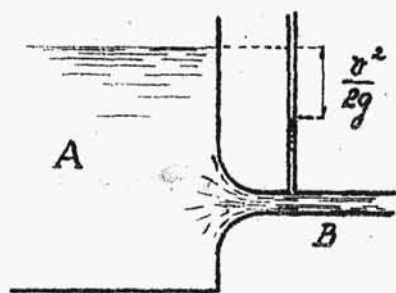


straty, spowodowane przez tarcie w przewodach, ograniczymy się i przejdziemy do strat, których źródła są umiejscowione.

#### 180. Straty przy WEJŚCIU CIECZY ZE ZBIORNIKA DO PRZEWODU.



rys.125.

Gdyby ciecz była doskonała, wówczas przy wypływie ze zbiornika *A* do przewodu *B*, ciecz nie doznałaby żadnego oporu. Wówczas w piezometrze, wstawionym na po-

czątku przewodu, otrzymalibyśmy słupkę cieczy, nie dochodzący do swobodnej powierzchni cieczy o wysokości  $\frac{v^2}{2g}$ , jeżeli  $v$  jest prędkością cieczy w przewodzie. Nie należy tej wysokości uważać za straconą.

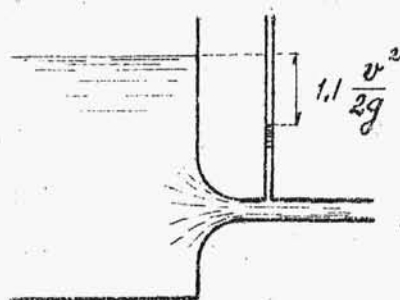
Ciecz rzeczywista dozna pewnej straty, którą możemy znacznie zmniejszyć, jeśli przejście ze zbiornika do przewodu wykonamy stopniowo zwężając je, jak to na rysunku pokazano. Mimo to, jednak, strata będzie, gdyż wysokość poprzedniego słupka cieczy w piezometrze zwiększy się

o  $0,1 \frac{v^2}{2g}$  i ta właśnie wysokość będzie musiała być uważaną za straconą.

Inaczej mówiąc ciecz w słupku stanie na wysokości

$$1,1 \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots /122/$$

pod swobodną powierzchnią wody w zbiorniku.



rys.126.

Jeśli wypływ cieczy w zbiorniku będzie wykonany w sposób raptowny, wówczas zajdzie strata większa, niż  $0,1 \frac{v^2}{2g}$ , wzrastając jeszcze o  $0,372 \frac{v^2}{2g}$ .

Zatem obniżenie się cał.

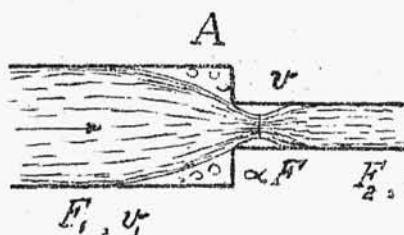
kowite słupka cieczy w piezometrze poniżej swobodnej powierzchni cieczy, zmierzymy wysokością:

$$1 \frac{v^2}{2g} + 0,1 \frac{v^2}{2g} + 0,372 \frac{v^2}{2g} = 1,472 \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots /123/$$

Z tej wysokości część równa  $0,472 \frac{v^2}{2g}$  jest wysokością rzeczywiście straconą, zaś wysokość  $1 \frac{v^2}{2g}$  jest wysokością użyteczną, która przy sprzyjających okolicznościach może być zamienioną na ciśnienie lub też może spowodować zmianę wysokości położenia, jak to wynika z twierdzenia D. Bernoulli'ego. Wartość powyższej wysokości będziemy

przyjmować równą okrągło 0,5.

# 181. STRATY, SPOWODOWANE RAPTOWNYM PRZEJŚCIEM Z SZEROKIEGO DO WĄSKIEGO PRZEWODU.



rys. 127.

Niech będzie przewód o przekroju  $F_1'$ , który w pewnem miejscu  $A$  przechodzi odrazu w przekrój zmniejszony do  $F_2'$ . Niech w przewodzie o przekroju  $F_1'$  ciecz płynie z prędkością  $v_1$ , zaś w przewodzie o przekroju  $F_2'$  z prędkością  $v_2$ . Ze względu na ciągłość przepływu mamy:

$$F_1' \cdot v_1 = F_2' \cdot v_2.$$

Podczas przepływu cieczy z przekroju  $F_1'$  do przekroju  $F_2'$ , zachodzi dławienie strumienia; wobec tego w przewodzie węższym w pewnej odległości od  $A$  obserwujemy zdławiony przekrój  $= \alpha F_2'$ ; który tembardziej będzie zdławiony, im większy jest przekrój  $F_1'$  w stosunku do  $F_2'$ . W zdławionym przekroju  $\alpha F_2'$  niech będzie prędkość  $v$ .

Wobec zależności  $F_2' v_2 = \alpha F_2' v$  mamy, że prędkość

kość  $v = \frac{v_2}{\alpha}$ . Prędkość  $v$  powinna być  $> v_2$ .  
Zatem cząstki, przepływające przez przekrój  $\propto F_2'$   
wchodzą do przekroju  $F_2'$  z prędkością  $v$  większą  
niż  $v_2$ .

Następują uderzenia cząstek, płynących z prędkością  $v$  o cząstki płynące wolniej z prędkością  $v_2$ . Każda cząstka traci prędkość  $v - v_2$ , co

jest równoznaczne ze stratą odpowiedniej wysokości  $\frac{(v - v_2)^2}{2g}$ . Oznaczmy wysokość straconą z powodu zmiany przekroju przez  $h_p$ , otrzymamy:

$$h_p = \frac{(v - v_2)^2}{2g}; \quad \text{ponieważ} \quad v = \frac{v_2}{\alpha},$$

więc

$$h_p = \frac{v_2^2}{2g} \left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right)^2,$$

albo, zastępując  $\left( \frac{1}{\alpha} - 1 \right)^2$  przez  $\zeta_p$ , napiszemy:

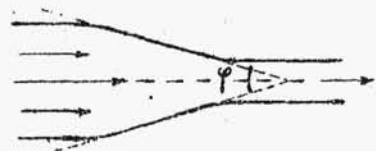
$$h_p = \zeta_p \cdot \frac{v_2^2}{2g} \quad \dots \dots \dots /124/$$

W rzeczywistości współczynnik  $\zeta_p$  jest bardziej złożony, niż to z poprzedniego wynika; możemy go otrzymać tylko drogą doświadczalną.

Według Weisbacha, jest:

|                                   |      |      |      |      |      |      |     |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|
| przy $F_2' : F_1' =$              | 0,01 | 0,1  | 0,2  | 0,4  | 0,6  | 0,8  | 1,0 |
| spółczyn.<br>dławienia $\alpha =$ | 0,64 | 0,65 | 0,66 | 0,70 | 0,75 | 0,84 | 1,0 |
| spółczyn.<br>zaś $\zeta_p =$      | 0,50 | 0,47 | 0,42 | 0,33 | 0,25 | 0,15 | 0.  |

182. Jeżeli zmiana przekroju zachodzi stopniowo, wtedy strata będzie mniejsza; współczynnik  $\zeta$  zależy wtedy od kąta  $\varphi$ , utworzonego przy wierzchołku stożka przejściowego. W przybliżeniu można przyjąć, że we wzorze /124/



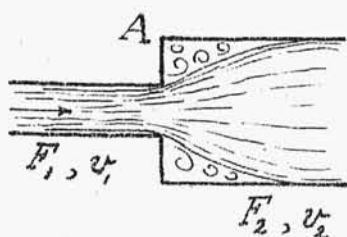
$$\zeta_p = \frac{0,3}{8 \sin \frac{\varphi}{2}} \left[ 1 - \left( \frac{F_2'}{F_1'} \right)^2 \right] \quad /125/$$

rys.128.

183. STRATY, SPOWODOWANE RAPTOWNYM PRZEJŚCIEM Z WĄSKIEGO DO SZEROKIEGO PRZEWODU.

Niech będzie przewód o przekroju  $F_1'$ , który w miejscu  $A$  przechodzi odrazu w większy przekrój  $F_2'$ . Prędkości w tych przekrojach niech będą  $v_1$  i  $v_2$ . Zależność między prędkościami jest znana:  $F_1' v_1 = F_2' v_2$ . Ponieważ  $F_1' < F_2'$ , więc  $v_1 > v_2$ . Widzimy zatem, że cząstki, płynące z prędkością  $v_1$ , uderzają o cząstki płynące z mniejszą prędkością  $v_2$  i tracą

na prędkości  $v_1 - v_2$ , co odpowiada straconej wysoko-



rys. 129.

kości

$$h_p' = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} ;$$

ponieważ  $v_1 = v_2 \frac{F_2}{F_1}$ , więc

$$h_p' = \frac{v_2^2}{2g} \left[ \frac{F_2}{F_1} - 1 \right]^2.$$

Jeżeli oznaczymy  $\left( \frac{F_2}{F_1} - 1 \right)^2 = \zeta_p'$ , wówczas

$$h_p' = \zeta_p' \frac{v_2^2}{2g} \quad \dots \dots \dots /126/$$

Jeżeli  $F_2 : F_1 =$

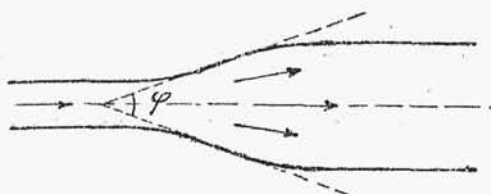
|     |     |     |   |   |   |    |
|-----|-----|-----|---|---|---|----|
| 1,1 | 1,3 | 1,5 | 2 | 3 | 5 | 10 |
|-----|-----|-----|---|---|---|----|

wtedy  $\zeta_p' = \left( \frac{F_2}{F_1} - 1 \right)^2 =$

|      |      |      |     |   |    |    |
|------|------|------|-----|---|----|----|
| 0,01 | 0,09 | 0,25 | 1,0 | 4 | 16 | 81 |
|------|------|------|-----|---|----|----|

183. Jeśli przekrój  $F_2$  jest bardzo duży w porównaniu z  $F_1$ , wtedy prędkość  $v_2$  jest bardzo nieznaczna wobec prędkości  $v_1$ . W takim razie, wysokość straconą z powodu uderzenia, możemy przyjąć równą całej wysokości  $\frac{v_1^2}{2g}$ . Będzie to naprz. wtedy, kiedy przewód doprowadza ciecz do dużego zbiornika.

184. W przypadku stopniowego rozszerzenia przewodu strata będzie mniejsza i współczynnik  $\zeta_p'$  można w przybliżeniu przyjąć:

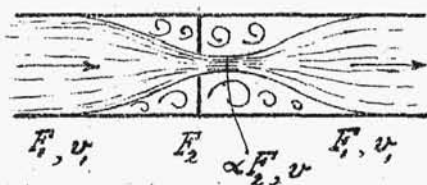


rys. 130.

$$\zeta'_\varphi = \left( \frac{F_2}{F_1} - 1 \right)^2 \cdot \sin \varphi,$$

gdzie kąt  $\varphi$  jest kątem wierzchołkowym części stożkowej przewodu.

### 185. STRATA PRZY PRZEJŚCIU CIECZY PRZEZ OTWÓR W BŁONIE /ściance/.



rys. 131.

Niech w przewodzie o przekroju  $F_1$  znajduje się błona z otworem o przekroju  $F_2$ . Obserwując przepływ cieczy, zauważymy, że strumień za błoną

otrzymuje przekrój węższy, niż przekrój otworu w błonie. Niech to będzie przekrój  $\alpha F_2$ , gdzie  $\alpha$  zależęć powinno od stosunku  $\frac{F_1}{F_2}$ . Jeżeli prędkość w przewodzie  $F_1$  jest  $v_1$ , wówczas prędkość  $v$  w najbardziej zwężonym przekroju  $\alpha F_2$  znajdziemy z warunku:

$$v_1 F_1 = v \alpha F_2, \text{ stąd } v = v_1 \frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{1}{\alpha}.$$

Strata energii zachodzi z tego powodu, że cząstki, płynące z prędkością  $v$ , uderzają o cząstki, płynące z prędkością mniejszą  $v_1$ . Mamy zatem stratę prędkości  $v - v_1$ , co jest równoznaczne ze stratą wysokości:

$$h_b = \frac{(v - v_1)^2}{2g}, \text{ albo } h_b = \frac{v_1^2}{2g} \left[ \frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{1}{\alpha} - 1 \right]^2.$$

Oznaczmy  $\left[ \frac{F_1}{F_2} \cdot \frac{1}{\alpha} - 1 \right]^2$  przez  $\zeta_b$ , otrzymamy:

$$h_b = \zeta_b \cdot \frac{v_1^2}{2g} \quad \dots \dots \dots /127/$$

Z doświadczeń mamy:

|                  |      |      |      |      |      |      |      |     |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| przy $F_2:F_1 =$ | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 0,9  | 1,0 |
| $\alpha =$       | 0,65 | 0,66 | 0,67 | 0,7  | 0,72 | 0,82 | 0,9  | 1,0 |
| i $\zeta_b =$    | 226  | 47,8 | 17,8 | 3,75 | 1,79 | 0,29 | 0,06 | 0   |

# 186. STRATY SPOWODOWANE PODCZAS PRZEPŁYWU CIECZY PRZEZ ZASUWY, ZAWORY, KURKI, KLAPY i t.p.

Wszystkie te przypadki dadzą się wyrazić równaniem:

$$h_z = \zeta_z \cdot \frac{v_1^2}{2g},$$

gdzie współczynnik  $\zeta_z$  zależy od stosunku  $F -$  przekroju przewodu pełnego do przekroju zmniejszo-



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 $90^\circ$<br>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