

## ROZDZIAŁ V.

### OBLICZENIE ROZMIARÓW URZĄDZEŃ ODWADNIAJĄCYCH.

**Zasady obliczenia przekroju poprzecznego.** Z istoty przeznaczenia każdego kanału lub rowu wynika, że powinien być on tak zbudowany, aby przy najmniejszym koszcie wykonania mógł odprowadzać oznaczoną zgóry ilość wody w określonym również czasie, co osiągnąć można jedynie, nadając mu stosowny do potrzeby rozmiar.

Przy wykonaniu więc jakiegobądź kanału, konieczne jest ustalenie zarówno wielkości przekroju poprzecznego  $F$ , jak i najkorzystniejszego kształtu tego przekroju, musimy zatem rozważyć czynniki zarówno teoretycznej jak i praktycznej natury, wpływające na wybór tych wielkości.

Kanały, wykonane w ziemi, otrzymują zawsze ze względów praktycznych kształt trapezowy (Rys. 54).

Wielkość tego trapezu wynika z wzoru zasadniczego:

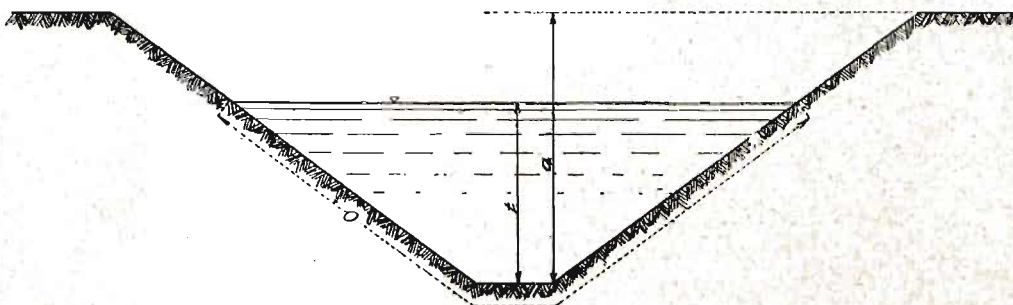
$$Q = F \cdot v \dots\dots\dots I$$

lub  $F = \frac{Q}{v}$

gdzie  $Q$  jest ilością wody, zaś  $v$  prędkością przyплиwu jej. Przekrój  $F$  zależy więc zarówno od ilości odprowadzanej kanałem wody  $Q$ , jak i od innych czynników wpływających na prędkość przepływu, jak spadku, głębokości strumienia, nachylenia skarp, szerokości dna, oraz rodzaju powierzchni koryta. Wielkości te, bądź są dane warunkami miejscowymi, bądź też wypływają z rozważań teoretycznych i wymagają obszerniejszego omówienia, bowiem od właściwego ich wyboru zależy nie tylko sprawność działania każdego kanału, lecz mniejsze lub większe koszty jego wykonania i konserwacji.

**Określenie ilości wody.** O przewidywanej ilości wody pochodzącej z odwodnienia pewnego obszaru możemy wnioskować zazwyczaj tylko na zasadzie obliczeń przybliżonych, biorąc za podstawę znajomość opadów atmosferycznych i wielkość zlewni.

Jak to już w rozdziale II-gim niniejszej książki było wyłożone, woda, która znajduje się na powierzchni ziemi pochodzi z opadów; w części paruje ona, częścią zaś wsiąka, tworząc pożyteczną lub szkodliwą wodę gruntową, pozostałość zaś odpływa po powierzchni ziemi do naturalnych lub sztucznych cieków. Kanały odwadniające mają za zadanie zbierać wodę powierzchniową i część wody gruntowej, by je odprowadzić poza teren odwadniany. Przy obliczeniach przedewszystkiem woda powierzchniowa musi nas zajmować ze względu na jej znaczną ilość i nieregularność odpływu. Podstawę



Rys. 54.

obliczenia jej omawialiśmy już w swoim miejscu. Zauważyć przytem należy, że metody uznane w technice i z korzyścią stosowane dla budownictwa rzeczno, niezupełnie odpowiadają potrzebom odwadniania bagien, a to z powodu, że 1) hydrologowie mało uwagi poświęcali obserwacjom terenów bagiennych (Iszkowski), 2) wzory zestawione są dla większych obszarów, niż te które zazwyczaj wypadają na poszczególne działy sieci odwadniającej, 3) mamy tu do czynienia ze znacznie przyspieszonym spływem wód powierzchniowych, powodowanym gęstą siecią rowów odwadniających, 4) czas odwodnienia jest do pewnego stopnia w rękach naszych i jest zależny od potrzeb gospodarczych. Zbyt małe przekroje rowów powodować będą przedłużenie okresu odwadniania niekiedy szkodliwego dla rolnictwa, zbyt duże przekroje, pomijając zwiększony koszt, mogą nadmiernie przyspieszać spływ.



O regularności odpływu wód zbytecznych, nie może być mowy wobec nieregularnego rozkładu opadów, oraz niejednostajnego zapotrzebowania wody przez roślinność. Komplikuje tę sprawę w naszych strefach klimatycznych działanie mrozu i nagromadzanie się śniegu w okresach zimowych z następującymi później mniej lub więcej nagłymi roztopami. Zasadniczo jest pożądane, aby wody gromadzące się na powierzchni spływały bezpośrednio bez dłuższego zatrzymywania się. Wody te gromadzą się głównie w okresach wiosennych, to też przy obliczeniu ilości spływu na nie głównie praktycy kładą nacisk. Według zapatrywań powszechnych, urządzenia odwadniające winny być głównie obliczone na odprowadzenie wody podczas wiosny, względnie lata. Okres zimowy, jako przypadający na martwy dla świata roślinnego jest pozornie nieinteresujący. Zapatrywania te należy jednak zaliczyć do błędnych. Utrzymanie gleby w okresie zimowym w stanie w miarę suchym, daje możliwość usprawnienia jej i przygotowania do okresu wiosennego. Odwrotnie, gleba przesycona wodą w okresie kilku zimowych miesięcy, które, jak u nas, nie zawsze są mroźne, staje się zakwaszoną, o zepsutej strukturze i w chwili obudzenia wegetacji, niezdatną do użytku. Stąd wypływa, że przy obliczeniu sieci odwadniającej wszystkie okresy winny być brane pod uwagę, a zwłaszcza zapewnione sprawne odwodnienie w okresie zimowym, oraz okresie nadmiernych wód wiosennych.

Jeśli przez  $F$  oznaczymy obszar odwadniany w  $m^2$ , przez  $h$  wysokość średnich opadów atmosferycznych w metrach, zaś współczynnik  $\alpha$  wyrazi straty wody atmosferycznej, to ogólna ilość rocznej wody, spływającej po powierzchni będzie:  $Q = \alpha F h m^3$ , czemu odpowiadać będzie średni wpływ sekundowy:

$$q = \frac{Q}{365.24.3600} = \frac{\alpha F h}{365.24.3600}$$

Współczynnik  $\alpha$  jednak jest zmienny: w latach suchych może zmniejszać się do 0,3, gdy w mokrych przekracza 0,4. W poszczególnych zaś miesiącach różnice są znacznie większe, bo dla niewielkich zlewni i terenów pochyłych odpływ może przekraczać 70% miesięcznych opadów.

W rzeczywistości jednak kanały odwadniające muszą być przystosowane do odprowadzenia znacznie większej ilości wody, niż średnia roczna. Przyjmują częstokroć, że odpływ winien być przystosowany do odprowadzenia maksymalnych spływów z opadów 24 względ-

nie 48-mio godzinnych. Jeśli wysokość opadów 48-mio godzinnych nazwiemy  $h'$ , to ilość wody sekundowej wyniesie

$$q' = \alpha' \frac{F h'}{48.3600}$$

Spółczynnik  $\alpha$  będzie tem mniejszy im większy jest obszar odwadniany. Wpływ kształtu terenu jest mały, gdy obszar jego nie jest wielki, a wzrasta w miarę powiększenia tego obszaru.

W strefach, gdzie opady atmosferyczne zimowe w postaci śniegów zachowują się do wiosny i spływają w większych ilościach po rostopach, uwzględnienie wód wiosennych w obliczeniu kanałów odwadniających jest rzeczą konieczną. W tym wypadku przyjmują częstokroć, że około  $\frac{2}{3}$  opadów zgromadzonych z miesięcy — grudnia, stycznia i lutego, a niekiedy i marca, odpływa dopiero w końcu marca, lub początkach kwietnia. Dla okolic Warszawy z rocznym opadem 545 mm., rachunek ten przedstawiałby się w sposób następujący:

XII	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	39
I	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	25
II	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	21
III	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	35
												120 mm.

Jeśli z tej warstwy  $\frac{2}{3}$  ma odpłynąć w przeciągu 15-tu dni, to na sek. i km.<sup>2</sup> wypadnie średnio:

$$q = \frac{2}{3} \frac{0.12.1000000}{15.86400} = 0.06 m^3$$

Interesujące dla nas mogą być normy przyjmowane przez rosyjskich hydrotechników, a określające ściek jednostkowy na który należy obliczać kanały główne. Normy te obliczone zostały dla osuszenia Połesia białoruskiego\*). Według wyprowadzonego wzoru — współczynnik stoku, obliczony w litrach na sek. z hekt. wynosi:

$$q = \frac{3.08}{\sqrt[3]{F}}$$

\*) Matierjały zapadnoj opytno melioratiwnoj organizacii, wyp. III, 1925 r.



stąd otrzymujemy:

Obszar stoku ha	Spółczynnik stoku l/ha na sek.	Spływ z całego obszaru l/sek.
1.000	0,31	310
5.000	0,18	900
10.000	0,14	1.400

Obliczenie przekroju kanału według tego wzoru przy osuszeniu łąk i lasów prowadzi się w przypuszczeniu, że kanały będą pracowały pełnym przekrojem (podczas letnich powodzi), a dla osuszenia kultur polnych i łąkowych pod warunkiem utrzymania poziomu wody w kanale na głębokości 0,5 m. pod powierzchnią. Wobec tego normalna woda letnia będzie znacznie niżej utrzymywana.

Ażeby użytkować powyżej podany wzór, wyprowadzony dla Polesia, przy projektowaniu osuszeń, znajdujących się w innych rejonach, staje się niezbędne wprowadzenie pewnych poprawek, wynikających z odmiennych opadów atmosferycznych, parowania i nachylenia powierzchni. Wzór taki przedstawiać się będzie w formie następującej:

$$q = \frac{\alpha}{1,55} \sqrt[4]{\frac{I}{0,0003}} \cdot \frac{3,08}{\sqrt[3]{F}}$$

$\alpha$  jest to współczynnik, oznaczający stosunek opadów do parowania, czyli  $\frac{O}{P}$ , gdzie według profesora Kostiakowa  $P$  określić można następującym wzorem:

$$P = 100 \cdot t \left( 1 - \frac{r}{100} \right)$$

We wzorze tym  $t$  oznacza temperaturę średnią w okresie wegetacyjnym, zaś  $r$  — średnią wilgotność powietrza w tymże okresie.

$I$  we wzorze dla  $q$  oznacza średni spadek kanału, zaś  $F$  obszar odwadniany w hektarach.

Według prof. A. D. Dubacha wzór podany wyżej daje zadawalniające rezultaty dla całego obszaru Rosji Europejskiej.

Na zjeździe rosyjskich Inżynierów hydrotechników Oddziału melioracyjnego Ministerjum Rolnictwa, odbytem w roku 1909, postano-

wiono przyjmować stok wód do obliczania kanałów osuszających równy 0,32 (dla łąk), do 0,65 l/h, (dla pól), która to norma, przy zlewniach niezbyt wielkich wydaje się być trafną dla okolic wschodnich kraju naszego.

Według znanego rosyjskiego inżyniera Oppokowa spływ z terenów bagiennych wynosi:

dla obszarów średnich . . . . . 0,25 l/h

„ „ „ „ „ „ „ „ „ 0,13 „

Dla błot Poleskich spływ ten jakoby wynosi 0,12 do 0,05 l/h.

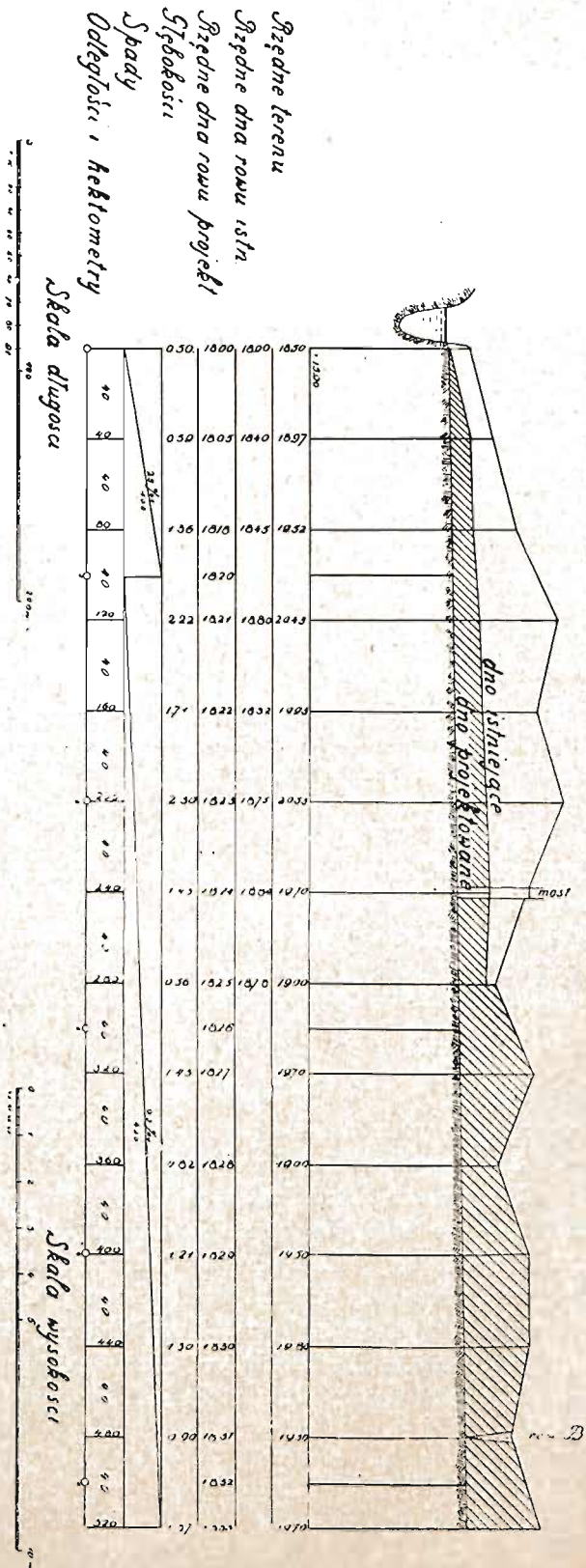
Jak widzimy normy stoku wód nie są jeszcze ustalone, to też dla pewności, obrachunek należy prowadzić różnemi metodami, przystosowaniami do warunków miejscowych, co ułatwi wyciągnięcie pewniejszych wniosków. Dla większych zlewni nadawać się będą normy i metody podane w Rozdziale II niniejszej książki, zwłaszcza metoda Iszkowskiego, dla mniejszych — mogą okazać się pożyteczne wiadomości, przytoczone na str. 35. Obliczanie wody dla odwodnień sztucznych omawiać będziemy w rozdziale VI niniejszej książki. Gdzie to jest możliwe, należy przed sporządzeniem projektu dokonać pomiarów bezpośrednich ilości wód spływających w różnych porach roku, a szczególnie podczas roztopów wiosennych i po opadach. Zrozumiałe jest, że metoda ta możliwa będzie tylko wówczas, gdy kanałem głównym, względnie odbiornikiem jest istniejący już strumień, przyczem jednak uwzględnić należy okoliczność, że po wybudowaniu sieci odwadniającej ilość wód spływających zostanie powiększona, wskutek ułatwionego i przyspieszonego ścieku wód powierzchniowych.

**Nachylenie dna kanałów, czyli spadek** jego wyraża stosunek różnicy poziomu dwóch punktów do ich odległości  $\frac{h}{l} = I$ , i oblicza się zwykle w % lub ‰. W korytach sztucznych przypuszczamy zarazem, że zwierciadło wody układa się równolegle do dna.

Jasne jest, że nachylenie dna kanału na znaczniejszej długości jego uzależnione jest zawsze naturalnym spadkiem terenu, przez który jest prowadzony. Wybór najodpowiedniejszego spadku w zależności od innych czynników, mających nań wpływ, obliczenie jego wielkości i t. d. najłatwiej dokonać przy pomocy nakreślenia profilu podłużnego trasy kanału (Rys. 55), co zwłaszcza przy dłuższych rowach i kanałach, oraz więcej urozmaiconym terenie nigdy nie powinno być zaniedbane. Profil, którego skala długości jest zawsze wielo-



# *Profil podłużny rowu*



кратно mniejszą niż skala wysokości dla uwydatnienia naocześniejszego zmian wysokościowych terenu, powinien zawierać wszystkie szczegóły, które mogą być przydatne przy następnym opracowaniu projektu, lub wykonaniu robót.

W naturze spadki, wynoszące na dłuższej przestrzeni  $10^0/_{00}$ , zdarzają się już bardzo rzadko, zaś nachylenia względem poziomu obszarów bagnistych na Białorusi wynoszą zaledwie 0,01 do 0,05%. Naturalne ciekły wodne okolic płaskich, które żłobią sobie łożyska w kierunku zagłębień dolin, posiadają zazwyczaj znacznie mniejsze spadki.

Spadki wielkich naszych rzek wynoszą:

Wisła od ujścia Pilicy do Warszawy . . .	$0,165^0/_{00}$
„ „ Warszawy do Narwi . . .	$0,334^0/_{00}$
Niemen średnio cały bieg . . .	$0,201^0/_{00}$
Bug średnio . . .	$0,312^0/_{00}$
Przypeć . . .	$0,070^0/_{00}$

Dla kanałów i rowów odwadniających o mniejszym przekroju, spadek, wynoszący  $0,1^0/_{00}$ , jest już bardzo mały i mogą one funkcjonować prawidłowo tylko przy wyjątkowo starannem utrzymaniu koryta, przytem wykonanie takiego spadku nastręcza przeszkody trudne do pokonania. Z tego powodu za granicę spadów dna rowów odwadniających uważać należy  $0,2^0/_{00}$ , lecz najkorzystniejszym dla funkcjonowania rowów zwykłych jest spadek ich dna, wynoszący  $0,5^0/_{00}$  do  $1^0/_{00}$ . Spadki powyżej 2 do  $2,5^0/_{00}$  już rzadko dają się stosować bez sztucznego umocnienia brzegów, bowiem zbyt wartki prąd wody łatwo je podmywa.

Jeśli skutek zbyt wielkiego nachylenia terenu otrzymuje się tak wielki spadek dna kanału, co przy rowach głównych często się zdarza, że osiągnięta szybkość prądu wody przekracza normy, wskazane w poprzednim rozdziale i grozi nadwyrężeniem koryta, wtedy należy dążyć do zmniejszenia tego spadku przez zastosowanie stopni (kaskad), albo umocnienia dna sposobami, o których w swoim miejscu mówić będziemy.

Nachylenia dna rowów drugorzędnych osuszających wraz z zbyt małym spadkiem terenu dają się w pewnych wypadkach powiększyć przez spłylenie ich ku górze, zaś pogłębienie przy ujściu, jak to już na Rys. 30 było zobrazowane. Rowy takie ze spadkiem  $0,5^0/_{00}$  funkcjonują zazwyczaj zupełnie zadawalająco.



Przejsć raptownych od większych spadków dna do mniejszych, należy starannie unikać ze względu na łatwe uszkodzenie łożyska prądem wody w miejscach załamania spadków i zanieczyszczanie grubszymi osadami wskutek zmniejszonej prędkości prądu.

**Kształt przekroju poprzecznego.** Kanałom i rowom osuszającym zarówno ze względów praktycznego wykonania, jak i względów teoretycznych, nadaje się wyłącznie przekrój trapezowy, ograniczony od dołu poziomym dnem, oraz dwoma brzegami mniej lub więcej nachyleniami. Jak następnie zobaczymy nachylenie brzegów zależy jest przeważnie od jakości gruntu, w którym kanał jest wyłobiony, zaś szerokość dna zależy jest od ilości wody, przepływającej kanałem. W rzadkich tylko wypadkach stosowane bywają przekroje złożone, a mianowicie, gdy ilość wody przepływowej waha się w znacznych granicach. Przekrój taki pozwala osiągnąć mniejsze wahanie poziomów wód przy różnych wodostanach i mniejszą prędkość przepływu, dając pewną oszczędność wykopu. Przekroje takie używane są często dla strumieni i rzek, gdzie różnice pomiędzy małymi wodami i wielkimi są znaczne, a zależy na tem, aby koryto, służące dla odprowadzenia wód małych, pomieścić mogło w sobie również wody powodziowe, nie dopuszczając do rozlewu ich.

W rowach osuszających, które odprowadzają tylko nieznaczne ilości wody, jak np. zwykłe rowy łąkowe, wystarcza szerokość dna 0,3 do 0,4 m. i rzadko przekracza 0,5 m. Zbyt wielkich szerokości dna przy zmiennej ilości wody unikać należy z tego powodu, że małej ilości wody odpowiada niewielka prędkość przepływu, łatwe osiadanie namulów, zarastanie dna chwastami, a niekiedy woda bardzo mała, nie pokrywając całkowicie dna, ryje sobie w niem dodatkowe łożyska.

Ważnym bardzo szczegółem przekroju poprzecznego jest właściwe nachylenie brzegów, które zależy, ogólnie wzięwszy, od spistości gruntu i wyrażane bywa przez  $tg$  kąta nachylenia ich (Rys. 56).

$$tg \delta = \frac{n}{d} = \frac{1}{n}$$

gdzie  $n$  podaje bezpośrednio stosunek nachylenia skarp. Stosownie do tego nazywamy skarpe pojedynczą, podwójną i t. d. o ile stosunek nachylenia  $a:d = 1/1$  lub  $1/2$  i t. d. Wobec powyższego szerokość górą rowu

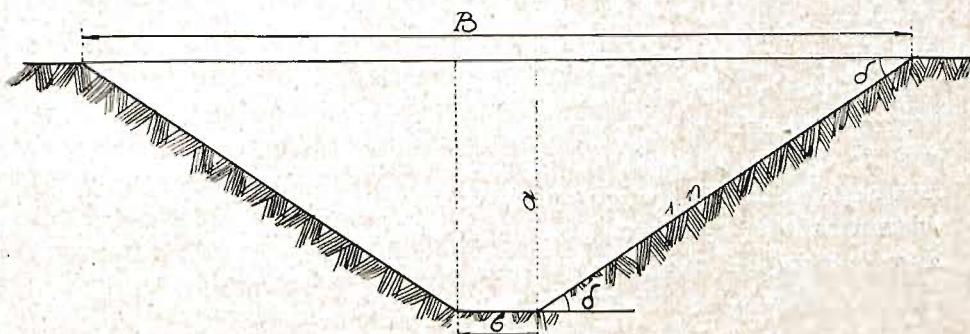
$$B = b + 2d = b + 2an = b + 2actg \delta$$

zaś przekrój poprzeczny:

$$F = \frac{B + b}{2} a = a (b + an)$$

Zbyt strome skarpy grożą łatwym osuwaniem się ziemi i uszkodzaniem rowu, gdy zbyt pochyłe pociągają za sobą znaczne koszty wykonania, powiększając niepomrotnie szerokość rowu i pas gruntu straconego. Zachowanie właściwego nachylenia brzegów jest ważne zwłaszcza przy rowach o dnie wąskim, gdzie ziemia opadająca z brzegów łatwo tamować może odpływ i powodować dalsze uszkodzenia łożyska. Jako najwłaściwsze nachylenie brzegów przy wykonaniu rowów przyjąć można

dla rowów brukowanych . . . . .	1 : 1
„ gliny i iłu . . . . .	1 : 1
„ gruntu zwykł. piaszcz.-glin. . . . .	1 : 1½
„ piasku . . . . .	1 : 2
„ piasku sypkiego . . . . .	1 : 3
„ torfu . . . . .	1 : 1½ do 1 : 1.



Rys. 56.

Względy gospodarcze skłaniać mogą niekiedy do zredukowania tych nachyleń lub powiększenia ich. W wypadku pierwszym zawsze pożądane jest wzmocnienie brzegów ze względu na koszty konserwacji. Znacznem umocnieniem brzegów rowów jest odarniowanie ich, nigdy też nie powinno być zaniedbywane (patrz rozdziały następne), bowiem zmniejszając znacznie koszt konserwacji, zapobiega rozkrzewianiu się chwastów, co zwłaszcza na polach jest rzeczą ważną, zaś przy starannem utrzymaniu darniny może nawet dawać niejaki dochód. Zwiększony koszt jednorazowy wykonania rowów, przy za-



stosowaniu właściwych skarp i odarniowania brzegów zawsze sownie opłaca się w zmniejszonych kosztach konserwacji.

W pewnych wypadkach może okazać się korzystnym zastosowanie niesymetrycznych przekrojów. Odnosić się to może do rowów opaskowych, gdzie dopływ jednostronny wody powierzchniowej i wstępnej skłaniać może do zastosowania skarpy narażonej na rozmywanie o łagodniejszym nachyleniu, a więc 1:2 lub 1:3, niż skarpy przeciwległej (Rys. 57).



Rys. 57.

Ponieważ, jak to później zobaczymy, prędkość przepływu wody zależna jest w pewnej mierze od kształtu przekroju poprzecznego, i ustosunkowania w nim wymiarów takich, jak głębokość i szerokość dna, to określając wielkość przekroju  $F$  odpowiadającą ilości wody nim odprowadzanej, otrzymujemy zadanie dopuszczające szereg rozwiązań zadość czyniących potrzebom. Ponieważ jednak z powiększaniem przekroju  $F$  zwiększa się koszt wykonania kanału, przeto interesującym staje się pytanie, jaki może być najkorzystniejszy przekrój.

Z równania dla przekroju wynika, że  $F_{min.}$  może być tylko przy  $v_{max}$ . Ponieważ jednak

$$v = k \sqrt{RI} = k \sqrt{\frac{F}{O} I}; \quad . . . . . I$$

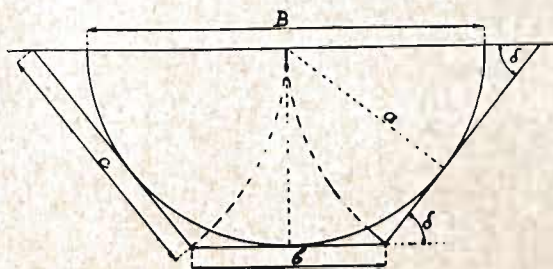
przeto widoczny jest warunek aby obwód zwilżony  $O$  stanowił najmniejszą wartość przy danej wielkości  $F$ .

Koło posiada najmniejszy obwód w stosunku do wielkości swego pola i z tego wypływa, że najekonomiczniejszym przekrojem dla kanału byłoby półkoło, którego środek leżałby na linii zwierciadła wody. Do tegoż najwięcej zbliżone są wielokąty prawidłowe opisane na

kole, przez środek którego idzie linja zwierciadła wody. Z praktycznych jednak względów wskazane jest, jak to już wyżej było powiedziane, by łożysko wykonane w ziemi posiadało kształt trapezowy z nachyleniem boków, zależnem od rodzaju gruntu. Ażeby przy tych warunkach określić najkorzystniejszy przekrój, odpowiadający danej wielkości  $F$ , należy znaleźć stosunek pomiędzy dwoma wymiarami równobocznego trapezu, mianowicie szerokością dna  $b$  i głębokością  $a$ , przy których otrzymuje się najmniejszy obwód podwodny  $O$ , a więc zarazem maximum  $R$ ,  $v$  i  $Q$ .

W normalnym przekroju trapezowym kanału (Rys. 58) szerokość zwierciadła wody:

$$B = b + 2a \cotg \delta$$



Rys. 58.

wobec czego:

$$F = \frac{B + b}{2} a = (b + a \cotg \delta) a$$

skąd:

$$b = \frac{F}{a} - a \cotg \delta \quad \dots \dots \dots \text{II}$$

a obwód zwilżony:

$$\begin{aligned} O = b + 2c &= \frac{F}{a} + a \cotg \delta + \frac{2a}{\sin \delta} = \\ &= \frac{F}{a} + \frac{a(2 - \cos \delta)}{\sin \delta} \end{aligned}$$

Promień hydrauliczny  $R = \frac{F}{O}$  osiągnie swą wartość maxim, przy stałym  $F$ , gdy  $O$  będzie minimum.



To będzie miało miejsce gdy przy stałej wartości dla  $\delta$  i zmiennej dla  $a$  i  $O$ :

$$\frac{dO}{da} = -\frac{F}{a^2} + \frac{2 - \cos \delta}{\sin \delta} = 0$$

stąd

$$a = \sqrt{\frac{F \sin \delta}{2 - \cos \delta}} \quad \dots \dots \dots \text{III}$$

Z powyższego otrzymamy

$$\frac{2 - \cos \delta}{\sin \delta} = \frac{F}{a^2}$$

albo

$$O = \frac{F}{a} + a \frac{F}{a^2} = \frac{2F}{a}$$

$$O = 2 \frac{\frac{B+b}{2} \cdot a}{a} = B + b$$

ponieważ jednak także

$$O = b + 2c,$$

to

$$B = 2c = \frac{2a}{\sin \delta},$$

t. j. linje pochyłe brzegów są to styczne do koła zatoczonego promieniem  $= a$  z punktu, znajdującego się po środku zwierciadła wody.

Promień hydrauliczny

$$R = \frac{F}{O} = \frac{F}{2F} = \frac{a}{2} \quad \dots \dots \dots \text{IV}$$

zaś stosunek szerokości dna do głębokości

$$\left. \begin{aligned} \frac{b}{a} &= 2 \operatorname{tg} \frac{\delta}{3} \\ \frac{a}{b} &= \frac{1}{2} \cotg \frac{\delta}{2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{V}$$

Dla zwykłych nachyleń skarp możemy ułożyć następującą tablicę stosunków  $\frac{a}{b}$  t. j. głębokości rowu wzgl. strugi do szerok. dna:

Skarpa	Kąt nachyl. skarpy	Stosunek a:b
1:0	90°	0,500
1:0,5	63° 26' 06"	0,809
1:1	45°	1,207
1:1,5	33° 41' 24"	1,648
1:2	26° 33' 54"	2,119
1:3	18° 26' 06"	3,081

**Prędkość przepływu** wody w kanałach i rowach, w przypuszczeniu ruchu jednostajnego, podaje znany wzór praktyczny Tadiniego:

$$v = k \sqrt{RI}$$

gdzie  $R$  jest promieniem hydraulicznym,  $I$  wyraża spadek, zaś  $k$  jest współczynnikiem, zależnym od właściwości koryta, jego kształtu i wyrażony został przez Bazina wzorem:

$$k = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \quad \dots \dots \dots \text{VI}$$

Wzór ten nadaje się szczególnie dla koryt sztucznych, a współczynnik  $\gamma$  zależny jest od jakości ścianek koryta i przyjmuje wielkości następujące:

#### Wartości wzoru Bazina.

Nr.	Ś c i a n y k o r y t a	$\gamma$	Odpowiada n Kuttera
I	Bardzo gładkie ściany: wyprawa cementowa, drzewo heblowe i t. p.	0.06	0.010
II	Gładkie ściany: mur obrobiony, bale, cegła wyfugowana . . . . .	0.16	0.013
III	Mniej gładkie ściany: zwykły mur z kamienia, beton . . . . .	0.46	0.017
IV	Ziemia, bruk o b. regularnym przekroju	0.85	0.020
V	Regularne koryta rzeczne z drobną roślinnością . . . . .	1.30	0.028
VI	Rzeki z dnem kamienistym . . . . .	do 1.75	do 0.053



Może być również stosowany dla określenia współczynnika  $k$  — skomplikowany wzór Ganguillet'a i Kuttera w postaci

$$k = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00050}{I}}{1 + \left( 23 + \frac{0.0015}{I} \right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad \dots \dots \text{VII}$$

w którym  $n$ , wielkość zależną od oporów tarcia, przyjęto:

0,025 — gdy łożysko jest stosunkowo dobrze utrzymane,

0,03 — gdy łożysko jest zarośnięte,

użycie wzoru tego jest stosunkowo ułatwione przez tablicę\*), dające gotowe rezultaty dla  $k$  przy różnych wartościach  $R$ ,  $I$  oraz  $n$ .

Najwięcej jednak polecenia godnym jest nowy wzór profesora Matakiewicza, jako określony na podstawie wielkiej ilości pomiarów bezpośrednich \*\*)

$$v = 35.4 I^m t^{0.7}, \quad \dots \dots \dots \text{VII}$$

gdzie  $I$  wyraża spadek, zaś  $t$  — śr. głębokość wody w kanale lub rzece.

### Wartość wykładnika $m$ .

Rodzaj łożyska	Wartość $m$ .
1. Rzeki . . . . .	0,493 + 10 $I$
2. Kanały ziemne regularne . . . . .	0,483
3. Kanały ziemne zaniedbane . . . . .	0,505 — 0,515
4. Kanały wyłożone szorstkim brukiem . . . . .	0,493 — 2 $I$
5. Kanały betonowe lub gładko brukowane . . . . .	0,405
6. Rury betonowe średnio szorstkie . . . . .	0,410 — 9 $I$
7. Rury żelazne lane, nowe . . . . .	0,370 — $I^{0.5}$

Dla rowów mniejszych zamiast głębokości  $t$  — autor zaleca wstawianie promienia hydraulicznego.

$$R = \frac{\text{Przekrój poprzeczny}}{\text{Obwód zwilżony}}$$

\*) Kutter. Bewegung des Wassers in Kanälen, 1904.

\*\*) Ogólna formuła na średnią chyżość przepływu w łożyskach rzecznych i kanałowych. Wydanie Akademii Nauk Technicznych, 1925 r.

Jak z powyższych wzorów widzimy, wielkość prędkości przepływu jest zależna od czynników, na które możemy mieć wpływ i które, do pewnego przynajmniej stopnia, dobierać możemy stosownie do potrzeb. Względy praktyczne jednakże zmuszają nas do ograniczenia prędkości przepływu, która nie powinna przekraczać pewnych norm określonych doświadczalnie, bo gdy przy zbyt małej prędkości dno kanału zostaje łatwo zamulone cząstkami osiadającymi z wody i prędko zarasta chwastami, dając przy tem przekroje nieekonomiczne, to zbyt duża prędkość przyczynia się łatwo do nadwyżęzania dna i boków rowu przez wymulanie. Naogół normy podawane przez wielu hydrotechników, różnią się mniej lub więcej, co wskazuje na dotychczasowy brak ustalenia w tym kierunku poglądów. Podręcznik „Technik” podaje następującą tablicę, określającą dozwolone prędkości przy różnych gruntach.

#### Dopuszczalna prędkość wody w kanałach.

Rodzaj łożyska	V max.	V min.
Szlam i brunatna glina garncarska . . . . .	0,15	0,08
Glina chuda lub tłusta . . . . .	0,20	0,10
Tłusty piasek rzeczny . . . . .	0,30	0,16
Żwir . . . . .	1,22	0,70
Dno z głazów . . . . .	1,52	0,90
Mieszanina odłamów łupkowych . . . . .	2,22	1,49
Skały twarde niewarstwione . . . . .	4,27	3,14

Prędkości te, sądzimy, że należy uważać jako denne, czyli średnia prędkość przekroju może być większa.

Według obserwacji dokonanych w Finlandji \*), prędkości przepływu przy których nie następuje nadwyżęzanie dna w gruntach torfowych, wynosi:

	silnie rozłożony	częściowo rozłożony
Torf leśny . . . . .	0,40 m/sek.	0,60 m/sek.
„ Carex . . . . .	0,40 „	0,60 „
„ Sphagnum . . . . .	0,40 „	0,65 „
„ Equisetum . . . . .	0,70 „	0,90 „
„ Eriophorum . . . . .	0,90 „	1,10 „

\*) Der Kulturtechniker, 1926, str. 946.



Przy dnie skalistym dopuszczalna jest prędkość  $2 \text{ m/sek.}$ , zaś przy piaszczystym prędkość  $0,58 \text{ m/sek.}$  nie była szkodliwą. Wogóle stwierdzono nieszkodliwe prędkości

dla gruntu piaszczystego	. . . . .	$0,55 \text{ m/sek.}$
" " gliniastego	. . . . .	$0,45 \text{ "}$
" " iłowego	. . . . .	$0,30 \text{ do } 0,70 \text{ m/sek.}$
" " szlamowego	. . . . .	$0,25 \text{ m/sek.}$

Obserwacje wskazują, że aby zapobiec tworzeniu się osadu w kanałach, prędkość nie powinna być mniejsza, niż  $v = 0,25 \text{ m'}$ , jeśli woda unosi ze sobą drobny szlam, zaś  $v = 0,50 \text{ m'}$ , skoro jest obawa osadzania piasku. W torfach prędkość przepływu wody w rowach może dochodzić do  $1 \text{ m}$ , bez większej obawy uszkadzania ich. W gruntach mineralnych — granicą prędkości wydaje się być  $1,2$  do  $1,5 \text{ m}$ , zależnie od spistości.

**Obliczenie przekroju poprzecznego.** Wychodząc z danych, zawartych w rozdziałach poprzednich, przeprowadza się obliczenie przekroju poprzecznego przy uwzględnieniu ilości wody jaką dany kanał ma prowadzić, oraz spadku, który w warunkach miejscowych można mu nadać. Ponieważ z wzorów ogólnych, dających nam możliwość obliczenia prędkości wynika, że jest ona zależna od nieznanej nam głębokości (we wzorze Matakiewicza), lub też promienia hydraulicznego  $R$ , a także zależna jest od współczynników oporu, które również zależne są od wielkości i kształtu nieznanego nam koryta, przeto równanie na prędkość posiada szereg niewiadomych, nie pozwalających na rozwiązanie go inaczej, jak przez próbne podstawianie tych niewiadomych. Zagadnienie rozwiązuje się więc z pomocą przyjęcia przekroju o pewnych wymiarach i obliczaniu, o ile odpowiada on przyjętej wydajności  $Q$ .

Sposób wyżej opisany odnosi się zarówno do wzoru Tadiniego, jak i innych, a więc Matakiewicza, Manninga i t. p.

**Przykład:** znaleźć najkorzystniejszy przekrój dla rowu o nachyleniu skarp  $1:1,5$ , spadku  $I = 0,005$  ( $0,5\text{‰}$ ), któryby odpowiadał wydajności  $Q = 0,300 \text{ m}^3$ . Według tablicy przytoczonej w rozdziale o najkorzystniejszym przekroju dla skarp  $1:1,5$ , stosunek głębokości do szerokości dna winien wynosić:

$$\frac{t}{b} = 0,648 \text{ stąd } t = 0,648 b$$

Jeśli przyjmiemy  $b = 0,4 \text{ m}$ ,  
to głębokość strugi wodnej wyniesie:

$$t = 0,659 \simeq 0,66$$

W celu obliczenia ilości wody  $Q$ , przy tak przyjętych rozmiarach łóżyska, należy określić prędkość przepływu  $v$ , które według wzoru Matakiewicza:

$$v = 35,4 \text{ l}^m \text{ t}^{0,7}$$

We wzorze tym dla rowów mniejszych zamiast głębokości  $t$ , należy przyjąć promień hydrauliczny  $R$ . Według tego, co było powiedziane o najkorzystniejszym przekroju, wynika według wzoru IV, iż

$$R = \frac{t}{2} = 0,33$$

Posiłkując się tablicami\*) dla wielkości  $34 \text{ l}^m$ , oraz dla wielkości  $1,04 \text{ t}^{0,7}$  znajdziemy:

$$v = 0,86 \cdot 0,47 = 0,404 \text{ m.}$$

Ponieważ

$$F = t (b + 1,5 t) = 0,91 \text{ m}^2,$$

przeto

$$Q = F \cdot v = 0,91 \cdot 0,4 = 0,364 \text{ m}^3.$$

Widzimy zatem, że przyjęte wymiary są zbyt wielkie.

Jeśli przyjąć szerokość dna mniejszą:

$$b = 0,35$$

to otrzymamy dla najkorzystniejszego przekroju

$$t = 0,57$$

$$R = 0,29$$

skąd prowadząc obliczenia, jak poprzednio, otrzymamy:

$$v = 0,86 \cdot 0,44 = 0,83$$

$$F = 0,62$$

$$Q = F \cdot v = 0,235.$$

---

\*) Ogólna formuła na średnią chyżość przepływu w łóżyskach. Wydanie Akad. Nauk Techn. 1925 r.



Wynika stąd, że przyjęte ostatnio wymiary są zbyt małe. Poszukiwany zatem przekrój będzie pośredni pomiędzy tym i poprzednio otrzymanym, to zn. przyjąć można z dostateczną dokładnością  $b = 0,37$ ;  $t = 0,62$ .

Gdyby z jakichkolwiek powodów otrzymana z obliczenia prędkość była większa, niż warunki praktyczne pozwalają, należałoby zrezygnować z przekroju najkorzystniejszego i dobrać przekrój o rozmiarach, dających mniejsze prędkości przepływu, a zatem posiadających szersze dno i mniejszą głębokość wody. Całkowita głębokość rowu będzie tu zależną od ustalenia zwierciadła wody względem terenu.

Dla ułatwienia nieco zmuśnych obliczeń, w praktyce rozpowszechniło się użycie tablic nomograficznych np. Schewior: „Hilfstafeln zur Bearbeitung von Meliorationsentwüfren“\*), ułatwiających w znakomity sposób wybór rozmiarów przekroju poprzecznego.

O ile rów ma odprowadzać niewielką ilość wody obsiakowej i do prymitywnych celów służyć, to profil jego powinien być wybrany jaknajprostszy, zapewniający jaknajmniejsze koszty utrzymania, a więc zastosowany przedewszystkiem do miejscowych potrzeb praktycznych. We wszelkich jednak wypadkach poważniejszych nigdy nie należy zaniedbywać jaknajskrupulatniejszego rozważenia wszystkich czynników teoretycznych, mających wpływ na wybór tego przekroju, co ma bezpośrednie znaczenie zarówno dla prawidłowego funkcjonowania kanału lub rowu, jak i kosztów jego wykonania.

**Obliczenie przepustów.** W miejscowościach płaskich, do jakich zazwyczaj należą tereny bagienne, wymagające odwodnienia, obliczenie przepustów drogowych, ze względu na mogące powstać spiętrzenie wody, lub czasowe zatamowanie swobodnego odpływu, winno być dokonane zawsze z możliwą skrupulatnością. Ilość wody  $Q$  dla osiągnięcia pożądanego bezpieczeństwa przyjmować należy ze znacznym nadmiarem. Bliższe szczegóły i normy w tej sprawie omówiliśmy w rozdziale o spływie powierzchniowym str. 37.

Prędkość przepływu wody w przepustach, określona wzorem  $v = \frac{Q}{F}$ , nie powinna przekraczać pewnego maximum, któreby mogło powodować jakiekolwiek uszkodzenia w przepuście lub jego bliskości,

\*) Tablice te wykreślone są na podstawie wzoru Ganguillet'a i Kuttera.

z drugiej jednak strony zabezpieczać powinna od osiadania namulów, co osiągnie się, jeśli prędkość odpływu jest większa, niż dopływu.

Nachylenie przepustów, czyli ich spadek jest zwykle dany nachyleniem dna rowu. Przy małych jednak spadach rowów, pożądane jest powiększenie nachylenia rur przepustowych tak, aby ich spadek względny nie był mniejszy od 1%, a prędkość przepływu nawet przy niskim stanie wody była dostateczna do uniesienia namulów. Rozumie się, że wpływ pewien wywiera na to również ukształtowanie i chropowatość ścianek, co uzależnione jest od materiału, z którego przepust jest wykonany.

Prędkość średnią przepływu wody w zależności od umocnienia koryta podaje przytoczona tablica:

Grunt koryta i jego umocnienie	Prędkość dozwolona na dnie <i>m</i>	Odpowiednia prędkość średnia <i>m</i>
1) Ścisły piasek . . . . .	0,8	1,10
2) Ścisły grunt gliniasty . . .	1,4	1,75
3) Grunt kamienisty lub bruk .	2,0	2,3
4) Grunt skalisty . . . . .	2,8	3,3
5) Łotok murowany . . . . .	4,0	4,5
6) Łotok drewniany . . . . .	2,75	6,2

Obliczenie przekroju przepustu  $F$  wypływa z wzoru ogólnego I:

$$Q = F \cdot v = F \cdot k \cdot \sqrt{RJ}.$$

Jeśli oznaczmy:

$$F \cdot k \sqrt{R} = Q_0 \quad \text{IX}$$

to

$$Q = Q_0 \sqrt{J} \quad \text{X}$$

$$Q_0^2 = \frac{Q^2}{J}$$

Wstawiając wzór uproszczony Kuttera  $k = \frac{100 \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}}$  we wzór



IX dla  $Q_0$ , otrzymamy dla przepustu o przekroju okrągłym, wypełnionym wodą całkowicie (Rys. 59), gdzie  $R = \frac{d}{4}$ :

$$Q_0 = \frac{19,6 d^3}{m + 0,5 \sqrt{d}} \quad \dots \dots \dots \text{XI}$$

dla owalnego, wypełnionego (Rys. 60), gdzie  $R = 0,278 d$ :

$$Q_0 = \frac{29,6 d^3}{m + 0,528 \sqrt{d}} \quad \dots \dots \dots \text{XII}$$

dla przepustu prostokątnego przy  $t = \frac{d}{2}$ , gdzie  $R = \frac{d}{4}$ :

$$Q_0 = \frac{12,5 d^3}{m + 0,5 \sqrt{d}} \quad \dots \dots \dots \text{XIII}$$

dla prostokątnego przy  $t = d$  (Rys. 61), gdzie  $R = \frac{d}{3}$ :

$$Q_0 = \frac{33,3 d^3}{m + 0,58 \sqrt{d}} \quad \dots \dots \dots \text{XIV}$$

Jeśli przyjmiemy dla betonu współczynnik  $m = 0,15$ , zaś muru 0,45, to otrzymamy następujące wartości:

$d$ w $m$	Beton $m = 0,15$				Mur $m = 0,45$			
	wedł. Rys. 59		wedł. Rys. 60		wedł. Rys. 61		wedł. Rys. 61	
	$Q_0$	$\frac{Q^2}{J}$	$Q_0$	$\frac{Q^2}{J}$	$Q_0$	$\frac{Q^2}{J}$	$Q_0$	$\frac{Q^2}{J}$
0,10	0,064	0,004	0,093	0,009	0,041	0,002	0,053	0,003
0,15	0,194	0,04	0,282	0,08	0,124	0,02	0,169	0,03
0,20	0,420	0,18	0,614	0,38	0,268	0,07	0,375	0,14
0,25	0,764	0,58	1,115	1,24	0,487	0,24	0,702	0,49
0,30	1,248	1,56	1,799	3,24	0,796	0,63	1,170	1,37
0,35	1,885	3,56	2,745	7,53	1,203	1,45	1,808	3,27
0,40	2,692	7,25	3,910	15,3	1,718	2,95	2,610	6,81
0,45	3,678	13,0	5,347	28,6	2,347	5,49	3,615	13,1
0,50	4,866	23,7	8,741	76,4	3,105	9,64	4,336	18,8
0,60	7,876	54,8	11,433	130	5,029	25,3	8,000	64,0
0,70	11,826	140	17,153	294	7,545	56,9	12,310	151
0,80	16,809	283	24,365	593	10,724	115	17,604	310
0,90	22,880	524	33,141	1098	14,597	213	26,960	727
1,00	30,154	909	43,658	1906	19,238	370	32,333	1045

Dla przepustów jak i le w a r ó w pozostających pod ciśnieniem, zastosować również możemy wzór poprzedni:

$$Q = Fv = Fk\sqrt{R.l}$$

w którym przyjmując  $F = \pi d^2 : 4$ , zaś  $o = \pi d$ , po odpowiednim przekształceniu równań otrzymamy

$$d = \mu \sqrt[5]{\frac{Q^2}{l}} = \mu \sqrt[5]{\frac{l}{h} Q^2} \dots \dots \dots \text{XV}$$

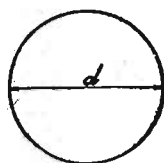
gdzie  $\mu$  przyjąć można:

dla przepustu betonowego okrągłego  $\mu = 0,20$

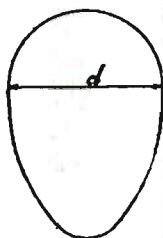
„ „ „ owalnego  $\mu = 0,232$

„ „ murowanego . . . .  $\mu = 0,26$

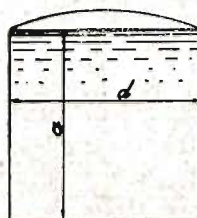
„ rur średn. przekrojów . . . .  $\mu = 0,301$



Rys. 59.



Rys. 60.



Rys. 61.

Poza tem  $l$  oznacza długość przepustu w  $m$ , zaś  $h$  — różnicę poziomów wody (Rys. 62).

W użyciu bywa też wzór zasadniczy  $Q = F$ , w którym według Weissbacha przyjąć należy dla przekroju okrągłego:

$$v = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1 + e + k \frac{l}{d}}}; d = \frac{v^2 kl}{2gh - v^2(1 - e)} \dots \dots \text{XVI}$$

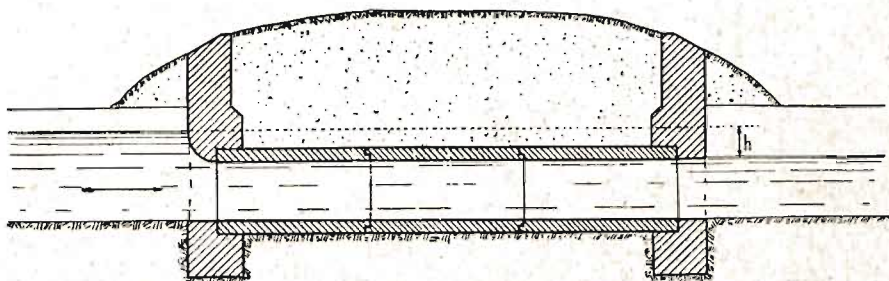
gdzie współczynnik oporu przy wejściu wody do przepustu  $e = 0,505$ , zaś współczynnik tarcia  $k$ , według Darcy, zależny jest od średnicy rury i przedstawiony został w postaci:

$$k = 0,01089 + \frac{0,0005078}{d}$$

$d = 0,1$	1	2
$k = 0,0249$	0,0203	0,0207



Przy małych zlewniach otrzymuje się zwykle wymiary przepustów tak niewielkie, że w praktyce należy robić często znaczne odstępstwa od obliczenia teoretycznego, pożądane bowiem, by wielkość przepustu była tak dobrana, aby umożliwione było oczyszczanie go, co prowadzi do stosowanie otworów w prześwicie conajmniej około 0,6 m średnicy.



Rys. 62.

**Obliczenie bryłowości kanałów.** Objętość ziemi, którą należy wydobyć dla utworzenia kanału, jest miarodajna dla kosztów, i z tego powodu w każdym poszczególnym wypadku wykonania musi być obliczana bryłowość wykopu. Odcinek rowu pomiędzy dwiema prostopadłymi do osi jego płaszczyznami, stanowi bryłę geometryczną, zwaną *pryzmatoidem*. Jeśli powierzchnie dwóch krańcowych przekrojów odcinka, długości  $l$ , nazwiemy  $F_1$  i  $F_2$ , zaś przekrój pośredni  $F_m$  (Rys. 63), to bryłowość tego odcinka

$$M = \frac{(F_1 + 4F_m + F_2) \cdot l}{6}$$

lub jeśli nazwiemy wysokości krańcowych przekrojów trapezowych  $a_1$  i  $a_2$ , zaś nachylenie skarp  $n$ , to bryłowość:

$$M = \frac{F_1 + F_2}{2} l - n \cdot l \frac{(a_1 - a_2)^2}{6}$$

W praktyce jednak nie stosuje się tego dokładnego wzoru, lecz uproszczony:

$$M = \frac{F_1 + F_2}{2} l$$

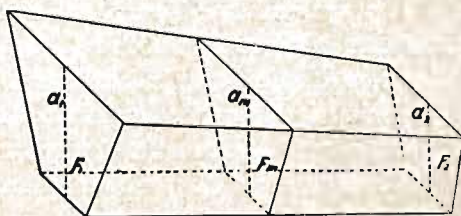
który daje rezultaty większe niż rzeczywistość.

Można również określić średni przekrój  $F_m$  ze średniej głębokości  $\frac{a_1 + a_2}{2} = \sigma_m$  i wtedy:

$$M = F_m \cdot l,$$

przyczem tak obliczona bryłowość jest zbyt małą od rzeczywistości o wielkość  $n l \frac{(a_1 + a_2)^2}{12}$ .

W ostatnim sposobie obliczona bryłowość jest bliższa prawdy, jednak rachunek taki rzadziej się stosuje ze względu, że korzystniej jest w praktyce otrzymywać rachunkowo raczej zaduże masy, niż zbyt małe.



Rys. 63.

W celu praktycznego obliczania kubatury kanału, którego głębokości są zmienne, rozdziela się go na odcinki, w ten sposób, aby każdy z nich mógł być możliwie dokładnie obliczony, w czym wielce pomocny jest profil podłużny, uwypuklający zmiany głębokości. Suma bryłowości poszczególnych odcinków da bryłowość ogólną. Jeśli nazwiemy przez  $F_1, F_2, \dots$  przekroje, ograniczające odcinki o długości  $l_1, l_2, \dots$ , to ogólna bryłowość będzie:

$$M = \frac{F_1 + F_2}{2} l_1 + \frac{F_2 + F_3}{2} l_2 + \dots + \frac{F_m + F_n}{2} l_m.$$