

e/ Do obliczenia strat, spowodowanych z a -  
w o r e m t a l e r z o w y m z prowadzeniem gór-  
nym /rys.156/ stosujemy wzór

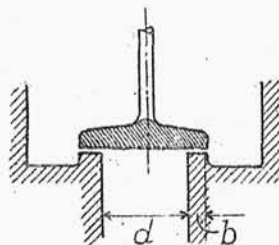
$$\left. \begin{aligned} h_{sg} &= \zeta_g \cdot \frac{v^2}{2g}, \\ \text{gdzie} \quad \zeta_g &= m + n\left(\frac{d}{Z}\right)^2 \end{aligned} \right\} \quad /142/$$

przy czym  $Z$  - oznacza wyso-  
kość skoku zaworu ( $Z=0,1d \dots 0,25d$ ),  
zaś

$$m = 0,55 + \frac{4(b-0,1d)}{d}$$

$$n = 0,15 \dots 0,16$$

$$b = 0,1d \dots 0,25d$$



rys.156.

Wzór /142/ stosuje się przy  $Z$  i  $b$  podanych w  
przytoczonych granicach.

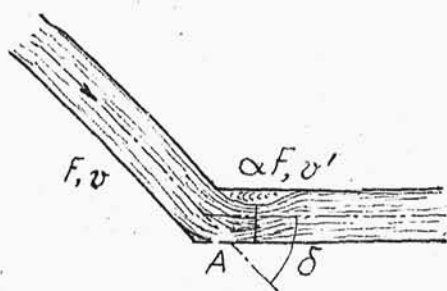
Na tych kilku przypadkach ograniczamy przyta-  
czanie wzorów i liczb, odsyłając potrzebujących wię-  
cej szczegółów do specjalnych podręczników informa-  
cyjnych.

### 230. STRATY SPOWODOWANE NAGŁĄ ZMIANĄ KIERUNKU.

Niech będzie przewód o przekroju  $F$ . Przewód  
ten zmienia kierunek swój nagle, tworząc kąt  $\delta$

z poprzednim kierunkiem cwi. Taką część przewodu nazwiemy *k o l a n e m* /rys.157/.

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:  $vF = v'\alpha F$

rys.157.

$$\text{stąd} \quad v' = \frac{v}{\alpha}$$

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

$$h_{s,10} = \frac{(v' - v)^2}{2g}, \quad h_{s,10} = \frac{v^2}{2g} \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right)^2.$$

Ten ostatni wynik możemy napisać prościej:

$$h_{s,10} = \zeta_{10} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad /143/$$

Spółczynnik  $\zeta_{10}$  zależy od kąta, pod którym zachodzi zmiana kierunku. Według Weisbach'a:

$$\zeta_{10} = \sin^2 \frac{\delta}{2} + 2 \sin^4 \frac{\delta}{2} \quad /144/$$

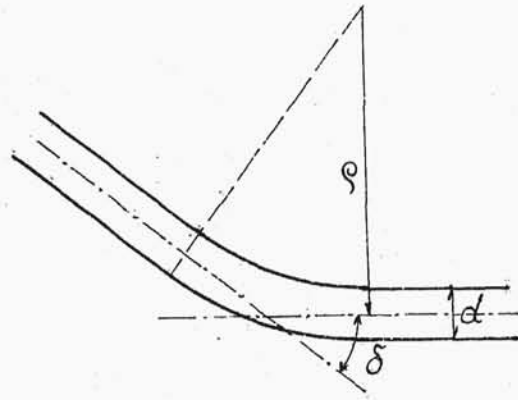
Wartość  $\zeta_{10}$  możemy odczytać z tabliczki, obliczonej na zasadzie powyższego wzoru:

$\delta$	$20^\circ$	$40^\circ$	$60^\circ$	$80^\circ$	$90^\circ$	$100^\circ$	$120^\circ$	$140^\circ$	$180^\circ$
$\zeta_{10}$	0,05	0,14	0,36	0,74	1,0	1,26	1,86	2,43	3,00

231. Zmiana kierunku może być dokonana stopniowo. Przejście takie nazwiemy łukiem /rys. 158/; wysokość straconą oznaczmy  $h'_{s,10}$ , wartość jej będziemy mogli określić z poprzedniego równania, jak wyżej:

$$h'_{s,10} = \zeta'_{10} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Spółczynnik  $\zeta'_{10}$  zależy tu od promienia krzywizny  $\rho$ ; nie zależy on od długości samego łuku, jeśli promień krzywizny pozostaje stałym.



rys.158.

Z doświadczeń otrzymano wzór:

$$\zeta'_{10} = \left[ 0,131 + 0,163 \left( \frac{d}{\rho} \right)^{3,5} \right] \frac{\delta^\circ}{90^\circ} \quad /145/$$

Na str. 440 przytaczamy wartości  $\zeta'_{10}$ .

$\delta$	stosunek $d/s$						
	0,01	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
15°	0,022	0,022	0,022	0,023	0,026	0,034	0,049
30°	0,043	0,043	0,043	0,046	0,053	0,069	0,098
45°	0,066	0,066	0,066	0,069	0,079	0,103	0,147
60°	0,086	0,086	0,086	0,092	0,106	0,138	0,196
90°	0,131	0,131	0,131	0,138	0,158	0,206	0,294
135°	0,197	0,197	0,197	0,207	0,237	0,309	0,441

232. Badania, robione w 1902 roku wykazały, że strata ciśnienia zachodzi nie tylko w samym łuku. Działanie łuku odczuwa się w zwiększeniu ruchów nie-regularnych jeszcze na znacznej długości poza łukiem, dopóki ruch wody się nie uspokoi.

Badania wspomniane wykazały, że łuk, odchylający kierunek ruchu 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 /145/.

233. Wróćmy do wzoru, pozwalającego na oznaczenie wysokości, straconej na tarcie na jednostce długości przewodu:

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

Przyjmując z gruba, 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 od kwadratu wysokości i 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 /potrójnie/ wydatku powiększa straty na tarcie w danym przewodzie cztero /dziewięć/ krotnie.

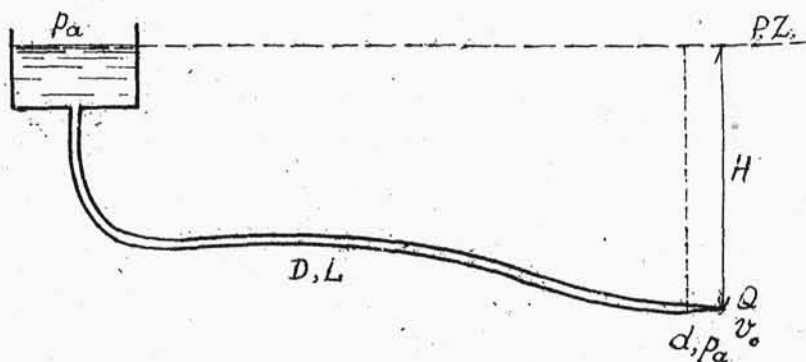
Powiększenie średnicy dwa /trzy/ razy dla tego samego wydatku zmniejsza straty na tarcie  $2^5 = 32$ -u krotnie / $3^5 = 243$  razy/.

Stąd widzimy, jaki ważny wpływ na otrzymanie mniejszych lub większych strat ma zwiększenie lub zmniejszenie nieznaczne nawet średnic.

234. Kiedy poznaliśmy wysokości, stracone na

tarcie w przewodach o przekroju stałym, znajdziemy, jaki otrzymamy wydatek z danego przewodu.

Niech będzie dany przewód o przekroju kołowym o średnicy  $D$  i długości  $L$ . Na końcu przewodu niech będzie krótka zwężka, kończąca się przekrojem o średnicy  $d$  /rys.159/. Długości tej zwężki, jako bardzo małej w porównaniu z  $L$ , nie uwzględniamy.



rys.159.

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

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

ponieważ

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

więc

$$\frac{v_0^2}{2g} = \frac{16Q^2}{\pi^2 d^4 2g} = \frac{8Q^2}{\pi^2 d^4 g}$$

wówczas równanie /a/ otrzyma postać:

$$H = \frac{8Q^2}{\pi^2 d^4 g} + \frac{\lambda Q^2 L}{D^5} \quad /b/$$

a stąd

$$Q^2 \left[ \frac{8}{\pi^2 d^4 g} + \frac{\lambda L}{D^5} \right] = H$$

wreszcie

$$Q = \sqrt{\frac{H}{\frac{8}{\pi^2 d^4 g} + \frac{\lambda L}{D^5}}}$$

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

leżności od  $D$ , a następnie  $Q$ . Znajdziemy tą drogą wydatek  $Q$ .

235. 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:

$$0 + \frac{p_a}{\gamma} + 0 = -H + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{v_o^2}{2g} + (h_{st})_L \quad /a/$$

gdzie zamiast  $(h_{st})_L$  wysokości straconej na tarcie należy wstawić wielkość zależną od prędkości  $v$  przepływu. Z równania /115/ mamy, że

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

zatem

$$(h_{st})_L = J \cdot L = \frac{4}{c^2} \cdot \frac{v^2}{D} \cdot L,$$

gdzie  $v$  jest prędkością w przewodzie.

Ponieważ

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

i następnie

$$(h_{st})_L = \frac{4}{c^2} \cdot \frac{v_o^2 d^4}{D^4 \cdot D} \cdot L = \frac{4}{c^2} \cdot \frac{v_o^2 d^4}{D^5} \cdot L.$$

Wstawmy tę wartość na  $(h_{st})_L$  w równanie /a/:

$$H = \frac{v_o^2}{2g} + \frac{4}{c^2} \cdot \frac{v_o^2 d^4}{D^5} \cdot L,$$



albo

$$v_o^2 \left[ \frac{1}{2g} + \frac{4}{c^2} \cdot \frac{d^4}{D^5} \cdot L \right] = H,$$

a stąd

$$v_o = \sqrt{\frac{2gH}{1 + \frac{8gd^4}{c^2 D^5} \cdot L}}$$

236. Rozwiążmy zadagnienie odwrotne do pierwszego. Znaleźć, j a k i e j ś r e d n i c y należy dać p r z e w ó d o długości  $L$ , aby przy wylocie zwężonym do średnicy  $d$  i wysokości  $H$  osi wylotu pod swobodną powierzchnią otrzymać dany wydatek  $Q$ .

W art.234 otrzymaliśmy równanie /b/:

$$H = \frac{8Q^2}{\pi^2 g \cdot d^4} + \frac{\lambda Q^2 L}{D^5} \quad /b/$$

W tym równaniu  $H, Q, d, L$  są dane; nie znamy  $D$ . W równaniu znajduje się jeszcze współczynnik  $\lambda$ , który jak wiemy z art.218, należy uważać jako zależny od  $D$ . Naprz., gdybyśmy przyjęli, według wzoru Kuttera i Ganguillet'a /120/

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

otrzymalibyśmy równanie:

$$H = \frac{8Q^2}{\pi^2 g \cdot d^4} + \left( 2,55 \frac{2m + \sqrt{D}}{100\sqrt{D}} \right)^2 \cdot \frac{Q^2 L}{D^5},$$

w którym tylko jedno  $D$  jest niewiadome.

Rozwiązanie tego równania nie należy wcale do prostych, gdyż po wydostaniu  $D$  z pod pierwiastków otrzymamy równanie 22-go stopnia.

Zarzucamy wobec tego myśl rozwiązanie 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:

$$H = \frac{8Q^2}{\pi^2 g \cdot d^4} + \frac{\lambda Q^2 L}{D^5} \quad /b/$$

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

$$D = \sqrt[5]{\frac{\lambda Q^2 L}{H - \frac{8Q^2}{\pi^2 g \cdot d^4}}} = \sqrt[5]{\frac{Q^2 L}{H - \frac{8Q^2}{\pi^2 g \cdot d^4}}} \sqrt[5]{\lambda}$$

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

$$D = A \sqrt[5]{\lambda} \quad /c/$$

Przyjmijmy na razie na  $\lambda$  wartość przybliżoną, o której mówiliśmy w art.218, mianowicie:  $\lambda = \left(\frac{1}{20}\right)^2$

Otrzymamy:

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

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

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

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

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 wartości

ci dla średnicy  $D: D', D'', D''', D''''$  itd.

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 tymi wymiarami rur, które są do nabycia na rynku. Wielkości średnic rur, normalnie stosowanych, zmieniają się np. przy mniejszych rurach, co 20, 25 mm, co 50 mm przy średnicach i co 100 mm przy większych rurach według poniższej tabelki:

50, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100 i 1200.

237. 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, rozwiązuje 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. O tym mowa w art. 220.

238. Zwróćmy jeszcze na chwilę uwagę na równanie /b/, otrzymane w art.234; z tego równania w art.236 znaleźliśmy, że

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

Rzeczywista wartość  $D$  będzie wtedy, kiedy

$$H > \frac{8Q^2}{\pi^2 d^5 g}.$$

Co to oznacza?

Widzimy, że

$$\frac{8Q^2}{\pi^2 d^5 g} = \frac{16Q^2}{\pi^2 d^5 \cdot 2g} = \left(\frac{4Q}{\pi d^2}\right)^2 \cdot \frac{1}{2g} = \frac{v_o^2}{2g}.$$

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

### 239. RÓWNANIE LINII CIŚNIEŃ W PRZEWODZIE O STAŁYM PRZEKROJU DLA CIECZY RZECZYWISTEJ.

Kiedy już umiemy wyznaczać wysokości, stracone na różne opory, napotkane przez ciecz podczas jej ruchu w przewodzie, możemy, zgodnie z treścią art.211 przystąpić do wyznaczenia linii ciśnień.

Niech będzie zbiornik, jak to już parokrotnie przyjmowaliśmy. Ze zbiornika idzie przewód o śred-