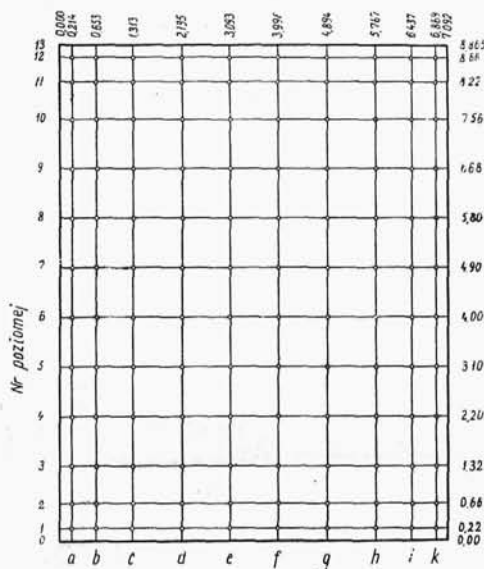


umieszczonych w 3 otworach spirali. W czasie pomiaru określano prędkość w 120 punktach w każdym otworze, tj. dla całości — w 360 punktach. Czas trwania pomiaru wynosił przeciętnie 22...24 minuty. Zbadano 24 przepływy, trzeba więc było określić prędkość w 8640 punktach. Obsługa składała się z trzech inżynierów przy chronografach i sześciu ludzi przy windach. Łącznie z kierownikiem zajętych było przy pomiarze 10 osób.



Rys. 318,

Rozkład punktów pomiarowych w przekroju.

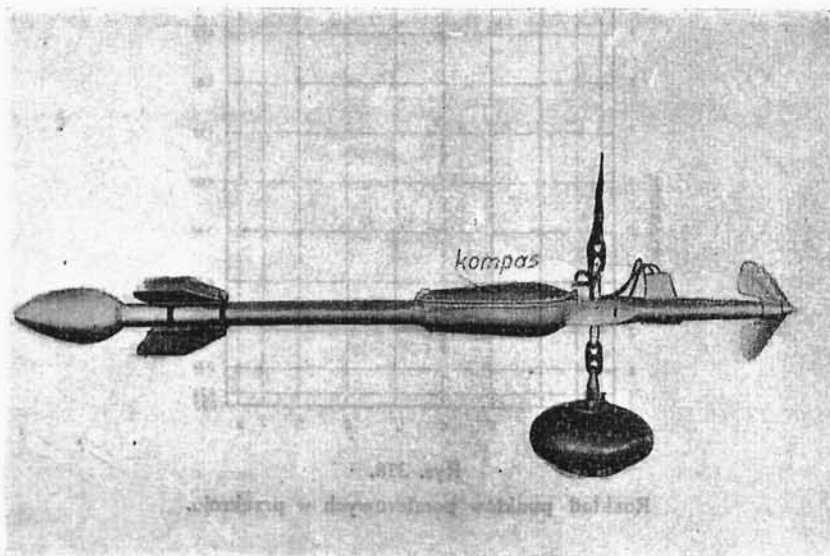
5. Młynki do pomiarów prądów morskich.

Do pomiarów prędkości, w których chodzi nie tylko o bezwzględną wartość prędkości, ale także o kierunek prądu (zwykle interesuje nas to przy badaniach prądów morskich i prądów przypływów i odpływów morskich w ujściach rzek), nie nadają się młynki opisane dotychczas. Stosować trzeba młynki specjalnej konstrukcji, pozwalającej obserwatorowi odczytać również kierunek prądu. W użyciu są dwa typy.

W pierwszym z nich kierunek prądu określamy przez pomiar kąta między osią instrumentu i kierunkiem południka magnetycznego lub kierunkiem igły kompasu. Do tego celu w korpusie młynka, w odpowiedniej komorze napełnionej naftą umieszczony jest kompas (rys. 319), który ma odpowiednio skonstruowane elektro-magnetyczne połączenie (rys. 320) ze wskazówką umieszczoną na górze

nad wodą, co pozwala obserwatorowi każdorazowo dokonać swobodnie odczytu kąta (azymutu).

Konstrukcję, gdzie uniknięto zastosowania kompasu do pomiaru azymutu, ma młynek Rauschelbacha (rys. 321). Korpus młynka umieszczony jest na osi pionowej w ramie w ten sposób, że możliwy jest obrót całego korpusu młynka w stosunku do ramy. Kąt między osią młynka i kierunkiem ramy mierzy się na przyrządzie (kątomierzu) umieszczonym ponad wodą (na statku lub łodzi) i sprzężonym elektromagnetycznie z częścią mechanizmu znajdującą się pod wodą.



Rys. 319.

Młynek hydrometryczny z kompasem.

Ramę ustawia się równolegle do osi statku, wówczas kierunek prądu wody określimy znając kierunek (azymut osi podłużnej) statku z odczytu kompasu okrętowego oraz różnice kierunków ramy i młynka odczytane na kątomierzu.

Bardzo dobre rezultaty otrzymywano w czasie studiów nad prądami morskimi przy użyciu młynka skonstruowanego przez M. Idraca¹³⁰⁾. Konstrukcja tego młynka pozwala na obserwację ciągłą, tj. na notowanie prędkości i kierunków prądu w punkcie umieszczenia młynka w przeciągu dłuższego czasu (do 7 dni), nie wymagając specjalnej obsługi.

¹³⁰⁾ Y. Teste. Le moulinet Idrac pour l'enregistrement des courants marins et fluviaux. Génie Civil, 22.VI.1929.

Młynek umieszcza się w pewnym punkcie obserwacyjnym (rys. 322ab). Prędkość i kierunek są zapisywane na taśmie fotograficznej, przesuwanej przyrządem zegarowym. Rejestracja odbywa się we-

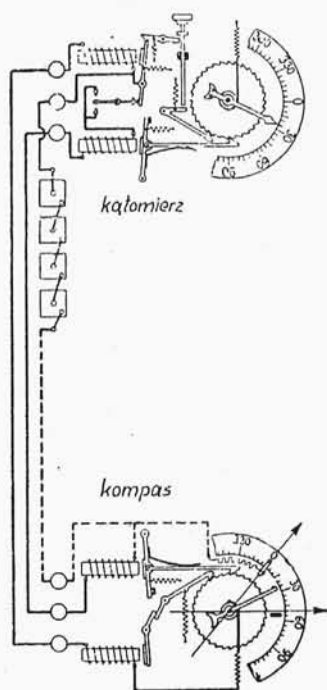
wnątrz przyrządu, który razem z młynkiem opuszczany jest w głąb wody. Odpada tu potrzeba przenoszenia wskazań nad powierzchnię wody, co jest korzystne z uwagi na dokładność działania.

Naświetlanie taśmy fotograficznej odbywa się przy pomocy lampek elektrycznych, zasilanych prądem z akumulatora.

Jak wygląda taśma z zarejestrowanymi obserwacjami wskazuje rys. 323. Proste „mm” i „nn” oraz krzywa „pp” stanowią obserwację kierunku przepływu, a otrzymane są przez nieprzerwane fotografowanie stale oświetlonego kompasu. Kierunek młynka w każdej chwili w stosunku do południka daje równanie

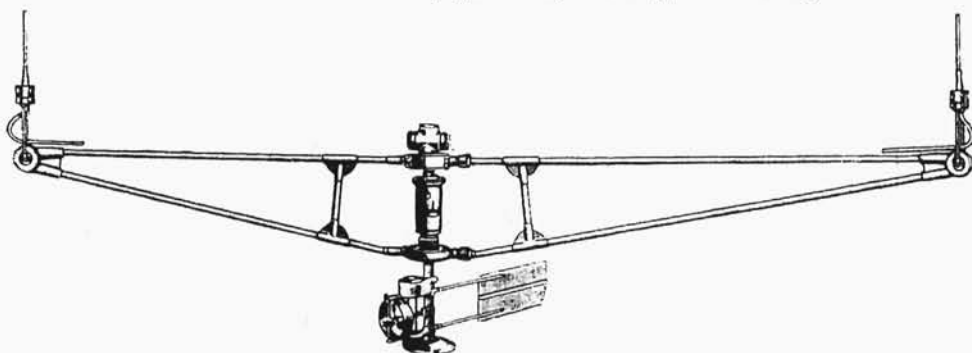
$$\alpha = 360^\circ \frac{\overline{mp}}{\overline{mn}} + d + c, \text{ gdzie } \overline{mp} \text{ i } \overline{mn} \text{ są}$$

odległościami między zarejestrowanymi liniami, d — odchyłką magnetyczną, c — stałym współczynnikiem (określonym przez cechowanie). Rejestracja prędkości na taśmie fotograficznej ma wygląd poprzecznych smug naświetlanych co 48



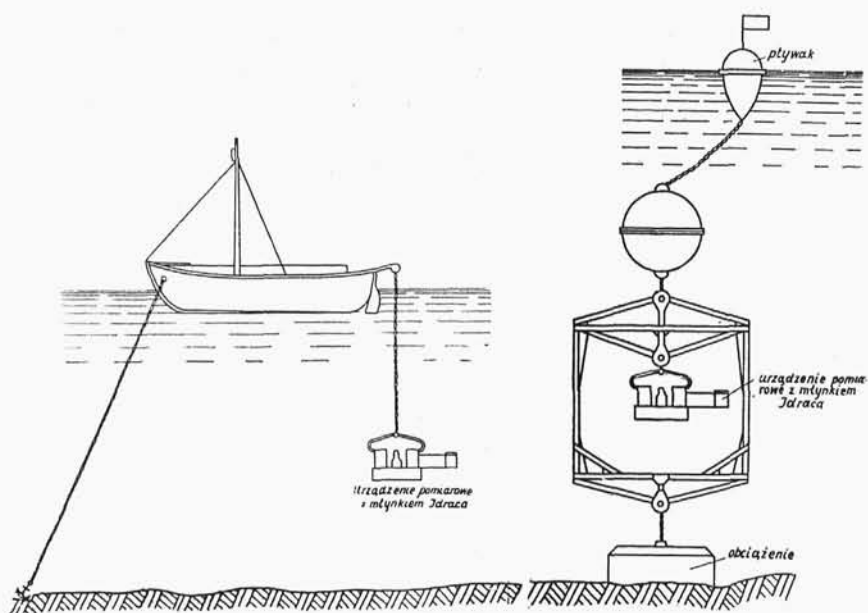
Rys. 320.

Elektromagnetyczne połączenie kompasu ze strzałką umieszczoną nad wodą.

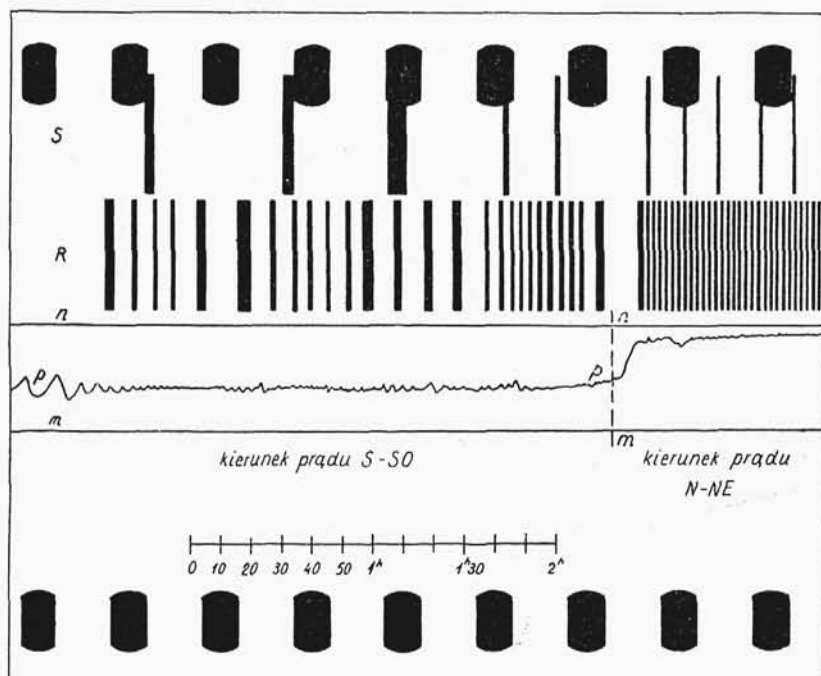


Rys. 321.

Młynek hydrometryczny Rauschelbacha.



Młynek hydrometryczny Idraca.

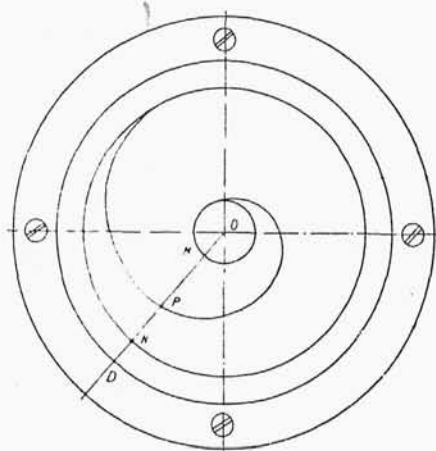


Rys. 323.

Taśma rejestracyjna aparatu Idraca.

obrotów młynka (smugi „R”) i co 240 obrotów (smugi „S”). Szybkość przepływu oblicza się na podstawie zmierzonych odstępów między smugami, krzywej cechowania oraz na podstawie szybkości przesuwania się taśmy fotograficznej.

Do rejestracji azymutu używa się kompasu typu „Vion” używanego powszechnie w lotnictwie. Na poziomej tarczy kompasu mamy dwa koncentryczne koła i spiralę Archimedesesa nakreślone linią białą na czarnym tle (rys. 324). Trzy te krzywe naświetlane



Rys. 324.

Tarcza kompasu „Vion”.

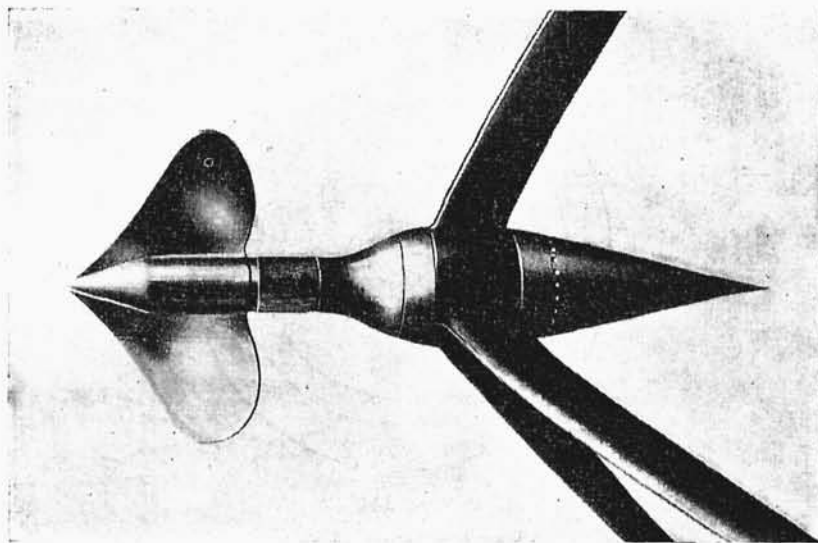
wzdłuż promienia OD dają na taśmie fotograficznej punkty „m”, „n” i „p”, będące obrazem punktów „M”, „N” i „P”. Położenie punktów „m” i „n” na taśmie w stosunku do jej krawędzi nie zależy od orientacji młynka w stosunku do kompasu, natomiast od tej orientacji zależy położenie punktu „p”. Przy obrocie taśmy punkty „m” „n” i „p” kreślą: pierwsze dwa linię prostą, trzeci — krzywą (linie „mm” „nn” i „pp”). Posługując się wyżej podanym równaniem można określić kierunek, odczytując z dowolną dokładnością (przez powiększenia obrazów na ekranie) wielkość mp i mn .

6. Konstrukcje używane do pomiaru przepływu w przewodach zamkniętych.

Do pomiaru prędkości w przewodach zamkniętych zasadniczo używa się tylko młynków na rurach, wstawianych czasowo (na czas pomiaru) do przewodu lub umieszczonych tam na stałe.

Stałość stosunku $v_s : v_0$ (prędkości średniej do prędkości w osi

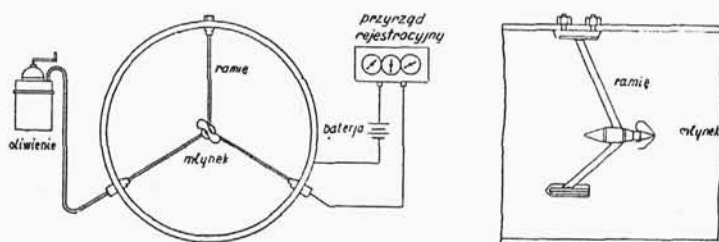
przewodu), stwierdzona wielokrotnie doświadczalnie pozwala (po określeniu tego stosunku wykonanymi pomiarami) prowadzić stałą obserwację przepływu przez pomiary prędkości v_0 w osi rury (albo nawet w innym punkcie przekroju). Można więc wbudować młynek na stałe w rurę i używać go jako wodomierza. Takie młynki-wodomierze są wbudowane w każdym z 6 rurociągów zakładu wodnego w Walchensee (rys. 325).



Rys. 325.

Młynek hydrometryczny wbudowany w rurociąg.

Do stałego wbudowania nie nadaje się każdy typ młynka; mogą być używane tylko specjalne konstrukcje, mocne i wytrzymałe na mechaniczne działania wody, oraz na tyle szczelne, by do łożysk kulkowych nie dostawały się żadne nieczystości. Nieodzowną jest przy tym specjalna pompka do automatycznego oliwienia (rys. 326).



Rys. 326.

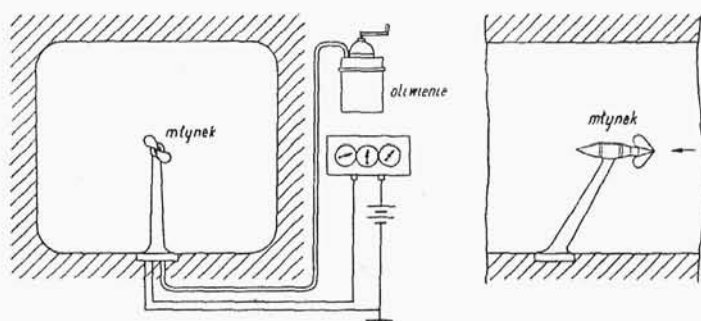
Automatyczne oliwienie młynka hydrometrycznego.

Pompka taka może obsługiwać wiele młynków i zwykle poruszana jest motorem elektrycznym (mocy $\frac{1}{6}$ do $\frac{1}{8}$ KM) uruchamianym z centrali turbinowej. Oliwa doprowadzana jest do młynka miedzianą rurką średnicy 4 mm. Zużycie oliwy niewielkie, około 10 cm³ dziennie. Objętość tę wciąga się jednorazowo.

Urządzenie pomiarowe może być skonstruowane w ten sposób, że pozwala na przesuwanie młynka wzdłuż średnicy, tak że można wykonać również pomiary dla określenia całej krzywej prędkości. Jeśli następnie pragniemy używać młynka jako stałego wodomierza, unieruchamia się młynek w pozycji środkowej (w osi przewodu).

Konstrukcję z nieruchomo wbudowanym młynkiem przedstawia urządzenie wykonane w Walchensee (rys. 326). Jedno z ramion, na których umocowuje się młynek, służy za przewód do oliwy, w drugim mieści się przewód elektryczny (kabel).

W rurociągach betonowych o przekroju prostokątnym młynek może być umieszczony na jednym ramieniu (rys. 327).



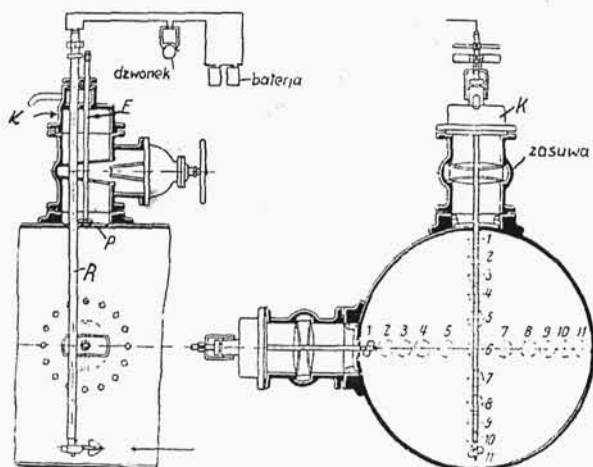
Rys. 327.

Umocowanie młynka hydrometrycznego w rurociągu betonowym.

Do wykonania kompletnego pomiaru młynkiem hydrometrycznym w przewodzie prowadzącym wodę pod ciśnieniem muszą być już przy budowie rurociągu przewidziane specjalne urządzenia. Stosuje się urządzenia Voith'a, Dufoura, Otta i systemu połączonego Dufour-Voith'a.

Urządzenie Dufoura przedstawiono na rys. 328. Młynek przymocowany jest na końcu drążka „R” i może być przesuwany wzdłuż linii średnicowej rurociągu. Miejsce przejścia drążka przez ścianę rury jest odpowiednio uszczelnione. Urządzenie Dufoura pozwala na wprowadzenie młynka do przewodu bez przerywania pracy rurociągu, tj. bez opróżniania go z wody. W ścianie przewodu zrobione jest podłużne wycięcie i w miejscu tym przymoco-

wana jest zasuwa. Przy pomiarze nakłada się na zasuwę kaptur „K”, przez który przechodzi drążek młynka. Początkowo drążek jest podciągnięty, tak że młynek mieści się w komorze pomiędzy kapturem „K” i zasuwą. Po otwarciu zasuwy opuszcza się młynek do środka rurociągu dociskając jednocześnie pokrywę „P” do pierwotnego położenia przy pomocy pręta „E”. Pokrywa „P” służy nie tylko jako zamknięcie otworu ale również jako drugie miejsce prowadzenia (podparcia) drążka młynka. Dla wykonania pomiaru wzdłuż dwóch osi (średnic) muszą być otwory i zasuwy umieszczone na obu kierunkach osi pomiarowych.



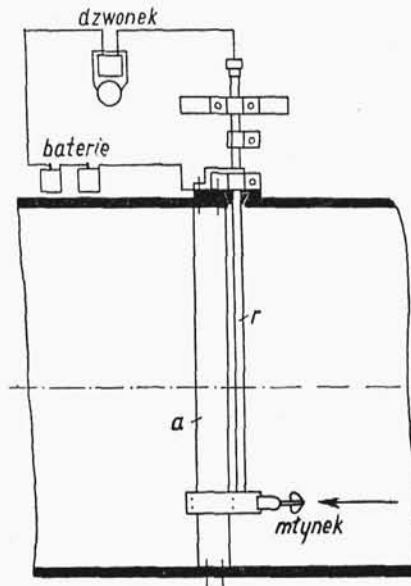
Rys. 328.

Urządzenie Dufoura.

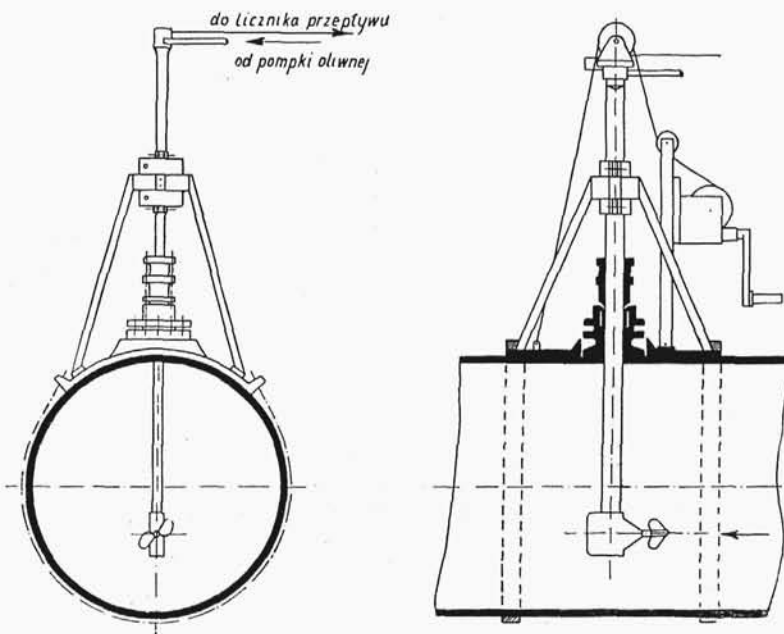
Przy znacznych średnicach (> 2000 mm) i dużych prędkościach ($> 3,5$ m/sek) występuje bardzo silne wygięcie oraz wibracja drążka młynka, co wybitnie zmniejsza dokładność pomiaru. W takich razach stosuje się urządzenie Voith'a skonstruowane w ten sposób (rys. 329), że młynek umieszczony jest na rurze stałej „a”. Położenie młynka na osi pionowej można zmieniać przy pomocy trzpienia „r” (miejsce jego przejścia przez ścianę przewodu jest uszczelnione).

Konstrukcja Otta różni się od systemu Voith'a tym, że młynek umieszczony jest na rurze wiszącej (rys. 330). Obydwie konstrukcje wymagają umieszczenia młynka na stałe.

Przy pomiarach w kierunkach dwóch osi (średnic) należy pomiar wykonywać w tej samej płaszczyźnie. W rurociągach o większej średnicy przeprowadzano pomiary stosując konstrukcję Voith'a zmodyfikowaną w ten sposób, że rury szynowe, umieszczone w jednej płaszczyźnie, łączono ze sobą w punkcie środkowym rurociągu.

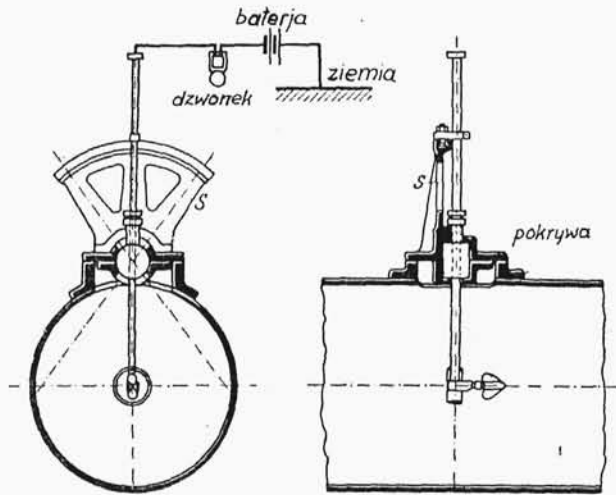


Rys. 329.
Urządzenie Voitha.



Rys. 330.
Urządzenie Otta,

Na każdym z czterech utworzonych w ten sposób promieni umieszczone były po dwa przesuwane młynki. Przy pomiarach w zakładzie Shanon w Irlandii w rurociągu średnicy 6,0 m przestawiano każdą parę młynków 10 razy, tak że otrzymano rezultaty z 80 punktów pomiarowych. Zastosowanie chronografu pozwoliło wykonać cały pomiar przepływu w przeciągu 18...22 minut.



Rys. 331.

Urządzenie pomiarowe Kristinehamn.

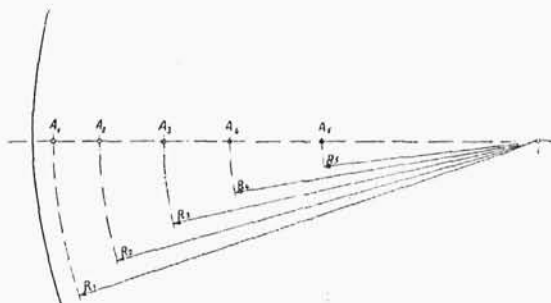
Warto jeszcze wspomnieć o konstrukcji Kristinehamn (rys. 331), pozwalającej—przez wbudowanie do cylindra (umieszczonego w odpowiednio dopasowanym łożysku) rury do zawieszania młynka—ustawiać młynek w dowolnym punkcie przekroju przewodu. Segment „S” pozwala odczytać kąt nachylenia i służy jednocześnie za prowadnicę rury (drążka młynka). Konstrukcja ta nadaje się jednak (ze względu na trudności uszczelnienia) tylko do rurociągów prowadzących wodę pod niewielkim ciśnieniem

Dla przeprowadzenia pomiarów w możliwie krótkim czasie w przewodach zamkniętych również stosuje się jednocześnie większą liczbę młynków. W zakładzie Eitfingen (Mittlere-Isaar A. G.) pomiar był wykonany przy jednoczesnym użyciu 25 młynków. Czas trwania pomiaru wynosił 2 minuty, tak że w ciągu 8 godzin wykonano około 45 kompletnych pomiarów.

Co się tyczy rozmieszczenia punktów pomiarowych na średnicy poleca Canaan (cytata 129) wybierać je w ten sposób, by były

równe pola pierścieni określone miejscami położenia młynka, a więc by była spełniona zależność (rys. 332)

$$R_1^2 - R_2^2 = R_2^2 - R_3^2 = R_3^2 - R_4^2 = R_4^2 - R_5^2 = R_5^2.$$



Rys. 332.

Wybór punktów pomiarowych w przekroju rurociągu.

6. Inne przyrządy

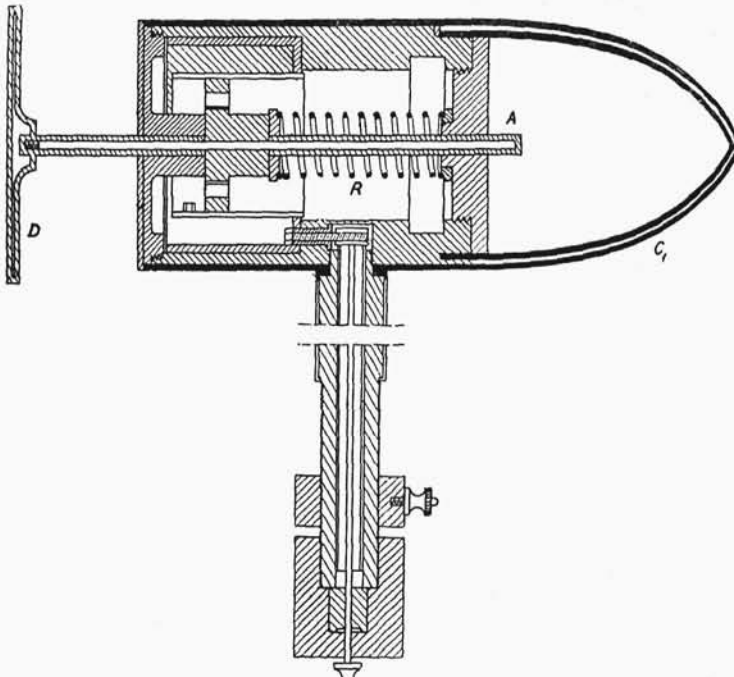
1. Przyrząd P. Dupin.

W nowym aparacie do pomiaru prędkości skonstruowanym przez P. Dupin¹³¹⁾, asystenta laboratorium hydraulicznego w Tuluzie, zastosowane jest urządzenie radiowe. Zasada polega na zmianie pojemności kondensatora elektrycznego, umieszczonego w płynącej wodzie.

Całość składa się z przyrządu zanurzanego do wody (rys. 333) oraz aparatury radiowej nadawczej i odbiorczej (rys. 334). Przyrząd zbudowany jest w formie cylindra zakończonego wrzecionowato. Przód jego zaopatrzony jest w płytkę „D” umocowaną na pręcie „A”, który przechodzi przez środek cylindra. Wnętrze cylindra wypełnia się oliwą. Przepływająca woda wywiera pewne ciśnienie na płytkę, co powoduje odpowiednie jej przesunięcie równoległe do osi. Sprężyna „R” ma za zadanie równoważyć ciśnienie wody.

Każdej prędkości wody odpowiada określone położenie części ruchomej (płytki z prętem) w stosunku do korpusu przyrządu. Cylinder wewnętrzny o średnicy mniejszej stanowi część ruchomą kondensatora „C₁” (rys. 334). Cylinder o większej średnicy złączony jest z korpusem przyrządu (lecz izolowany od niego) i stanowi część nieruchomą kondensatora „C₁”. Każdej więc prędkości wody odpowiadać będzie pewna pojemność kondensatora „C₁”. Jest on złączony równoległe z kondensatorem „C₂” obwodu nadawczego lampy

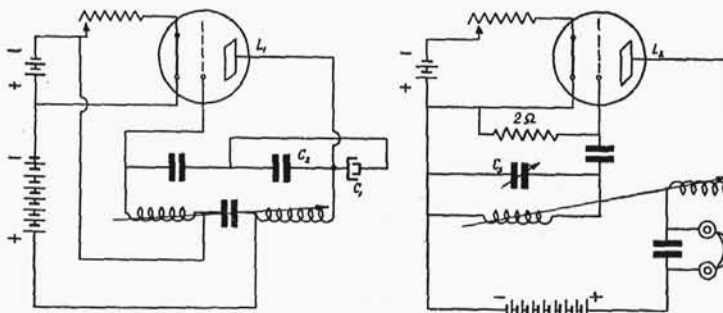
¹³¹⁾ P. Dupin, Nouvelle méthode de mesure de la vitesse des fluides, basée sur l'emploi d'oscillateurs à lampe, Génie Civil, 2, III, 1929.



Rys. 333.
Przyrząd Dupin.

katodowej „ L_1 ”. Od pojemności kondensatora „ C_1 ” zależy długość wysyłanej fali obwodu drgającego. Drugi układ, odbiorczy (lampa detektorowej), zaopatrzony jest w telefon i pozwala łatwo ustalić długość fali wysyłanej przez nadajnik.

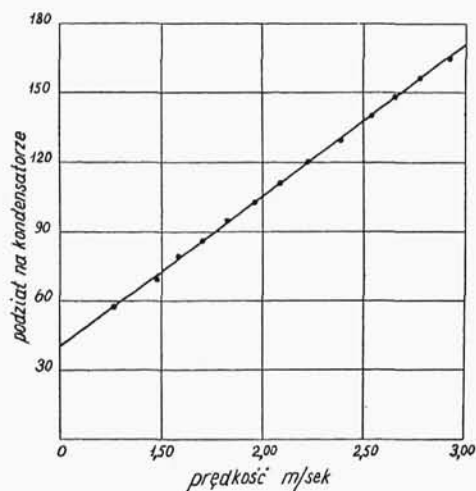
Przy emisji fal Hertza przez dwa obwody drgające o częstotliwości F_1 i F_2 następuje superpozycja obu fal, która daje — po de-



Rys. 334.
Aparat nadawczo-odbiorczy przyrządu Dupin.

tekcji — dźwięk w telefonie o częstotliwości $F = F_1 - F_2$. Przez odpowiednie ustawienie kondensatora zmiennego „C₃” tak dostrajamy obwód detekcyjny, aby dźwięk w telefonie ginał (tj. aby $F_1 = F_2$). Dostrojenie jest rzeczą niezmiernie łatwą, bo przy wszelkich innych położeniach kondensatora słychać w telefonie gwizd.

Oczywiście instrument przed użyciem musi być wycechowany. Cechowanie odbywa się bardzo szybko, gdyż wystarczą trzy pomiary do określenia współczynników prostej cechowania (rys. 335).



Rys. 335.

Prosta wzorcowania przyrządu Dupin.

Praca tym instrumentem jest bardzo prosta, pozwala wykonać pomiar dość szybko, prędzej niż młynkiem. W razie potrzeby można łatwo zmienić czułość aparatu przez zmianę sprężyny „R”. Upřednie cechowanie pozwala umieścić odpowiednią podziałkę przy kondensatorze „C₃”, z której bezpośrednio odczytuje się prędkości przepływu wody.

2. Sonda termiczno-elektryczna.

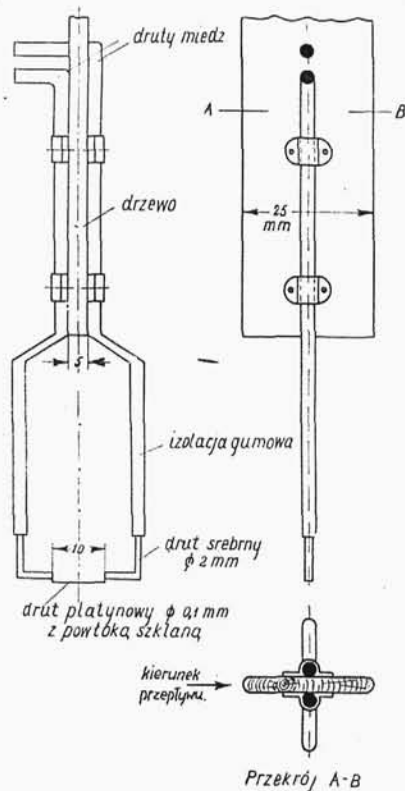
Również jednym z ostatnio stosowanych sposobów jest pomiar prędkości przepływu przy pomocy drutu nagrzewanego elektrycznie (Hitzdrahtsonde)¹³²⁾, podlegającego chłodzeniu przez płynącą wodę.

¹³²⁾ G. Gangadharan, Ein neues Instrument für Geschwindigkeitsmessungen in turbulentem Wasser. Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule München. 1931. Zeszyt 4.

T. C. Sen, Versuche mit einem Hitzdraht-Instrument zur Bestimmung der Wassergeschwindigkeit nach Richtung und Grösse. Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule München. 1933. Zeszyt 7.

Przyrząd taki stosuje się od szeregu lat do pomiaru kierunku prędkości powietrza.

Zasada pomiaru polega na mierzeniu zmiany przewodnictwa elektrycznego sondy. Prąd elektryczny płynący przez przewodnik rozgrzewa go; jeżeli natężenie prądu pozostaje stałe, zaś przewodnik wstawiony będzie w strugę płynącej wody lub powietrza, temperatura przewodnika będzie uzależniona od chłodzącego działania strumienia:



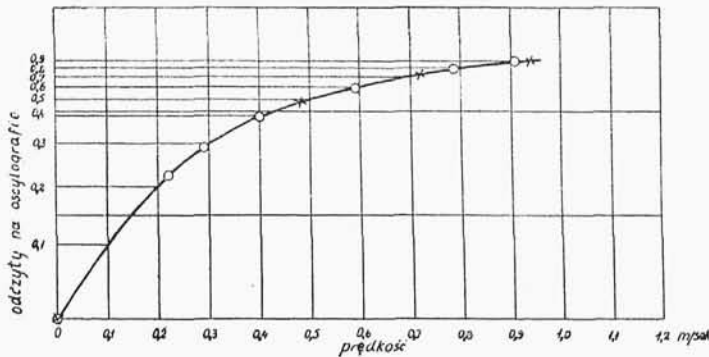
Rys. 336.

Schemat konstrukcji sondy termiczno-elektrycznej.

przy większej prędkości strumienia przewodnik będzie silniej chłodzony niż przy mniejszej. Ponieważ przewodnictwo elektryczne zależy od temperatury przewodnika, zmiana prędkości wody chłodzącej sondę wywołuje zmianę jej przewodnictwa elektrycznego. Zmiany te są bardzo małe, można je jednak zmierzyć przy pomocy mostka Wheatsstone'a.

Schemat instrumentu przedstawiony jest na rys. 336. Sonda wykonana jest z cienkiego drutu platynowego 0,1 mm średnicy, 10 mm długości.

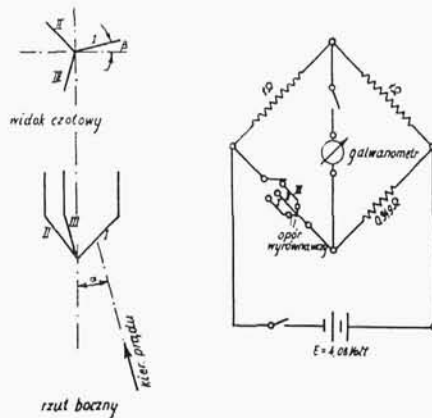
Przy stałej prędkości wody działanie chłodzące zależy od kąta, jaki tworzy drut platynowy z kierunkiem strumienia. Chłodzenie jest największe, gdy drut ustawiony jest prostopadle do strumienia, najmniejsze — w pozycji równoległej. Każdemu pośredniemu



Rys. 337.

Krzywa cechowania sondy termiczno-elektrycznej.

położeniu drutu odpowiada odpowiednio inne przewodnictwo. Przyrząd musi być uprzednio wycechowany, podobnie jak młynek hydro-metryczny, przy czym odczytuje się wskazania umieszczonego na mostku milivoltomierza przy znanej prędkości przepływu i przy stałym oporze trzech ramion mostka Wheatstone'a. Otrzymuje się w ten sposób krzywą cechowania (rys. 337). Można zamiast milivoltomierza włączyć oscylograf. Wycechowanie aparatu z oscylografem pozwala na pomiar burzliwości przepływu, czego nie wykaże inny przyrząd. Należy zaznaczyć, że przy prędkości powyżej 1 m/sec i przy średnicy drutu 0,1 mm działanie chłodzące jest zbyt silne i odczyty niedostatecznie dokładne.



Rys. 338.

Sonda termiczno-elektryczna trzydrutowa.

Dla określenia nie tylko prędkości i jej zmian w czasie, ale również jej kierunku, skonstruowano aparat składający się z trzech drutów, złączonych w formie piramidy (rys. 338).

7. Porównanie metod

Z przytoczonych i omówionych szczegółowo sposobów pomiaru przepływu wody najdokładniejszy jest pomiar bezpośredni przy użyciu cechowanego zbiornika, następnie sposób chemiczny, dalej pomiar przy pomocy przepony, przelewu i młynków. Sposobami najdogodniejszymi do celów praktycznych będą:

1. Przy pomiarach wydatku źródeł i wierconych studni: pomiar bezpośredni lub przy pomocy przelewu.
2. " " przepływu w potokach zastosować można przelew lub metody chemiczne, zmianę koncentracji roztworu soli, albo wreszcie metodę kolorometryczną. Ta ostatnia nadaje się specjalnie tam, gdzie ruch wody jest bardzo burzliwy i istnieje gwarancja dobrego wymieszania.
3. " " przepływu rzek stosujemy pomiary pośrednie: zmierzenie pola przekroju i prędkości, przy czym prędkości określamy przy pomocy młynków, gdy chcemy otrzymać wyniki dokładne, a przy pomocy pływaków dla obliczeń przybliżonych.
4. " " w kanałach mniejszych regularnych najlepiej zastosować przeponę Andersona, metodę chemiczno-elektryczną Allena, lub koryto Venturiego w kanałach większych — młynki hydrometryczne.
5. " " w laboratoriach: pomiar bezpośredni, przy pomocy przepony, przelewu prostokątnego lub trójkątnego, pomiar prędkości przyrządem Pitota albo chronograficzny, gdy grubości warstw płynącej wody w korytach szklanych są niewielkie.
6. " " ruchów bardzo burzliwych w laboratoriach: stosuje się termiczno-elektryczną sondę.
7. " " w mniejszych zamkniętych przewodach pod ciśnieniem: używa się zwężki Venturiego, dyszy, przepony, wodomierzy, albo mierzy spadek ciśnienia.
8. " " w większych zamkniętych przewodach pod ciśnieniem: zastosować można zwężki Venturiego, metodę Gibsona, młynki, sposób chemiczno-elektryczny Allena, pomiar spadku ciśnienia.