

Dodać tu jeszcze trzeba: jeśli woda płynąca zawiera lekkie zamącenie i jeśli chcemy usunąć osiadanie na dnie tych mętów, wówczas prędkość przy dnie powinna być $v_d \geq 0,25 \frac{m}{sek}$; jeśli zachodzi obawa osiadania drobnego piasku, unoszonego przez wodę, należy dawać $v_d \geq 0,50 m/sek$.

274. PRZYRZĄDY DO MIERZENIA PRĘDKOŚCI WODY

W RZEKACH I KANAŁACH.

Przyrządy do tego celu stosowane oparte są na dwóch zasadach: 1/ przyrządy unoszone przez prąd wodny będą to t.zw. p ł y w a k i różnych systemów- oraz 2/ przyrządy ustawione w miejscu, w którym badamy prędkość; pewne organy takich przyrządów są wprowadzone w ruch przez płynącą wodę. Im woda płynie prędzej, tym znaczniejsze działanie prąd wywiera na ustawiony przyrząd. Niżej przytoczone są opisy kilku tylko przyrządów.

275. PŁYWAKI. Tych mamy kilka odmian; ważniejsze są: a/ cienka rurka blaszana $\phi 2,5cm$ w postaci laski, /laska hydrometryczna/, obciążona w dolnej części kawałkami metalu. Rurka taka, utrzymując się w wodzie prawie pionowo, powinna nie dochodzić kilka cm do dna. Prędkość opisanej rurki w przybliżeniu jest równa średniej prędkości na odpowiedniej pionowej. Pomiary, wy-

konane przy pomocy laski hydrometrycznej dają dość dokładne wyniki, różniące się od ściślejszych o 1% do 2%. b/ dwie puste kule o jednakowej średnicy połączone ze sobą drutem cienkim. Drut ten może otrzymywać różną długość. Jeżeli jedną z kul obciążymy, napełniając ją częściowo wodą i stosując odpowiedniej długości drut, otrzymamy, że jedna z kul płynąć będzie tuż przy powierzchni wody, druga zaś na głębokości, gdzie chcemy zbadać prędkość wody. Skutkiem dwóch różnych prędkości, cały przyrząd otrzymuje pewną średnią prędkość. Niech prędkość wody na powierzchni będzie v_g ; prędkość na głębokości badanej niech będzie v_z ; wówczas prędkość przyrządu $v_p = \frac{v_g + v_z}{2}$; a stąd $v_z = 2v_p - v_g$. Prędkość v_g znajdziemy, puszczaając na wodę samą tylko kulę górną.

Pomiary prędkości przy pomocy pływaków wymagają pewnych ostrożności i wielokrotnych powtarzań.

276. PRYZRZĄDY OPARTE NA DZIAŁANIU WODY.

a/Rurka P i t o t 'a. Jest to rurka szklana, za-
gięta pod kątem prostym/rys. 179/; rurkę taką wstawia-
my w prąd wody tak, aby otwarte kolano było zanurzone
przeciw prądowi na tej głębokości, na której chcemy
zmierzyć prędkość. Wówczas w rurce woda podnosi się po-
nad zwierciadło otaczającej wody. Wysokość h wzniesie-

nia się wody w pionowym
kolanie rurki jest propor-
cjonalna do kwadratu pręd-
kości wody:

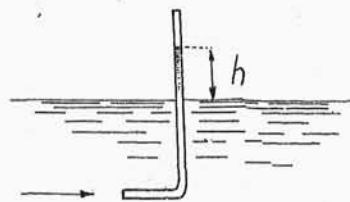
$$h = \alpha v^2$$

Spółczynnik α otrzymamy z doświadczenia, określając
z powyższego wzoru h przy znanej prędkości v . Tru-
dność zmierzenia wysokości h

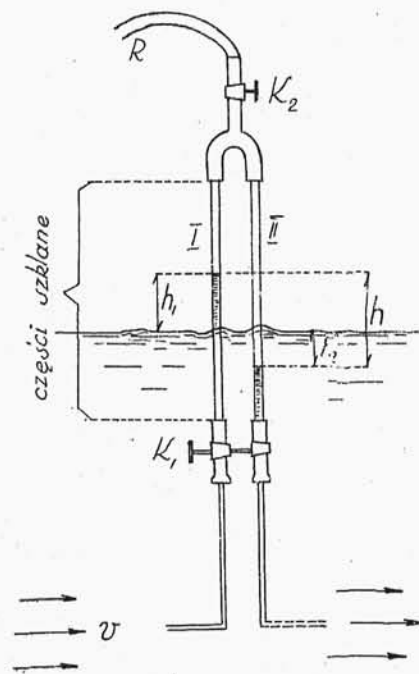
spowodowała nieprecyzję powyż-
szego przyrządu pokazane sche-
matycznie na rys.180. Skombi-
nowane są tu dwie rurki, z któ-
rych jedna ma zagięty koniec, u-
stawiony przeciw prądowi, druga-
za prądem. Środkowe części ru-
rek I i II są szklane, dolne
zaś i górne części metalowe.
W rurce I woda się podniesie
na wysokość $h_1 = \alpha_1 v^2$; w drugiej

woda opadnie na wysokość $h_2 = \alpha_2 v^2$.

Jedna i druga wysokość h_1 i h_2 są liczone od idealnego
zwierciadła wody w rzece.



rys.179.



rys.180.

Z równań powyższych otrzymujemy: $h_1 = \alpha_1 v^2$ $h_2 = \alpha_2 v^2$;

stąd $v^2 = \frac{h_1}{\alpha_1} = \frac{h_2}{\alpha_2}$, albo $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$;

z tej proporcji otrzymamy proporcję pochodną:

$$\frac{h_1 + h_2}{h_1} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\alpha_1};$$

albo:

$$\frac{h_1 + h_2}{\alpha_1 + \alpha_2} = \frac{h_1}{\alpha_1} = v^2.$$

Niech $h_1 + h_2 = h$ oraz $\alpha_1 + \alpha_2 = \alpha$
wówczas $\frac{h_1}{\alpha_1} = \frac{h}{\alpha} = v^2$,

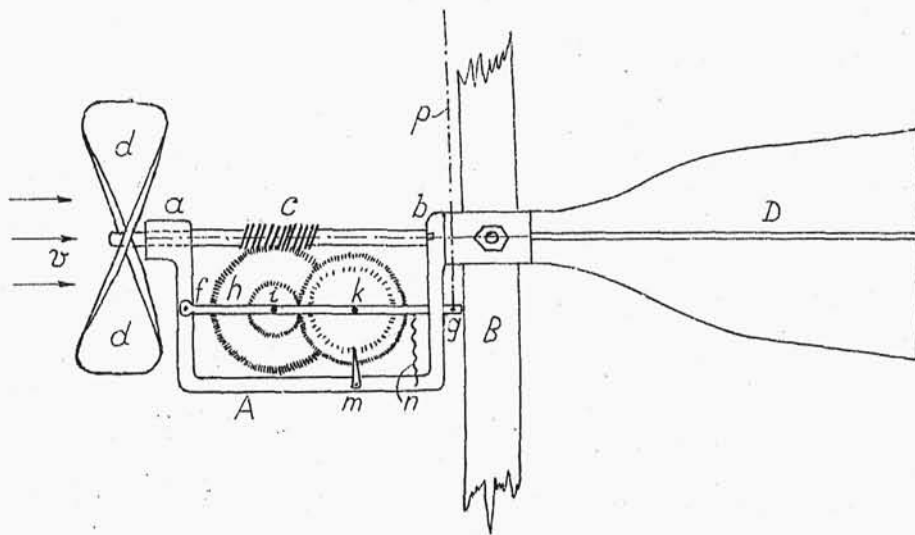
$$v = \sqrt{\frac{h}{\alpha}} = \varphi \sqrt{h} \quad \dots/154/$$

Widzimy więc, że zaobserwowawszy wysokość h , możemy znaleźć v ; należy tylko określić z doświadczenia współczynnik φ . Przyrząd powyższy nosi nazwę r u r e k D a r c y - P i t o t ' a.

Sposób użycia tego przyrządu jest następujący: po wstawieniu rurek w wodę zagiętymi końcami na pewną głębokość, kiedy zwierciadła w rurkach już się ustaliły, zamykamy jednym ruchem kraniki K_1 , mające wspólną oś; następnie, wyjąwszy przyrząd z wody, mierzymy wysokość h , a z niej obliczamy prędkość v w badanym miejscu ze wzoru: $v = \varphi \sqrt{h}$. Górny kranik K_2 wraz z rurką gumową R służą do tego, aby przez rozrzedzenie lub sprężenie powietrza w górnej części przyrządu doprowadzić poziomy wody do szklanych części rurki I i II.

Opisany przyrząd Darcy - Pitot' a nadaje się do mierzenia prędkości w potokach i kanałach, w których prędkości są znaczne. W kanałach z wodą o małej prędkości pomiary są mało dokładne.

b/ MŁYNEK HYDROMETRYCZNY. Schemat tego przyrządu stanowi: /rys.181/ ramka A , posiadająca dwa łożyska a, b , w których obraca się oś pozioma ab , zaopatrzona w ślimak C . Na końcu osi poziomej jest nasadzone śmigło d . Powierzchnie śmigła są pochylone względem płaszczyzny prostopadłej do osi ab . Do ramki A jest



rys.181.

założony drążek fg , który obraca się około osi f . Na drążku fg jest założone zębate kółko h , które może być

szczipione ze ślimakiem C . Na osi wspólnej z kółkiem h nasadzone jest mniejsze kółko i , szczepiające się z kółkiem k , które jest założone również na drążku fg . Na powierzchni kółka k znajduje się podziałka, według której możemy obliczyć liczbę obrotów nie tylko kółka k lecz i kółka h i ślimaka C . Strzałka m ułatwia odczytywanie liczby obrotów kółka k .

Drążek fg wraz z kółkami h, i, k przy pomocy sprężyny n jest odciągany ku dołowi, tak iż kółko h wówczas nie dotyka ślimaka C . Dopiero przez przyciągnięcie sznurka p można drążek fg z kółkami h, i, k podnieść do góry, tak iż kółko h szczepi się ze ślimakiem C .

Ramkę A zamocowujemy na żerdzi B tak, aby po ustawieniu żerdzi na dno oś ab znalazła się na tej głębokości, na której chcemy zmierzyć prędkość wody. Położenie osi przyrządu ab równoległe do kierunku ruchu wody jest utrzymywane przy pomocy steru D .

Tak uzbrojoną żerdź B wraz z przyrządem ustawiamy na dno rzeki w badanym przekroju. Sznurek p jest wolny, zatem kółko h nie dotyka ślimaka. Przyrząd tak ustawiamy, żeby oś ab była równoległą do prędkości wody i żeby woda płynęła wprost na śmigło d ,

Śmigło d zaczyna się obracać, zwiększając liczbę

obrotów. Po pewnym czasie, kiedy już jesteśmy pewni, że ruch śmigła d jest ustalony, podciągamy sznurek p , notując jednocześnie czas, kiedy to zrobiliśmy. Po określonym czasie - 3-5 minutach, zwalniamy sznurek p , po czym drążek fg wraz z kółkiem h odsunie się od ślimaka C i dalszy obrót kółek h, i, k ustaje. Po wyjęciu przyrządu z wody odczytujemy na kółku k , ile obrotów wykonało śmigło d w ciągu znanego czasu. Stąd otrzymujemy liczbę obrotów w jednostkę czasu, a z tego wnioskujemy o prędkości wody, która pędziła śmigło d .

Z obserwacji wynika, że liczba obrotów śmigła d , wykonanych w jedną minutę jest zależna od prędkości wody w rzece.

Zależność ta jest w przybliżeniu następująca:

$$v = \alpha + \beta n, \quad \dots/155/$$

gdzie α i β są pewne współczynniki liczbowe, zaś n - liczba obrotów, wykonana w 1 minutę. Jeżeli współczynniki α i β są znane, z powyższego wzoru łatwo obliczymy prędkość v , mając n .

Aby znaleźć wartości współczynników α i β dla danego przyrządu, postępujemy w taki sposób:

Badany młynek, który jest uwiązany do wózka z okreś-

loną prędkością v , poruszamy w wodzie stojącej; wtedy przyrząd wykazuje liczbę obrotów n_1 ; zatem możemy napisać $v = \alpha + \beta n_1$. Robimy drugie doświadczenie podobne z prędkością v_2 ; otrzymujemy liczbę obrotów, np. $= n_2$. Zatem $v_2 = \alpha + \beta n_2$. Z tych dwóch równań znajdziemy:

$$\alpha = \frac{n_1 v_2 - n_2 v_1}{n_1 - n_2} \quad \text{oraz} \quad \beta = \frac{v_1 - v_2}{n_1 - n_2}.$$

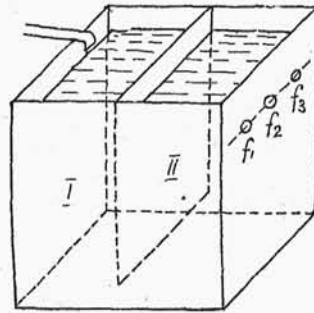
Młynek w postaci opisanej jest to przyrząd tylko schematycznie przedstawiony. Obecnie stosowane są młynki bardziej, niż opisany, złożone z różnymi ulepszeniami, ułatwiającymi szybki i dostatecznie dokładny pomiar prędkości wody.

277. POMIAR WYDATKÓW WODY W KANAŁACH I RZEKACH.

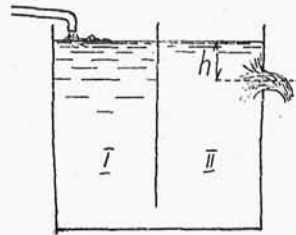
1/ Przy niewielkich wydatkach wody, naprz. ze źródła lub wody wypływającej ze studni, można mierzyć wydatek przy pomocy naczyń dokładnie coddopojemności znanych. Przy doprowadzaniu wody do tych naczyń należy się starać, aby uniknąć strat wody przez nieszczelności koryta. Niech pojemność naczynia $= V [m^3]$. Jeśli napełnianie naczynia trwa t sekund, wówczas wydatek źródła $= Q = \frac{V}{t} [\frac{m^3}{sek}]$.

2/ Również przy niewielkich wydatkach można korzystać z pomiarów, przepuszczając wodę przez naczynia, zaopatrzone w otwory wymierzone. Wodę wprowadzamy do jednego oddziału naczynia w postaci skrzyni, przedzielonej ścianką na dwie części /rys.182/.

Ścianka ta, nie dochodząca do dna, ma na celu uspokojenie wody. Woda w II oddziale uspokaja się i zaczyna wypływać przez jeden lub kilka otworów okrągłych, wykonanych w cienkiej ściance. Otwory mogą być zamykane i otwierane



każdy z osobna. Przez stopniowe otwieranie wylotów dążymy do tego, aby w oddziale II po-



ziom wody ustalił się na pewnej rys.182.

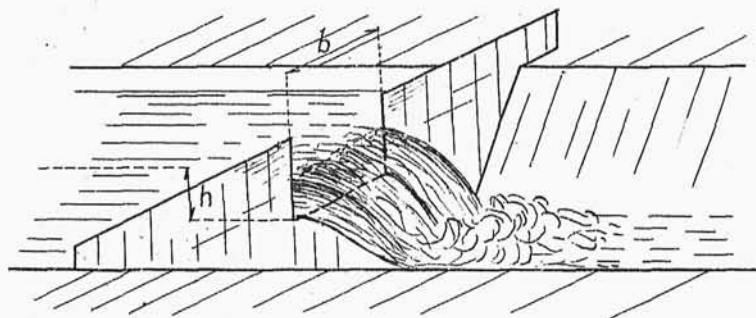
wysokości naprz. h ponad osią otworów, które wszystkie mają swe środki ciężkości na jednym poziomie. Kiedy się uda osiągnąć ten stan, powiemy, że ogólny wydatek

$$Q = \mu_1 f_1 \sqrt{2gh} + \mu_2 f_2 \sqrt{2gh} + \dots = (\mu_1 f_1 + \mu_2 f_2 + \dots) \sqrt{2gh}.$$

Spółczynnik μ określamy doświadczalnie przy stałej wysokości h dla poszczególnych otworów.

3/ W razie większej ilości wody, dla strumieni i małych rzeczek, kiedy poprzednie sposoby nie dają się zastosować, mierzymy wypadki wody przy pomocy przelewów.

W poprzek potoku stawiamy zaporę w postaci ściany. W ścianie tej wycinamy otwór prostokątny o szerokości b . /rys.183/. Zapora spiętrza wodę; po czym woda przez



rys.183.

przelew wylewa się poza ścianę. Wydatek wody obliczymy, jeśli będziemy mieli głębokość h proggu pod zwierciadłem wody. Głębokość tę należy mierzyć od tego miejsca zwierciadła wody, gdzie jeszcze nie zaszło obniżenie jego.

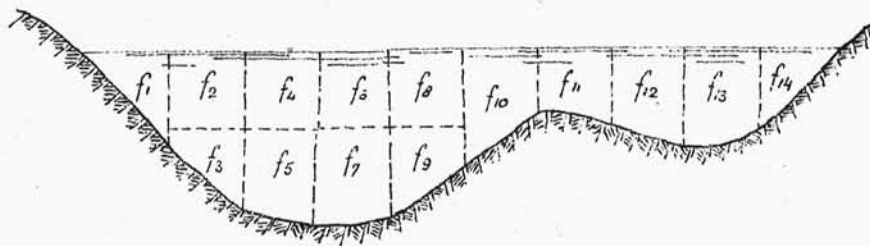
Wydatek obliczymy ze znanego wzoru:

$$Q = \frac{2}{3} \mu b h \sqrt{2gh}.$$

Jeśli dopływ strumienia jest o tyle znaczny, iż prędkość dopływu jest wyraźna, należy ścianę zaporową i otwór w niej podnieść tak, aby odpowiednio zwiększyć przekrój dopływu i zmniejszyć prędkość na dopływie.

Spółczynnik μ należy dobrać zależnie od tego, czy dławienie strumienia jest jedno - dwu- czy trzech-stronne.

4/ Przy bardzo znacznych wydatkach /przy pomiarze dużych rzek/ powyższe sposoby nie dadzą się zastosować. Można by wówczas, obrawszy pewien przekrój, podzielić go na pola $f_1, f_2, f_3 \dots$ /rys.184/ i zmierzyć w środku ciężkości każdego pola prędkość



rys.184.

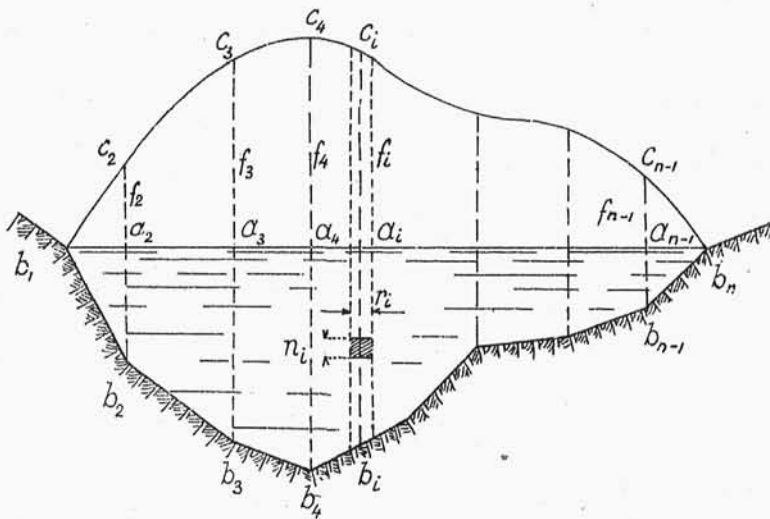
przepływu / $v_1, v_2, v_3 \dots$ /, wówczas wydatek

$$Q = f_1 v_1 + f_2 v_2 + f_3 v_3 + \dots = \sum f_i v_i$$

5/ Omówimy jeszcze sposób, który uważany jest za jeden z dokładniejszych; sposób ten podany został przez Culmann'a i Harlachera.

Rzecz polega na następującym:

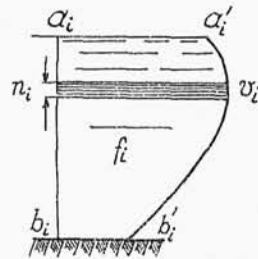
Przypuśćmy, że mamy wykreślony przekrój poprzeczny rzeki lub kanału. Profil dna i brzegów możemy sobie przedstawić, jako linię łamaną $b_1, b_2, b_3 \dots b_i \dots b_n$ /rys.185/.



rys.185.

Przypuśćmy, że są nam znane krzywe prędkości dla każdej prostej pionowej, przechodzącej przez charakterystyczne punkty dna: $b_2, b_3, \dots b_i, \dots b_{n-1}$.

Niech np. dla prostej $\alpha_i b_i$ będzie krzywa prędkości $\alpha'_i b'_i$ /rys.186/. Weźmy w przekroju poprzecznym rzeki przy prostej pionowej $\alpha_i b_i$ /rys.185/ dostatecznie wąski pasek o szerokości równej η_i . Przez krótki wycinek tego paska o wysokości η_i /rys.186/ przepłynie ilość wody =



= $\eta_i \cdot \bar{v}_i \cdot v_i$, gdzie \bar{v}_i jest rys.186.
średnią prędkością w wycinku o polu $\eta_i \eta_i$.

Zatem przez pasek wspomniany, którego szerokość przyjęliśmy równą η_i , a którego wysokość = $\alpha_i b_i$ = głębokości rzeki w tym miejscu, przepłynie ilość wody =
= $\eta_i \sum \eta_i v_i$ co się = $\eta_i f_i$, jeżeli przez f_i oznaczymy pole figury $\alpha_i \alpha'_i b'_i b_i$.

Następnie na przedłużeniu prostej pionowej $\alpha_i b_i$ /rys.185/ odłożymy odcinek $\overline{\alpha_i c_i} = f_i$; wówczas iloczyn $\eta_i f_i$ przedstawi się, jako pole paska przy prostej $\alpha_i c_i$ o wysokości f_i szerokości η_i ; czyli wydatek rzeki przez pasek przekroju o szerokości η_i wyrazi się polem paska o wysokości $f_i \cdot \overline{\alpha_i c_i}$ i szerokości również η_i .

Ponieważ założyliśmy, że posiadamy krzywe prędkości dla innych prostych pionowych: $a_2 b_2 \dots a_{n-1} b_{n-1}$, możemy w podobny do poprzedniego sposobu wyznaczyć pola $f_2, f_3 \dots f_{n-1}$ analogiczne do rozpatrzonego wyżej pola f_i .

Odłożmy dalej na właściwych prostych pionowych odcinki $\overline{a_2 c_2} = f_2$, $\overline{a_3 c_3} = f_3 \dots$ itd. wreszcie $\overline{a_{n-1} c_{n-1}} = f_{n-1}$. Jeżeli końce tych odcinków, a więc punkty $c_2, c_3, c_i \dots c_{n-1}$, połączymy linią ciągłą, przedłużając ją do punktów b_i i b_n otrzymamy linię krzywą $b, c_2 c_3 \dots c_i \dots c_{n-1} b_n$, którą możemy nazwać krzywą przepływu w danym przekroju.

Z powyższego charakteru krzywej przepływu łatwo wywnioskujemy, że pole, zawarte między krzywą $b, c_2 c_3 \dots c_i \dots b_n$ a prostą b, b_n , da nam wartość wydatku Q w danym przekroju rzeki. Pole to nazwiemy polem przepływu w danym przekroju.

Zatem, jak widzimy, sposób Culmann'a i Harlache-ra polega a/ na wyznaczeniu dla różnych prostych pionowych w danym przekroju krzywych prędkości, b/ na obliczeniu pól utworzonych przez krzywe prędkości, c/ na wykreśleniu krzywej przepływu i d/ na obliczeniu wartości wydatku Q z pola przepływu.

Otrzymanie dokładnej wartości Q zależy od umiejętnego wyboru prostych pionowych jak $\alpha_2 b_2, \alpha_3 b_3$ itd. Proste te powinny być obrane przede wszystkim w punktach charakterystycznych, jakimi są punkty załamania profilu dna; jedna z tych prostych powinna przebiegać przez nurt rzeki.

Poznawszy ten sposób obliczenia wydatku w rzece, należy omówić skale, w których powyższe wykresy należy wykonywać i jak z nich odczytać wyniki.

Obierzmy do sporządzenia potrzebnych wykresów następujące skale:

dla szerokości przekroju rzeki niech lcm oznacza k mtr.

" głębokości " " " " " " l "

" prędkości na prostej pionowej niech odcinek 1 cm oznacza n m/sek.

Wówczas pole f_i /rys.186/, zawarte między krzywą prędkości a prostą pionową, obliczone w cm^2 wyznaczać będzie w każdym cm^2 wartość $l \cdot n$ m^2/sek .

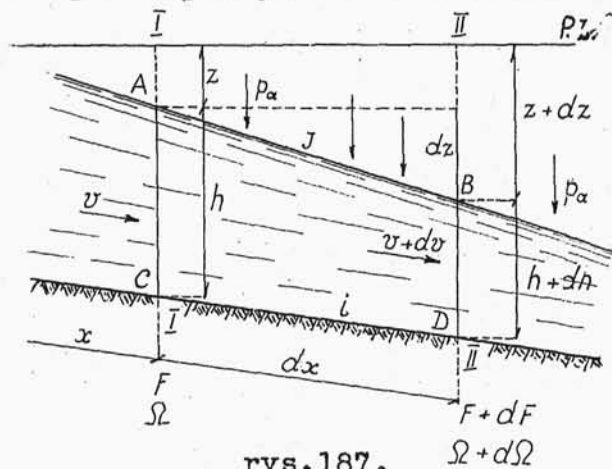
Następnie wykreślamy linię przepływu /rys.185/ tak, żeby odcinek $\alpha_i c_i$ otrzymał tyle cm, ile cm^2 jest w polu f_i . Obliczamy dalej pole przepływu $b, c_2, c_3, \dots, c_{n-1}, b_n, b$ w cm^2 . Ostateczny wynik będzie: wydatek Q

wyniesie tyle m^3/sek , ile będzie cm^2 w polu przepływu, powiększone $k.l.n$ razy. Zatem oznaczając pole przepływu przez F w cm^2 , otrzymamy:

$$Q\left(\frac{m^3}{\text{sek}}\right) = F(\text{cm}^2).k.l.n \quad /156/$$

278. ZASADNICZE RÓWNANIE RUCHU TRWAŁEGO WODY W RZECIE I KANAŁE.

Przetnijmy rzekę lub kanał płaszczyzną pionową, wzdłuż osi koryta. Otrzymamy w takim przekroju podłużnym linię dna i linię zwierciadła wody. Na niewielkich odcinkach rzeki zarówno jedną jak i drugą linię możemy uważać jako linie proste /rys.187/. Wytnijmy następnie ze strumienia płynącego w korycie, część, zawartą między dwiema płaszczyznami I-I i II-II prostopadłymi do osi rzeki. Jedna z



rys.187.