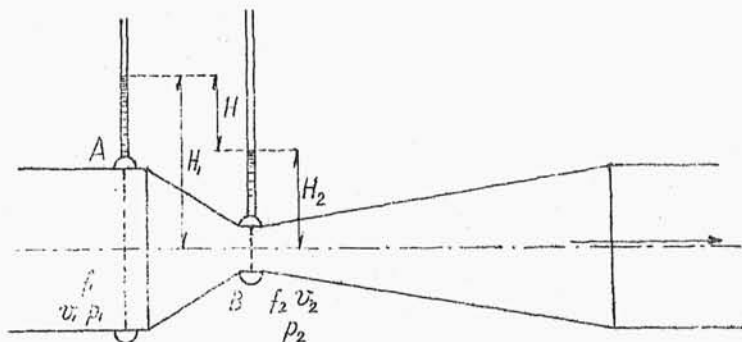


bezwzględna wartość $\left| \gamma \cdot \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \right|$ jest $> p'$, wtedy otrzymalibyśmy $p < 0$, co musiałoby oznaczać, że ciśnienie hydrodynamiczne w takim przypadku zamieniłoby się w rozciąganie, co jest niemożliwe w cieczy doskonałej. Cząstki nie byłyby w stanie wypełnić całego przekroju; struga jak gdyby rozsypywała się.

128. W o d o m i e r z V e n t u r i .

Jest to przyrząd utworzony z dwóch stożkowych rur, połączonych ze sobą mniejszymi średnicami. Przyrząd ten nazywany jest często "zwężką" Venturi'ego /rys. 76/. Przy pomocy zwężki możemy mierzyć wydatek wody, przepływającej przez przewod, w który jest włączona wspomniana zwężka. Pomiar wody uskuteczniany na podstawie zależności, wynikających z twierdzenia D. Bernoulli'ego. Przyrząd, jak powiedzieliśmy, składa się z dwóch rur stożkowych, połączonych ze sobą zwężonymi przekrojami, szerokimi zaś łącząc się z przewodem rurowym. W przekroju A , podobnie jak w przekroju B na rorze mamy kanałki obrotowe, które przy pomocy szeregu otworów łączą się z

wnętrze przewodu rurowego. Niech pole przekroju A



rys. 76.

będzie f_1 , pole przekroju B - niech będzie f_2 . Następnie niech ciśnienie i prędkość w przekrojach A i B będą odpowiednio p_1, v_1 oraz p_2, v_2 .

Szukany wydatek cieczy, która płynie danym przewodem

$$Q = f_1 \cdot v_1 = f_2 \cdot v_2$$

Pole przekrojów f_1 i f_2 uważamy jako znane, gdyż łatwo dadzą się w istniejącym przyrządzie zmierzyć. Należy znaleźć prędkość v_1 lub v_2 .

W tym celu obieramy sobie cienką strugę naprz. wzdłuż osi przewodu. Zastosujmy dla dwóch przekrojów tej strugi równanie D. Bernoulli'ego, przyjmując

jako poziom zasadniczy płaszczyznę poziomą, przechodzącą przez oś przewodu. Równanie to będzie:

$$0 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = 0 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}.$$

Ponieważ $f_1 v_1 = f_2 v_2$ zatem $v_2 = \frac{v_1 f_1}{f_2}$.

Równanie otrzyma postać:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2,$$

a stąd

$$v_1 = \sqrt{\frac{2g \left(\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} \right)}{\left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 - 1}}.$$

Wstawmy do kanalików obrączkowych w przekrojach A i B - piezometry. Niech to będą piezometry otwarte; na górne końce ich niech działa ciśnienie p_α .

Wtedy w piezometrze przy A ciecz podniesie się na wysokość $H_1 = \frac{p_1 - p_\alpha}{\gamma}$; w piezometrze przy B - na wysokość $H_2 = \frac{p_2 - p_\alpha}{\gamma}$. Zauważymy łatwo, że $H_1 - H_2 = \frac{p_1 - p_\alpha}{\gamma} - \frac{p_2 - p_\alpha}{\gamma}$ albo $H_1 - H_2 = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma}$. Zamieńmy wielkość $\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma}$, znajdującą się pod pierwiastkiem, przez różnicę wysokości H_1 i H_2 i uwzględnijmy jeszcze, że $H_1 - H_2 = H$, wówczas:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2gH}{\left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 - 1}}$$

Mając urządzone piezometry w A i B , będziemy mogli odczytać wysokość H , a wówczas znajdziemy szukany wydatek ze wzoru:

$$Q = f_1 u_1 = f_1 \sqrt{\frac{2gH}{\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 - 1}}$$

Ponieważ pola przekrojów f_1 i f_2 są znane, należy stosunek $\frac{f_1}{f_2}$ uważać za znany; niech $\frac{f_1}{f_2} = n$; wtedy:

$$Q = f_1 \sqrt{\frac{2gH}{n^2 - 1}} = f_1 \sqrt{\frac{2g}{n^2 - 1}} \cdot \sqrt{H}$$

Z tego wzoru wynika, że wydatek Q ocenimy, jeśli będziemy wiedzieli różnicę wysokości cieczy w piezometrach A i B , gdyż pozostałe wielkości są znane.

Jeżeli następnie uwzględnimy, że powyższy wzór otrzymaliśmy przy założeniu, iż ciecz jest doskonała, że zatem żadnych oporów nie ma, należy w celu dostosowania tego wzoru do warunków rzeczywistych poprawić go przy pomocy współczynnika, otrzymanego z porównania wyników rzeczywistych z teoretycznym. Napiszemy wtedy:

$$Q = \beta \cdot \frac{f_1 \sqrt{2g}}{\sqrt{n^2 - 1}} \cdot \sqrt{H}$$

gdzie przez β oznaczamy właśnie ten współczynnik praktyczny. Dla danego przyrządu wyraz $\frac{\beta \cdot f \sqrt{2g}}{\sqrt{n^2 - 1}}$ możemy uważać jako stały, raz na zawsze określony. Oznaczmy go jedną literą φ ; wtedy ostatecznie napiszemy:

$$Q = \varphi \sqrt{H}$$

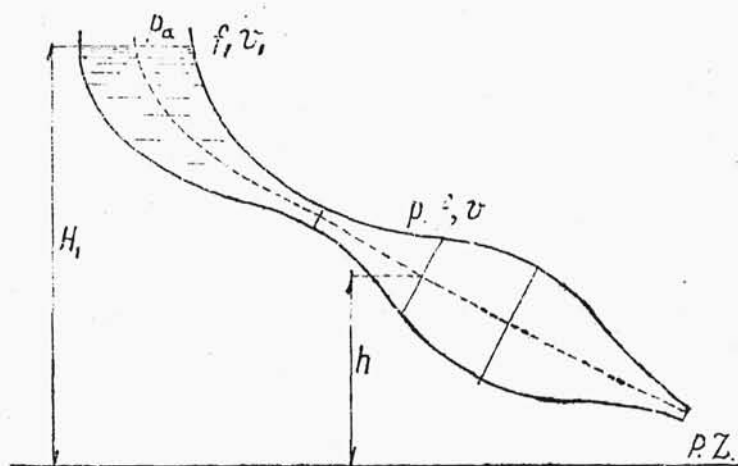
Jeśli zrobimy pomiary wysokości H , mając dany współczynnik φ , obliczymy z tego wzoru Q .

129. Piezometry stosowane w poprzednim opisie zwężki Venturi ego są otwarte; jest to możliwe, jeśli ciśnienie w przewodzie będzie nieznaczące. W razie większych ciśnień - nie uda się stosować piezometrów otwartych; wtedy można użyć piezometrów zamkniętych, napełnionych rtęcią, jak to wskazuje schemat /rys.77/.

Z odczytywanej wysokości H mamy możliwość obliczenia wydatku cieczy, przepływającej w przewodzie w chwili odczytywania wysokości.

Są przyrządy Venturi ego, w których zastosowane są pływaczki, utrzymywane na powierzchni rtęci w piezometrach; położenie drążków utrzymywanych pływakami jest notowane na taśmie papierowej, nawinię-

Będzie to ciekawe ze względu na zachowanie się cieczy przepływającej wzdłuż przewodu, jeśli w ścianie wykonamy mały otwór. Jeśli w przekroju, w którym znajduje się wspomniany otwór, ciśnienie hydrodynamiczne p będzie większe niż zewnętrzne p_a , wówczas ciecz zacznie wypływać z otworu; w przypadku, kiedy $p = p_a$, wówczas obecność otworu pozostanie dla ruchu cieczy bez wpływu; kiedy zaś $p < p_a$, wówczas ciśnienie zewnętrzne będzie przez otwór odpychać cząstki cieczy, a nawet, gdybyśmy do otworu podsuwali cząstki cieczy, wówczas ciśnienie zewnętrzne wciągałoby je do naczynia.



rys-78.

Zbadajmy bliżej warunki, przy których powyższe przypadki zajść mogą. Zastosujemy równanie /41/ do strugi /rys.78/, zaczynającej się na swobodnej powierzchni przekroju f_1 i przechodzącej przez jakikolwiek przekrój f , znajdujący się na wysokości h ponad P.Z. . Przypominamy, że wciąż mówimy o cieczy doskonałej.

Otrzymamy:

$$H_1 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = h + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$

Stąd:

$$p = p_a + \gamma \left[H_1 - h + \frac{v_1^2 - v^2}{2g} \right],$$

albo krócej, oznaczając wyrażenie w nawiasie przez A :

$$p = p_a + \gamma A.$$

Widzimy więc, że otrzymamy ten czy inny ze wspomnianych przypadków, zależnie od tego, czy A będzie > 0 , czy $A = 0$, czy też $A < 0$.

Ponieważ

$$v \cdot f = v_1 \cdot f_1, \quad \text{więc } v = \frac{v_1 \cdot f_1}{f},$$

zatem

$$A = H_1 - h + \frac{v_1^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 \right].$$

Jeśli chcemy, aby p było $> p_a$, należy znaleźć

takie miejsca, w których A będzie > 0 , t.j. w których

$$H_i - h + \frac{v_i^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{f_i}{f} \right)^2 \right] > 0$$

albo

$$H_i - h > \frac{v_i^2}{2g} \left[\left(\frac{f_i}{f} \right)^2 - 1 \right] \quad /a/$$

Jeśli naprz., jak w naszym przypadku /rys.78/,
 $H_i - h > 0$ nierówność /a/ napewno będzie spełniona,
 wówczas, kiedy $\left(\frac{f_i}{f} \right)^2 - 1$ będzie ujemne. Oczywiście,
 spełnienie nierówności /a/ jest zupełnie możliwe również,
 kiedy $\left(\frac{f_i}{f} \right)^2 - 1 > 0$. W razie, jednak, kiedy
 $\left(\frac{f_i}{f} \right)^2 - 1 < 0$, napewno to będzie.

Zatem n a p e w n o $A > 0$, kiedy $\frac{f_i}{f} \leq 1$,
 czyli kiedy $f \geq f_i$; jeśli zaś $f < f_i$, wówczas A
 m o ż e b y ć > 0 .

Warunek powyższy wskazuje, gdzie należy spodziewać się ciśnienia hydrodynamicznego p , które będzie $> p_a$.

Znając bliżej wartości H_i , f_i , h i f , możemy zupełnie dokładnie wyznaczyć te miejsca w przewodzie.

Drugi przypadek, kiedy ma być $p = p_a$; będzie to przy $A = 0$; wówczas powinno być

$$H_i - h = \frac{v_i^2}{2g} \left[\left(\frac{f_i}{f} \right)^2 - 1 \right] \quad /b/$$

Jeżeli $H_i - h > 0$, jak w naszym przykładzie, warunek /b/ może być osiągnięty, kiedy $\frac{f_i}{f} > 1$ czyli kiedy $f < f_i$; przy jednym z takich przekrojów możemy spodziewać się, że p będzie $= p_a$. Innymi słowy, nie może być $p = p_a$, kiedy $f \geq f_i$.

Trzeci przypadek, w którym ma być $p < p_a$; będzie to przy $A < 0$, t.j. kiedy:

$$H_i - h < \frac{v_i^2}{2g} \left[\left(\frac{f_i}{f} \right)^2 - 1 \right] \quad /c/$$

Jeżeli, jak w naszym przypadku, $H_i - h > 0$, warunek /c/ może być otrzymany, kiedy

$$\frac{v_i^2}{2g} \left[\left(\frac{f_i}{f} \right)^2 - 1 \right] > 0$$

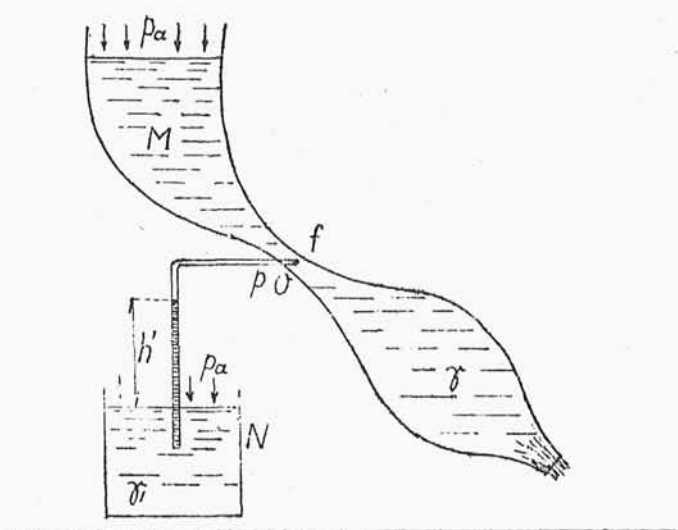
czyli że A m o ż e b y ć < 0 tylko, gdy $\frac{f_i}{f} > 1$, t.j.

gdy $f < f_i$. Oczywiście nie dla wszystkich $f < f_i$ będzie $A < 0$; zależć to będzie od wartości H_i, f_i, h, f .

Nie możemy się spodziewać, aby A mogło być < 0 w miejscach, gdzie $\frac{f_i}{f} < 1$, czyli gdzie $f > f_i$.

131. Poprzednio mówiliśmy, że przy pomocy piezometrów, wprawionych w różnych przekrojach przewodu, możemy mierzyć ciśnienia hydrodynamiczne, panu-

jące w tych przekrojach. We wszystkich omiawianych przypadkach mierzyliśmy ciśnienie p wewnątrz przewodu, które przyjmowaliśmy, że jest większe niż p_a . Należy tu jeszcze wskazać na przypadek, kiedy w danym przekroju p będzie $< p_a$. Wówczas do badanego przekroju f wstawiamy rurkę piezometryczną, zagiętą w dół; koniec dolny rurki zanurzamy w cieczy, nalanej do naczynia N /rys. 79/.



rys. 79.

Do tego naczynia może być nalana ciecz nie koniecznie ta sama, która płynie w przewodzie M .

Niech w naczyniu N znajduje się ciecz o cięża-

rze właściwym γ . W górnym końcu tak urządzonego piezometru mamy ciśnienie p to właśnie, które należy zmierzyć; na powierzchnię swobodną zaś w naczyniu N działa ciśnienie zewnętrzne $= p_\alpha$; zatem w piezometrze powinna się ciecz podnieść na wysokość

$$h' = \frac{p_\alpha - p}{\gamma}; \quad \text{stąd} \quad p = p_\alpha - h' \gamma.$$

Wysokość ta nie zależy od tego, jak wysoko pomieścimy naczynie N , byleby koniec rurki był zanurzony w cieczy.

132. Z powyższego doświadczenia skorzystamy, aby wskazać na możliwość **p o d n o s z e n i a** **c i e c z y** **d o g ó r y** przy pomocy płynącego strumienia cieczy.

Przypuśćmy, że w naczyniu N /rys.79/ mamy tę samą ciecz, która płynie w przewodzie M .

Wtedy wysokość, do której dojdzie ciecz w piezometrze, będzie

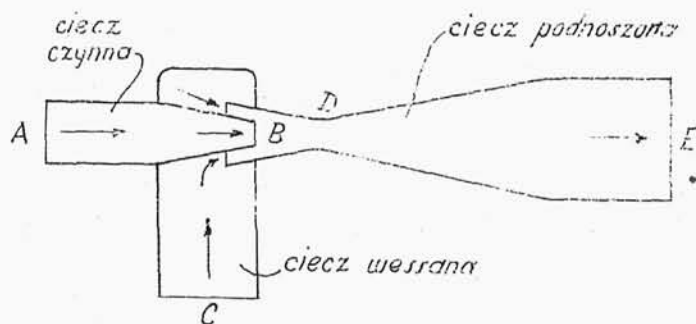
$$h'' = \frac{p_\alpha - p}{\gamma}$$

Podnosimy teraz naczynie N wyżej; wysokość h'' nie będzie się zmieniała. Podnosząc naczynie N coraz wyżej, dojdziemy do tego, że ciecz w piezometrze stanie na poziomie środka otworu O w przewodzie M .

Podnieśmy jeszcze wyżej naczynie N . Wówczas cząstki cieczy z N będą wtłaczane przez piezometr do przewodu M , gdzie będą unoszone razem z płynącą cieczą.

Otrzymujemy zatem możność wysysania cieczy z naczynia N na pewną wysokość h''' , czyniąc zadość warunkowi: $h''' < \frac{\rho_\alpha - \rho}{\gamma}$. Im bardziej będziemy zmniejsza-
li h''' w porównaniu z $\frac{\rho_\alpha - \rho}{\gamma}$, tym większa ilość cieczy z N może przepłynąć do M . Zauważyć tu znowu należy, że wciąż mówimy o cieczy doskonałej.

133. Otrzymujemy wyżej zasadę, na której został zbudowany t.zw. e ż e k t o r /rys.80/.



rys.80.

.W przyrządzie tym woda c z y n n a , posiadająca potrzebne warunki ruchu /ciśnienie, prędkość i położenie/, wpływa przy A , przepływa przez zwę-

żony wylot B , gdzie wobec zwiększonej prędkości wypływu maleje ciśnienie. Zmniejszone przy B ciśnienie wywołuje ruch cieczy przez otwór C . Ciecz czynna, płynąca z A i ciecz wessana, dążąca od C , mieszają się na odcinku B do D i płyną dalej razem r o z - s z e r z a j ą c y m się przewodem od D do E , przez co prędkość cieczy maleje, jednocześnie wzrasta ciśnienie, dzięki któremu ciecz może podnieść się na odpowiednią wysokość.

134. Równanie /41/, wyrażające treść twierdzenia D. Bernoulli'ego, może być jeszcze inaczej wypowiedziane. Mianowicie: równanie

$$H_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = H_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = \dots = const.$$

pomnożmy obie strony przez γq , gdzie przez q oznaczamy objętość cząstki cieczy, płynącej w przewodzie. Ponieważ γ jest ciężarem właściwym w kg/m^3 , zatem γq jest ciężarem cząstki cieczy. Otrzymamy wtedy:

$$\gamma q H_1 + \gamma q \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\gamma q}{g} \cdot \frac{v_1^2}{2} = \dots = const.$$

Pierwszy wyraz $\gamma q H_1$, jest to energia potencjalna, wynikająca z położenia cząstki o ciężarze γq na wysokości H_1 , nazwiemy tę wielkość e n e r g i ą

z p o ł o ż e n i a . Drugi wyraz $\gamma q \frac{p_i}{\gamma}$ daje energię również potencjalną, wynikającą z ciśnienia; nazwiemy tę wielkość energią z ciśnienia. Wreszcie ostatni wyraz $\frac{\gamma q}{\gamma} \cdot \frac{v_i^2}{2}$ oznacza energię kinetyczną cząstki γq . Wtedy równanie /41/ może być wypowiedziane w ten sposób: Dla każdej cząstki cieczy doskonałej, znajdujacej się w ruchu trwałym i ciągłym, suma energii z położenia, energii z ciśnienia i energii kinetycznej jest wielkością stałą.

Mamy więc twierdzenie, wyrażające zasadę zachowania energii strumienia cieczy. Wartość wielkości q nie gra tu żadnej roli. Treść twierdzenia nic się nie zmieni, jeśli zamiast q przyjmiemy objętość Q cieczy, która w jednostkę czasu /sek/ przepływa w strudze lub w przewodzie.

135. PRACA STRUMIENIA CIECZY. Niech będzie przewód K , w którym płynie ciecz o ciężarze właściwym γ w objętości $Q \text{ m}^3$ na sek. Niech to będzie ruch trwały