

ROZDZIAŁ VIII

POMIARY PRĘDKOŚCI

I. Pomiary i obliczenia przepływu w korytach otwartych

1. Wybór przekroju i jego pomiar.

Przekrój pomiarowy nie musi być koniecznie obrany w profilu stacji wodowskazowej, do której pomiary odnosimy. Często, szczególnie na rzekach większych, przekrój hydrometryczny obierany bywa w odległości kilku kilometrów od stacji wodowskazowej. Przy wyborze musimy jednak zwrócić uwagę, by między przekrojem i stacją nie było dopływów, tj. aby przepływy w miejscu pomiaru były określone jednoznacznie przez stany wody na wodowskazie. Często pożądane jest obranie różnych przekrojów dla różnych stanów wody, a to dla osiągnięcia takich warunków dla każdego stanu, jakim winien odpowiadać idealny przekrój hydrometryczny.

Miejsce, w którym ma być wykonany pomiar, powinno być tak obrane, by odbywał się tam ruch jednostajny, a więc powinny to być odcinki rzeki, gdzie nie ma wpływu spiętrzeń, zaś koryto jest wolne od wszelkiego rodzaju budowli, wysp i zarośli. Należy unikać przekrojów z partiami wody stojącej lub z prądem przeciwnym. Przekrój powinien przy wszystkich stanach wody posiadać ten sam kształt profilu i miejsce nurtu, kierunki strug wody możliwie równoległe oraz jednostajny spad. W żadnym punkcie przekroju odchyłki strug od kierunku koryta nie powinny przekraczać 15° 20° . Stałość dna w profilu hydrometrycznym nie jest warunkiem koniecznym, jednak pożądanym, gdyż w przeciwnym razie zachodzi potrzeba stosunkowo dość częstego powtarzania pomiarów.

Przekrój powinien być obrany możliwie prostopadłe do linii brzegów. Należy go tak oznaczyć, by mógł być później zawsze odnaleziony. Odległości poprzeczne określa się od zera obranego na

lewym brzegu w takim miejscu, by można się nim było posłużyć przy późniejszych pomiarach.

Głębokości i prędkości na obranym odcinku rzeki nie powinny być zbyt duże, aby nie utrudniać przeprowadzenia pomiarów. Najmniejsze prędkości w okresie niskich stanów powinny być o 0,05 0,10 m/sek większe niż czułość młynka, zaś głębokość powinna być na tyle duża, by można było wykonać pomiar co najmniej w dwóch punktach.

Pomiar pola przepływu odbywa się za pomocą niwelacji brzegów i zwierciadła wody oraz możliwie dokładnego sondowania głębokości w odległościach 0,5 5,0 m, zależnie od wielkości i charakteru rzeki.

Orientacyjnie można podać takie odległości sondowania na rzekach:

od 0,20 do 0,50 m przy szerokości rzeki	do 10 m
" 0,50 " 1,00 m " " "	od 10 " 50 m
" 1,00 " 2,00 m " " "	" 50 " 100 m
" 2,00 " 4,00 m " " "	" 100 " 200 m
" 4,00 " 10,00 m " " "	" 200 " 800 m
" 10,00 " 20,00 m " " "	powyżej 800 m

Trzeba zaznaczyć, że dokładność pomiaru przepływu zależy nie tylko od dokładności pomiaru prędkości lecz również od staranności przy zdjęciu profilu. Wymiary przekroju w kanale sztucznym można zmierzyć z dokładnością do 1 mm, błąd przy obliczaniu powierzchni jednak wzrasta i wynosi

$$\pm (B dh + h dB + dB dh)$$

gdzie B oznacza szerokość, h — głębokość. W korycie naturalnym błąd jest znacznie większy (dh dochodzi do 5 cm, dB różne, zależnie od szerokości rzeki). Do błędu pomiaru dochodzi błąd naniesienia (najdokładniejsze rysunki mają błąd 0,1 mm) oraz błąd planimetrowania, który wynosi:

$\pm 1,0\%$	gdy powierzchnia planimetrowana wynosi	10 cm ²
$\pm 0,5\%$	" " " "	25 cm ²
$\pm 0,2\%$	" " " "	100 cm ²

Ze względu na duże znaczenie dokładności pomiaru przekroju oraz dla uniknięcia możliwych omyłek należy zasadniczo przeprowadzić pomiar nie tylko raz, przed pomiarem prędkości, lecz i drugi raz, po zakończeniu pomiaru prędkości, zwłaszcza gdy podłoże jest łatwo ruchliwe.

Dokładność pomiaru przepływu w równej mierze zależy od prawidłowego określenia głębokości jak i prędkości wody, gdyż

w tego rodzaju pomiarach przepływ określa się z iloczynu przekroju i prędkości. Na odcinkach przekroju o największych głębokościach istnieją zwykle największe prędkości i tam też przepływa najznacniejsza część wody, a właśnie na tych partiach mogą powstawać najczęściej błędy przy sondowaniu, więc zawsze trzeba zwrócić specjalną uwagę na dokładność roboty na takich odcinkach.

2. Zasady pomiaru prędkości średniej.

Metoda pomiaru przepływu przy pomocy pomiaru prędkości polega albo na pomiarze prędkości w rozrzuconych punktach przekroju, lub na pomiarze w pewnych charakterystycznych miejscach wybranych na liniach pionowych, albo wreszcie na pomiarze prędkości powierzchniowej.

W wielu wypadkach, w których chodzi nam o pośpiech lub tylko o orientacyjne cyfry, zadowalamy się pomiarem w pewnych charakterystycznych miejscach nurtu rzeki lub w pewnych punktach pionowych głębokości; konieczna jest zatem znajomość stosunku prędkości w tych charakterystycznych miejscach przekroju do prędkości średniej w profilu. Poniżej podajemy te stosunki ustalone przez różnych badaczy na podstawie licznych pomiarów.

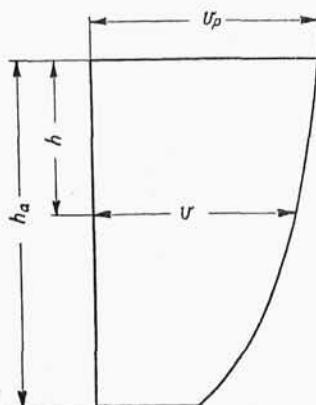
a) Zależności pomiędzy prędkością średnią i prędkościami w charakterystycznych punktach przekroju.

Ze względu na wielki wpływ szorstkości dna i brzegów, rodzaju ruchu i oporów na swobodnej powierzchni (wpływ wiatru etc.) na rozkład prędkości w pionowej — ścisłej ogólnej zależności teoretycznej między prędkością i głębokością ustalić nie jesteśmy w stanie. Dla każdego odcinka koryt naturalnych zależności kształtować się będą inaczej zależnie od charakteru rzeki i warunków miejscowych. Są jednak próby ujęcia tych zależności w pewne formuły. Wzory te opierać się muszą oczywiście na przeprowadzonych pomiarach, a więc zależnie od tego, w jakich warunkach i gdzie były one przeprowadzane, doprowadziły do różnych wyników. Przeważna ilość badaczy zakłada, że krzywa rozkładu prędkości w pionowej jest parabolą o osi pionowej lub poziomej.

W dalszych rozważaniach stosowane będą następujące oznaczenia

v	—	prędkość przepływu w dowolnej głębokości h
v_p	—	„ powierzchniowa (na powierzchni płynącej wody)
$v_{p \max}$	—	„ „ największa
$v_{p \text{ śr}}$	—	„ „ średnia

- v_d — prędkość przy dnie (denna)
 $v_{\bar{s}r}$ — „ „ średnia w pionowej
 h — głębokość dowolna
 h_a — „ „ całkowita w pionowej
 i — spadek zwierciadła wody.



Rys. 261.

Rozkład prędkości wody w pionowej według Bazina.

Równanie krzywej rozkładu prędkości według Bazina, który zakłada, że największa prędkość przepływu występuje na powierzchni ($v_{max} = v_p$, rys. 261), jest następujące

$$v = v_p - k \sqrt{h_a i} \left(\frac{h}{h_a} \right)^2 \quad (103)$$

Według Hagena (który wprowadza do wzoru prędkość przy dnie v_d)

$$\frac{v - v_d}{v_p - v_d} = \sqrt{\frac{h_a - h}{h_a}} \quad (104)$$

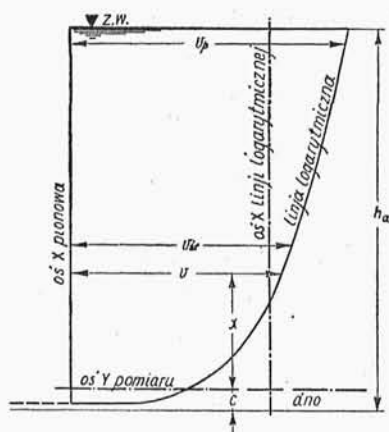
według Lahmeyera

$$v = \left[h_a - (0,1383 + 0,0468 h_a) h \right] \frac{v_p}{h_a} \quad (105)$$

Jasmund, opierając się na wykonanych przez siebie pomiarach, zakłada, że krzywa rozkładu prędkości jest krzywą logarytmiczną (o osi pionowej, rys. 262), której odpowiada równanie:

$$v = a + b \ln (x + c) \quad (106)$$

a , b , c są to stałe. Przy dnie $c = 0$, a musi być ustalone na podstawie pomiarów, b zależy od spadku dna J , oraz głębokości i odległości od brzegów. Ze swoich pomiarów znalazł Jasmund zależność $b = 1000 J$.



Rys. 262.

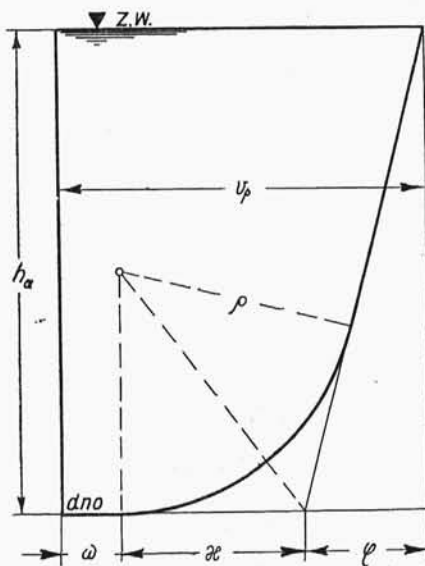
Rozkład prędkości wody w pionowej według Jasmunda.

Lippke przyjmuje rozkład u góry według prostej, u dołu według elipsy albo koła (rys. 263).

Strickler dla otwartych szerokich rynien ustawia równanie

$$v = \frac{7}{6} v_p \sqrt[6]{1 - \frac{h}{h_a}} \quad (107)$$

Według badań Otta krzywa rozkładu prędkości najbardziej jest zbliżona do paraboli i przy ruchu bez przeszkód rozkład prędkości



Rys. 263.

Rozkład prędkości wody w pionowej według Lippkego.

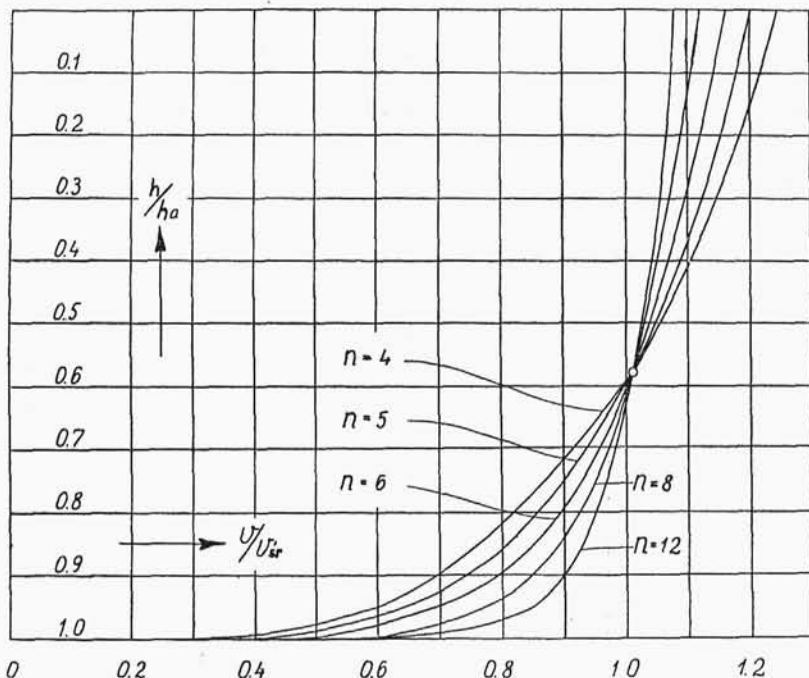
w pionowej daje się przedstawić przy pomocy wzoru:

$$v = v_p \sqrt[n]{1 - \frac{h}{h_a}} = \frac{1+n}{n} v_{sr} \sqrt[n]{1 - \frac{h}{h_a}} \quad (108)$$

Wykładnik pierwiastka zależy od wartości stosunku $\frac{v_{sr}}{v_p} = c$. Śre-

dnio dla całego przekroju $c = \frac{n}{1+n}$, albo $n = \frac{c}{1-c}$. Z doświadczeń

okazuje się, że wartość c znajduje się w granicach od 0,80 do 0,96, wobec czego $n = 4 \dots 24$. Najczęściej jednak n znajduje się w granicach od 4 do 8. Na rys. 264 dla różnych wartości n i stałej wartości v_{sr} naniesiono krzywe prędkości obliczone z podanego wzoru.



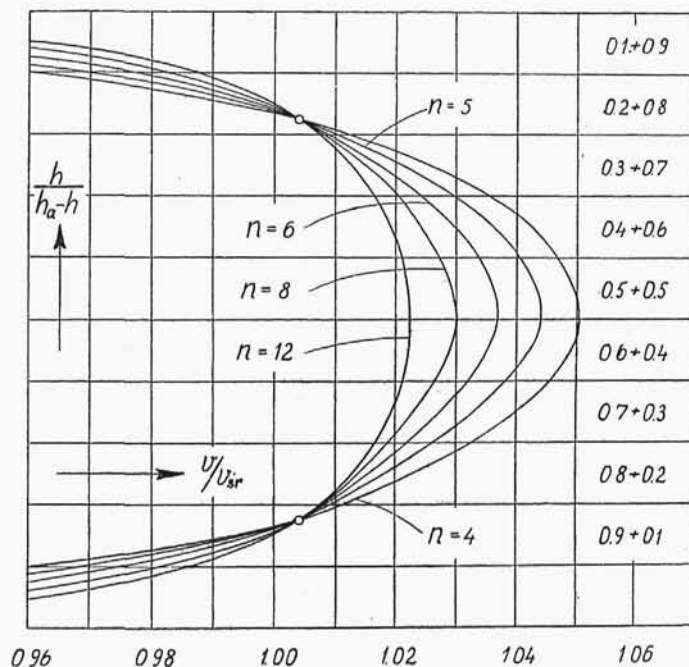
Rys. 264.

Krzywe prędkości wody przy stałym v_{sr} i różnych wartościach n .

Na osi rzędnych odmierzany jest stosunek głębokości $h : h_a$, zaś na osi odciętych — stosunek prędkości $v : v_{sr}$. Jest widoczne, że niezależnie od wykładnika pierwiastka n wszystkie wykreślone krzywe przecinają się w głębokości $h = 0,58 h_a$, i że istnieje tam prędkość $v_{0,58} = 1,01 v_{sr}$. Teoretycznie wyrazić to można równaniem $v_{sr} = 0,99 v_{0,58}$, a praktycznie uważać, że $v_{sr} = v_{0,6}$.

Na rys. 265 narysowano zależność pomiędzy stosunkiem $h : (h_a - h)$ i średnią arytmetyczną stosunków $v : v_{sr}$ obliczonych w głębokości h oraz $(h_a - h)$. Otrzymane krzywe przecinają się w głębokościach $h = 0,18 h_a$ i $h = 0,82 h_a$. Istnieje więc zależność $0,5 (v_{0,18} + v_{0,82}) = 1,003 v_{sr}$ albo

$$v_{sr} = 0,499 (v_{0,18} + v_{0,82}) \quad \text{m/sek.} \quad (109)$$



Rys. 265.

Kolupaila¹¹⁹⁾ podaje następujący wzór na rozkład prędkości w pionowej (a jest parametrem)

$$v = a \sqrt[m]{h_a - h} \quad (110)$$

uwzględniając krzywą prędkości za parabolę. Dla wartości m podaje granice 2 i 10. Z powyższego wzoru określić można prędkość średnią

jako $v_{sr} = \frac{m}{1+m} v_{0,6} \sqrt[m]{2,5}$. Wartość stosunku $\frac{v_{sr}}{v_{0,6}}$ zależy od stopnia

¹¹⁹⁾ S. Kolupaila, Über die Verteilung der Geschwindigkeiten auf der Lot-rechten des Stromes. III konferencja hydrologiczna państw bałtyckich, Warszawa, 1930.

Tabie

Szerokość profilu	S z o r s t k o ś ć							
	1. Zarosły trawą				2. Gruby żwir lub kamienie			
	α	α	b	β	α	α	b	β
do 3 m	0,784	0,463	0,00121	0,00086	0,832	0,551	0,00063	0,00064
3 — 10	0,795	0,526	0,00111	0,00076	0,862	0,570	0,00043	0,00056
10 — 25					0,872	0,599	0,00038	0,00044
25 — 50					0,889	0,618	0,00029	0,00039
> 50								

paraboli. Dla parabol od 4 do 10 stopnia spełnia się empiryczna zależność $v_{sr} = v_{0,6}$ z dokładnością do $\pm 1\%$. Zupełnie ściśle było by tak przy warunku $\left(\frac{m+1}{m}\right)^m = 2,5$, tj. przy $m = 5,31$.

Zależność między prędkością średnią w przekroju i prędkościami w dwu punktach pionowej zdaniem Kolupaila może być ujęta wzorem $v_{sr} = 0,5 (v_{0,8} + v_{0,2})$. Błąd obliczenia średniej prędkości przy różnym stopniu parabol jest mniejszy od $\pm 1\%$.

Również dość ściśle są zależności $v_{sr} = 0,25 v_p + 0,75 v_{s/7}$ oraz $v_{sr} = 0,5 (v_p + v_{s/15})$.

Szczególnie ważną zależnością dla hydrometrii jest stosunek pomiędzy prędkością powierzchniową i średnią:

$$v_{sr} = k v_p \quad (111)$$

Według Kolupaila $k = \frac{m}{m+1}$. Przy różnych stopniach parabol otrzymujemy następujące wartości k :

$m =$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k =$	0,667	0,750	0,800	0,833	0,837	0,875	0,889	0,900	0,909

Stopień parabol najłatwiej określić można z dwóch wartości prędkości, np. $m = \frac{\lg 4}{\lg v_{0,2} - \lg v_{0,8}}$ lub $m = \frac{v_{sr}}{v_p - v_{sr}}$ itp.

Kolupaila uważa, że stopień parabol rozkładu prędkości w pionowej zależy od szorstkości koryta. Na podstawie swych badań ustalił on zależność między stopniem parabol i współczynnikiem szor-

la 31.

p r o f i l u							
3. Żwirtek				4. Piasek lub glina			
a	α	b	β	a	α	b	β
0,867	0,654	0,00042	0,00032	0,9255	0,726	0,00036	0,00023
0,889	0,675	0,00029	0,00024	0,945	0,737	0,00022	0,00015
0,908	0,686	0,00020	0,00019				
0,920	0,700	0,00011	0,00015				
0,927	0,734	0,00006	0,00006				

stkości n Ganguilleta i Kuttera: $m = \frac{0,150}{n}$. Im bardziej gładkie ko-
ryto, tym wyższy stopień parabolii.

Prócz wyżej przytoczonych wzorów zostało opublikowanych wie-
le innych związków między prędkościami w charakterystycznych
punktach przekroju. Ustalili więc:

$$\text{Wagner} \quad v_{sr} = 0,705 v_{p \max} + 0,001 v_{p \max}^2 \quad (112)$$

$$\text{Fischer} \quad v_{sr} = a v_{p \max} + b v_{p \max}^2 \quad (113a)$$

$$v_{sr} = \alpha v_{p \max} + \beta v_{p \max}^2 \quad (113b)$$

gdzie a , b , α , β są to współczynniki stałe zależne od szerokości
i szorstkości profilu według Tab. 31.

Fischer podaje również wprost wartość stosunku charaktery-
stycznych prędkości zależnie od szorstkości przekroju

$$\frac{v_{sr}}{v_{p \max}} = c; \quad \frac{v_{sr}}{v_{p \max}} = d;$$

przy czym dla przekroju:

zarośniętego trzcina i trawą	$c = 0,81$	$d = 0,55$
o podłożu z grubego żwiru i kamieni . . .	0,89	0,64
o podłożu ze zwykłego żwiru	0,92	0,71
o podłożu z piasku i gliny	0,95	0,74
wyłożonego drzewem, betonem lub płytami .	0,96	0,80

Matakiewicz podaje

$$\text{dla rzek natur.} \left\{ \begin{array}{l} \text{w pionowej } \frac{v_{sr}}{v_p} = 0,78 + 0,015 h_a + \frac{0,02}{(i^0/0,0)^{0,7}} \quad (114) \\ \text{w przekroju } \frac{v_{sr}}{v_{p \max}} = 0,59 + 0,02 h_{sr} + \frac{0,006}{i^0/0,0} \quad (115) \end{array} \right.$$

(i spadek zwierciadła wody).

$$\text{dla kanałów} \left\{ \begin{array}{l} \text{czystych } \frac{v_{sr}}{v_{p \max}} = 1,095 - 0,857 m + 0,0252 R \quad (116) \\ \text{sztucznych } \left\{ \begin{array}{l} \text{zarośniętych } \frac{v_{sr}}{v_{p \max}} = 2,137 - 3 m + 0,0252 R \quad (117) \end{array} \right. \end{array} \right.$$

W tych wzorach R oznacza promień hydrauliczny, m — wykładnik potęgi spadku i we wzorze Matakiewicza na prędkość: $v = 35,4 i^m R^{0,7}$.

Podane zależności mogą być użyte przy określaniu potrzebnych stosunków prędkości w razie uproszczonej metody pomiaru.*)

Zwykle przy ograniczonej liczbie obserwacji przeprowadzamy w pionowych pomiarach jedno, dwu i trzypunktowe. Punkty obserwacyjne obiera się w głębokości 0,2; 0,6 i 0,8 od powierzchni zwierciadła wody.

Instrukcja U. S. Geological Survey—Water Resources Branch daje następujące wskazówki dotyczące stosowania uproszczonych metod pomiaru.

Najdokładniejszym sposobem jest metoda dwóch punktów (pomiar w głębokości 0,2 h_a i 0,8 h_a). Dla otrzymania w pionowych pomiarowych średniej wartości prędkości bierze się z otrzymanych wyników średnie arytmetyczne.**)

Z pomiarów otrzymujemy wyniki nieco za duże, dla zwiększenia więc dokładności należy przez uprzednie dokładne pomiary określić pewien współczynnik redukcyjny (nieco mniejszy od jedności). Metodę dwóch punktów stosuje się przy głębokościach powyżej 0,6 m.

Mniej dokładny jest pomiar w głębokości 0,6 h_a , który opiera się na teoretycznym przypuszczeniu, iż krzywa rozkładu prędkości w pionowej jest parabolą, której największa odcięta znajduje się w obrębie górnej trzeciej części głębokości. Przy takim założeniu miejsce średniej odciętej znajduje się pomiędzy 0,58 i 0,67 głębo-

*) Należy zaznaczyć, że wszystkie podane stosunki prędkości są ustalone dla przepływów w korytach o swobodnym zwierciadle wody. W zimie, gdy powierzchnia pokryta jest lodem, stosunki te zmieniają się. Czytelnika interesującego się tym odsyłam do pracy S. Kolupaila—cytata¹¹⁹⁾.

**) Według doświadczeń amerykańskich średnią wartość prędkości w pionowej otrzymamy dokładnie biorąc średnią arytmetyczną z pomiaru prędkości w głębokości 0,2114 oraz 0,7886 h_a licząc od zwierciadła wody.

kości poniżej powierzchni wody. Chociaż duży procent krzywych prędkości wykazuje, że średnia prędkość w pionowej odpowiada w przybliżeniu głębokości 0,6 od zwierciadła wody, doświadczenia dowodzą, że przy pewnych przepływach (zwłaszcza przy dużych głębokościach) a następnie w kanałach o gładkim dnie wyniki są nieco większe od otrzymanych z metody poprzedniej. Sposób ten, choć daje na ogół w wielu wypadkach rezultaty zadowalające, stosowany jest jedynie wówczas, gdy metoda dwóch punktów okazuje się niepraktyczna z uwagi np. na niedostateczną głębokość, szorstkość podłoża lub silny porost roślinny. Metodę pomiaru w 0,6 głębokości stosuje się, gdy głębokości wody są od 0,3 do 0,6 m.

Trzeci sposób, pomiar w głębokości $0,2 h_a$ polega na obserwacji prędkości w odległości $0,2 h_a$ od powierzchni wody. Dla obliczenia przepływu należy znać zależności pomiędzy prędkością średnią w pionowej i prędkością w głębokości 0,2. Zależność ta jest zmienna odpowiednio do stanu wody i wyraża się w postaci pewnej krzywej (stwierdzono w wielu wypadkach, że zależność ta może być wyrażona linią prostą, przechodzącą przez początek układu współrzędnych). Sposób ten może być stosowany z korzyścią w następujących warunkach: gdy istnieją duże prędkości, gdy płyną kry lub jakieś przedmioty, gdy niedostateczne urządzenia nie pozwalają na otrzymanie dokładnych obserwacji w głębokości $0,8 h_a$ oraz gdy stany zmieniają się tak szybko, że pożądane jest wykonanie pomiaru jak najprędzej. Nie można stosować metody tej tam, gdzie głębokości są zbyt małe, wobec czego położenia osi młynka wypadają zbyt bliskie powierzchni wody.

Stosowana też bywa metoda trzech punktów, a mianowicie pomiaru prędkości w głębokości 0,2; 0,6 i $0,8 h_a$. Jest to kombinacja metody dwóch punktów ze sposobem określania v_{sr} z pomiaru prędkości w głębokości 0,6. Średnią prędkość otrzymujemy przez pomnożenie przez 0,25 zsumowanych wyników obserwacji, przy czym prędkość $v_{0,6}$ bierze się dwukrotnie. Metodę tę stosuje się tam, gdzie prędkości wydają się rozdzielone nierównomiernie w pionowej, lub gdy obserwacja w głębokości $0,2 h_a$ wypada zbyt blisko powierzchni zwierciadła wody, a obserwacja w $0,8 h_a$ znajduje się na takim odcinku głębokości, gdzie prędkości są pod silnym wpływem burliwości lub oporów spowodowanych bliskością dna. Zasada pomiaru oparta jest na spostrzeżeniu, że metoda dwóch punktów daje nieco za duże wyniki, zaś pomiar w 0,6 głębokości nieco za małe wartości. Wynikało by więc, że średnia z obserwacji tych dwóch metod powinna dać wartość bliską prawidłowej, jednak metodę tę można

polecić tylko w specjalnych wypadkach, w normalnych warunkach jest, jak się okazało, mniej dokładna od metody dwóch punktów.

Pomiary wykonywane przy bardzo wysokich stanach przeważnie polegają na obserwacji jedynie prędkości powierzchniowej. W tym wypadku metoda jest bardzo prosta i polega na określeniu powierzchni przekroju i średniej lub największej prędkości powierzchniowej (w nurcie, a przy regularnych przekrojach kanałów—w środku przekroju). Ponieważ pomiar prędkości wykonywany bywa w jednym lub kilku punktach, więc trwa bardzo krótko i jest niezależny od zmian stanu wody. Przygotowania do pomiaru są bardzo proste i nie trzeba ich robić bezpośrednio i z pośpiechem przed samym pomiarem prędkości.

b) *Pomiar powierzchniowy.*

Określenie przepływów przy pomocy pomiaru powierzchniowego stosuje się przy badaniach orientacyjnych, w razie braku przyrządów hydrometrycznych, przy pochodach łodów, przepływach wód wielkich, oraz przy bardzo małych prędkościach wody.

Pomiary powierzchniowe powinno się przeprowadzać w czasie pogody bezwietrznej, gdyż wiatr może bardzo znacznie zmienić rezultat pomiarów.

Szczególłą uwagę należy zwrócić na równomierność przepływu wody. Zwykle obiera się przekrój główny i dwa dodatkowe w jednakowej odległości od środkowego. Odstęp przekrojów skrajnych obiera się, zależnie od wielkości prędkości powierzchniowych, zwykle w granicach od $25 v_{max}$ do $40 v_{max}$.

Po przeprowadzeniu sondowania przekrojów, określa się procentowe różnice pola przepływu przekrojów skrajnych w stosunku do środkowego. Przy różnicach większych niż 4% pomiar prędkości przy obliczaniu przepływów należy odnosić nie do przekroju środkowego, a do tzw. średniego przekroju przepływu, którego głębokość oblicza się ze wzoru:

$$H = \frac{H_{g\acute{o}rn} + 2H_{\acute{s}rod} + H_{doln}}{4} \quad m \quad (118)$$

$H_{g\acute{o}rn}$, $H_{\acute{s}rod}$, H_{doln} — są to głębokości w trzech przekrojach pomiarowych, w jednakowych odległościach od osi.

Miejsce wyrzucania pływaków obiera się w odległości 5.... 10 m w górę rzeki od pierwszego profilu pomiarowego. Puszcza się od 20 do 40 pływaków, przy czym na mniejszych rzekach rozkład pływaków powinien być możliwie równomierny na całej szerokości rzeki; na wielkich—grupuje się je w kilku (5.... 7) miejscach, stosownie do prędkości w pionowych.

Przed obliczeniem przepływu należy wykonać sprawdzenie wyników pomiaru. W tym celu wykonywa się wykres rozkładu pływaków i długości czasu przepływu. Na osi poziomej odmierza się szerokość rzeki i miejsca przejścia pływaków, na osi pionowej odpowiadni czas przepływu. Ogólny rozkład punktów w normalnych warunkach powinien dać linię wgiętą, odwrotną rozkładowi prędkości. Punktów odskakujących nie uwzględnia się przy dalszym opracowaniu.

Obliczenia przepływu dokonuje się, podobnie jak przy pomiarach dokładnych, przez narysowanie krzywej prędkości powierzchniowych (str. 415 i nast.), wylicza się fikcyjną objętość przepływu, zaś mnożąc ją przez współczynnik doświadczalny mniejszy od jedności otrzymujemy przepływ rzeczywisty. Współczynnik nie jest stały, zależy w wysokim stopniu od stanu wody.

W razie potrzeby przeprowadzenia pomiaru bardzo szybko (przy zmniejszonej dokładności) ograniczamy się do zmierzenia maksymalnej prędkości powierzchniowej. W tym celu na wytyczonych trzech profilach mierzy się maksymalną prędkość powierzchniową przy pomocy 5 do 10 pływaków rzuconych w nurcie rzeki, nie określając linii ich przepływu. Następnie wybiera się ze wszystkich rezultatów dwa o najkrótszym czasie przepływu. Jeżeli rozbieżność tych dwóch pomiarów nie przekracza 10%, to do obliczenia $v_{p \max}$ bierzemy ich średnią arytmetyczną. Jeśli rozbieżność przewyższa 10%, puszcza się jeszcze kilka dodatkowych pływaków. Gdy rozbieżność stale pozostaje większa od 10%, to odrzuca się rezultat najszybszego pływaka jako przypadkowy i przyjmuje dwa następne.

Do określenia prędkości średniej rezultat obliczenia $v_{p \max}$ mnożymy przez współczynnik redukcyjny. Przepływ otrzymujemy mnożąc obliczoną prędkość średnią przez średni przekrój

$$A_{\text{śred}} = \frac{A_{\text{górn}} + 2A_{\text{środ}} + A_{\text{doln}}}{4} \quad \text{m}^2 \quad (119)$$

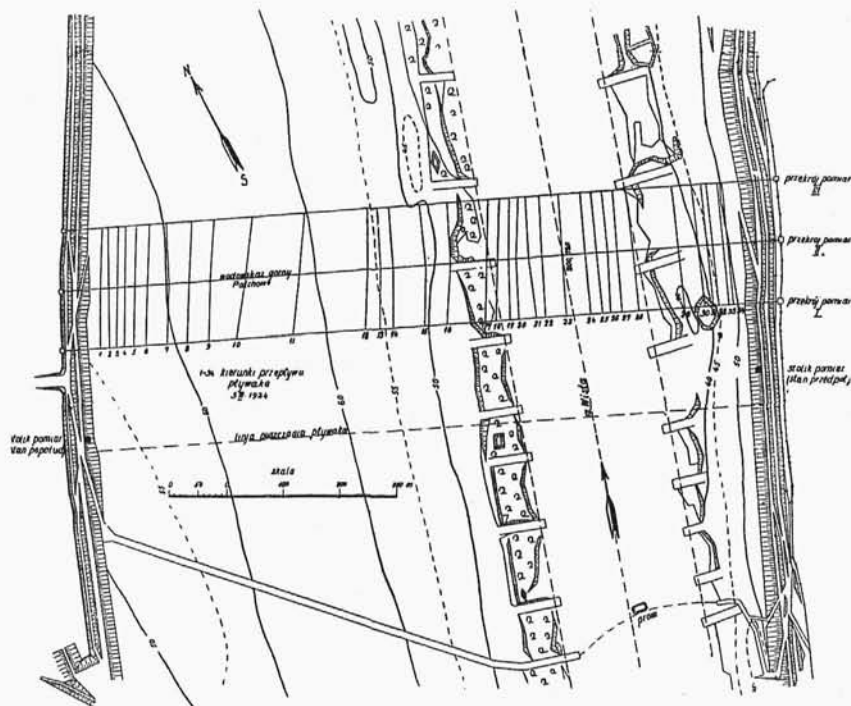
$A_{\text{górn}}$, $A_{\text{środ}}$, A_{doln} oznaczają pola przekrojów pomiarowych: górnego, środkowego i dolnego.

Mówiąc o przybliżonych określeniach przepływu, należy wspomnieć o sposobie ukośnych przejazdów. Polega on na jednostajnym przejeździe łódką w poprzek rzeki. Łódka w czasie przejazdu zostaje zniesiona na odległość proporcjonalną do średniej prędkości powierzchniowej. Wielkość tej prędkości średniej wynosi $v_{p \text{ sr}} = \frac{L}{T}$ m/sek, gdzie L jest długością zniesienia w metrach, T — czasem przejazdu w sekundach. Przez pomnożenie $v_{p \text{ sr}}$ przez powierzchnię

przekroju poprzecznego, otrzymujemy fikcyjny przepływ, który pomnożony przez odpowiedni współczynnik daje przepływ rzeczywisty.

Poniżej przytaczam sposób wykonania pomiaru wielkiej wody w roku 1924 na Wiśle Pomorskiej pod Polchowem,¹²⁰⁾

Ze względu na bardzo dużą odległość wałów (1100 m) oraz znaczne prędkości przepływu w wypełnionym przekroju (3,8 m/sek i więcej) pomiary młynkiem były bardzo utrudnione i niebezpieczne dla partii pomiarowej. Utrzymanie łodzi z instrumentami w korycie głębokości 10 ... 12 m nie zdawało się możliwe, jak również utrzymanie osi młynka w pozycji poziomej. Z uwagi na znaczną szerokość profilu było niemożliwe wykonanie całkowitego pomiaru w ciągu dnia przy dostatecznej ilości pionowych. Stosunkowo szybka zmiana stanów wody (50 ... 70 cm dziennie) wymagała krótkiego czasu trwania pomiaru i możliwie 2 pomiarów dziennie. Zdecydowano się więc na przeprowadzenie pomiarów przy pomocy pływaków.



Rys. 266.

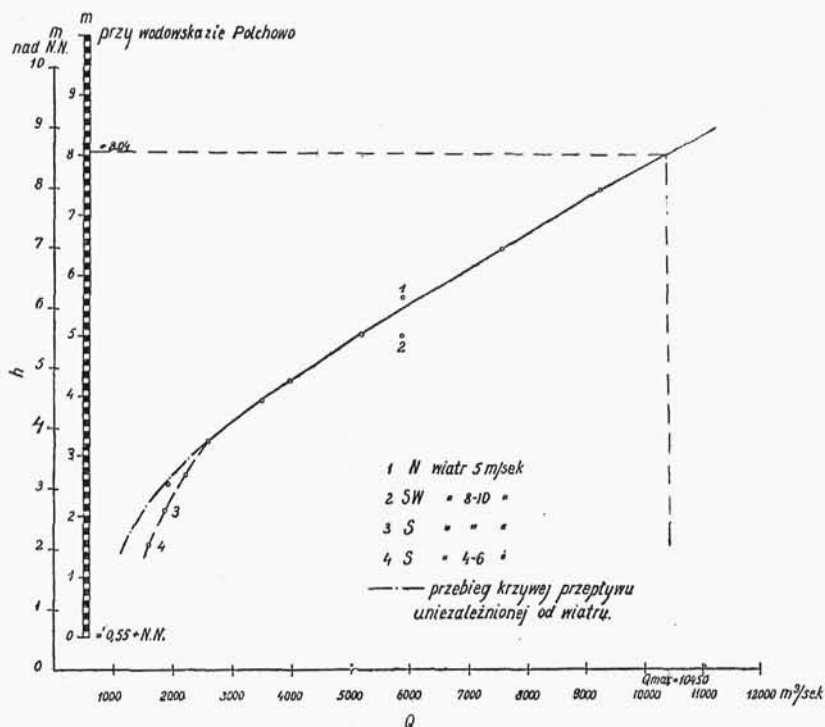
Sytuacja przekrojów pomiarowych na Wiśle pod Polchowem.

Jako przekrój pomiarowy wybrano przekrój na km 200,720 pod Polchowem (rys. 266), używany często do pomiarów przepływu ze względu na to, iż leży on w obrębie dłuższego odcinka rzeki regularnego i prostego, na którym nurt biegnie

¹²⁰⁾ G. E. Schmidt, Die Wassermengenmessungen an der ehemals preussischen Weichsel, insbesondere die Messung des Frühjahrs Hochwassers 1924. Zeitschrift für Bauwesen, Ingenieurbauteil. 1927.

równoległe do kierunku wałów. Na parę dni przed nadejściem fali powodziowej wytyczono 3 profile pomiarowe oddalone od siebie dokładnie po 100 m. Określono ich miejsce na planie sytuacyjnym i przesondowano.

Jako pływaków użyto pali drewnianych długości 0,8 ... 1,0 m i średnicy 6 cm. Na górnym końcu pomalowano je minią, na dolnym końcu obciążono cegłą lub kamieniami umocowanymi przy pomocy drutu, tak że pale utrzymywały się w pozycji stojącej wystając 25 cm z wody.



Rys. 267.

Ujemny wpływ wiatru na dokładność pomiarów.

Dla przeprowadzenia szybko i pewnie pomiaru opracowano przedtem dokładny plan pracy i określono potrzebną ilość i przydział osób, przyrządów oraz statków. Instrumenty użyte do pomiarów składały się ze stolika z kierownicą, 2 stoperów i kilku przyrządów węgielnic. Przygotowano też zawczasu odpowiednie formularze dla ułatwienia późniejszych obliczeń.

Pomiary przeprowadzono od 3 kwietnia do 26 maja i w ciągu 12 dni pomiarowych zmierzono przepływy w granicach stanów wody od 5,00 do 8,50 m. Silny wiatr 5 i 8.IV oraz 23 i 25.V wpłynął ujemnie na rezultat pomiarów. Jest to widoczne na rys. 267, na którym przedstawiono krzywą przepływu i punkty pomiarzone. Dolną część krzywej poprawiono na podstawie wyników późniejszych pomiarów młynkowych, wykonanych po przejściu fali powodziowej.

Puszczanie pływaków odbywało się w czasie trwania wielkiej wody z parowca, gdyż silny prąd uniemożliwiał wykonanie tego z łodzi. Dopiero po opadnięciu wody użyto łodzi. Aby uniknąć szkodliwego wpływu fali statku wyrzucano

pływak o 6 ... 8 m poprzecznie od niego. Statek przejeżdżał w poprzek rzekę w odległości 150 m od pierwszego (górnego) profilu pomiarowego. Odległość ta była dostateczna do otrzymania spokojnego przepływu pływaka przez profile obserwacyjne. Określenie linii przepływu pływaka odbywało się przy pomocy stolika i kierownicy. Zależnie od położenia słońca stolik umieszczany był na lewym lub na prawym brzegu rzeki w odległości 100 m od pierwszego profilu pomiarowego i obsługiwany był przez inżyniera. W wyborze miejsca stolika kierowano się tym, aby nie wypadły zbyt ostre kąty poziome (pomiędzy profilem i pływakiem) oraz kąty pionowe, gdyż w przeciwnym wypadku byłaby utrudniona obserwacja i śledzenie biegu pływaka.

Po puszczeniu pływaka jego przejście przez profile pomiarowe sygnalizował stojący tam obserwator, zaopatrzony w lornetkę. Notowano wówczas czas i położenie pływaka. Przy przejściu pływaka przez pierwszy profil pomiarowy puszczano w ruch dwa stopery, po dojściu do drugiego jeden stoper zatrzymywano, po dojściu do trzeciego profilu zatrzymywano drugi stoper.

Pomiary wykonywano w odstępach od 10 do 100 m. Pomiar w 40 liniach trwał 4 ... 4,5 godz. Czas przejścia pływaka przez profile pomiarowe wynosił w nurcie 25 ... 30 sek, w korycie inundacyjnym 50 ... 80 sek.

Stany wody obserwowano co pół godziny na 3 pomocniczych łatach ustawionych 500 m powyżej i poniżej profilu pomiarowego oraz w profilu pomiarowym. Pomiary przekroju wykonane były przed i po pomiarze prędkości. Koryto inundacyjne porośnięte gęstą trawą wykazywało po przejściu wielkiej wody bardzo niewielkie zmiany; również stwierdzono to w korycie w nurcie rzeki. Sondowanie odcinka wykonano co 20 m między profilami pomiarowymi, oraz 20 m powyżej od I profilu i 20 m poniżej III profilu. Ze wszystkich tych sondowań określono przekrój średni $A_{\text{śr}}$.

Obliczenie przepływu przeprowadzono, przyjmując współczynnik redukcyjny prędkości 0,88 w nurcie, a w pozostałej części 0,835 ... 0,845.

Z obserwacji czasu przepływu między profilami I i II określono prędkość potrzebną do obliczenia przepływu przez profil I, z czasu przepływu między II i III—przez przekrój III, oraz ze średniej arytmetycznej z prędkości w I i III—otrzymano prędkość do obliczenia przepływu w profilu II.

W czasie pomiaru stan wody obniżał się; przy pierwszym pomiarze spadł o 20 cm. Średni stan odpowiadający zmierzonemu przepływowi obliczono z zależności

$$H_{\text{śr}} = \frac{\sum (qH)}{\sum q}.$$

Dla 3 przekrojów pomiarowych (A_1, A_2, A_3), zdjętych przed nadejściem wielkiej wody, otrzymano przy każdym pomiarze trzy objętości przepływu Q_1, Q_2, Q_3 . Te trzy wartości były następnie przerachowane przez wprowadzenie średniego pola przekroju (zmierzonego po przejściu wielkiej wody) w sposób następujący:

$$Q'_1 = \frac{Q_1 A_{\text{śr}}}{A_1}; \quad Q'_2 = \frac{Q_2 A_{\text{śr}}}{A_2}; \quad Q'_3 = \frac{Q_3 A_{\text{śr}}}{A_3}.$$

Wartości te dały bardzo niewielkie różnice; z nich obliczono ostateczną wartość średnią:

$$Q = \frac{Q'_1 + 2Q'_2 + Q'_3}{4} \quad \text{m}^3/\text{sek}.$$

Obliczony w ten sposób maksymalny przepływ wynosił 9300 m³/sek z czego 74% przepływało w nurcie, reszta w korycie inundacyjnym.