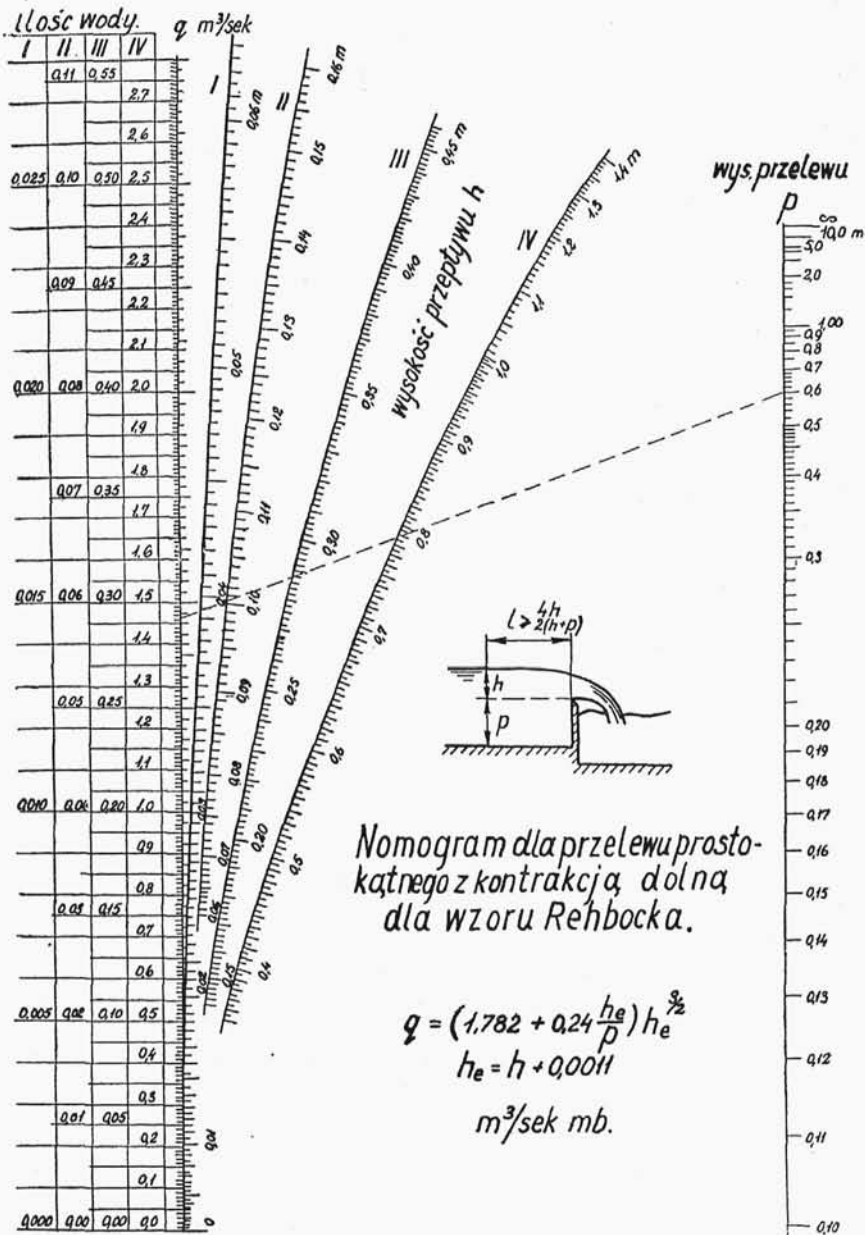
Tabela 26.

h mm	Przepływ w litr/sek. mb		Współczynnik μ	
	S. I. A.	Rehbock	S. I. A.	Rehbock
25	7,45	7,54	0,6383	0,6056
50	20,72	20,73	0,6276	0,6077
75	37,88	37,79	0,6245	0,6097
100	58,23	58,06	0,6236	0,6101
150	107,99	106,79	0,6243	0,6158
200	165,98	165,06	0,6266	0,6198
250	232,47	231,90	0,6298	0,6239
300	307,93	306,36	0,6335	0,6280
350	389,80	388,25	0,6375	0,6320
400	479,38	477,13	0,6417	0,6361
450	575,84	572,70	0,6460	0,6402
500	678,92	674,76	0,6503	0,6442
550	788,80	783,15	0,6549	0,6483
600	904,71	897,73	0,6592	0,6524
650	1026,92	1018,32	0,6636	0,6564
700	1155,63	1144,87	0,6682	0,6605
750	1287,73	1277,35	0,6714	0,6646
800	1429,85	1415,61	0,6767	0,6686



Rys. 194.

Nomogram do określania ilości przepływu przez przelew prostokątny z kontrakcją dolną (według wzoru S. I. A.).



Rys. 195.

Nomogram do określania ilości przepływu przez przelew prostokątny z kontrakcją dolną (według wzoru Rehbocka).

2^o Dla przelewu z kontrakcją zupełną posługiwać się należy wzorem:

$$p = \left[0,578 + 0,037 \left(\frac{b}{B} \right)^2 + \frac{3,615 - 3 \left(\frac{b}{B} \right)^2}{h + 1,6} \right] \left[1 + 0,5 \left(\frac{b}{B} \right)^4 \left(\frac{h}{H} \right)^2 \right] \quad (64)$$

Oznaczają tu:

$H = h + p$ całkowitą wysokość wody w korycie dopływowym przed przelewem,

b — szerokość przelewu,

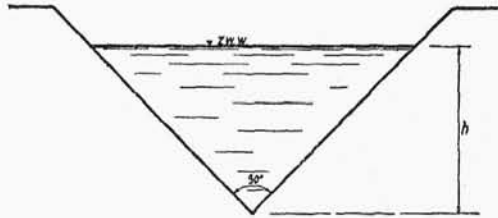
B — szerokość koryta.

Wszystkie wartości w milimetrach.

Granice stosowności wynoszą: wysokość przelewu $p \geq 300$ mm,

wysokość warstwy przelewającej się wody: $\frac{25}{b/B}$ mm $\leq h \leq 800$ mm.

Przy czym jak poprzednio $\frac{h}{p} \leq 1$ oraz $\frac{b}{B} \geq 0,3$.



Rys. 196.
Przelew trójkątny.

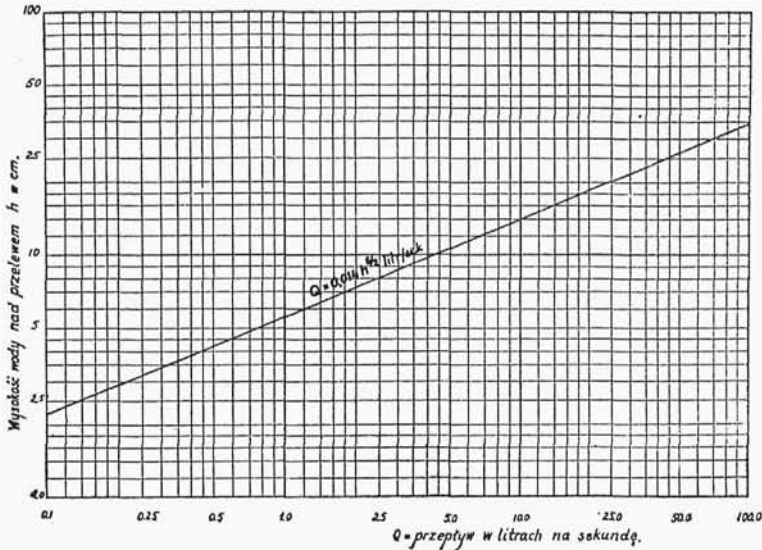
Dla małych ilości wody stosuje się przelewy trójkątne o kącie wierzchołkowym 90° (rys. 196). Dla takiego przelewu ustalono prostą zależność:

$$Q = 0,014 h^2 \sqrt{h} \text{ litr/sek.} \quad (65)$$

h w centymetrach. Jest to t. zw. wzór Thomsona⁸¹⁾, ważny w granicach 4 cm $\leq h \leq 25$ cm. Przy $h = 4$ cm wzór daje wartości zbyt duże. Angielskie „Standard tests...” (odsyłacz 76) podają wzór: $Q = 1,318 h^{2,47}$ m³/sek. Głębokość kanału doprowadzającego wodę na przelew winna być nie mniejsza niż $3h$, a szerokość kanału co najmniej $5h$.

⁸¹⁾ Właściwie Thomson podaje wartość stałą wzoru = 0,01422, porów. J. Thomson. Experiments on the gauging of water by triangular notches. Reports of the British Association on the advancement of science. Londyn. 1861.

W Tab. 27 podano zależność pomiędzy wysokością wody na przelewie h i ilością przepływu Q w litr/sek dla przelewu trójkątnego o kącie wierzchołkowym prostym (90°). Na rys. 197 przedstawiono tę zależność graficznie w podziałce logarytmicznej.



Rys. 197.

Wykres do określania ilości przepływu przez przelew trójkątny.

Tabela 27.

h mm	Przepł. Q litr/sek	h mm	Przepł. Q litr/sek
40	0,448	160	14,336
60	1,235	180	19,244
80	2,534	200	25,044
100	4,427	220	31,782
120	6,984	240	39,505
140	10,267	250	43,750
150	12,200		

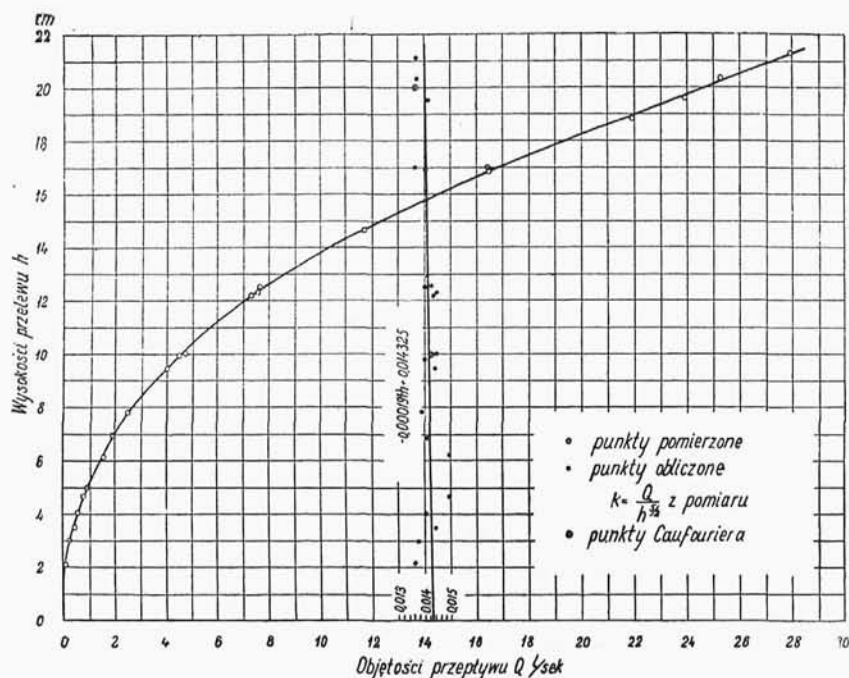
Z badań Gaskella, Yarnalla⁸²⁾ i Kocha⁸³⁾ wynika, że współczynnik liczbowy k wzoru $Q = k h^{2,5}$ nie jest stały. Zależy on od

⁸²⁾ D. Yarnall, The V notch weir method of measurement. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, 1927, Str. 939.

⁸³⁾ L. Koch, Versuche über die Veränderlichkeit des Beiwertes c in der Thomson-Formel $Q = k h^{5/2}$, Bauingenieur, 1923, Nr 22.

wysokości warstwy przelewającej się wody oraz od umieszczenia wierzchołka przelewu ponad dnem kanału. Dopiero od wysokości $h = 30$ cm współczynnik się ustala i wynosi 0,01365. Doświadczenia nad zmiennością współczynnika wydatku przelewu trójkątnego z kątem wierzchołkowym prostym przeprowadzali również Caufourier ⁸⁴⁾ w laboratorium hydrotechnicznym w Metz'u oraz E. Czetwertyński ⁸⁵⁾ w Laboratorium Wodnym w Warszawie. Wyniki badań podano na rys. 198. Doprowadziły one do ustalenia zależności:

$$k = -0,000191 h + 0,014325.$$



Rys. 198.

Krzywa przepływu dla przelewu trójkątnego oraz wartości μ w zależności od h .

Doświadczenia Scimemiego ⁸⁶⁾ przeprowadzone w laboratorium hydrotechnicznym w Padwie ustaliły dla k wartość 0,014 jako dostatecznie dokładną.

Przy wyjątkowo niewielkich ilościach wody stosuje się przele-

⁸⁴⁾ P. Caufourier, Les laboratoires de la Société Hydrotechnique de France, Génie Civil, 16.IV, 1932.

⁸⁵⁾ E. Światopełk-Czetwertyński, Cechowanie przelewów, Sprawozdanie z prac wykonanych w latach 1931—1932, Laboratorium Wodne Polit. Warsz. Warszawa, 1932.

⁸⁶⁾ E. Scimemi, Atti sind. Fasc. Ing. Milano, 1928, Nr 11.

wy trójkątne o kącie wierzchołkowym α ostrym; wówczas ilość wody określa się ze wzoru:

$$Q = \frac{8}{15} \mu \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{2g} h^{5/2} \text{ m}^3/\text{sek.} \quad (66)$$

Współczynnik wydatku według Barra⁸⁷⁾ wynosi

$$\mu = 0,565 + 0,087 h^{-0,5}$$

Szerokość kanału dopływowego powinna być według niego większa niż 8-krotna wysokość przelewającej się warstwy.

Tarrant⁸⁸⁾ podaje następujący wzór na przepływ przez przelew trójkątny o kącie wierzchołkowym α

$$Q = 1,3089 \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha + 1,5^\circ}{2} \right) h^{2,485} \text{ m}^3/\text{sek.} \quad (67)$$

Dla przelewów kołowych (rys. 199) o ostrej krawędzi A. Staus⁸⁹⁾ podał do obliczania przepływu wzór

$$Q = \mu q_t d^2 \sqrt{d} \text{ litr/sek} \quad (68)$$

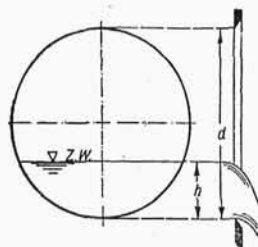
gdzie d — średnica przelewu kołowego w dm

μ — współczynnik wydatku

$q_t = f \left(\frac{h}{d} \right)$; (h — wysokość wody w dm nad najniższym punktem krawędzi przelewu).

Funkcję $f \left(\frac{h}{d} \right)$ obliczoną dla różnych stosunków $h:d$ podano w Tab. 28 i przedstawiono graficznie na rys. 200. Na podstawie tabeli dla funkcji q_t ustalił Ramponi⁹⁰⁾ zależność, która bardzo dobrze pasuje do dokładnych wartości funkcji q_t , dając różnice maksymalne poniżej 0,5%.

$$q_t = 10,12 \left(\frac{h}{d} \right)^{1,975} - 2,66 \left(\frac{h}{d} \right)^{3,78} \quad (69)$$



Rys. 199.
Przelew kołowy.

⁸⁷⁾ J. Barr, Experiments upon the flow of water over triangular notches. Engineering, 8 i 15.IV. 1910.

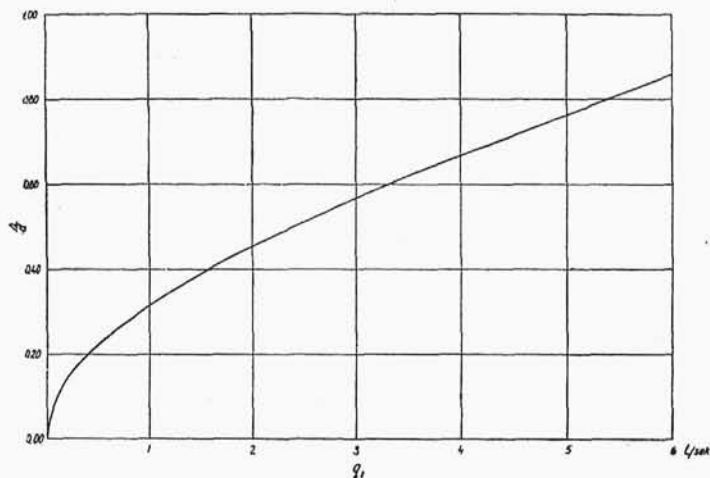
⁸⁸⁾ Tarrant, Flow of water over a V notch. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, 1928, Tom 50.

⁸⁹⁾ A. Staus, Der Beiwert kreisrunder Überfälle. Wasserkraft und Wasserwirtschaft. 1931, Nr 4.

⁹⁰⁾ F. Ramponi, Sugli stramazzi di misura circolari. L'Energia Elettrica. 1936, Nr 2.

Tabela 28.

h/d	q_l	h/d	q_l
0,00	0,0000	0,50	2,3734
0,01	0,0011	0,55	2,8205
0,05	0,0272	0,60	3,2939
0,10	0,1072	0,65	3,7900
0,15	0,2380	0,70	4,3047
0,20	0,4173	0,75	4,8336
0,25	0,6428	0,80	5,3718
0,30	0,9119	0,85	5,9133
0,35	1,2223	0,90	6,4511
0,40	1,5713	0,95	6,9756
0,45	1,9559	1,00	7,4705



Rys. 200.

Funkcja przepływu q_l w zależności od $\frac{h}{d}$ dla przelewu kołowego.

Na współczynnik wydatku μ podaje Staus następujący wzór:

$$\mu = 0,555 + \frac{1}{110 \frac{h}{d}} + 0,041 \frac{h}{d} \quad (70)$$

przy czym szerokość koryta prowadzącego wodę wynosiła w doświadczeniach $2d$, odległość środka koła od dna $1,5d$, zaś długość koryta co najmniej $3d$.

Wspomniany wyżej Ramponi określa współczynnik μ ze wzoru:

$$\mu = c \left(\frac{h}{d} \right)^y \left[1 + \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2 \right] \quad (71)$$

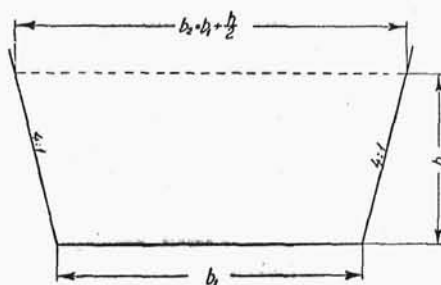
Gdy $d = 100, 200, 300, 400$ mm

wówczas $c = 0,681, 0,572, 0,569, 0,570$

$\nu = -0,03$ dla wszystkich średnic

$\frac{\omega}{\Omega}$ oznacza stosunek pola przekroju przepływu wody na krawędzi przelewu do pola przekroju przepływu wody w korycie doprowadzającym wodę.

Przy dużym przekroju koryta suma w nawiasie dużym jest prawie równa jedności, tak że współczynnik oblicza się z prostego wzoru $\mu = c \left(\frac{h}{d} \right)^\nu$.



Rys. 201.

Przelew trapezowy.

Prócz wzorów dla wymienionych rodzajów przelewów istnieją również wzory na przelew trapezowy (rys. 201). Jednym z nich jest wzór Cipolettiego:

$$q = 1,86 h^{3/2} \quad (72)$$

gdzie h w m a q w m³/sek i m b korony przelewu (szerokości b_1). Wzór ten po dokładnych badaniach poprawił Lüdecke podając:

$$Q = (0,0807 h)^{1,55} b_1^{0,94} \text{ litr/sek} \quad (73)$$

Wartość h i b_1 w cm. Wzór ważny dla $b \leq 122$ cm. Wzór Lüdeckego ma raczej znaczenie doświadczalne i do pomiarów przepływu nie jest stosowany. Przelew Cipolettiego znajduje częste zastosowanie przy pomiarach przepływu we Włoszech a przede wszystkim w Ameryce.

Przy wszelkich pomiarach przepływów za pomocą przelewów, jak już zaznaczono wyżej, szczególniejszą uwagę należy zwrócić na

spokojny dopływ wody, gdyż wszelkie zaburzenia (w szczególności sfalowanie powierzchni) w wysokim stopniu wpływają na dokładność pomiaru. Wpływ fal na powierzchni dopływającej wody badał A. H. Gibson⁹¹⁾ i stwierdził, że przy sfalowanej powierzchni przepływu są większe. Przy sinusoidalnej formie fal wzór na przepływ przez przelew prostokątny ustalony przez Gibsona ma kształt następujący:

$$Q = k b h^{3/2} \left[1 + 0,19 \left(\frac{a}{h} \right)^2 \right] \text{ m}^3/\text{sek} \quad (74)$$

przy czym oznaczają tu: k współczynnik liczbowy, a połowę wysokości fali (amplitudy fali). Zwiększenie wydatku wskutek falowania wynosi + 4,7 albo + 1,2% na przelewach prostokątnych, gdy $a=0,5 h$ albo $a = 0,25 h$, zaś na przelewach trójkątnych wynosi odpowiednio + 23,4 i + 5,8%⁹²⁾.

Jako uzupełnienie wzorów do obliczania przepływów przy pomocy przelewów trzeba jeszcze wspomnieć o tzw. przelewie Sutro⁹³⁾, który ma taki kształt, że matematyczna zależność pomiędzy wydatkiem i wysokością wody na przelewie jest liniowa.

Kształt przelewu (rys. 202) ustalony jest funkcją:

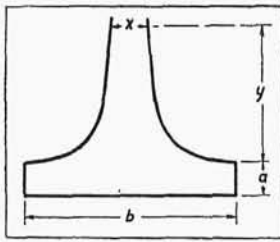
$$\frac{x}{b} = 1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{tg}^{-1} \left(\sqrt{\frac{y}{a}} \right)$$

Przepływ wyznaczy się wówczas wzorem

$$Q = k \left(h - \frac{1}{3} a \right), \text{ w którym } k = c a^{0,5} b \sqrt{2g},$$

zaś $c = 0,60 \dots 0,63$ (według doświadczeń Ricco⁹⁴⁾ można przyjmować wartość średnią $c = 0,6168$).

Wartość funkcji $\frac{x}{b}$ można określić z Tab. 29.



Rys. 202.
Przelew Sutro.

⁹¹⁾ A. H. Gibson. The effect of surface waves on the discharge over weirs. Institution of Civil Engineers, Selected Engineering Papers. Nr 99. London. 1930.

⁹²⁾ Czytelników interesujących się bliżej literaturą tego działu odsyłam do dwóch publikacji, w których podana jest bibliografia przedmiotu: 1) F. Engel. Der heutige Stand der Wehrforschung. Archiv für Technisches Messen. Nov. 1935, str. 141. 2) B. Gentilini. Stramazzi in parete sottile liberi e rigurgitati. L'Energia Elettrica. 1936. N-ry 3, 5 i 10.

⁹³⁾ E. Soucek, H. E. Howe & F. Mavis. Sutro weir investigations furnish discharge coefficients. Engineering News Record 12.XI.1936.

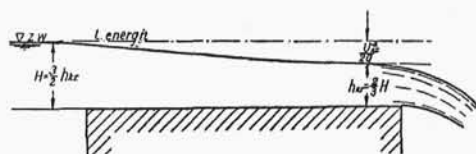
⁹⁴⁾ G. Ricco. Equazione di forma di uno stramazzo dedotta dalla sua equazione di portata. L'Energia Elettrica, 1936. Nr 10.

Tabela 29.

$\frac{y}{a}$	$\frac{x}{b}$	$\frac{y}{a}$	$\frac{x}{b}$
0,1	0,805	5,0	0,268
0,2	0,732	6,0	0,247
0,3	0,681	7,0	0,230
0,4	0,641	8,0	0,216
0,5	0,608	9,0	0,205
0,6	0,580	10,0	0,195
0,7	0,556	12,0	0,179
0,8	0,536	14,0	0,166
0,9	0,517	16,0	0,156
1,0	0,500	18,0	0,147
2,0	0,392	20,0	0,140
3,0	0,333	25,0	0,126
4,0	0,295	30,0	0,115

4. Pomiar na podstawie głębokości krytycznej

Na progach jazów, szerokich koronach przelewów, upustach itp. można dość ściśle określić przepływ wody z głębokości krytycznej, jaka się tam wytworzy. Wobec zmiany ruchu wody z nadkrytycznego w podkrytyczny w pewnym przekroju profilu podłużnego powstaje głębokość krytyczna (rys. 203). Przepływ obliczamy



Rys. 203.

Przelew o szerokiej krawędzi.

z zależności $Q = A v_{kr} = b h_{kr} \sqrt{2g(H - h_{kr})}$ m³/sek; gdzie b — szerokość przekroju, h_{kr} — głębokość krytyczna, H — wzniesienie nieobniżonego zwierciadła wody ponad koronę przelewu lub wzniesienie linii energii, które z dostateczną dokładnością można przyjąć w poziomie zwierciadła wody górnej.

$$H = h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2g}$$