

c) *Pomiar dokładny.*

Uproszczone metody pomiaru będą zawsze dawały wyniki tylko mniej lub więcej przybliżone. Tam więc, gdzie chodzi o dokładne określenie przepływu wody, pomiar prędkości przeprowadzić musimy w wielu punktach przekroju.

Po przesondowaniu profilu obieramy pionowe, w których wykonujemy pomiary prędkości. Muszą one dać całkowity obraz zmian prędkości; z tego względu do pomiaru wybrać należy pionowe charakterystyczne dla przekroju, a więc przede wszystkim w miejscach załomu dna, nieregularności przekroju i w nurcie. Nie wiele lecz dobrze wybranych pionowych ma większą wartość niż wiele lecz wybranych bez planu.

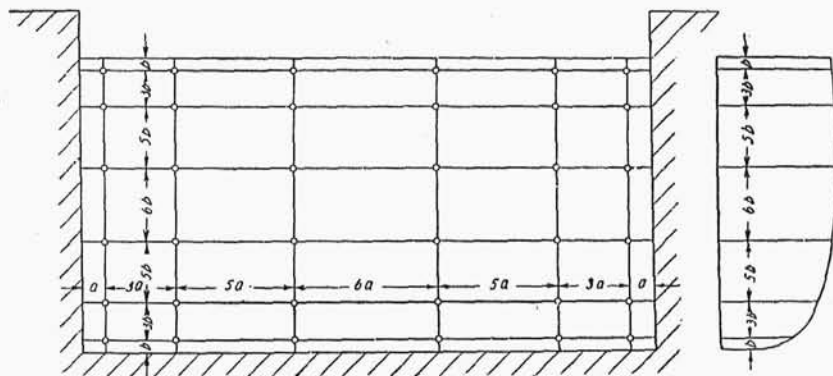
Co do wyboru ilości pionowych można kierować się następującą tabelką:

dla rzek o szerokości	do 20 m	najmniej	5 pionowych
20 — 100 m	"	7	"
100 — 300 m	"	9	"
300 — 600 m	"	11	"
600 — 1000 m	"	13	"
powyżej 1000 m	"	15	"

Z uwagi na zmianę prędkości w stosunku do głębokości i bliskości ściany należy w miejscach większych zmian głębokości punkty pomiarowe obierać gęściej. Normy szwajcarskie podają, że określając ilość N punktów pomiarowych kierować się należy następującą zależnością: $14 \sqrt{A} \leq N \leq 25 \sqrt{A}$, gdzie A jest polem przekroju w m^2 . Mniejszą ilość punktów pomiarowych stosuje się w wypadkach bardziej jednostajnego rozkładu prędkości w przekroju. W każdej pionowej obiera się zasadniczo co najmniej trzy punkty pomiarowe: jeden tuż przy powierzchni, drugi przy dnie i trzeci pomiędzy nimi. Zwykle pomiar prędkości wykonuje się od zwierciadła wody w dół. Poszczególne punkty pomiaru w pionowej nie powinny być położone bliżej siebie niż średnica śruby młynka; przy większych głębokościach odstęp nie powinien przekraczać 1 m. W wypadku regularnego przekroju normy szwajcarskie podają rozkład punktów pomiarowych jak na rys. 268.

Stany wody na łacie wodowskazowej należy odczytywać w czasie pomiaru oraz przed i po. Szczególnie ważną rzeczą jest określenie zmian stanów wody przy pomiarze prędkości w nurcie. W wypadku mniejszych potoków o szybkich zmianach stanów wody odstęp czasu odczytów najwyżej 15 minut. Jeśli przepływ mierzymy

nie w przekroju wodowskazowym, to stan wody odczytujemy na pomocniczym lekkim palu z gwoździem, od którego odmierzamy położenie zwierciadła wody przy pomocy zwykłej centymetrówki. Wodowskaz pomocniczy powinniśmy związać z pobliskimi punktami stałymi dla umożliwienia odniesienia starszych i nowszych pomiarów do jednego zera (w razie zniszczenia pala). Określenie wysokości nad poziom morza nie jest potrzebne.



Rys. 268.

Rozmieszczenie punktów pomiarowych.

Przy silnie wzrastających lub opadających stanach należy przeprowadzić możliwie dużo pełnych pomiarów jedno po drugim w tym samym miejscu. Dla oszczędności czasu trzeba ograniczać trwanie poszczególnego pomiaru, tj. ograniczać liczbę pionowych i punktów pomiarowych.

Dla uniknięcia błędów w pomiarach, należy rezultaty możliwie w dużym stopniu opracowywać już w polu. Wyniki pomiaru wpisuje się do książki polowej; prócz tego dla każdej pionowej należy wykreślić wyniki pomiaru na papierze z podziałką milimetrową. Przy występujących nieregularnościach krzywej prędkości należy pomiar powtórzyć dla wyjaśnienia stanu rzeczy.

Czas pomiaru prędkości w poszczególnych punktach powinien trwać dostatecznie długo, aby wyrównały się zjawiska pulsującego ruchu wody. Według istniejących przepisów czas pomiaru winien trwać od 60 do 120 sekund. Według norm rosyjskich czas obserwacji w różnych punktach pomiarowych może być przyjęty jak następuje:

pod powierzchnią		1 2 minut
w głębokości	0,2 h_a	1 2 "
"	0,4 0,6 h_a	2 3 "
"	0,8 h_a	3 4 "
przy dnie		4 5 "

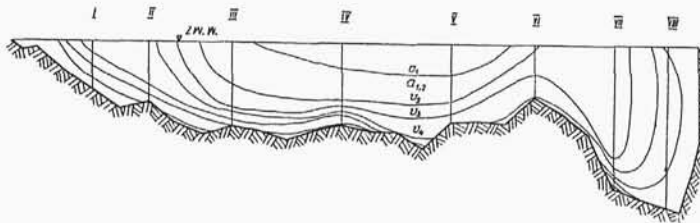
lecz w ogóle nie dłużej niż to odpowiada 700 obrotom skrzydełka młynka.

Przed przystąpieniem do pomiaru zbadać należy, czy przekrój pomiarowy jest wolny od przeszkód.

Przy obliczaniu przepływu tak obieramy skalę szerokości, głębokości i prędkości, aby poszczególne powierzchnie mogły być określone dokładnie planimetrem. Z tego względu przy małych prędkościach należy obierać odpowiednio dużą podziałkę prędkości.

Ważną jest rzeczą wykonanie w obranych profilach większej ilości pomiarów przy różnych stanach wody w przeciągu możliwie krótkiego odstępu czasu. Z tego względu korzystniej jest wybranie mniejszej ilości przekrojów pomiarowych ale z możliwie dużą ilością pomiarów przy stanach od niskich do wysokich.

Obliczenie całkowitego przepływu może być dokonane kilkoma sposobami*).



Rys. 269.
Metoda Culmanna.

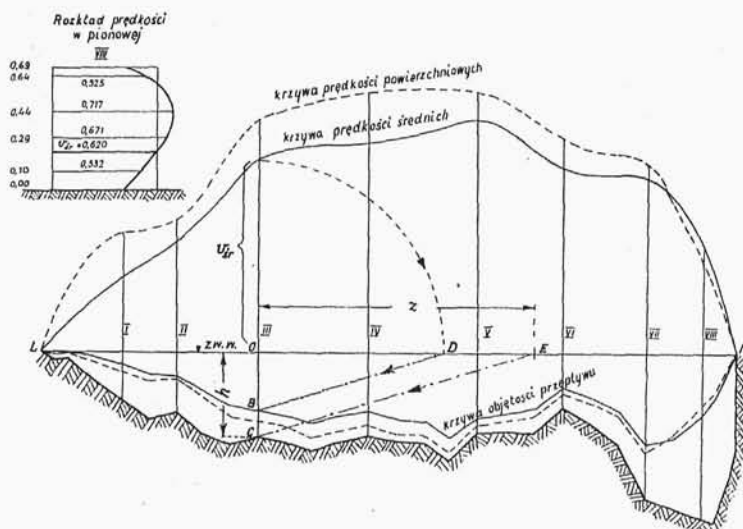
Metoda Culmanna polega na wykreśleniu krzywych jednako-
wych prędkości, tzw. izotach, na podstawie pomierzonych prędkości
w poszczególnych punktach przekroju (rys. 269). Przez splanime-
trowanie powierzchni pomiędzy poszczególnymi krzywymi prędko-
ści (np. powierzchni $a_{1,2}$ między izotachami v_1 i v_2) i jej pomnożenie
przez średnią wartość prędkości w pasku $v = \frac{v_1 + v_2}{2}$ otrzymujemy

*) Nie wolno obliczać przepływów z iloczynu pola przepływu i średniej prędkości w całym przekroju, gdyż w wyniku otrzymujemy rezultat obarczony znacznym błędem, dochodzącym nieraz do 10%. Przepływy obliczone w ten sposób są mniejsze od rzeczywistych.

objętość przepływająca przez splanimetrowane pole $Q_{1,2} = a_{1,2} \frac{v_1 + v_2}{2}$

m^3/sek . Suma wszystkich iloczynów poszczególnych pól przez średnie prędkości w polu daje całkowity przepływ w przekroju $Q = \Sigma av \text{ m}^3/\text{sek}$.

Metoda Harlachera polega na obliczeniu średniej prędkości w każdej pionowej, w której wykonywany był pomiar, następnie na wykreśleniu nad profilem pomiarowym krzywej prędkości średnich, wreszcie zamiany tej krzywej przy pomocy odpowiedniej konstrukcji na krzywą przepływu. Splanimetrowanie pola pomiędzy krzywą przepływu i zwierciadłem wody (z uwzględnieniem skali wykresu) daje objętość przepływu.



Rys. 270.

Metoda Harlachera.

Konstrukcja geometryczna zamiany krzywej prędkości na krzywą przepływu polega na następującym rozumowaniu (rys. 270). Odcinek odpowiadający prędkości średniej v_{sr} w pionowej OC, odcierzony na pionowej w górę od zwierciadła wody, przenosimy na linię zwierciadła wody do położenia OD. Od punktu O odcieramy w tym samym kierunku (co odcinek prędkości) dowolny odcinek $z = OE$. Koniec odcinka z, tj. punkt E łączymy z punktem C, gdzie przecina się dno z pionową. Do prostej CE prowadzimy z punktu D — końca odcinka prędkości — równoległą aż do przecięcia się z pionową w punkcie B. Na zasadzie podobieństwa trójkątów ODB

i *OEC* można napisać $OD : OB = OE : OC$. Wobec tego, że $OC = h$ jest głębokością, otrzymujemy $v_{sr} : OB = z : h$ skąd $OB = \frac{v_{sr} h}{z}$

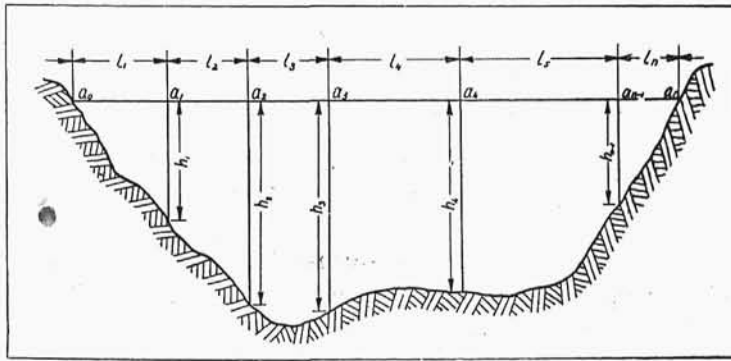
Wyznacząwszy szereg punktów *B*, po ich połączeniu otrzymamy krzywą przepływu. Pole A_{LM} pomiędzy krzywą i zwierciadłem wody będzie określone całką $A_{LM} = \int \frac{v_{sr} h}{z} dx = \frac{1}{z} \int h v_{sr} dx$. Po-

nieważ $\int h v_{sr} dx$ jest sumą przepływu przez całkowity przekrój, gdyż jest to suma iloczynów pól $h dx$ przez średnie prędkości v_{sr} ,

więc $A_{LM} = \frac{1}{z} Q$; a stąd $Q = z A_{LM} \text{ m}^3/\text{sek}$.

Dla otrzymania przepływu w m^3/sek należy uwzględnić skalę rysunku: szerokości (1 : *n*) i głębokości (1 : *m*), zaś odcinek *z* zmierzyć w skali prędkości i tę wartość wziąć do obliczeń. Iloczyn pola przepływu przez prędkość zmniejsziliśmy, konstruując krzywą przepływu o rzędnych zmniejszonych w stosunku $v_{sr} : z$ (rys. 270), więc teraz przy obliczaniu objętości trzeba to zmniejszenie uwzględnić:

$$Q = n m z A_{LM} \text{ m}^3/\text{sek}.$$



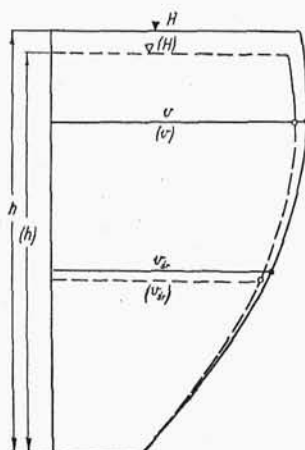
Rys. 271.

Bardzo często zamiast konstrukcji Harlachera obliczenie przeprowadza się przez pomnożenie każdego pionowego paska przekroju przez prędkość średnią w pionowej (rys. 271) $Q' = v A'$,

$$Q = \sum_1^n v A' \text{ m}^3/\text{sek}.$$

$$Q = l_1 \left(\frac{h_0 + h_1}{2} \right) \left(\frac{v_0 + v_1}{2} \right) + l_2 \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) \left(\frac{v_1 + v_2}{2} \right) + \dots + \\ + l_n \left(\frac{h_{n-1} + h_n}{2} \right) \left(\frac{v_{n-1} + v_n}{2} \right) \text{ m}^3/\text{sek} \quad (120)$$

We wzorze tym $h_0, h_1 \dots h_n$ oznaczają głębokości, $v_0, v_1 \dots v_n$ — prędkości średnie w odpowiednich pionowych pomiarowych $a_0, a_1 \dots a_n$ (rys. 271), obranych w odległościach $l_1, l_2 \dots l_n$. Powierzchnia A' między sąsiednimi pionowymi jest równa średniej głębokości w tych pionowych pomnożonej przez odległość między nimi. Podobnie średnia prędkość v_{ss} dla powierzchni między dwiema pionowymi jest równa średniej arytmetycznej prędkości obserwowanych w obu pionowych. Iloczyn z tej powierzchni przez średnią prędkość daje przepływ przez cząstkowe pole zawarte pomiędzy pionowymi, suma iloczynów daje przepływ całkowity.



Rys. 272.

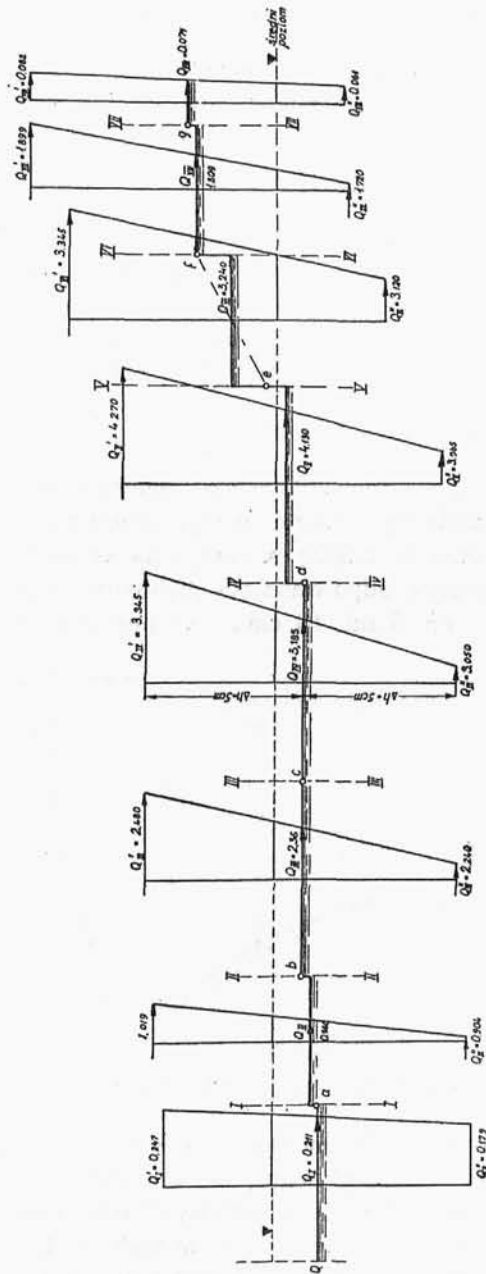
Poprawki stanu wody według Harlachera.

Powyższe sposoby obliczeń stosować można bezpośrednio, jeśli w ciągu pomiaru stan wody nie uległ zmianie. Jeżeli w czasie pomiaru stan wody się zmienił, to w każdej pionowej będzie inny stan wody. Oznaczając stany przez $H_1, H_2 \dots H_n$ znajdziemy właściwy stan wody ze wzoru.

$$(H) = \frac{H_1 v_1 A'_1 + H_2 v_2 A'_2 + \dots + H_n v_n A'_n}{Q} = \frac{\sum (HQ)}{Q} \quad (121)$$

W rzeczywistości objętość przepływu Q odpowiadająca stanowi H będzie się nieco różniła od przepływu obliczonego z sum przepływów w poszczególnych pionowych. Głębokość „idealna” (h) w pionowej dla stanu (H) oblicza się z głębokości zmierzonej w następujący sposób: $(h) = h + (H) - H$.

Weźmy jakąś dowolną pionową o głębokości h z podanym na rys. 272 rozkładem prędkości. W pewnym punkcie zmierzono

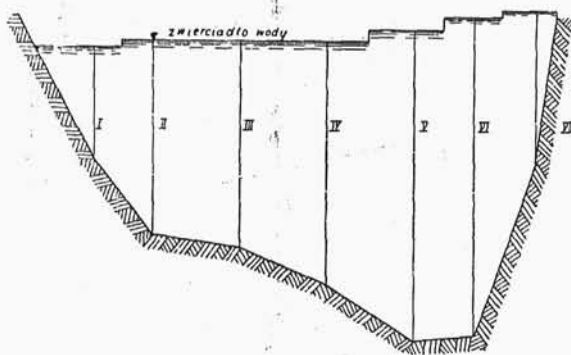


Rys. 273 a.
Poprawki stanu wody według Kunze'a.

prędkość v , w tym samym punkcie przy niższym stanie (H)
prędkość będzie mniejsza i wyniesie (v). W przybliżeniu będzie
(v) : $v = (h)^{\alpha}$: h^{α} , gdzie α można przyjąć $= 1/2$. Otrzymamy więc

$(v) = v \left[\frac{(h)}{h} \right]^\alpha$. Jeśli to obliczenie przeprowadzi się dla wszystkich punktów pomiaru prędkości v w pionowej i wykreśli znalezione „idealne” prędkości (v) , to otrzymamy zaznaczoną na rys. 272 kreskową linię rozkładu prędkości. Taki sposób określenia rozkładu prędkości i średniej „idealnej” stosujemy do wszystkich pionowych. Otrzymanymi w ten sposób powierzchniami przepływu w pionowych należy posłużyć się do określenia przepływu wody.

W. Kunze¹²¹⁾ twierdzi, iż wyżej objaśniona metoda Harlache-ra nie jest ścisła. Objętość przepływu Q w paskach dla głębokości h różniących się o niewielką wartość Δh (zakładając, że spadek zwierciadła wody jest stały, tak samo jak współczynnik chropowatości k) można wyrazić przez proporcję $\frac{Q'}{Q} = \frac{h' \sqrt{h'}}{h \sqrt{h}} = \left(\frac{h'}{h} \right)^{3/2}$. Obliczenia stanu średniego, odpowiadającego zmierzonemu całkowitemu przepływowi przy zmiennym stanie wody, dokonuje się graficznie (rys. 273a). Obliczamy w każdej pionowej na zasadzie wyżej napisanej proporcji przepływ odpowiadający głębokości w pionowej zwiększonej o Δh ($\Delta h = \text{np. } 5 \text{ lub } 10 \text{ cm}$). Na pionowej pomiaru w po-



Rys. 273 b.

Poprawki stanu wody według Kunze'a.

ziomie zwierciadła wody odmierzamy w pewnej skali odcinki, odpowiadające zmierzonemu przepływowi, zaś w poziomie wyższym i niższym o Δh odmierzamy obliczone przepływy Q' odpowiadające $h_s + \Delta h$ oraz Q'' dla $h_s - \Delta h$. Zrobione w ten sposób wykresy dają dokładne pojęcie o wpływie zmiany głębokości w poszczególnych pionowych na objętość przepływu w tychże pionowych. Do określenia

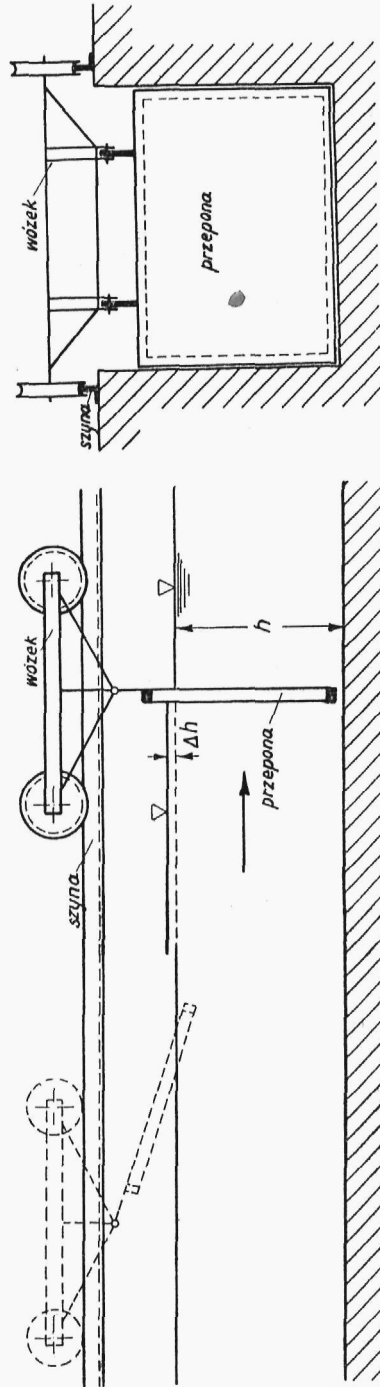
¹²¹⁾ W. Kunze. Beitrag zur Auswertung von Wassermengenmessungen. Wasserkraft und Wasserwirtschaft. 1928. Nr 16.

stanu, odpowiadającego zmierzonemu przepływowi, znaleźć musimy takie położenie linii poziomej zwierciadła wody, aby suma odcinków, zawartych między pionowymi pomiaru i wyrysowanymi liniami zmiennych objętości, dała objętość równą zmierzonej. Dokonuje się tego próbami przez odpowiednie przesuwanie linii poziomej zwierciadła wody. Przykład: rys. 273a, b i Tab. 32 na str. 423.

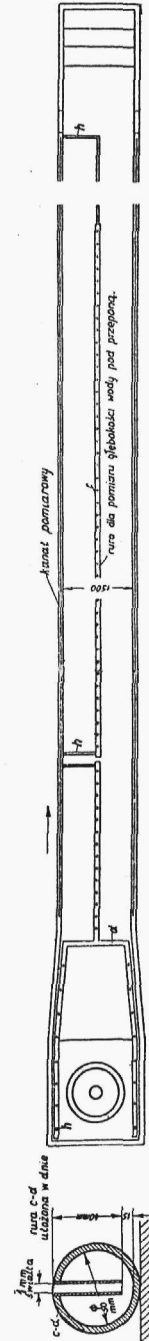
d) Pomiar przy pomocy przepony Andersona.

Tam gdzie rozporządzamy dłuższym odcinkiem kanału o przekroju jednostajnym, bardzo dokładny pomiar przepływu można wykonać przy pomocy tak zwanej przepony. Pomiar robi się w ten sposób, że przekrój kanału zamyka się metalową przeponą (rys. 274) umieszczoną na wózku, który pod wpływem naporu wody na przeponę porusza się po szynach z prędkością, odpowiadającą średniej prędkości w przekroju. Długość prostego odcinka kanału powinna wynosić od 30 do 50 m, gdyż nie można uwzględniać początkowej przestrzeni pomiarowej, tej mianowicie, którą przebył wózek przed całkowitym zamknięciem przekroju przeponą. Przeponę opuszcza się w czasie ruchu wózka powoli i stopniowo na pewnej, stosunkowo dość długiej przestrzeni, by nie wywołać zaburzeń w korycie. Przepona umieszczona jest na osi poziomej i przez obrót zamyka przekrój kanału stopniowo, zanurzając się od powierzchni wody do dna w kierunku przeciwnym ruchowi wody. Trudność zachodzi jedynie w ścisłym dopasowaniu rozmiarów przepony do wymiarów przekroju kanału, aby luz boczny i dolny był jak najmniejszy. Dla zupełnej ścisłości pomiaru należało by wprowadzić pewną poprawkę z uwagi na przeciekanie wody przez szczeliny z boków i przy dnie. Szczeliny są zwykle bardzo małe (około 0,6 mm), a wobec tego, iż prędkość wody przy ścianach i dnie jest znacznie mniejsza od prędkości średniej, poprawka jest niewielka i można ją śmiało pominąć. Pomiar wykonywany jest w ten sposób, że na szynach umieszczone są w jednakowych odstępach kontakty, połączone z elektrycznym przyrządem rejestrującym samoczynnie. Przy przejeździe wózka przez kontakt następuje zamknięcie obwodu prądu elektrycznego i przyrząd notuje odpowiedni sygnał dla przebitego odcinka drogi oraz czas. Z tych wartości bezpośrednio obliczamy prędkość średnią przepływu. Mając zaś pole przekroju kanału określamy przepływ.

Do zalet tej metody prócz jej dokładności zaliczyć należy dużą czułość (a wobec tego możność mierzenia bardzo małych szybkości), wielką szybkość pomiaru i znajomość rezultatów bezpośrednio po pomiarze, co umożliwia wykonanie dużej ilości pomiarów. Urządzenia te mają szersze zastosowanie w laboratoriach wodnych,



Rys. 274.
Przepona Andersona.



Rys. 275.

Urządzenie odcinka kanału do pomiaru objętości przeponą Andersona.

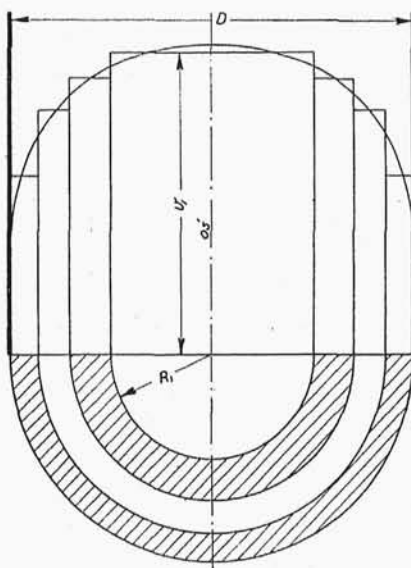
zwłaszcza w Europie środkowej. W Niemczech zastosowano tę metodę do pomiarów przepływów w zakładzie Saalackraftwerke pod Reichenhall, gdzie użyto przepony szerokości 4,94 m przy głębokości wody 2,47 m. Pomiar przy pomocy przepony po raz pierwszy wprowadzony został przez Eryka Andersona przed 20 laty w Szwecji. Nad dokładnością tych pomiarów przeprowadzali doświadczenia W. Wagenbach i A. Krause¹²²⁾ w laboratorium Politechniki Darmstadzkiej stwierdzając, że dotychczasowe metody pomiaru wysokości wody w kanale przed przeponą dają w wyniku błąd przepływu obracający się w granicach od 2 do 3%, zwłaszcza jeśli długość odcinka rozbiegu jest zbyt krótka, krótsza niż $7 \sqrt{\text{przekrój kanału}}$. Wobec zamknięcia przekroju kanału przeponą powstaje pewne falowanie powierzchni zwierciadła wody, które uniemożliwia określenie właściwego przekroju przepływu w sposób zwykły. W. Wagenbach proponuje wzdłuż odcinka pomiarowego pośrodku na dnie kanału ułożyć rurę \varnothing 50 mm, połączoną z wodą płynącą rurkami \varnothing 1 mm, wchodzącymi całkowicie do wewnątrz rury na długość 40 mm (rys. 275). Rura główna „c—d” posiada połączenia „h h” z urządzeniem pomiarowym służącym do określania głębokości wody w kanale przed przeponą. Takie rozwiązanie powoduje wyrównanie ciśnień na odcinku pomiarowym i możliwość ścisłego określenia właściwego pola przepływu wody. Wykonane w takich warunkach doświadczenia wykazały, że błąd pomiaru może być utrzymany w granicach od 0,1 do 0,15%.

2. Pomiary i obliczenia przepływu w przewodach pod ciśnieniem

Przewody zamknięte prowadzące wodę pod ciśnieniem mają przeważnie przekrój kołowy, jako hydraulicznie i statycznie najkorzystniejszy. Przekrój pomiarowy w takim przewodzie musi być obrany na odcinku prostym (odległość od załamania lub od łuku powinna równać się około 20-krotnej średnicy rury) w miejscu dostatecznie odległym od wszelkich wbudowanych przeszkód, wywołujących zaburzenia w ruchu wody. Jeżeli przekrój jest odpowiednio wybrany, to linie jednakowych prędkości będą koncentrycznymi kołami i wystarczy ograniczyć się do pomiaru prędkości wzdłuż jednej dowolnej średnicy przewodu. Przy niezupełnie regularnym

¹²²⁾ W. Wagenbach & A. Krause. Verbesserung des Schirm-Wassermessverfahrens. Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens. III Rocznik (1932). Nr 6.

rozkładzie przepływu lepiej i pewniej wykonać pomiar wzdłuż dwóch prostopadłych do siebie średnic i wziąć średnią wartość prędkości. Jeżeli przed przekrojem pomiarowym przewód przechodzi łukiem, to jedna średnica powinna być wybrana w płaszczyźnie łuku, druga prostopadle do niej. Różnice w rozkładzie prędkości występują wówczas znacznie wyraźniej, niż gdy obie płaszczyzny pomiarowe są nachylone do płaszczyzny łuku pod 45° . Przy pomiarach prędkości przepływu młynkiem hydrometrycznym średnica przewodu powinna być co najmniej dziesięciokrotnie większa od średnicy śruby młynka.



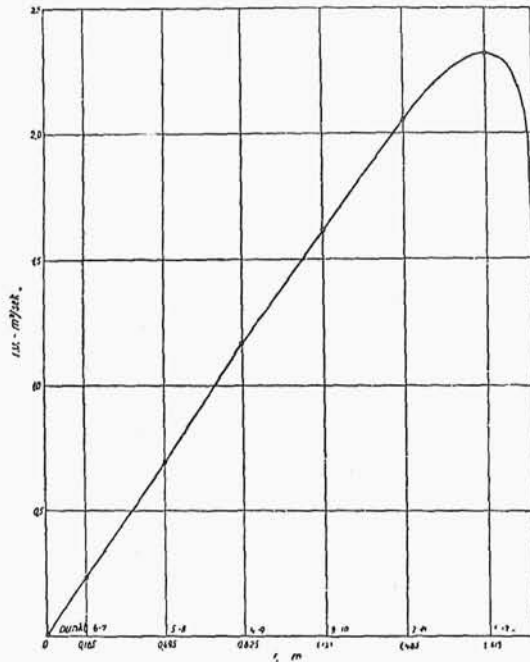
Rys. 276.

Linie prędkości wody w rurze.

Obliczenie przepływu Q z prędkości v , obserwowanych w różnych odstępach od osi przewodu, jest bardzo proste. Najlepiej obliczenie wykonać sposobem wykreślnym. Jeżeli wykreślimy (rys. 276) w poszczególnych punktach średnicy obserwowane tam prędkości wody albo średnie wartości z pomiarów na dwóch średnicach, to otrzymamy linie prędkości. Objętość przepływu Q odpowiada objętości bryły obrotowej, mającej za podstawę pole przekroju rury a za tworzącą krzywą prędkości. Wyobraźmy sobie przekrój pomiarowy podzielony jak na rys. 276 na szereg koncentrycznych pierścieni, wówczas obliczymy część przepływu idącego przez pole każdego pierścienia, mnożąc pole pierścienia przez średnią prędkość w pierścieniu. Całkowity przepływ równa się sumie przepływów przez poszczególne pierścienie.

Przy wykreślnym sposobie obliczenia przyjmuje się pierścienie nieskończenie cienkie i odmierza w pewnej podziałce dla różnych wartości promienia r iloczyny $2\pi r v$ (rys. 277a^{*)}). Po połączeniu wykreślonych punktów otrzymujemy między krzywą i podstawą pole

przedstawiające zmierzony przepływ, gdyż $Q = \int_{r=0}^{r=r_a} 2\pi r v dr$ m³/sek
(r_a jest połową średnicy rurociągu).



Rys. 277 a.

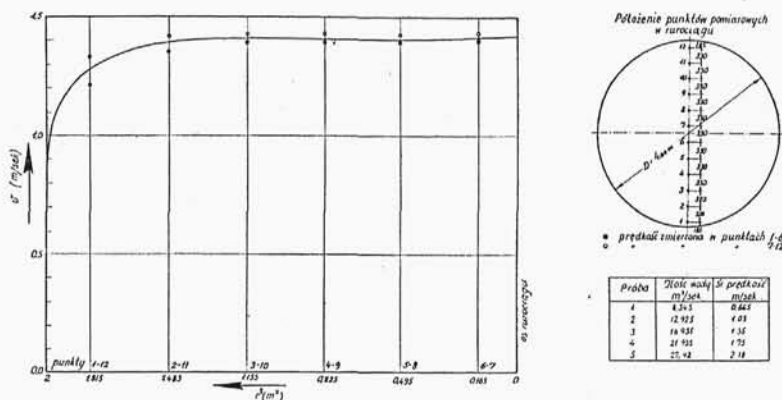
Wykreślne obliczenie objętości przepływu wody przez rurę.

Przepływ można również określić w ten sposób, że od osi poziomej w odstępach r^2 odmierzać będziemy prostopadłe w górę iloczyny πv , odpowiednio do zmierzonych wartości v (rys. 277b^{*)}).

Pole pomiędzy krzywą i podstawą wyrazi się przez $\int_0^{r_a} \pi v d(r^2)$. Całka ta przedstawia również przepływ przez przekrój pomiarowy.

^{*)} Przykład wzięty z pomiarów w rurze żelbetowej zakładu wodnego w Żurze na rzece Wdzie na Pomorzu. Na rys. 277a i b na osi rzędnych odmierzano tylko $r v$ lub v , a dopiero splanimetrowane pole pod krzywą mnożono przez 2π lub π .

Dla dokładnego obliczenia przepływu ważną rzeczą jest prawidłowe wykreślenie krzywej prędkości w pobliżu ściany. Ponieważ tam pomiaru dokonać nie można, należy przebieg krzywej prędkości wykreślić z jej prawdopodobnego teoretycznego kształtu.



Rys. 277 b.

Wykreślenie obliczenia objętości przepływu wody przez rurę.

Prędkość bezpośrednio przy ścianie jest według Prandtla zawsze równa zero. W bardzo niewielkiej już odległości rośnie gwałtownie i np. w odległości od ściany równej $1/1000$ części średnicy może osiągać wartość wynoszącą od 0,3 do 0,6 prędkości w osi przewodu.

Jeżeli prędkość w osi rury oznaczmy przez v_0 , przez v — prędkość w odległości r , a przez r_a promień rury, to przy przepływie spokojnym (bez zaburzeń) krzywa prędkości daje się wyrazić równaniem kształtu następującego:

$$v = v_0 \sqrt{1 - \left(\frac{r}{r_a}\right)^2} \quad (122)$$

Równanie to podał Prašil zakładając wartość n równą 4. Inni badacze podają dla n wartości 6, 7, 8 i 12. Jak wykazują ściślejsze badania, wartość n waha się w granicach od 5 do 12. Jeżeli oznaczmy:

- v_s — prędkość średnią w przekroju,
- r_s — promień koła, na którego obwodzie istnieje prędkość średnia,
- r_m — promień, dla którego iloczyn $r v$ osiąga max.
- $r_{0,76}$ — promień równy $0,76 r_a$,
- $v_{0,76}$ — prędkość na obwodzie koła o promieniu $r_{0,76}$

$$\Psi = \frac{\int v^2 dq}{v_s^2 \int dq}$$
 stosunek rzeczywistej energii kinetycznej strumienia do energii kinetycznej średniej prędkości (dq = przepływowi sedundowemu na jednostkę przekroju).
 $r_a v_o v$ — jak poprzednio

to dla różnych wartości n istnieją zależności podane w Tab. 33.

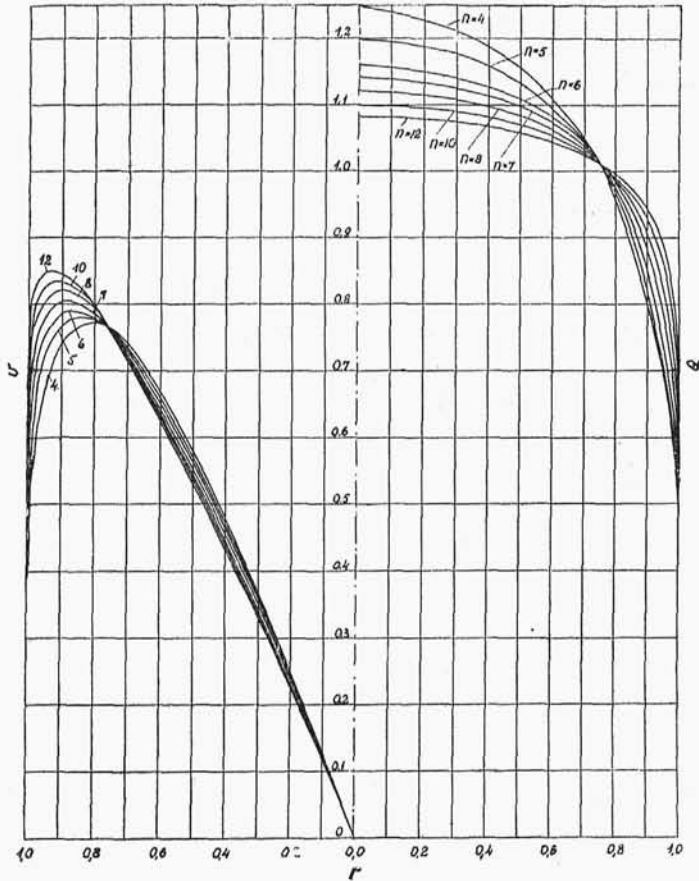
Z wartości dla n podanych w wierszu 2 tabeli (jak również z rys. 278, na którym podano krzywe prędkości, objętość przepływu przy różnych wartościach n dla tej samej średnicy oraz wartości prędkości $v_s = 1$) widoczne jest, że prędkość w odległości około $1/4 r_a$ (dokładnie: $0,24 r_a$) prawie nie zależy od rozkładu prę-

Tabela 33.

	O g ó l n y w z ó r	W a r t o ś c i n						
		5	6	7	8	9	10	12
1	$\frac{v_s}{v_o} = \frac{n}{n+1}$	0,833	0,857	0,875	0,889	0,900	0,909	0,923
2	$\frac{v_s}{v_{0,76}} = \frac{n}{n+1} \sqrt[n]{2,36}$	0,991	0,990	0,990	0,990	0,991	0,991	0,992
3	$\frac{v_s}{v_m} = \frac{n}{n+1} \sqrt[n]{\frac{n+2}{2}}$	1,071	1,079	1,084	1,087	1,088	1,087	1,086
4	$\frac{r_s}{r_a} = \sqrt{1 - \left(\frac{n}{1+n}\right)^n}$	0,773	0,777	0,779	0,781	0,783	0,784	0,786
5	$\frac{r_m}{r_a} = \sqrt{\frac{n}{n+2}}$	0,845	0,866	0,882	0,894	0,904	0,913	0,926
6	$\frac{v}{v_o}$ dla $\frac{r}{r_a} = 0,9900$	0,457	0,521	0,571	0,613	0,647	0,676	0,722
7	$\frac{v}{v_o}$ dla $\frac{r}{r_a} = 0,9990$	0,288	0,355	0,411	0,461	0,501	0,537	0,596
8	$\frac{v}{v_m}$ dla $\frac{r}{r_a} = 0,9900$	0,587	0,658	0,708	0,750	0,784	0,809	0,848
9	$\frac{v}{v_m}$ dla $\frac{r}{r_a} = 0,9990$	0,371	0,449	0,510	0,563	0,607	0,642	0,701
10	$\psi = \frac{n}{n+3} \left(\frac{n+1}{n}\right)^3$	1,080	1,059	1,045	1,036	1,029	1,024	1,017

kości. Na zjawisko podobne zwrócono już uwagę poprzednio przy rozkładzie prędkości wody w pionowych przekroju otwartego (str. 404).

Stosunek $\frac{v_s}{v_{0,76}}$ zmienia się dla wartości $n=5 \dots 12$ tylko z 0,990 na 0,992, tj. tylko o 0,6‰.



Rys. 278.

Krzywe prędkości i objętości przepływu wody przy różnych wartościach n .

Do określenia wykładnika n z wartości pomierzonych posłużyć się można zależnościami podanymi w tabeli. Wartość tę otrzymujemy bezpośrednio ze wzoru w wierszu pierwszym:

$$n = \frac{\frac{v_s}{v_0}}{1 - \frac{v_s}{v_0}}$$

Ponieważ jednak przy rysowaniu krzywej nie znamy jeszcze v_s najlepiej wartość n określić z zależności, wynikającej ze stosunku po-

danego w wierszu 5, mianowicie
$$n = \frac{2 \left(\frac{r_m}{r_a} \right)^2}{1 - \left(\frac{r_m}{r_a} \right)^2}.$$
 Po znalezieniu

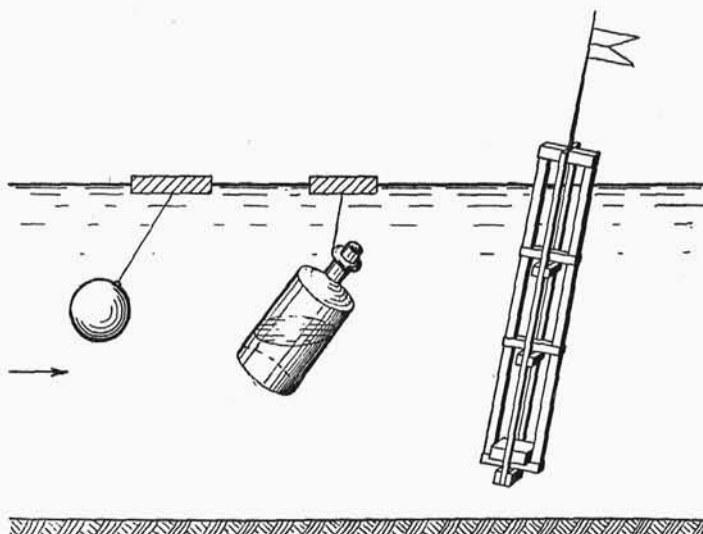
n można z wiersza 8 i 9 wziąć stosunek prędkości w odległości $0,01 r_a$ i $0,001 r_a$ od ściany przewodu do prędkości v_m przez co można dokładnie wykreślić krzywą prędkości w pobliżu ściany przewodu.

3. Przyrządy do pomiaru prędkości na powierzchni

1. Pływaki.

Są to pierwsze przyrządy, którymi przeprowadzano pomiary prędkości wody. Pływaki stosuje się do pomiarów orientacyjnych przepływu oraz do pomiarów wód wielkich, kiedy chodzi o szybki i bezpieczny pomiar.

Ze względu na działanie wiatru pływaki powinny wystawać możliwie niewiele z wody, z uwagi zaś na to, że większe ciała płyną szybciej niż woda, muszą posiadać możliwie małą objętość, przy tym jednak powinny być dobrze widoczne.



Rys. 279 a.

Pływaki.