

nego  $F'$  przez takie czy inne urządzenie, zaś prędkość  $U'$  jest prędkością w zmniejszonym przekroju  $F'$ .

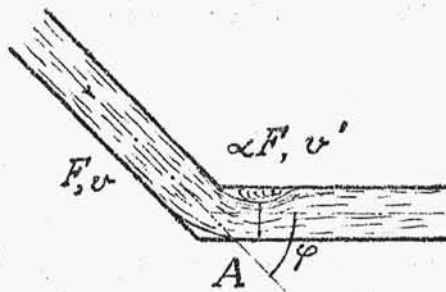
Jesteśmy w posiadaniu wielu doświadczeń w tym względzie; podajemy niżej, jako przykład, kilka liczb:

	$F:F'$				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	wartości współczynnika $\zeta_z$				
Zasuwa, przesuwana prostopadle do osi przewodu	1,0	0,6	0,17	-0,05	0
Zawór stożkowy z górnym kierowaniem; dolna powierzchnia płaska	0,0	0,14	0,2	0,65	1,16
Przepustnica okrągła, która zamyka całkowicie przy obrocie o $90^\circ$ i t.d.	0,88	0,45	0,06	-0,03	0

#### 187. STRATY, SPOWODOWANE RAPTOWĄ ZMIANĄ KIERUNKU.

Niech będzie przewód o przekroju  $F'$ . Przewód ten zmienia kierunek swój raptownie, tworząc kąt

$\varphi$  z poprzednim kierunkiem osi. Przejście to nazwiemy k o l a n e m .



rys.132.

Prędkość przepływu niech będzie  $v$ . Z powodu raptownej zmiany kierunku ciecz nie będzie w stanie dostosować się do zmiany kierunku odrazu, lecz osiągnie go stopniowo. W ten sposób w bliskości A nastąpi zdławienie przekroju do  $\alpha F$ ; prędkość przepływu w tym miejscu niech będzie  $v'$ . Ze względu na ciągłość ruchu mamy:

$$v F = v' \alpha F \quad \text{stad} \quad v' = \frac{v}{\alpha}.$$

Ponieważ  $v' > v$ , zachodzi zatem uderzenie, powodujące stratę prędkości  $v' - v$ , albo odpowiednią stratę wysokości:

$$h_k = \frac{(v' - v)^2}{2g}, \quad h_k = \frac{v^2}{2g} \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right)^2.$$

Ten ostatni wynik możemy napisać prościej:

$$h_k = \zeta_k \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \dots \dots \dots /128/$$

Spółczynnik  $\zeta_k$  zależy od kąta, pod którym za-

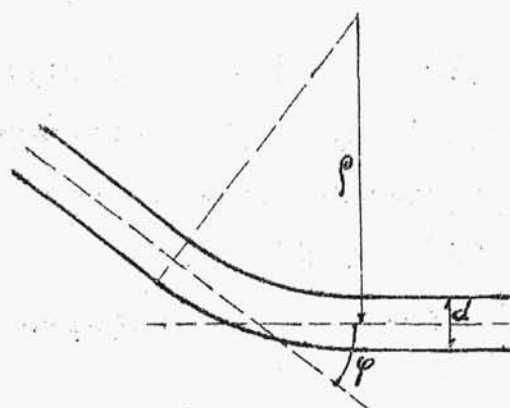
chodzi zmiana kierunku. Według Weisbacha:

$$\zeta_k = \sin^2 \frac{1}{2} \varphi + 2 \sin^4 \frac{1}{2} \varphi \quad \dots \dots /129/$$

Wartość  $\zeta_k$  możemy odczytać z tabliczki, obliczonej na zasadzie powyższego wzoru:

$\varphi = 20^\circ$	$40^\circ$	$60^\circ$	$80^\circ$	$90^\circ$	$100^\circ$	$120^\circ$	$140^\circ$	$180^\circ$
$\zeta_k = 0,04$	0,14	0,37	0,75	1,0	1,27	1,87	2,43	3,00

188. Zmiana kierunku może być dokonana nie raptownie, lecz stopniowo. Przejście takie nazwiemy łukiem; wysokość straconą oznaczmy  $h'_k$ ;



rys.133.

wartość jej będziemy mogli określić z podobnego równania, jak wyżej:  $h'_k = \zeta'_k \frac{v^2}{2g}$ .

Spółczynnik  $\zeta'_k$  zależy tu od promienia krzywizny  $\rho$ ; nie zależy on

od długości samego łuku, o ile promień krzywizny pozostaje stałym.

Z doświadczeń otrzymano wzór:

$$\zeta'_k = 0,13 + 0,16 \left( \frac{d}{\rho} \right)^{3,5} \quad \dots \dots /130/$$

Poniżej przytaczamy wartości  $\zeta'_k$  dla

$d:\varphi=$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$\zeta_k=$	0,13	0,14	0,16	0,20	0,30	0,44	0,66	1,0	1,4	2,0

189. Badania, robione w Detroit /Stany Zjednoczone Ameryki Północnej/ w 1902 roku wykazały, że strata ciśnienia zachodzi nie tylko w samym łuku. Działanie łuku odczuwa się w zwiększeniu ruchów nieregularnych jeszcze na znacznej długości poza łukiem, dopóki ruch wody się nie uspokoi.

Badania wspomniane wykazały, że łuk, odchylający kierunek przewodu o kąt prosty i długości równej:

2    4    8    12    20    28    37 średnic  $d$  przewodu zwiększa opór dalszej części przewodu, wziętego na długości 80 średnic  $d$  przewodu, mniej więcej

o 18% 15% 25% 40% 60% 75% 90% .

Ten wynik poniekąd przeczyłby poprzednim wzorom, takim, jak /130/.

190. Wróćmy do wzoru, pozwalającego na oznaczenie wysokości, straconej na tarcie:

$$j = \frac{\lambda \cdot Q^2}{D^5}$$

Przyjmując zgruba, że  $\lambda$  jest stałe, widzimy, że

wysokość, stracona na tarcie, wzrasta  
w p r o s t      p r o p o r c j o n a l n i e  
do kwadratu wydatku i      p o d w r o t n i e  
p r o p o r c j o n a l n i e      do piątej potęgi  
średnicy.

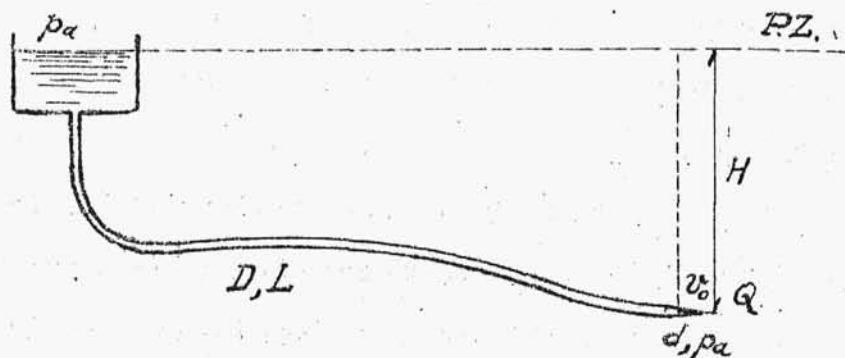
Z tego wynika, że zwiększenie podwójnie /po-  
trójnie/ wydatku powiększa straty na tarcie  
w danym przewodzie cztero- /dziewięcio/ -krotnie.

Powiększenie średnicy dwa /trzy/ razy dla te-  
go samego wydatku zmniejsza straty na tarcie  
 $/2^5 = / 32\text{-u krotnie} / 3^5 = 243 \text{ razy}/$ .

Stąd widzimy, jaki ważny wpływ na otrzymanie  
mniejszych lub większych strat na zwiększenie  
lub zmniejszenie nieznaczące nawet średnio.

191. Kiedy poznaliśmy wysokości, stracone  
na tarcie w przewodach o przekroju stałym, znajdziemy, jaki otrzymamy      w y d a t e k      z      d a -  
n e g o      p r z e w o d u .

Niech będzie dany przewód o przekroju kołowym  
o średnicy  $D$  i długości  $L$  . Na końcu przewo-  
du niech będzie krótka zwężka, kończąca się prze-  
krojem o średnicy  $d$  .



rys. 134.

Oś wylotu niech będzie na wysokości  $H$  pod zwierciadłem wody w zbiorniku. Niech wreszcie ciśnienie zewnętrzne przy wylocie będzie  $p_a$  to samo, co i na swobodnej powierzchni wody w zbiorniku.

Oznaczmy prędkość wypływu z wylotu końcowego przez  $v_0$ . Wydatek  $Q$  otrzymamy:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v_0.$$

Należy znaleźć prędkość  $v_0$ . Otrzymamy ją, korzystając z twierdzenia D. Bernoulli'ego, dla cząstki, wziętej na swobodnej powierzchni w zbiorniku i następnie w samym końcu wylotu.

$$0 + \frac{p_a}{\gamma} + 0 = -H + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} + \frac{\lambda Q^2 L}{D^5} \dots (a)$$

ponieważ

$$v_0 = \frac{4Q}{\pi d^2},$$

więc

$$\frac{v_0^2}{2g} = \frac{16 Q^2}{\pi^2 d^5 2g} ;$$

wówczas równanie (a) otrzyma postać:

$$H = \frac{16 Q^2}{\pi^2 2g \cdot d^5} + \frac{\lambda \cdot Q^2 L}{D^5} \dots\dots (b)$$

a stąd

$$Q^2 \left[ \frac{8}{\pi^2 g \cdot d^5} + \frac{\lambda L}{D^5} \right] = H ,$$

wreszcie

$$Q = \sqrt{\frac{H}{\frac{8}{\pi^2 g d^5} + \frac{\lambda L}{D^5}}}$$

W tym wzorze jest wielkość  $\lambda$  , która, jak wiemy, zależy od średnicy przewodu  $D$  . Ze znanych i wcześniej już podanych wzorów możemy obliczyć  $\lambda$  , a następnie  $Q$  .

192. Gdyby była ważniejsza dla nas wiadomość, jaka będzie prędkość wypływu, niż wydatek, wtedy należałoby, korzystając z twierdzenia D. Bernoulli'ego, wysokość straconą na opory wyrazić w funkcji prędkości w przewodzie.

Równanie otrzymalibyśmy takie:

$$0 + \frac{p_a}{\rho} + 0 = -H + \frac{p_a}{\rho} + \frac{v_0^2}{2g} + h_t \dots (a)$$

gdzie zamiast  $h_t$  = wysokości straconej na tar-  
cie należy wstawić wielkość zależną od prędkości  
 $v$  przepływu. Z równania /112/ mamy, że

$$J = \frac{4}{k^2} \cdot \frac{v^2}{D^5},$$

zatem

$$h_t = J \cdot L = \frac{4}{k^2} \cdot \frac{v^2}{D^5} \cdot L ;$$

Ponieważ

$$v = v_0 \cdot \frac{d^2}{D^2}, \quad \text{więc} \quad v^2 = v_0^2 \cdot \frac{d^4}{D^4}$$

i następnie

$$h_t = \frac{4}{k^2} \cdot \frac{v_0^2 \cdot d^4}{D^4 \cdot D^5} \cdot L = \frac{4}{k^2} \cdot \frac{v_0^2 \cdot d^4}{D^9} \cdot L$$

Wstawmy tę wartość na  $h_t$  w równanie (a) :

$$H = \frac{v_0^2}{2g} + \frac{4}{k^2} \cdot \frac{v_0^2 \cdot d^4}{D^9} \cdot L ,$$

albo

$$v_0^2 \left[ \frac{1}{2g} + \frac{4}{k^2} \cdot \frac{d^4}{D^9} \cdot L \right] = H ,$$

a stąd

$$v_0 = \sqrt{\frac{2gH}{1 + \frac{8gd^4}{k^2 D^9} \cdot L}}$$



193. Rozwiążmy zagadnienie odwrotne do pierwszego. Znaleźć, jakiej średnicy należy dać przewód o długości  $L$ , aby przy wylocie zwięzonym do średnicy  $d$  i wysokości  $H$  osi wylotu pod swobodną powierzchnią otrzymać dany wydatek  $Q$ .

W art. 191 otrzymaliśmy równanie (b):

$$H = \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^5} + \frac{\lambda Q^2 L}{D^5} \dots (b).$$

W tem równaniu  $H, Q, d, L$  są dane; nie znamy  $D$ . W równaniu znajduje się jeszcze współczynnik  $\lambda$ , który, jak wiemy z art. /178/, należy uważać jako zależny od  $D$ . Naprz., gdybyśmy przyjęli, według wzoru Kuttera i Ganguillet'a /117/

$$\lambda = \left( 2,55 \frac{2m + \sqrt{D}}{100 \sqrt{D}} \right)^2,$$

otrzymalibyśmy równanie:

$$H = \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^5} + \left( 2,55 \frac{2m + \sqrt{D}}{100 \sqrt{D}} \right)^2 \cdot \frac{Q^2 L}{D^5},$$

w którym tylko jedno  $D$  jest niewiadome.

Rozwiązanie tego równania nie należy wcale do prostych, gdyż po wydostaniu  $D$  z pod pierwiastków, otrzymamy równanie dwunastego stopnia.

Zarzucamy wobec tego myśl rozwiązania takiego równania bezpośrednio, i spróbujemy postąpić inną drogą t.zw. metodą kolejnych przybliżeń. Metoda, tu podana, może znaleźć nieraz zastosowanie przy rozwiązywaniu różnych zawiłych równań. A więc wróćmy do początkowego równania:

$$H = \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^5} + \frac{\lambda Q^2 L}{D^5} \quad \dots /6/$$

Przyjmijmy na początek, że współczynnik  $\lambda$  jest stały. Wówczas znajdziemy  $D$  :

$$D = \sqrt[5]{\frac{\lambda Q^2 L}{H - \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^5}}} = \sqrt[5]{\frac{Q^2 L}{H - \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^5}}} \cdot \sqrt[5]{\lambda}$$

pod pierwszym pierwiastkiem mamy wszystkie wielkości znane lub dane; możemy więc pierwiastek ten obliczyć; niech on  $= A$  . Wówczas:

$$D = A \sqrt[5]{\lambda} \dots (c)$$

Przyjmijmy na razie na  $\lambda$  wartość przybliżoną, o której mówiliśmy w art.178, mianowicie:

$$\lambda = \left(\frac{1}{20}\right)^2$$

Otrzymamy:

$$D' = A \sqrt[5]{\left(\frac{1}{20}\right)^2}$$

Tę wartość  $D'$  nie możemy jednak uważać za właściwą, gdyż była obliczona przy założeniu, że  $\lambda = (\frac{1}{20})^2$ , co może być dalekie od prawdy. Postępujemy więc dalej tak.

Jeżeliby przyjąć, że średnica przewodu jest  $D'$ , wówczas dla współczynnika  $\lambda$  znaleźlibyśmy wartość ze wzoru /117/ Kuttera i Ganguillet'a:

$$\lambda' = \left( 2,55 \frac{2m + \sqrt{D'}}{100\sqrt{D'}} \right)^2 \dots (d)$$

Znalazłszy wartość  $\lambda'$ , wstawiamy ją w równanie (c), stąd otrzymamy nową wartość na średnicę przewodu:

$$D'' = A \sqrt[5]{\lambda'}.$$

Mając nową wartość  $D''$  obliczamy dokładniejszą wartość współczynnika  $\lambda$ ; otrzymamy ze wzoru, jak (d)

$$\lambda'' = \left( 2,55 \frac{2m + \sqrt{D''}}{100\sqrt{D''}} \right)^2$$

Znalezione  $\lambda''$  wstawiamy w równanie (c); otrzymamy następną wartość  $D'''$  dla średnicy przewodu:

$$D''' = A \sqrt[5]{\lambda''}.$$

Postępując tak dalej, znajdziemy szereg war-

tości dla średnicy  $D: D', D'', D''', D''''$  i t.d.

Wartości te na  $D$  będą się coraz szybciej zbliżały do pewnej wartości, na której możemy obliczenie zakończyć. Bardzo dokładne obliczenie w danym przypadku jest niepotrzebne, gdyż przy wyborze średnicy rury powodujemy się temi wymiarami rur, które są do nabycia na rynku. Wielkości średnic rur, normalnie stosowanych, zmieniają się np. co 20, 25 mm. przy mniejszych rurach, co 50 mm. przy średnich i co 100 mm. przy większych rurach według poniższej tabelki:

80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100 i 1200.

194. Sposób znajdowania średnicy przewodu, jak widzieliśmy, chociaż zupełnie możliwy, jednak jest kłopotliwy i wymaga dużo czasu na otrzymanie wyniku.

W praktyce zagadnienie takie, jak poprzednie, i wiele innych podobnych rozwiązują się przy pomocy przygotowanych tablic bądź liczbowych, bądź też tablic z wykresami. Szczególniej tablice wykresowe bardzo ułatwiają i przyspieszają pracę

obliczenia przewodów, usuwając możliwość znaczniejszej omyłki.

Omawianie sposobów zarówno układania wspomnianych tablic, jak i korzystania z nich nie leży w programie niniejszego wykładu.

195. Zwróćmy jeszcze na chwilę uwagę na równanie (6), otrzymane w art.191; z tego równania w art.193 znaleźliśmy, że

$$D = \sqrt{\frac{\lambda \cdot Q^2 \cdot L}{H - \frac{8Q^2}{\pi^2 d^4 g}}}$$

Rzeczywista wartość  $D$  będzie wtedy, kiedy

$$H > \frac{8Q^2}{\pi^2 d^4 g} \quad . \text{ Co to oznacza?}$$

Widzimy, że

$$\frac{8Q^2}{\pi^2 d^4 g} = \frac{16Q^2}{\pi^2 d^4 \cdot 2g} = \left(\frac{4Q}{\pi d^2}\right)^2 \cdot \frac{1}{2g} = \frac{v_0^2}{2g}$$

Zatem należy tak dobrać średnicę  $d$  wylotu, aby  $H > \frac{v_0^2}{2g}$ , co jest samo przez się zrozumiałe.