

## POMIARY OBJĘTOŚCI WODY.

Pomiarów tych dokonywać możemy następującymi sposobami: zapomocą 1/ podstawionego naczynia, 2/ przelewu Poncelet'a, 3/ metody pomiaru prędkości: a/ pływakiem, b/ młynkiem, c/ pitotem, d/ przeponą, 4/ pomiaru temperatury i 5/ metodą chemiczną.

### 1. Pomiar objętości /przepływu/ wody zapomocą podstawionego naczynia.

Sposób ten bardzo dokładny, lecz stosuje się tylko dla bardzo małych strumieni, kanałów fabrycznych etc. Wodę ze strumienia A kierujemy ru-

rą B do zbiornika

C o przekroju  $f$ ,

i w ciągu czasu  $t$

badamy na jaką wy-

sokość  $h$  woda w

zbiorniku się pod-



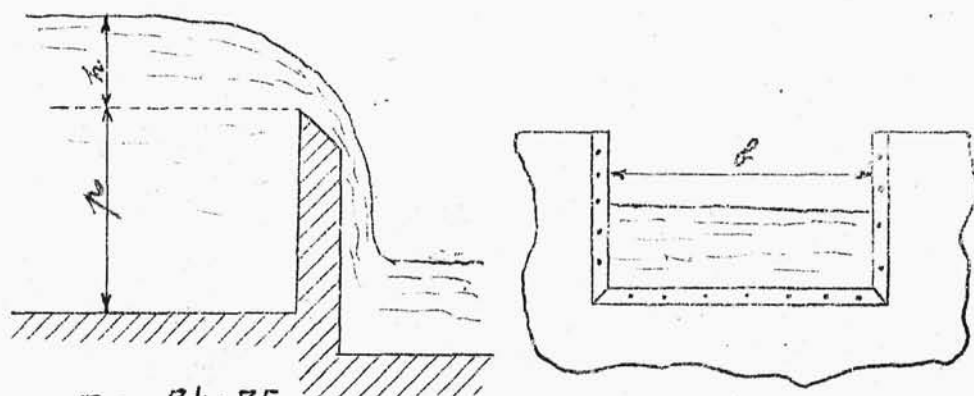
Rys 33

niesie. Objętość wody  $Q = f \cdot h$ ; przepływ na sekun-

de  $q = \frac{Q}{t}$  /w litr./sek./.

## 2. Pomiar objętości wody zapomocą przelewu Poncelet'a.

W rzece, której ilość przepływu chcemy zmierzyć, urządzamy przegrodę z desek z wysiętym otworem, w który naśrubowuje się metalową ramę



Rys 34:35

z ostro zakończonemi krawędziami. Niech szerokość otworu będzie  $b$ . Przegroda ta wywołuje spiętrzenie wody o wysokość  $h$ . Z hydrauliki wiemy, że objętość przepływającej wody wyrazi się wzorem:

$$Q = \frac{2}{3} b h^{3/2} \sqrt{2g}$$

Jeść to objętość teoretyczna. Rzeczywista objętość jest mniejsza wskutek zwężenia strugi, czyli t.zw. kontrakcji. Żeby więc otrzymać rzeczywistą objętość wody musimy to wyrażenie po-

mnożyć przez pewien współczynnik  $\mu$  mniejszy od 1. Wtedy:

$$Q = \frac{2}{3} \mu b h^{3/2} \sqrt{2g}$$

Jeśli oznaczymy  $\frac{3}{2} \mu$  przez  $m$  otrzymamy ostateczną postać:

$$Q = m \cdot b \cdot h^{3/2} \sqrt{2g}$$

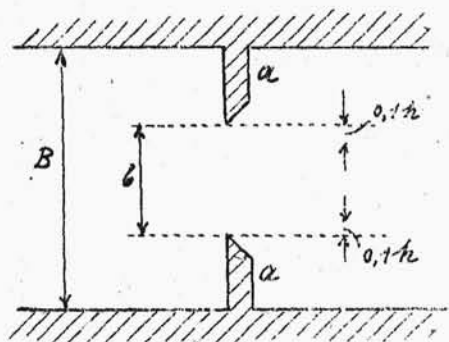
gdzie  $m$  z doświadczeń Bazina wynosi:

$$m = \left\{ 0,405 + \frac{0,003}{h} \right\} \cdot \left\{ 1 + 0,55 \left( \frac{h}{h+b} \right)^2 \right\}$$

Współczynnik  $m$  zależy od: 1/ wysokości  $h$ ,

2/ głębokości  $h$  i

3/ od szerokości  $b$  t.j. kontrakcji bocznej.



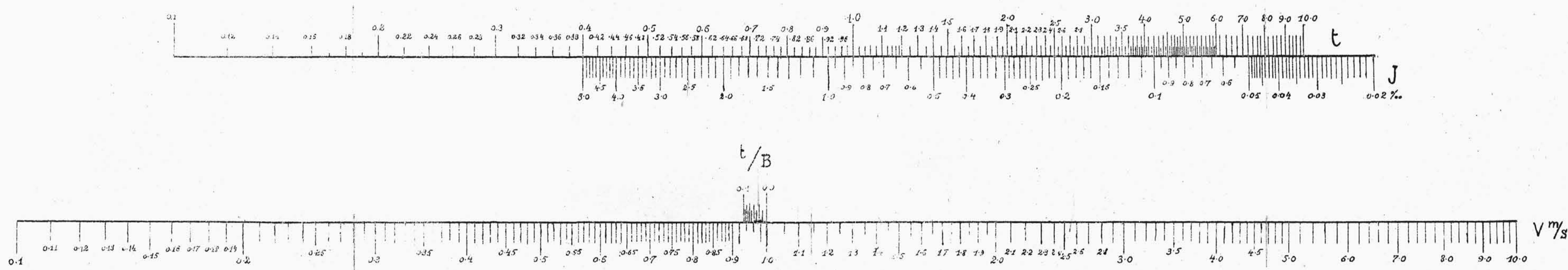
Rys 36

Jeśli narysujemy przelew w raucie poziomym, to zauważymy, że ścianki  $aa$  wywołują

zweżenie się strugi, tak, że struga po przepłynięciu przez otwór, nie ma szerokości  $b$ , lecz jak wykazało doświadczenie  $b = 0,2h$ .

Zaznaczyć należy, że wzór Bazina dla współczynnika  $m$  nie uwzględnia kontrakcji bocznej; wyprowadzony on jest w tym założeniu, że przelew jest urządzony na całe koryto wody.

# *Notogratia dla wzoru Lindboega* *na przepływ wody*



## *Objasnienie.*

*t - średnia głębokość koryta w m.*  
*J - spadek zwierciadła wody w ‰.*  
*v - prędkość wody w m/sec.*  
*B - szerokość zwierciadła wody w rzecie w m.*

## *Przykłady*

*1. Dane  $\frac{t}{B} = 0.01$*   
 *$t = 2.5 \text{ m.}$*   
 *$J = 0.6 ‰.$*   
*szukane  $v = 1.53 \text{ m/sec.}$*

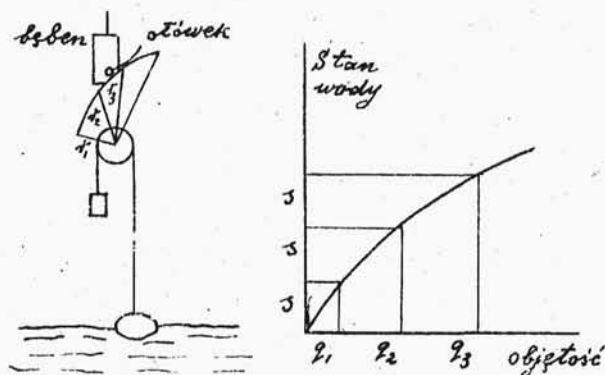
*2. Dane:  $\frac{t}{B} = 0.02$*   
 *$t = 3.00 \text{ m.}$*   
 *$v = 2.00 \text{ m/sec.}$*   
*szukane  $J = 0.084 ‰.$*

*0.84 ‰*

zweżenia bocznego być nie może.

W celu praktycznego obliczenia objętości wody  $Q$  musimy zmierzyć wysokość  $h$ . Zauważymy, że bezpośrednio nad samą krawędzią przelewu, wysokość ta jest nieco mniejsza. Zatem pomiar wysokości  $h$  musi być wykonany w pewnej odległości od przelewu. Odczyt ten robimy albo wprost na łacie lub też za pomocą limnigrafu.

Można wykonać limnigraf w ten sposób, iż będzie notował nie stany wody, lecz wprost objętość przepływu.



Rys 37-38

W tym celu na osi bloczka limnigrafa umieszczamy koło spiralne, którego promienie  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  i t.d., będą proporcjonalne do objętości  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$  i t.d., odczytanych z krzywej konsumpcyjnej, a które od-

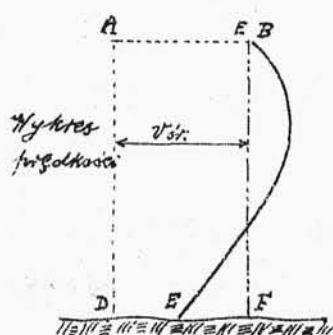
powiadają odwinieciu się na bloku długości  $s$ ,  $2s$ ,  $3s$  i t.d.

Wówczas ołówek, przesuwany przez koło spiralne

i notujący na bębnie, narysuje wykres czasowych zmian w objętości przepływu wody.

Przelewu Poncelet'a używa się przy pomiarach strumieni niewielkich. Dokładność jaką osiągamy przy tym pomiarze wynosi 1 - 2 % .

Przy pomiarach większych rzek obieramy pewien profil, możliwie prosty, z dnem równym, bez mie-

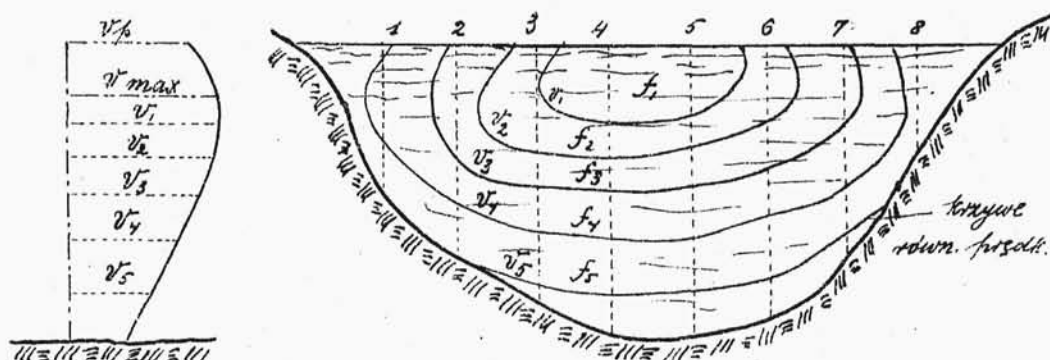


Rys 39

lizn, gdzie przepływ wody jest równomierny; niwelujemy punkty dna względem reperu na wybrzeżu i ze znalezionych głębokości rysujemy profil. Dzielimy profil na szereg części linjami pionowymi 1,2,3

i t.d. Znajdujemy prędkość wody w rozmaitych punktach tych pionowych. Odkładamy te prędkości w pewnej skali, jako odcinki prostopadłe do linii pionowych w odpowiednich punktach. Otrzymamy wykres prędkości na danej pionowej. Prędkości rosną w miarę oddalenia od dna i od brzegów, nie są jednak największe na powierzchni, lecz w pewnej głębokości pod nią, a to wskutek napięcia powierzchniowego,

które powoduje, iż cząstki wody tuż pod po-



Rys 40.41

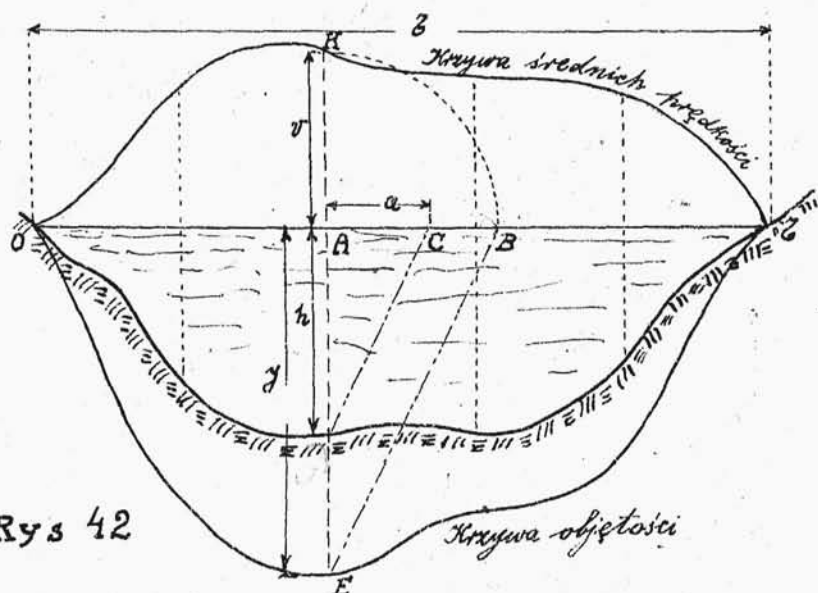
wierzchnią poruszają się z mniejszą prędkością, niż położone niżej.

Łączymy następnie punkty pionowych o jednakowych prędkościach i otrzymamy "krzywe równych prędkości". Mnożąc pola  $f_1, f_2, f_3$  etc., zawarte między temi krzywami, przez odpowiednie prędkości średnie, znajdziemy objętość wody, przepływającej przez dany profil:

$$Q = f_1 \cdot v_1 + f_2 \cdot v_2 + \dots + f_n \cdot v_n \quad \text{/metoda Cullmanna/}.$$

Jeżeli zaś wykres prędkości, ograniczony linią krzywą, w każdej pionowej zastąpimy przez równoważny /co do pola wykresu/ prostokąt o tej samej wysokości, to podstawa /szerokość/ tego prostokąta stanowi "prędkość średnią" w obrębie

danej pionowej. Odkładając średnie prędkości



Rys 42

na przedłużeniach odpowiednich pionowych w górę od zwierciadła wody, otrzymany "Krzywą średnich prędkości". Z krzywej tej można znaleźć objętość przepływającej wody sposobem wykreślnym Harla-ohera. Dla warstewki pionowej o głębokości  $h$  i szerokości  $dx$  objętość wody  $dQ = v_{sz} \cdot h \cdot dx$ ; odłożymy od punktu A /na zwierciadle wody/ dowolny odcinek  $a$  /do punktu C/. Zatoczmy łuk promieniem  $= V_{\text{średnie}}$  /dla danej pionowej/ w poprzecznym, poziomym kierunku. Otrzymamy punkt B / $AK = AB = V_{\text{sz}}$ /. Łącząc C z punktem pionowej, leżącym na dnie D i prowadząc  $BE \parallel CD$  znajdziemy odcinek  $AE = y$ . W ten sam sposób znajdujemy takie punkty dla innych pionowych; wyznaczają



one t.zw. krzywą objętości. Pole między tą krzywą i zwierciadłem wody przedstawia objętość przepływu w pewnej skali, jak tego łatwo dowieść:

$$\triangle ACD \sim \triangle ABE; \quad \frac{y}{h} = \frac{v_{st.}}{a} \quad y = \frac{v_{st.} \cdot h}{a}$$

pomnóżmy przez  $dx$ :

$$y \cdot dx = \frac{v_{st.} \cdot h \cdot dx}{a}; \quad y \cdot dx = \frac{dQ}{a}$$

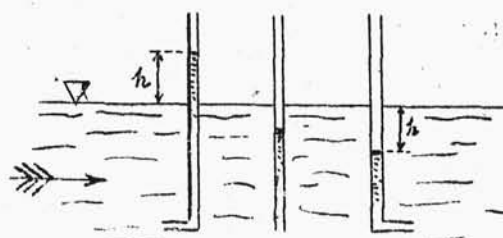
Całkując otrzymamy:

$$\int_0^L y \cdot dx = \frac{1}{a} \int_0^L dQ = \frac{Q}{a}$$

czyli pole między krzywą i zwierciadłem wody, jest to objętość wody w skali  $\frac{Q}{a}$ . Sposób ten jest mniej dokładny, ale szybszy i dlatego często bywa stosowany.

### 3a Sposób: Rurki Pitot'a.

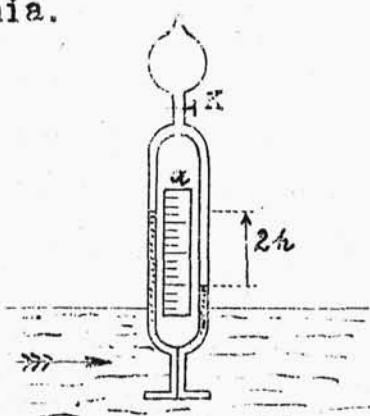
Badaacz Pitot /w r.1732/ zauważył, że gdy rurkę zagiętą pod kątem prostym ustawić w wodzie tak, aby ramię dolne zwrócone było wprost naprzeciwko



prądu, to poziom wody w górnej części rurki podniesie się o pewną wysokość  $h$ . To podniesie-

Rys 43.

nie poziomemu ma źródło w sile żywej płynącej wody i jest do niej proporcjonalne; prędkość wody  $v = \sqrt{2gh}$  /teoretycznie/. W rurce otwartej z obu stron, lecz niezagiętej, lub też zagiętej w stronę prądu - poziom wody leży niżej zwierciadła rzeki, a to wskutek zachodzącego tu ssania.



Rys 44

Podajemy tu schemat przyrządu /pitoty/, opartego na powyższej zasadzie.

Zanurzony do rzeki naczynie, składające się z 2 rurek /jedna skierowana przeciwko prądowi,

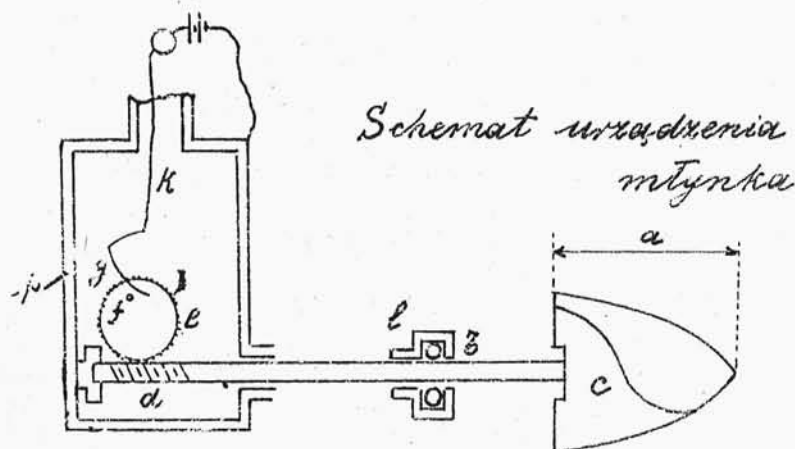
druga w jego kierunku/ możemy za pomocą przesuwnej podziałki  $a$  określić różnicę poziomów wody w obydwóch rurek  $2h$ , a z niej prędkość wody:  $v = \mu \sqrt{2gh}$ , gdzie  $\mu$  - współczynnik proporcjonalności.  $\mu = 1,01$  do  $1,37$ , średnio  $1,15$ . Przez zastosowanie wsp.  $\mu$  uwzględniamy okoliczność, iż nie cała siła żywa płynącej strugi wodnej idzie na podniesienie się poziomu, część jej ginie, rozprasza się przy uderzeniu o rurkę, oraz wskutek odchylenia się strug płynącej wody.

Sposób Pitot'a używany jest przy znacznych prędkościach prądu: przy mniejszych prędkościach wysokości  $h$  są za małe, aby się dały odczytać. Przyrząd ten cierpi wskutek zamulania się otworów rurek.

Ponieważ odczyt " $h$ " w poziomie, względnie pod poziomem wody nie byłby możliwy, łączymy rurki u góry razem i wysysając powietrze podnosimy oba słupy wody odpowiednio wysoko ponad zwierciadło wody. Po zamknięciu kurka " $k$ " możemy już z łatwością odczyt " $h$ " wykonać. Wobec łatwiejszego pomiaru młynkami w praktyce sposób ten zarzucono; ma on teraz jedynie znaczenie teoretyczne.

### 32 M ł y n k i .

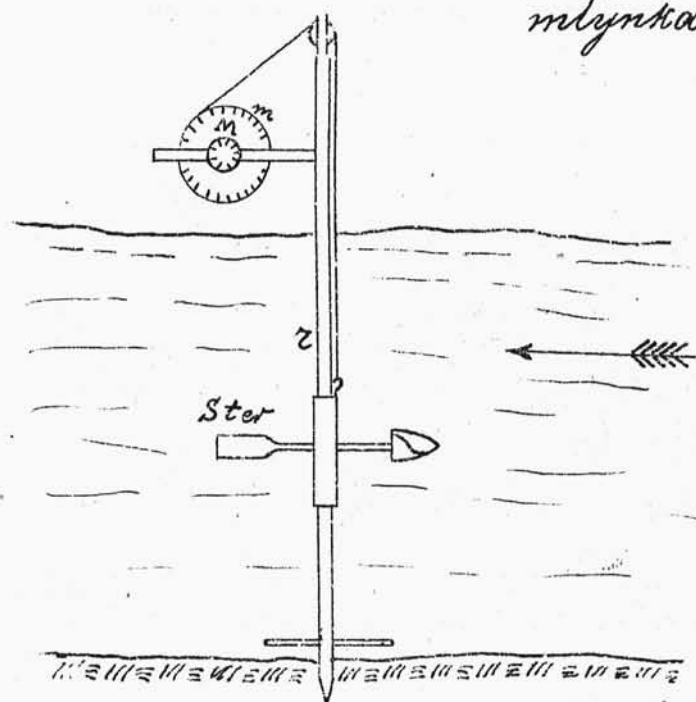
Najczęściej pomiary prędkości uskutecznia się za pomocą młynka. Opiszemy tu schemat urządzenia jednego z typów młynków. Na osi metalowej  $a$  osadzonej w kulkowym łożysku  $b$ , zamocowane są skrzydełka aluminiowe  $c$ , najczęściej spiralne. Na drugim końcu osi mamy śrubę bez końca  $d$ , obracającą kołko zębate  $e$ . Sztylek  $f$ , osadzony na kołku, za każdym obrotem tegoż zamyka, dotykając sprężynki  $g$ , obwód elektryczny, wskutek czego każdy obrót



*Schemat urządzenia młynka*

*Widok zewnętrzny*

*młynka*

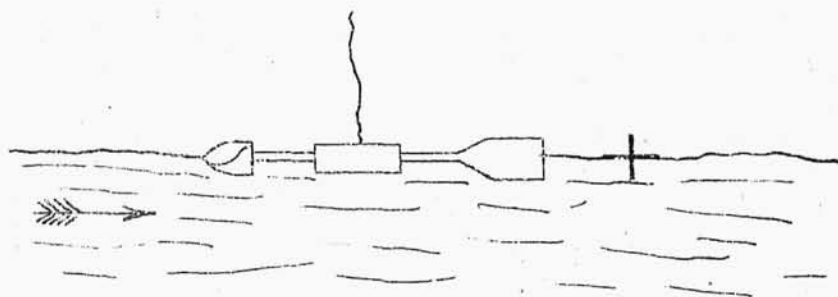


Rys 45:46

kółka jest sygnalizowany dźwiękiem lub rejestrowany na pasku papieru. Jeden drut kabla na połączenie ze sprężynką g i kółkiem zębatym, drugi dołączone jest do metalowej pokrywy p. Młynek zawieszony na kablu można przesuwając wzdłuż rury r /rys. 46/ dzięki znajdującemu się w niej podłużnemu wycięciu. Kółko m z podziałką po-

zwala odczytać, w jakiej głębokości młynek się znajduje.

Młynek, umieszczony w wodzie, obraca się z szybkością tem większą, im większą jest prędkość strugi, w której oś młynka się znajduje. Zwykle skok linii śrubowej skrzydeł młynka  $\alpha = 0,1$  do  $0,25$  m., ilość zębów w kółku  $e = 25$  do  $50$ , t.j. jeden obrót kółka wypada na  $25$  do  $50$  obrotów skrzydełek. Wielkie i ciężkie młynki posiadają przeciwwagę, umieszczoną w przedłużeniu osi młynka. Wtedy środek ciężkości młynka i przeciwwagi leży w punkcie zaczepienia kabla. - Małe młynki umieszcza się bez przeciwwagi na

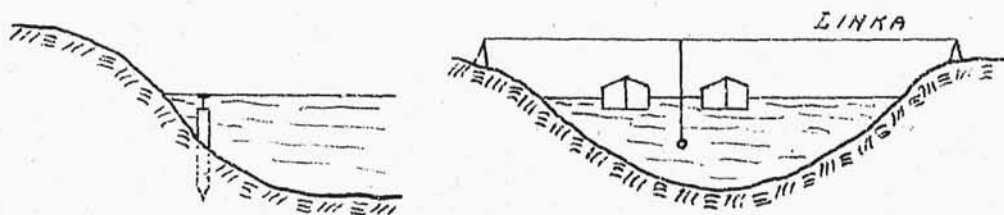


Rys 47

drażku metalowym lub przyśrubowuje do drążka drewnianego. Dla pomiaru prędkości na powierzchni lub w czasie wody powodziowej nawet w większej głębokości /pomiar z mostu/ używa się młynków zawieszonych na silnej linie

*rys. 47/*. opatrzonej w kabel. Do młynka przyczepia się ciężar w formie soczewki, w celu aby prąd wody daleko go nie znosił. Młynek zaopatrzony jest w ster w kształcie krzyża, który go utrzymuje w kierunku prądu wody.

Pomiarów za pomocą młynka dokonywa się następującym sposobem: obieramy profil rzeki możliwie prosty, o dnie równym, spadku dna jednostajnym, tak aby bieg wody był spokojny, bez fal i wirów, strugi zaś wody - możliwie równoległe. Profil obrany niwelujemy starannie względem reperów, umieszczonych po obu brzegach. Reperem będzie wkręcony słup żelazny lub wkopany pal dębowy,



Rys 48:49

opatrzonej u dołu krzyżem lub jakikolwiek punkt stały na cokole muru i t.d. Dla obserwacji zmian stanu wody w czasie pomiaru bijemy po obu brzegach kołki drewniane, opatrzone gwoździem, którego główkę dobijamy dokładnie do poziomu wody.

Często zakładamy prowizoryczny wodowskaz.

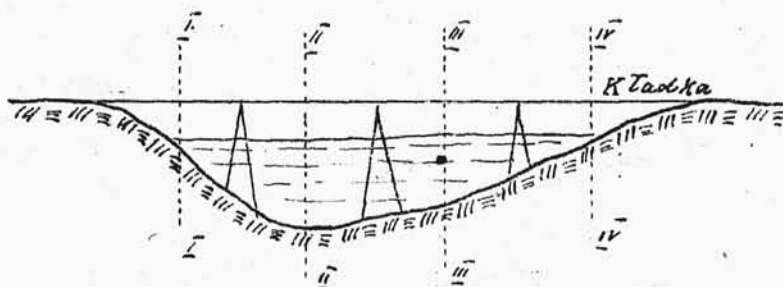
Przerzucamy przez rzekę taśmę stalową z podziałką, naciągamy ją i co pewną odległość wyznaczamy pionowe i mierzymy głębokości i prędkości w różnych głębokościach. /Dla wyznaczenia krzywej prędkości trzeba mieć powierzonych co najmniej 4 punkty, t.j. tuż powyżej dna, możliwie blisko powierzchni i 2 pośrednie/. Wzdłuż taśmy przesuwamy się albo po kładce, przesuconej na kozłach, gdy rzeka jest wązka, lub też urządzamy pomost na 2 czołnach, o ile rzeka jest szersza. Opuszczamy młynek na dno, kierując os jego prostopadle do płaszczyzny przekroju rzeki. Młynek obraca się, sygnalizując każdy obrót kółka zębatego zapomocą dzwonka. Czas obserwacji trwa co najmniej 100 sekund i dla większej pewności pomiar dokonywa się co najmniej 2 razy w każdym punkcie. Jednocześnie młynek, dzięki kółku *m* z podziałką centymetrową, służy do pomiaru głębokości. Uwzględnić tylko należy, że os młynka, ze względu na jego konstrukcję, nie sięga do samego dna, a jest od niego odległa o pewną stałą wielkość.

Następnie podnosimy młynek o pewną wysokość i znów notujemy ilość sygnałów dzwonkowych

w ciągu czasu badania, t.j. najmniej 100 sekund, przyczem notujemy koniec dzwonienia, jako chwilę dającą się pewniej uchwycić, niż początek dzwonka.

Jedynie prędkości powierzchniowe mierzyć młynkiem nie można, gdyż na powierzchni obraca się on częściowo tylko w wodzie, częściowo zaś już w powietrzu. Czas obserwacji obieramy dlatego tak znaczny /100 sekund/, ponieważ przy ruchu burzliwym prędkości ulegają ciągłym zmianom. Natomiast średnia prędkość w ciągu dłuższego okresu czasu pozostaje prawie stałą.

Otrzymane przy pomiarach wyniki zestawiamy w raportarzu:



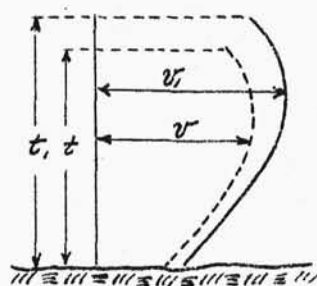
Rys 50



Młynek Nr..... = 0,1203 + 0,02. Pomiar  
rzeki..... w km..... dnia .....

Pionowa	Głębokość pomiaru.	Ilość obrotów	Czas obrotów t sek.	Ilość obrotów na sek.	Prędkość.	Uwagi.
I Całkowita głębokość boku 0,8 m.	5 cm.	250	100	2,5	0,330	
		250	95	2,63	średnia 2,58	
	10 cm.	300	113	2,66	0,338	
		300	115	2,61	2,635	

Należy mieć na względzie, że w czasie "wielkich wód" /przyborów/ poziom wody w profilu rzeki może ulegać zmianie, t.j. podnieść się lub opadać w trakcie pomiarów z wysokości pewnej  $t$  do innej  $t_1$ . Przez to zmieniają się i prędkości wody w odpowied-



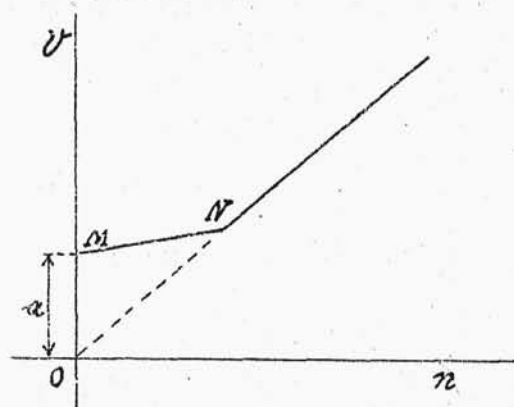
Rys 51

nich punktach np. z  $v$  na  $v_1$ . Przy obliczeniu objętości przepływu trzeba zredukować prędkości na takie, które odpowiadają stałemu poziomowi wody. Redukcję tę przeprowadza się na podstawie zależności, jakie zachodzi między  $v, v_1$  i  $t, t_1$ , a wy-

raża się następującą proporcją:

$$\frac{v_1}{v} = \left( \frac{t_1}{t} \right)^2$$

Prędkość wody określa się z ilości obrotów młynka:  $v = \bar{v}n$  /  $v$  - prędkość wody,  $\bar{v}$  - skok linii śrubowej, według której są uformowane skrzydełka młynka;  $n$  - ilość obrotów na sek. / Tak byłoby dla młynka precyzyjnego. Lecz wobec nieprecyzyjnego wykonania współczynnik  $\bar{v}$  nie zawsze ściśle odpowiada skokowi linii śrubowej, pozatem wskutek bezładności masy młynka /i oporu tarcia/ młynek dopiero przy pewnej prędkości zaczyna się obracać. We wzorze na prędkość  $v = \bar{v}n$  wchodzi zatem druga stała  $\alpha$  i wzór otrzymuje kształt  $v = \alpha + \bar{v}n$ ; dla  $n=0$ ;  $v=\alpha$ ;  $\alpha$  - więc jest to ta prędkość wody, przy której rozpocząć się może ruch młynka. Mniejsza od  $\alpha$  prędkość nie zdołałaby przewyciężyć bezładności młynka. Graficznie przedstawiona zależność  $v$  od  $n$ , wykazuje, że ruch młynka zaczyna się nie odrazu, lecz dopiero przy pew-



Rys 52

sza od  $\alpha$  prędkość nie zdołałaby przewyciężyć bezładności młynka. Graficznie przedstawiona zależność  $v$  od  $n$ , wykazuje, że ruch młynka zaczyna się nie odrazu, lecz dopiero przy pew-

nej prędkości  $/OM/$  wody. Najczęściej zależność prędkości od liczby obrotów od pewnego punktu się zmienia, tak iż zamiast jednej mamy z reguły 2 proste ze wspólnym punktem  $N$ .

Przed pomiarem należy młynek "zstarować" sposobem następującym: wzdłuż zbiornika z wodą stojącą przesuwamy na szynach wózek z pewną określoną, stałą prędkością  $U$ . Młynek, ciągnięty przez wózek, przesuwa się w wodzie i obraca z szybkością, odpowiadającą prędkości  $U$ . Wyznaczamy zależność między ilością obrotów młynka  $n$  i prędkością wózka  $U$ . Mamy tu zjawisko odwrotne, niż w rzece: tam młynek był nieruchomy, tu zaś woda. W rzece woda się przesuwała, tu znów młynek.

Zasadniczo sposób ten o tyle nie odpowiada rzeczywistości, że w zbiorniku tworzą się równoległe, prawidłowe strugi cieczy, które w rzece takimi nie są, wskutek fal, wirów i t.d.

W laboratorjach amerykańskich taruje się młynki w wodzie płynącej korytem, w którym w każdym punkcie przekroju, inną metodą wyznaczone dokładnie prędkość.

----

Na zakończenie wspomnieć należy o pomiarach za-

pomocą młynka przy ujściach rzek, gdzie docho-  
dzi woda morska. Skrzynka w młynku, gdzie znaj-  
duje się kółko zębate i sprężynka, zamykająca  
prąd elektryczny, jest nieszczelna i wypełniona  
wodą. Jest to możliwe, albowiem słodka woda  
rzeczna jest złym przewodnikiem elektryczności.  
Natomiast w słonej wodzie morskiej, stanowiącej  
dobry przewodnik, należy wewnętrzne urządzenie  
młynka zabezpieczyć od zalania wodą, wypełnia-  
jąc je odrazu naftą i zamykając szczelnie.

### 3c. Pływak i .

Służą do mierzenia prędkości powierzchniowej.  
Są one różnych typów: zwykłe, płaskie deseczki,  
kule, drążki pionowe etc. Pływak nie powinien  
być zbyt ciężki, bo wtedy, szczególnie przy  
dużych spadkach zwierciadła rzeki, ślizga się  
po powierzchni wody, nabywa prędkość większą  
niż prędkość wody. Z drugiej zaś strony - przy  
znacznym ciężarze, pływak wskutek bezwładności  
dopiero po pewnym czasie nabywa prędkości wo-  
dy. Gdy pływak jest zbyt lekki, wiatr może go  
znosić i zwiększyć lub zmniejszyć jego pręd-  
kość, niezależnie od prędkości wody. W czasie