

wymi, z drugiej strony w wyczerpywaniu zasobów wód gruntowych i szkodliwym obniżeniu poziomu wody w studniach.

Badaniami, przeprowadzonymi przy innej sposobności¹⁴⁾, udało się określić przeciętną pojemność retencyjną gruntów w różnych dorzeczeniach typu Poleskiego, dla wody pozostającej pod wpływem sił ciężkości.

Pojemność ta, wyrażona w procentach wysokości warstwy gruntu, znajdującej się w strefie wahań poziomów wody gruntowej jest następująca:

w dorzeczu Wyżewki po Kukuryki	5.65%
w dorzeczu Prypeci po Mosty Wolańskie	8.00%
w dorzeczu Leśnej po Katenborg	8.89%
w dorzeczu Kanału Lubiszczyckiego	14.81%

Niedobór retencji 98.4 mm, jak w lecie 1928 r., spowodowałby przeciętne obniżenie poziomu wody w studniach na terenach bagnistych około 70 cm, na-

tomiasz na pozostałych terenach Poleskich około 120—180 cm. Tak duże obniżenie byłoby już szkodliwe dla wielu roślin.

Formułując wnioski płynące z całości kształtu powyższych rozważań stwierdzamy:

a) że melioracja Polesia nie jest zadaniem łatwym i wymaga daleko idącego uzgodnienia wielu częstokroć sprzecznych interesów oraz uwzględnienia nie tylko stosunków obecnych, lecz również stosunków zmienionych, na skutek przeprowadzonych robót,

b) że nastroczające się trudności mogą być rozwiązane wyłącznie przez opracowanie głęboko przemyślanego planu generalnego melioracji na terenie całego Polesia, z uwzględnieniem całości kształtu w grę wchodzących czynników, uzupełnionego konkretnym planem realizacji w ciągu określonego okresu czasu i zatwierdzonego w drodze ustawodawczej.

Doc. dr. K. Wóycicki

Wyznaczenie przepływu na podstawie głębokości strumienia wody na krawędzi rynien.

Z zagadnieniem głębokości wody na krawędzi rynien, przy swobodnym wypływie strumienia, spotkałem się, opracowując metody pomiarów przepływu do III tomu Hydrologii¹⁾. Dla sprawdzenia przyjęć, które posłużyły do ustalenia zależności pomiędzy głębokością w przekroju końcowym rynny i objętością przepływu, zrobiono w Laboratorium Wodnym Politechniki Warszawskiej szereg badań²⁾. Stwierdziły one ścisłą zależność pomiędzy głębokością przepływu wody w przekroju końcowym i głębokością charakterystyczną przepływu. Rezultaty rozważań oraz badań podaję poniżej.

Istnieją metody określenia przepływu wody, opierające się na znanej zależności między głębokością krytyczną i przepływem. Metody, które mogą być zastosowane przy przelewach o szerokiej koronie lub w tak zwanych korytach Venturi³⁾, polegające na pomiarze głębokości wody przed przelewem względnie zwężeniem i będącej w pewnym stosunku do głębokości krytycznej. Przyjęcie za miejsce powstawania głębokości krytycznej przekroju końcowego przelewu (o szerokiej koronie), jak wykazują doświadczenia, nie jest słuszne, więc nie jesteśmy w stanie bezpośrednio zmierzyć głębokości krytycznej, z uwagi na nieznaną dokład-

nego miejsca jej powstawania. Głębokości ustalające się na krawędzi są znacznie mniejsze niż krytyczne. Ponieważ w wielu wypadkach praktyki możemy mierzyć głębokości wody na krawędzi rynien (np. swobodnego wylotu rury) nie mogąc sięgnąć dalej, o ile więc istniałaby pewna stała zależność między głębokością swobodnego przepływu wody na takich krawędziach i charakterystyczną wartością dla danego przepływu wody, jaką jest głębokość krytyczna, to z tak prostego pomiaru możnaby określić badany przepływ. Mielibyśmy więc, dającą się w niektórych wypadkach praktyki zastosować, nową dość prostą metodę pomiaru przepływu wody.

Rozważania doprowadzają nas do wniosku, że musi istnieć pewna stała zależność między głębokością krytyczną danego przepływu wody i głębokością na krawędzi rynny. Do zależności tej dojdziemy rozpatrując dwa przekroje przepływu, — przekrój w którym powstaje głębokość krytyczna, o położeniu bliżej nie ustalonym, oraz ściśle określony przekrój końcowy, — stosując dla tak obranych przekroi zasadę równości sumy ilości ruchu i parcia hydrostatycznego. Przy czym w przekroju końcowym, w którym struga wody wypływa swobodnie w powietrze, przyjmujemy parcie hydrostatyczne, jako równe zeru.

Zależnie od kształtu rynny, prowadzącej wodę, związki między głębokością krytyczną h_k i głębokością na krawędzi h_0 ułożą się odrębnie. Rozpatrzmy kolejno trzy charakterystyczne przekroje: prostokątny, trójkątny oraz kołowy.

1. Przekrój prostokątny.

Oznaczenia:

q — przepływ m^3 /sek na jednostkę szerokości przekroju,

v_k — prędkość m /sek w przekroju o głębokości krytycznej,

h_k — głębokość krytyczna w m ,

¹⁴⁾ K. Dębski. Poziom wód gruntowych jako wskaźnik retencji na obszarze Polesia. Wiadomości Służby Hydrograficznej. Zeszyt 4. Warszawa 1936.

Idem. Wyniki badań nad odpływem, opadem i retencją w dorzeczu Wyżewki. Instytut Hydrograficzny Warszawa 1936. Rękopis w bibliotece Instytutu Hydrograficznego.

Idem. Wyniki badań nad odpływem, opadem i retencją w dorzeczu Leśnej. Instytut Hydrograficzny, Warszawa 1936. Rękopis j. w.

¹⁾ Prof. Dr. K. Pomianowski. Prof. M. Rybczyński. Doc. Dr. K. Wóycicki. Hydrologia tom III — w rękopisie.

²⁾ Za przeprowadzenie odpowiednich pomiarów składam podziękowanie st. asystentowi inż. St. Kietlińskiemu.

³⁾ Doc. Dr. K. Wóycicki. Pomiar przepływu przy pomocy zmiany ruchu wody. Przegląd Melioracyjny. 1936, str. 132.

v_0 — prędkość m/sek w przekroju końcowym,
 h_0 — głębokość w przekroju końcowym,
 γ — ciężar właściwy wody,
 g — przyspieszenie ziemskie.

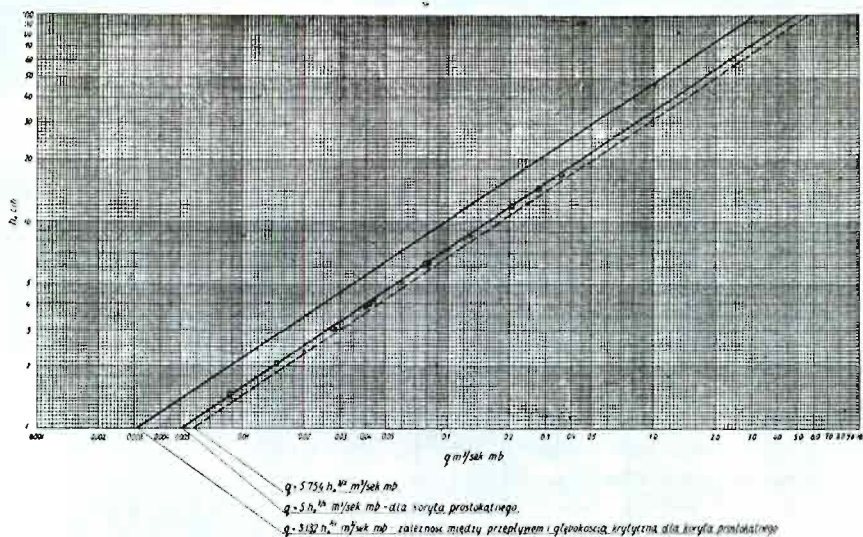
Stosownie do przyjęcia

$$\gamma \cdot \frac{q}{g} \cdot v_k + \gamma \cdot \frac{h_k^2}{2} = \gamma \cdot \frac{q}{g} \cdot v_0 \quad (1)$$

podstawiając $v_0 = \frac{q}{h_0}$; $v_k = \frac{q}{h_k}$ przekształcimy

wzór (1) na $\frac{q^2}{g \cdot h_k} + \frac{h_k^2}{2} = \frac{q^2}{g h_0}$, wiedząc, że $h_k =$

$\sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$ dochodzimy dalej do równania $\frac{h_k^3}{h_k} + \frac{h_k^2}{2} =$
 $= \frac{h_k^3}{h_0}$, a stąd do zależności



Rys. 1.

$$\frac{3}{2} h_0 = h_k \text{ względnie } h_0 = \frac{2}{3} h_k \quad (2)$$

O ile więc tylko nasze założenie zerowej wartości parcia hydrostatycznego w przekroju końcowym jest słuszne, istnieje ścisła i bardzo prosta zależność pomiędzy głębokością wody na krawędzi rynny, oraz głębokością krytyczną⁴⁾.

Wzór na przepływ wody, uzależniający go od głębokości h_0 na krawędzi wyglądałby następująco:

$$q = \sqrt{h_k^3 g} = \sqrt{\left(\frac{3}{2} h_0\right)^3 g} = h_0^{3/2} \sqrt{\frac{27g}{8}}$$

względnie

$$q = 5,754 \cdot h_0^{3/2} \quad (3)$$

Zależność ta daje nam w podziałce logarytmicznej (rys. 1) prostą.

⁴⁾ Zależność wyprowadzono dla rynny o dnie poziomym oraz przy nieuwzględnianiu strat na odcinku pomiędzy przekrojem głębokości krytycznej i końcowym.

2. Przekrój trójkątny.

Oznaczenia:

Q — przepływ m³/sek,
 A — pole przepływu m²,
 v_k, v_0, h_k, h_0 — jak poprzednio.
 pozostałe oznaczenia wyjaśnia rys. 2.

Znajdziemy przede wszystkim jak się wyrażą ogólnie zależności dla głębokości krytycznej w przewodach o niejednostajnej głębokości przekroju.

Jeśli określimy wysokość linii energii jako

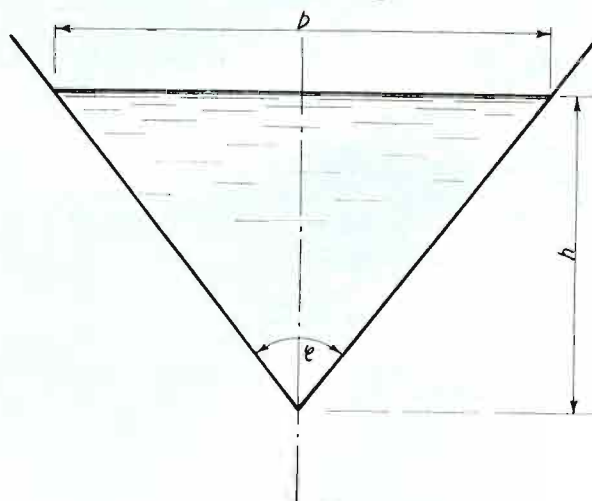
$H = h + \frac{v^2}{2g}$ i przekształcimy powyższe wyrażenie

na $H = h + \frac{Q^2}{2gA^2}$, to dla przekroju z głębokością krytyczną

trzymamy $\frac{dH}{dh} = \frac{d}{dh} \left(H + \frac{Q^2}{2gA^2} \right) =$
 $= 0, \text{ t. j. } 1 - \frac{Q^2}{gA^3} \cdot \frac{dA}{dh} = 0, \text{ lub } \frac{dA}{dh} = \frac{gA^3}{Q^2} = \frac{gA}{v_k^2}.$

Uwzględniając zaś, że $dA = b \cdot dh$, dochodzimy do zależności dla profilu o głębokości krytycznej w postaci:

$$A = 2 \cdot b \cdot \frac{v_k^2}{2g} \quad (4)$$



Rys. 2.

Stosując (4) do przekroju trójkątnego, otrzymamy

$$\frac{1}{2} b \cdot h_k = 2 \frac{v_k^2}{2g} \cdot b \text{ względnie } h_k = \frac{2 v_k^2}{g} \quad (5)$$

Dalej wobec

$$v_k = \frac{Q}{h_k^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}$$

będzie

$$h_k = \sqrt[5]{\frac{2 Q^2}{g \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2}}} \quad (\text{przy } \varphi = 90^\circ h_k = \sqrt[5]{\frac{2 Q^2}{g}}) \quad (6)$$

Zasada przyjęta za podstawę do rozważań daje nam

$$\gamma \frac{Q}{g} \cdot v_k + \frac{1}{3} \gamma \cdot h_k^3 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \gamma \frac{Q}{g} \cdot v_0 \quad (7)$$

Przekształcając (7), otrzymujemy stopniowo

$$\frac{Q^2}{g h_k^2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} + \frac{h_k^3}{3} = \frac{Q^2}{g h_0^2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}$$

t. j.

$$Q = 4,189 h_0^{3/2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \quad (9)$$

Da nam to w podziałce logarytmicznej zależność prostoliniową.

Przy wartości kąta $\varphi = 90^\circ$ wzór upraszcza się do kształtu

$$Q = 4,189 h^{3/2} \quad (\text{rys. 3})$$

3. Przekrój kołowy.

W wypadku tego przekroju zależności są bardziej skomplikowane.

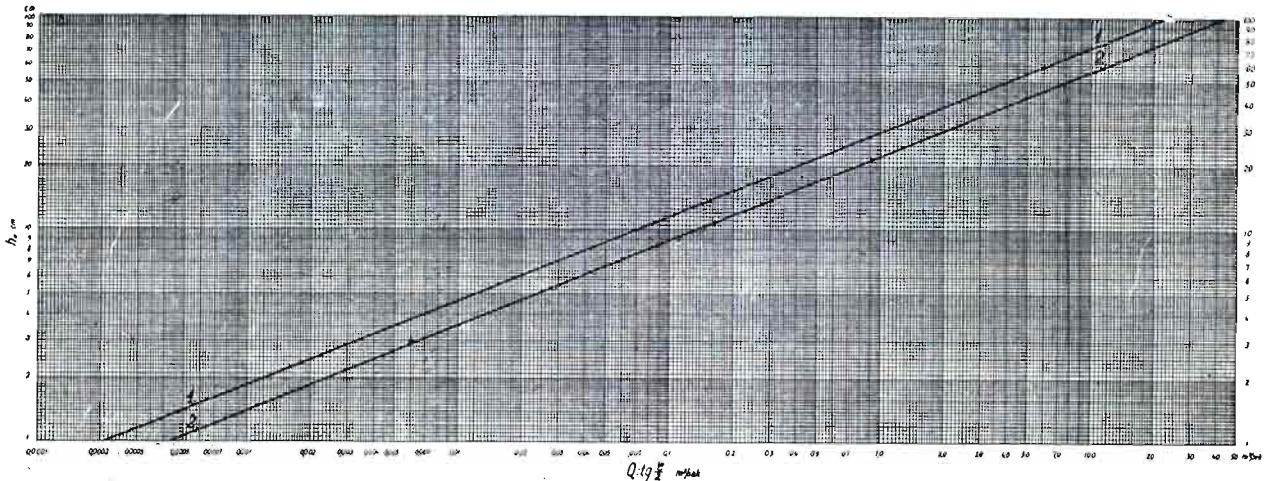
Przy oznaczeniach jak na rys 4 mamy:

$$h = r \left(1 - \operatorname{Cos} \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$b = 2 r \cdot \operatorname{Sin} \frac{\varphi}{2}$$

$$A = \frac{1}{2} r^2 \left(\frac{\varphi \pi}{180} - \operatorname{Sin} \varphi \right)$$

$$v = \frac{2 Q}{r^2 \left(\frac{\varphi \pi}{180} - \operatorname{Sin} \varphi \right)}$$



1. $Q = 2,215 h_k^3 \text{ m}^3/\text{sek}$ - zależność między przepływem i głębokością krytyczną dla koryta trójkątnego o kącie wierzchołkowym $\varphi = 90^\circ$
2. $Q = 4,2 h_k^3$ --- dla koryta trójkątnego o kącie wierzchołkowym $\varphi = 90^\circ$

Rys. 3.

następnie

$$\frac{h_k^5}{2 h_0^2} = \frac{h_k^5}{2 h_k^2} + \frac{h_k^3}{3}$$

dalej

$$h_k^2 = \frac{5}{3} h_0^2$$

i ostatecznie

$$h_0 \approx 0,775 h_k \quad (8)$$

Wobec (8) wzór na przepływ wody przyjmie postać następującą:

$$Q = \sqrt{\frac{h_k^5}{2} g \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2}} = \sqrt{\left(\frac{h_0}{0,775} \right)^5 \frac{g \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2}}{2}}$$

a więc dla przekroju o głębokości krytycznej, względnie kąta φ_k krytycznego napełnienia, możemy napisać:

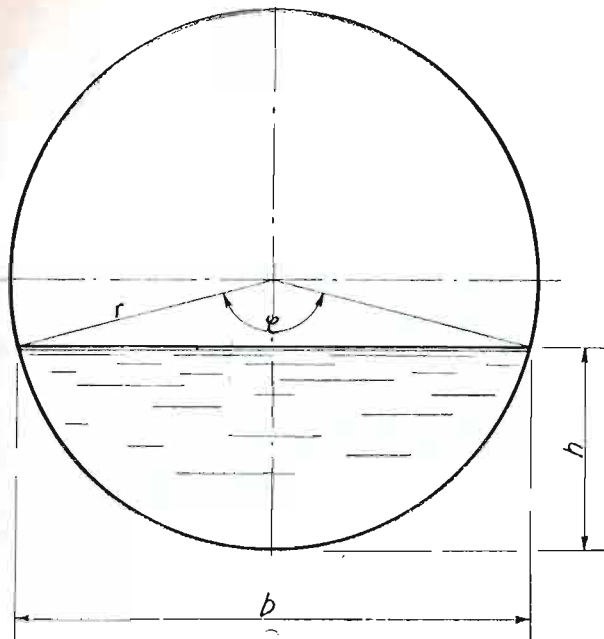
$$\frac{1}{2} r^2 \left(\frac{\varphi_k \pi}{180} - \operatorname{Sin} \varphi_k \right) = 2 \frac{v_k^2}{2g} \cdot b = \frac{v_k^2}{g} \cdot 2r \operatorname{Sin} \frac{\varphi_k}{2} \quad (10)$$

i dalej

$$\frac{1}{2} \left(\frac{\varphi_k \pi}{180} - \operatorname{Sin} \varphi_k \right) = \frac{4 Q^2}{r^4 \left(\frac{\varphi_k \pi}{180} - \operatorname{Sin} \varphi_k \right)^2} \cdot 2 \operatorname{Sin} \frac{\varphi_k}{2}$$

stąd zaś otrzymamy

$$Q = 0,25 r^{3/2} \sqrt{\frac{g \left(\frac{\varphi_k \pi}{180} - \operatorname{Sin} \varphi_k \right)^3}{\operatorname{Sin} \frac{\varphi_k}{2}}} \quad (11)$$



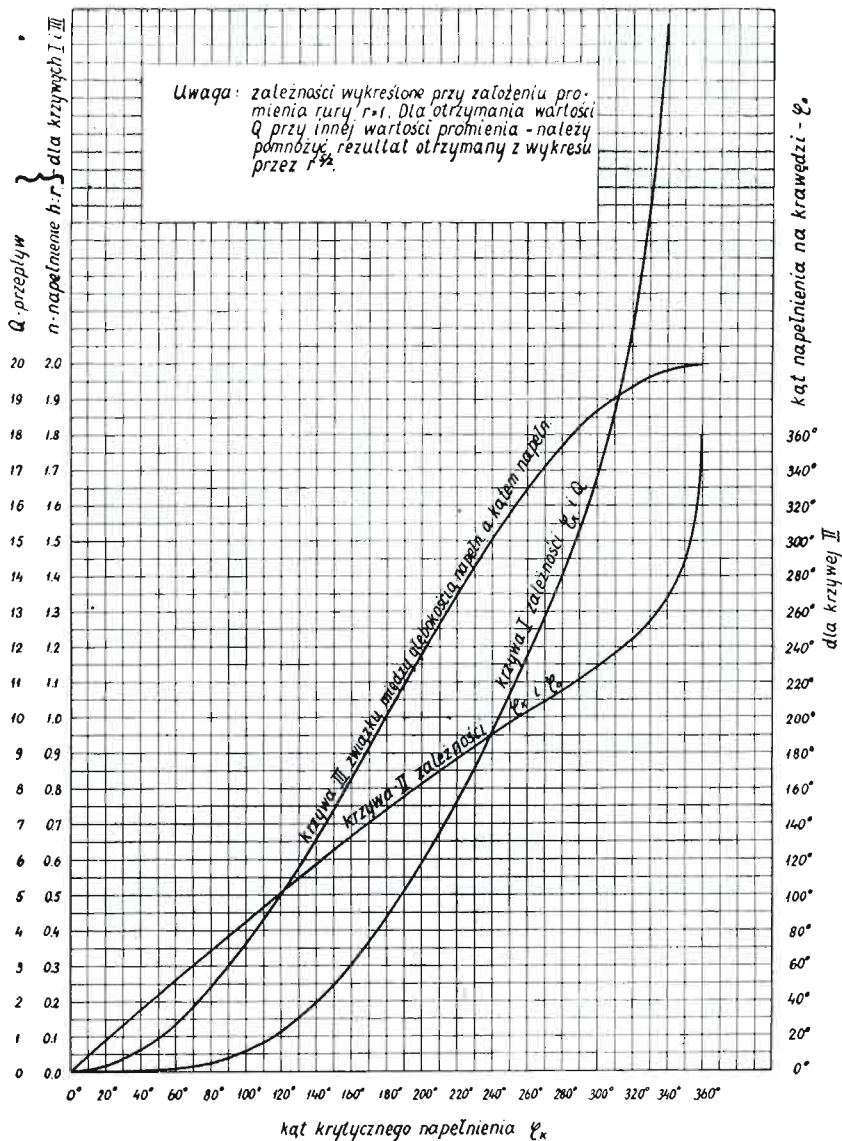
Rys. 4.

Zależność (11) pomiędzy przepływem, promieniem przekroju i kątem krytycznego napełnienia można wyrazić wykreślnie w postaci krzywej I (rys. 5), obliczywszy dla różnych kątów krytycznego napełnienia φ_k przepływ wody, przy przyjęciu promienia r równego jednostce. Dla innych wielkości promienia, wartości podziałki pionowej (Q) zmieniają się $r^{3/2}$ razy.

Po zastosowaniu jak poprzednio równości parcia hydrostatycznego i ilości ruchu wody otrzymujemy:

$$\gamma \frac{Q}{g} \cdot v_k + \gamma \frac{1}{3} \left\{ r \cdot \sin \frac{\varphi_k}{2} \left(3r^2 - r^2 \cdot \sin^2 \frac{\varphi_k}{2} \right) + 3r^2 \left(r - r \cos \frac{\varphi_k}{2} + r \right) \frac{\varphi_k \pi}{360} \right\} = \gamma \frac{Q}{g} \cdot v_0 \quad (12)$$

następnie zaś po odpowiednim podstawieniu



Rys. 5.

$$\frac{2 Q^2}{g r^2 \left(\frac{\varphi_0 \pi}{180} - \sin \varphi_0 \right)} = \frac{2 Q^2}{g r^2 \left(\frac{\varphi_k \pi}{180} - \sin \varphi_k \right)} +$$

$$+ \frac{r^3}{3} \left\{ 3 \sin \frac{\varphi_k}{2} - \sin^3 \frac{\varphi_k}{2} - \cos \frac{\varphi_k}{2} \cdot \frac{\varphi_k \pi}{120} \right\}$$

Przekształcając dalej i uwzględniając (11) znajdujemy

$$\frac{\frac{\varphi_0 \pi}{180} - \sin \varphi_0}{1} = \frac{1}{\left(\frac{\varphi_k \pi}{180} - \sin \varphi_k \right)} +$$

$$+ \frac{\sin \frac{\varphi_k}{2}}{0,375 \left(\frac{\varphi_k \pi}{180} - \sin \varphi_k \right)^3} \left\{ 3 \sin \frac{\varphi_k}{2} - \sin^3 \frac{\varphi_k}{2} - \cos \frac{\varphi_k}{2} \cdot \frac{\varphi_k \pi}{120} \right\}$$

(13)

funkcję uwikłaną, która da się jednak wyrazić wykreślnie w postaci krzywej II (rys. 5).

Widzimy, że dla przekroju kołowego zależności między charakterystycznymi wartościami kątów lub głębokości nie wyrażają się tak prosto jak to otrzymaliśmy dla przekroju poprzednich, jednak posiłkując się krzywymi, podanymi na rys. 5 można sobie rachunek bardzo ułatwić.

Ponieważ mierzymy zawsze głębokość, a nie kąt napełnienia — pomiar którego sprawiłby dużą trudność — podaję na rys. 5 krzywą III, która ma służyć dla określenia kąta napełnienia ze zmierzonej głębokości. Krzywa jest oczywiście również podana dla promienia równego jednostce. Znając stosunek zmierzonej głębokości do promienia $h:r$, mamy wartość dla podziałki pionowej, co pozwala nam odczytać na krzywej kąt napełnienia φ .

Aby określić przepływ wody ze zmierzonej głębokości w przekroju końcowym, określamy przede wszystkim kąt φ_0 , posiłkując się krzywą III. Następnie z krzywej II odczytujemy dla φ_0 (podziałka pionowa) odpowiedni kąt φ_k (podziałka pozioma) i prowadząc z ostatnio otrzymanego punktu na krzywej II, pionową do przecięcia się z krzywą I, otrzymamy wartość przepływu Q_1 (podziałka pionowa), sprowadzonego do promienia jednostkowego. Wartość rzeczywistą przepływu wyliczymy, mnożąc Q_1 przez $r^{3/2}$.

Dla sprawdzenia słuszności założeń przeprowadzono w Laboratorium Wodnym Politechniki Warszawskiej szereg doświadczeń.

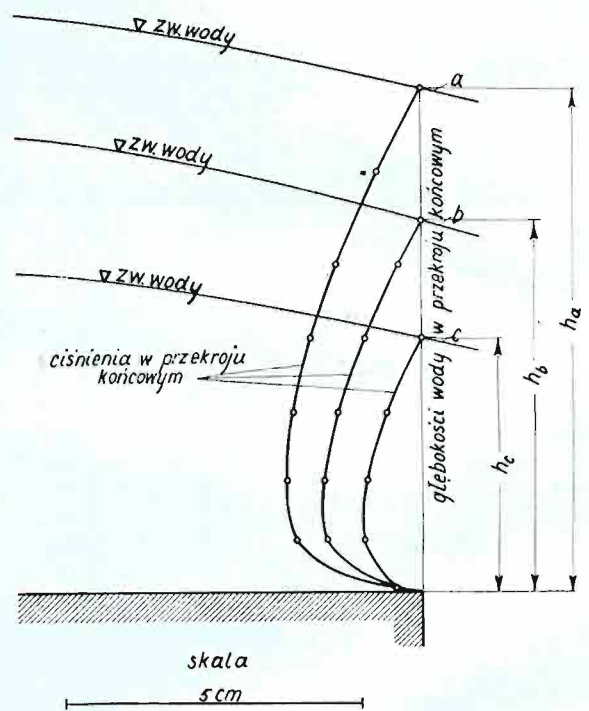
Rezultaty badań dowodzą, że głębokości w przekroju przelewowym nie potwierdzają całko-

wicie przyjętej zasady. W przekroju końcowym istnieje jednak pewna wypadkowa parcia hydrostatycznego. Parcie w tym przekroju, jak stwierdziły doświadczenia Rouse'a⁵⁾ i Schwarzmanna'a⁶⁾, rozkłada się według krzywej (rys. 6) przy wartości jego zerowej u powierzchni dolnej i górnej strugi, oraz pewnej jego maksymalnej wartości na mniej więcej 1/4 głębokości od dna. Skutkuje to w ten sposób, że głębokości na krawędzi są nieco większe od wyliczonych przy założonym zerowym parciu hydrostatycznym w całym przekroju. Jak stwierdzono doświadczalnie, im grubsza struga wody wpływającej w powietrze, tym bardziej daje się od-

$$Q_a = 125 \text{ l/sek/mb.}$$

$$Q_b = 81,19 \text{ "}$$

$$Q_c = 44,19 \text{ "}$$

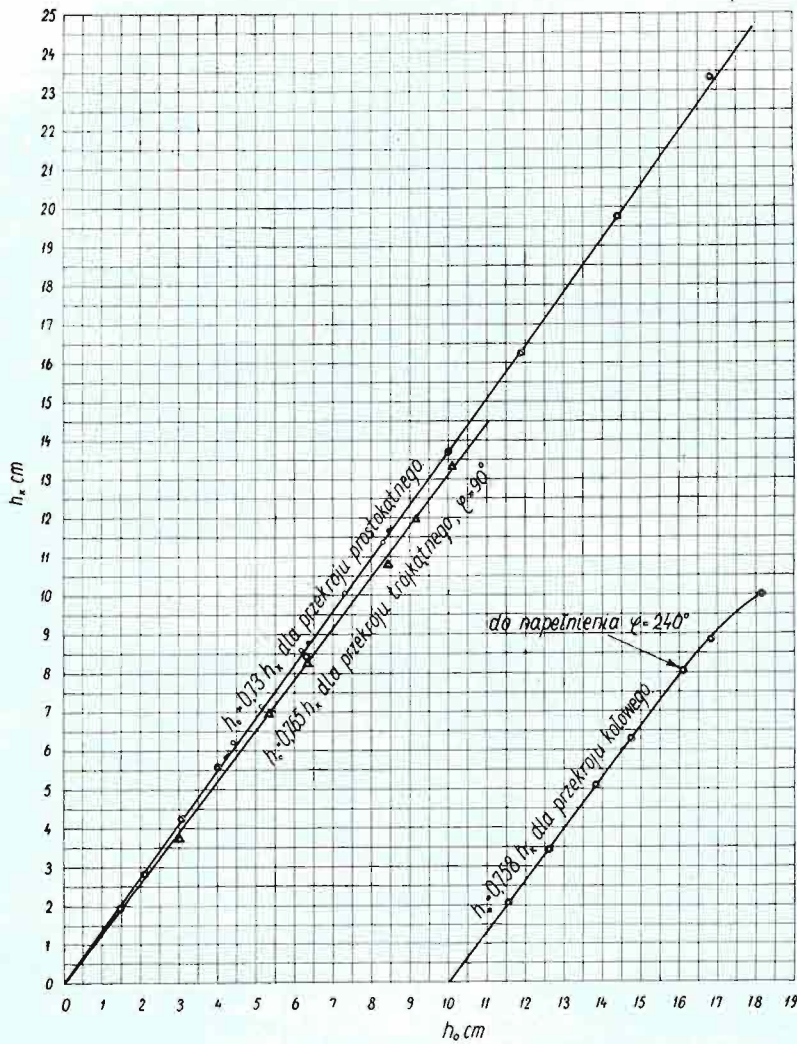


Rys. 6.

czuć wpływ istniejącego w końcowym przekroju parcia. Z tego też względu zasadniczo największe odchyłki w obliczeniach otrzymamy, posiłkując się wzorami poprzednimi dla przekroju prostokątnego, mniejsze dla kołowego, najmniejsze dla przekroju trójkątnego i w tym ostatnim wypadku coraz mniejsze, przy zmniejszającym się kącie wierzchołkowym.

⁵⁾ H. Rouse. Verteilungen der hydraulischen Energie bei einem lotrechten Absturz. Berlin 1933.

⁶⁾ H. Schwarzmann. Die Abflussscheinungen und Druckverhältnisse an Klappenwehren. Berlin 1934.



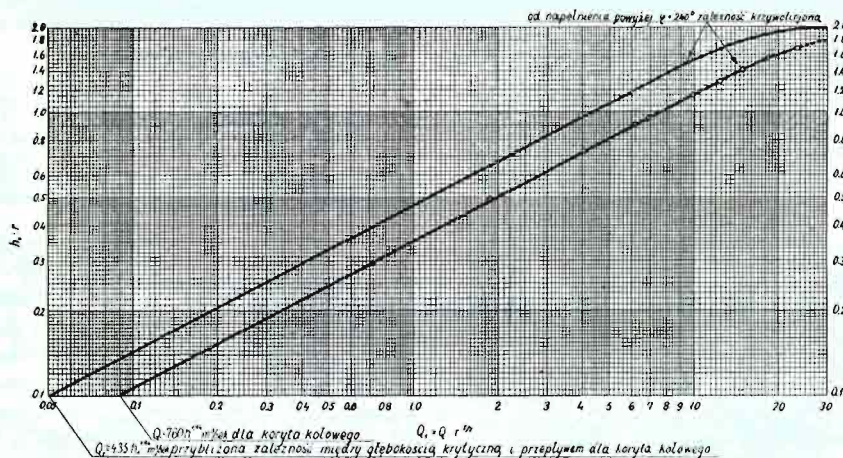
Rys. 7.

Zależności h_0 od h_k są naogół dość bliskie obliczonych wzorami (2), (8) i (13). Obserwacje, naniesione w układzie współrzędnych prostokątnych (rys. 7), wykazują ich zależność liniową, układającą się w sposób następujący:

przekrój prostokątny $h_0 = 0,730 h_k$ (14)

trójkątny $h_0 = 0,765 h_k$ ⁷⁾ (15)

kołowy $h_0 = 0,758 h_k$ ⁸⁾ (16)



Rys. 8.

⁷⁾ Mniejsza wartość zmierzona h_0 ($0.765 h_k$) od obliczonej ($0.775 h_k$) jest spowodowana tym, że mierzono wartość h_0 w wierzchołku kąta. Wobec wyraźnej wklęsłości zwierciadła wody wartość ta jest nieco mniejsza od średniego położenia zw. wody w odniesieniu do wierzchołka.

⁸⁾ Ważne aż do napełnienia $\varphi = 240^\circ$ ($h:r = 1.5$), dalej zależność krzywoliniowa.

Wszystkie trzy zależności przepływu Q od głębokości h_0 na krawędzi rynnę określone na podstawie wyników doświadczeń dają się rozwiązać w postaci wykresów w podziałce logarytmicznej. Zależności wyrażają się jako proste o równaniach:

przekrój; prostokątny $q = 5,0 h_0^{3/2} \text{ m}^3/\text{sek.}$ (17)
(rys. 1)

trójkątny $Q = 4,2 h_0^{3/2} \text{ m}^3/\text{sek.}^9)$ (18)
(rys. 3)

kołowy $Q_1 = 7,60 h_0^{1,94} \text{ m}^3/\text{sek.}$ (19)
(rys. 8)

Wzór ostatni obliczony jest dla promienia przekroju r , równego jednostce. Dla innych wartości r , aby korzystać z wykresu, należy dla podziałki pionowej brać stosunek $h_0 : r$, a wynik odczytany z podziałki poziomej pomnożyć przez $r^{3/2}$. Zależność liniowa jest ważną do napełnienia $h_0 : r = 1,50$ ($\varphi = 240^\circ$).

Na wszystkich trzech wykresach zaznaczono kółkami punkty otrzymane z pomiarów, przy czym podwójnymi kółkami oznaczono wyniki doświadczeń, przeprowadzonych w Laboratorium Wodnym Politechniki Warszawskiej, pozostałe punkty są wzięte z doświadczeń wyżej wspomnianych H. Rousse'a i H. Schwarzmann'a.

Na wykresach 1, 3, 8 podałem również dla rozpatrzonych trzech kształtów przekroju w postaci prostych zależności pomiędzy przepływem i głębokością krytyczną, dla umożliwienia bezpośredniego odczytania wartości h_k przy zadanym przepływie.

Ze względu na to, że wykres ostatni (rys. 8) nie pozwala na bezpośrednie odczytanie przepływu, ze znanych wartości r i h_0 , opracowałem dla tego wypadku nomogram do wzoru odpowiednio przekształconego na

$$Q = 7,60 \cdot h_0^{1,94} \cdot r^{0,56} \quad (20)$$

Z nomogramu (rys. 9) otrzymuje się wartości przepływu bez potrzeby dodatkowych przeliczeń.

9) Przekrój trójkątny o kącie wierzchołkowym $\varphi = 90^\circ$, dla innych kątów pomnożyć wynik przez $\text{tg} \frac{\varphi}{2}$.

Nomogram

do obliczenia przepływu w przewodzie kołowym z głębokości napełnienia h_0 w przekroju końcowym według wzoru:

$$Q = 7,6 h_0^{1,94} \cdot r^{0,56}$$

ważny do napełnienia $h_0 : r = 1,5$ ($\varphi = 240^\circ$).

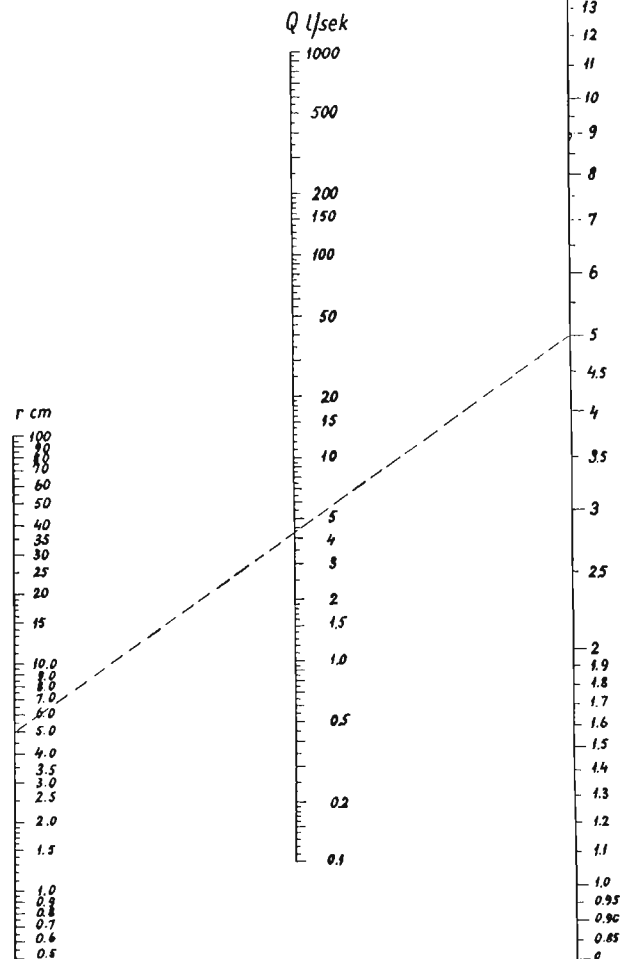
Przykład:

średnica przewodu 100 mm

napełnienie u wylotu $h_0 = 5 \text{ cm}$

$r = 5 \text{ cm}$

Przepływ wynosi $Q = 4,3 \text{ l/sek.}$



Rys. 9.

Jan Kwiatkowski

Czy bywają na Wiśle „jesienne” wylewy?

W ostatnich latach można było nieraz spotykać w dziennikach wzmianki o „jesiennych wylewach” lub o „niezwykle niskim stanie wody na Wiśle, jak na porę jesienną” itp.

Aby nie utrwały się te, jak sądzę, mylne pojęcia wskazanym jest wyjaśnić czy istnieją wylewy, dla których byłaby właściwą wymieniona w tytule nazwa oraz czy i o ile wspomniane wzmianki dziennikarskie mają jakieś podstawy.

A więc na podstawie możliwie długoletnich spostrzeżeń należy wskazać kiedy i jak często zdarzają się w ogóle wylewy Wisły. Korzystamy więc z zebranego już w innym celu i wykreślnie (rys. 1) przedstawionego materiału dla wodowskazu Sandomierskiego.

Wodowskaz ten nie jest wprawdzie w zupełności miarodajny dla całej przestrzeni Wisły, spostrzeżenia na nim czynione pozwolą jednak dać od-