

jest bardzo mała.

Jak się przedstawiają swobodne powierzchnie wody w skrzynkach koła wodnego, pokazane jest na sąsiednim rysunku /rys.61/.

Ciśnienie hydrostatyczne w naszym przypadku znajdziemy z równania:

$$p = p_a + \frac{\gamma}{g} \int_a^{(x,y,z)} (Xdx + Ydy + Zdz);$$

po podstawieniu odpowiednich wartości na X, Y, Z otrzymamy:

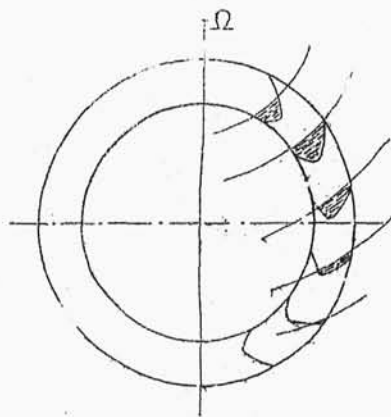
$$p = p_a + \frac{\gamma}{g} \left[\frac{\omega^2}{2} (x^2 + z^2) + gz \right]_{a}^{(x,y,z)}$$

Równanie linii sił znajdziemy zwykłą drogą, posilkując się równaniami:

$$\frac{d\xi}{X} = \frac{d\eta}{Y} = \frac{dz}{Z},$$

podstawiając wartości odpowiednie na X, Y i Z .

Znajdziemy, że będzie to pęk prostych, przechodzących przez oś Ω , prostopadłych do osi Ω .



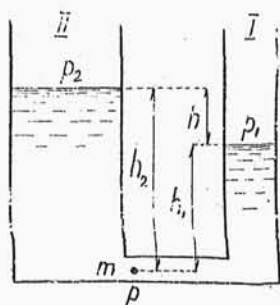
rys.61.

107. NACZYNNIA POŁĄCZONE NAPEŁNIONE CIECZĄ JEDNORODNĄ.

Niech będą dwa naczynia połączone, o dowolnych

zresztą przekrojach, napełnione jednorodną cieczą ciężką o ciężarze właściwym γ . Niech na swobodną powierzchnię cieczy w naczyniu I/rys.62/działa ciśnienie p_1 , w naczyniu zaś II- p_2 . Niech naczynie i ciecz znajdują się w spoczynku i w równowadze. Obierzmy jakikolwiek punkt m wewnątrz cieczy, gdzie ciśnienie jest p .

Jeśli punkt m będziemy rozpatrywali, jako będący w związku z naczy-
 nkiem I, wtedy na-



piszemy, że ciśnienie w tym punkcie:

$$p = p_1 + \gamma h_1.$$

Jeśli zaś ten

rys.62.

sam punkt będziemy

rozpatrywali jako należący do naczynia II, wtedy to samo ciśnienie

$$p = p_2 + \gamma h_2.$$

Ponieważ wartość ciśnienia w m nie może zależeć od tego, jak na punkt m patrzymy, przeto

$$p_1 + \gamma h_1 = p_2 + \gamma h_2.$$

Stąd $p_1 - p_2 = \gamma(h_2 - h_1);$

więc mamy:

$$\left. \begin{aligned} p_1 - p_2 &= \gamma h \text{ albo} \\ h &= \frac{p_1 - p_2}{\gamma} \end{aligned} \right\}$$

W drugim równaniu mamy wysokość h , będącą różnicą poziomów cieczy w obydwóch naczyniach. Wysokość ta powstaje skutkiem różnicy ciśnień na swobodne powierzchnie w naczyniach I i II. Wysokość h możemy uważać jako miarę różnicy ciśnień p_2 i p_1 . Zwykle nazywać będziemy h w y s o k o ś c i ą c i ś n i e n i a $p_1 - p_2$.

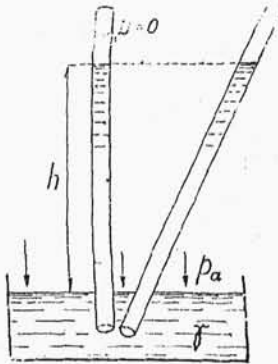
108. W szczególnym przypadku, kiedy $p_1 = p_2$, wtedy $h = 0$. To oznacza, że jeśli w obydwóch naczyniach na swobodnej powierzchni mamy jednakowe ciśnienia, wówczas, w razie cieczy jednorodnej, zwierciadła cieczy w naczyniach ułożą się na tym samym poziomie.

109. Kiedy $p_2 = 0$, wtedy $h = \frac{p_1}{\gamma}$. Wówczas wysokość h mierzy nam ciśnienie p_1 .

Na tej zasadzie oparta jest budowa b a r o m e t r u .

Barometr utworzony jest z rurki, która z jednego końca jest otwarta, w drugim końcu jest zamknięta.

Jeśli taką rurkę, jakiegokolwiek średnicy lecz dostatecznej długości wstawimy otwartym końcem do naczynia z cieczą o ciężarze właściwym γ w górnym



rys.63.

zaś końcu rurki /zamknię-
tym/ wytworzymy próżnię,
to ciecz podniesie się w
rurce na taką wysokość h ,
jaka odpowiada ciśnieniu,
w danym razie, atmosferycz-
nemu $= p_a$.

Ciśnienie atmosferycz-
ne, naogół, jest zmienne; średnio wynosi 10333 kg/m^2
albo $1,0333 \text{ kg/cm}^2$.

Jeżeli wykonamy barometr, stosując w nim rtęć,
która ma ciężar właściwy $\gamma_r = 13596 \text{ kg/m}^3$ albo $0,0136$
 kg/cm^3 , wówczas wysokość h_r słupa rtęci w barometrze
znajdziemy:

$$h_r = \frac{10333}{13596} = 0,76 \text{ m.} = 76 \text{ cm.}$$

Zatem rurka barometryczna w razie stosowania
rtęci winna być długości większej, niż 76 cm.

Gdybyśmy zastosowali do barometru wodę, której
ciężar właściwy $\gamma_w = 1000 \text{ kg/m}^3$, wówczas wysokość h_w

słupa wody w barometrze otrzymalibyśmy:

$$h_w = \frac{10333}{1000} = 10,333 \text{ m.}$$

Zatem rurka barometryczna w razie stosowania wody winnaby być długości przeszło 10 m.

Obecnie w technice przyjmuje się jednostkę ciśnienia, wynoszącą $1 \text{ kg/cm}^2 = 10000 \text{ kg/m}^2$; tę jednostkę oznaczamy przez "at". Zatem $\text{at} = 1 \text{ kg/cm}^2$.

Słup rtęci, mierzący tę jednostkę, ma wysokość

$$h_r = \frac{10000}{13596} = 0,7355 \text{ m} = 73,55 \text{ cm.}$$

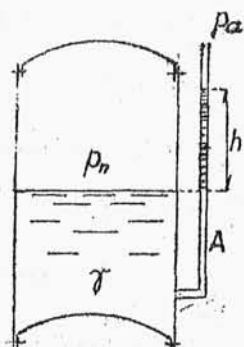
Słup wody mierzący 1 at, ma wysokość

$$h_w = \frac{10000}{1000} = 10 \text{ metrów.}$$

Oczywistym jest, że rurka barometryczna niekoniecznie ma być pionowa, może być od pionu odchylna, należy tylko zawsze brać wysokość h_r lub h_w w kierunku pionowym.

110. Na zasadzie zachowania się cieczy w naczyniach połączonych mierzymy ciśnienie wewnątrz naczyń zamkniętych. W tym celu zagiętą rurkę A /rys. 64/ z obydwóch końców otwartą łączymy z otworem w ścianie naczynia /zbiornika/.

Jeżeli w naczyniu zamkniętym mamy ciśnienie p_n , wówczas do rurki A wejdzie część cieczy. Zależnie



rys.64.

od tego, czy ciśnienie p_n jest większe, równe, czy mniejsze od zewnętrznego, atmosferycznego, poziom cieczy w rurce zatrzyma się wyżej, niż poziom cieczy w naczyniu zamkniętym, albo na tym samym poziomie, lub

poniżej jego. Wysokość h , będąca różnicą poziomów cieczy w rurce i w naczyniu, jednocześnie mierzy różnicę ciśnień wewnątrz naczynia i zewnątrz jego, czyli t.zw. "nadciśnienie", mianowicie $h = \frac{p_n - p_a}{\gamma}$, jeśli γ oznacza ciężar właściwy cieczy.

Rurkę A nazywamy rurką piezometryczną lub piezometrem.

Rurka piezometryczna może być też w górnym końcu zamknięta. Jeżeli wówczas w końcu rurki utworzymy próżnię, ciecz wzniesie się wyżej w porównaniu z poprzednim stanem o wysokość $\frac{p_n}{\gamma}$. Taka wysokość słupa cieczy zmierzy teraz całkowite ciśnienie

nie p_n , gdyż wtedy:

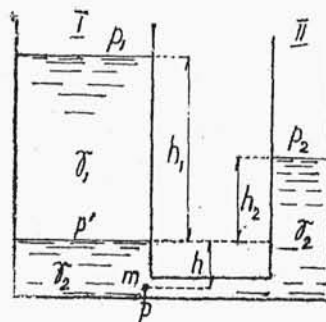
$$h = \frac{p_n}{\gamma} \quad /35/$$

Są też piezometry, w których w górnej części zamkniętej znajduje się powietrze do pewnego stopnia sprężone. W takim piezometrze ciecz podniesie się niżej, niż w piezometrze otwartym.

111. NACZYNIA POŁĄCZONE NAPEŁNIONE RÓŻNYMI CIECZAMI.

Mamy dwa naczynia połączone /rys.65/; jedno z nich napełniamy cieczą cięższą /cięż.własc.

γ_2 /, następnie do naczynia I wlewamy ciecz lżejszą /ciężar właściwy γ_1 /. Niech ciecze te nie mieszają się. Przypuśćmy, że na swobodną powierzchnię w naczyniu I działa ciśnienie p_1 , a II naczyniu ciśnienie p_2 . Dostrzegamy, że zwierciadła cieczy w naczyniach I i II znajdują się na wysokościach h_1 i h_2 od płaszczyzny rozdziału cieczy.



rys.65.

γ_2 /, następnie do naczynia I wlewamy ciecz lżejszą /ciężar właściwy γ_1 /. Niech ciecze te nie mieszają się. Przypuśćmy, że na swobodną powierzchnię w naczyniu I działa ciśnienie p_1 , a II naczyniu ciśnienie p_2 . Dostrzegamy, że zwierciadła cieczy w naczyniach I i II znajdują się na wysokościach h_1 i h_2 od płaszczyzny rozdziału cieczy.

Rozpatrzmy ciśnienie p w dowolnym punkcie m .

Jeśli ten punkt będziemy rozpatrywali jako należący do naczynia I, wówczas otrzymamy:

$$p = p' + \gamma_2 \cdot h ,$$

gdzie p' oznacza ciśnienie w płaszczyźnie rozdziału, które wyznaczymy, jak zwykle:

$$p' = p_1 + \gamma_1 h_1$$

zatem

$$p = p_1 + \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h .$$

Rozpatrując punkt m jako należący do naczynia II, otrzymamy:

$$p = p_2 + \gamma_2 (h_2 + h)$$

Jeśli przyrównamy ciśnienie p , obliczone z pierwszego i drugiego rozważania, znajdziemy:

$$p_1 + \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h = p_2 + \gamma_2 (h_2 + h) ,$$

stąd

$$p_2 - p_1 = \gamma_1 h_1 - \gamma_2 h_2 \quad /36/$$

W przypadku, kiedy $p_2 = p_1$, otrzymamy:

$$\gamma_1 h_1 = \gamma_2 h_2 ,$$

albo

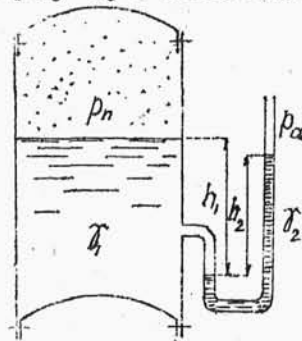
$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{h_2}{h_1} \quad /37/$$

t.j. powiemy, że ciężary właściwe dwóch cieczy są odwrotnie

proporcjonalne do wysokości -
ci tych cieczy, nalanych do naczyń po-
łączonych; wysokości winny być zmierzone o d
wspólnej płaszczyzny roz-
działu.

Powtarzamy, że może tu być mowa o takich dwóch
cieczach, które się nie mieszają, ani na siebie che-
micznie nie działają.

112. W art.110 była mowa o mierzeniu ciśnienia
przy pomocy tak zwanego piezometru. Przy znacznych
ciśnieniach p_n w naczyniu musiałyby być stosowane
rurki piezometryczne o
znacznej długości, co
stanowiłoby wielką nie-
dogodność.



rys.66.

Aby uniknąć długich
rurek piezometrycznych,
stosujemy rurkę zagiętą w postaci litery U i napeł-
nioną cieczą ciężką, naprz.rtęcią.

Stosunek wysokości i ciśnień znajdziemy według
równania /36/:

$$p_n - p_a = \gamma_2 h_2 - \gamma_1 h_1$$

Z tego równania określimy wielkość $(p_n - p_a)$, którą nazywamy n a d c i ś n i e n i e m .

Gdyby w naczyniu znajdowała się ciecz o ciężarze właściwym γ_1 bardzo małym w porównaniu z γ_2 /rtęci/, wtedy możemy odrzucić wyraz $\gamma_1 h_1$. Otrzymamy wówczas:

$$p_n - p_a = \gamma_2 h_2$$

albo

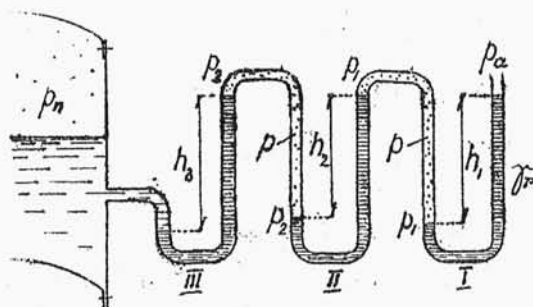
$$h_2 = \frac{p_n - p_a}{\gamma_2} \quad /38/$$

Podobne uproszczenie daje się z całą swobodą stosować wtedy, jeśli mamy naczynie napełnione gazem, którego ciężar właściwy jest bardzo mały w porównaniu z rtęcią; naprz. dla powietrza /przy ciśn. 1 at/ $\gamma_p = 1,25 \text{ kg/m}^3$, kiedy dla rtęci $\gamma_r = 13596 \text{ kg/m}^3$.

Rurka, którą zastosowaliśmy w opisany sposób do mierzenia ciśnienia, nazywana jest m a n o m e t r e m r t ę c i o w y m .

113. W przypadku znacznie większych ciśnień p_n dawniej stosowany był m a n o m e t r r t ę c i o - w y z ł o ż o n y . Na rysunku 67 mamy manometr

złożony z trzech pojedynczych rtęciowych manometrów. Niech przestrzenie w rurkach manometrycznych



rys.67.

będą wypełnione powietrzem sprężonym. Wtedy, wobec małego ciężaru właściwego powietrza, ciśnienie na początku i na końcu każdej przestrzeni ρ wypełnionej powietrzem można będzie przyjąć za jednakowe. Niech następnie ta ciecz, która się znajduje w naczyniu, ma ciężar właściwy nieznaczny w porównaniu z rtęcią; w takim razie możemy napisać:

dla I manometru :	$p_1 = p_\alpha + \gamma_r \cdot h_1$, następnie
" II "	$p_2 = p_1 + \gamma_r \cdot h_2$, wreszcie
" III "	$p_n = p_2 + \gamma_r \cdot h_3$	

po dodaniu
stronami
otrzymamy:

$$p_n = p_\alpha + \gamma_r (h_1 + h_2 + h_3).$$

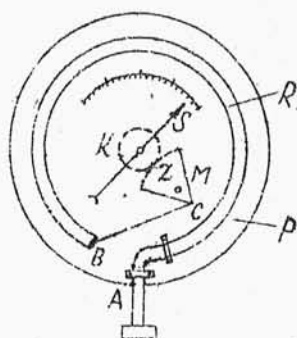
Stąd znajdziemy, że nadciśnienie w zbiorniku

$$p_n - p_\alpha = \gamma_r (h_1 + h_2 + h_3),$$

albo

$$h_1 + h_2 + h_3 = \frac{p_n - p_a}{\gamma_r}$$

114. Skorzystamy ze sposobności, kiedy jest mowa o manometrze rtęciowym, aby wskazać na dwa manometry metalowe, które służą do mierzenia nieraz bardzo znacznych ciśnień. Opiszemy manometr rurkowy systemu Burdona.



rys.68.

Zasadniczą częścią tego przyrządu jest metalowa rurka spłaszczona, zwinięta w okręg koła /rys. 68/. Rurka R jest spłaszczona w płaszczyźnie prostopadłej do

rysunku.

Koniec A rurki R jest umocowany nieruchomo do dna blaszanego pudełka P , drugi zaś, zamknięty koniec B rurki R jest swobodny. Do tego końca jest umocowany prętek BC , zaczepiony drugim końcem do wycinka kółka zębatego Z , mogącego obracać się około osi M . Wycinek Z jest szczepiony z kółkiem zębatym K .

Do osi kółka zębatego K umocowana jest strzałka S . Cały mechanizm mieści się w pudełku blaszanym, zamkniętym szybką szklaną.

Otwarty koniec A rurki R łączymy z naczyniem, w którym badamy ciśnienie. Wówczas gaz lub ciecz dostaje się do wnętrza rurki R i wywierając wewnątrz niej ciśnienie, odkształca rurkę. Ponieważ koniec A rurki jest unieruchomiony, zatem koniec B się przesuwa, a razem z nim pręcik BC . Skutkiem tego wycinek Z obraca się około swej osi, obracając kółko K i przymocowaną do niego strzałkę S o pewien kąt. Kąt ten tym większy będzie, im ciśnienie w rurce R będzie większe.

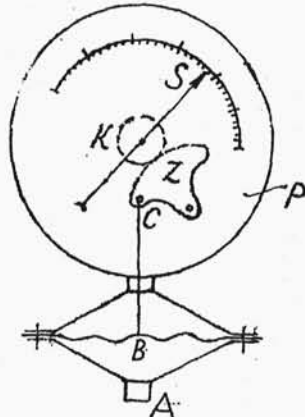
Koniec strzałki posuwa się ponad wykreśloną skalą z podziałkami, wskazującymi bądź atmosfery, bądź kg. na cm^2 , bądź jakieś inne stosowane jednostki.

Podziałki na skali są wykonane na zasadzie porównania ze wskazaniem manometru rtęciowego.

Podziałki danego manometru metalowego należy co pewien czas sprawdzać przez porównanie jego z manometrem normalnym, gdyż przy częstym używaniu manometru w materiale rurki R powstają stałe od-

kształcenia. Dodać tu należy, że kiedy manometr nie jest połączony z przestrzenią, w której mamy zmierzyć ciśnienie, wówczas strzałka stoi na zerze skali. Stąd wnioskujemy, że wskazania manometru dają nam nadciśnienia.

115. Drugi typ manometru metalowego jest to manometr z błoną /z diafragmą/. W tym



rys.69.

manetrze główną częścią jest metalowa błona /diafragma/ falista B , zaciśnięta między dwoma kołnierzami dolnej części manometru

/rys.69/. Do środka błony

umocowany jest pręcik BC , który przy pomocy wycinka koła zębatego Z może obracać koło zębate K . Na osi koła K jest nasadzona strzałka S .

Jeżeli dolny otwór A manometru połączymy z przestrzenią, której ciśnienie mamy zbadać, wówczas ciśnienie to, działając na błonę B z dołu, deformuje ją; skutkiem tego pręcik BC posuwa się i porusza wycinek Z , koło K i razem z nim strzałkę S . Strzałka na

wyrysowanej obok skali wskazuje wysokość ciśnienia pod błoną. Górna część manometru ujęta jest w pudełko, zamknięte z wierzchu szkłem.

Skala jest wyrysowana na zasadzie porównania wskazań manometru opisanego ze wskazaniem manometru rtęciowego.

Manometr błonowy wymaga również periodycznego sprawdzania przez porównanie z manometrem rtęciowym, gdyż sposób oddziaływania błony na ciśnienie z biegiem czasu się zmienia.

116. PRASA HYDRAULICZNA. Na zasadzie prawa Pascala jest urządzona t.zw. prasa hydrauliczna, przy której pomocy, możemy, korzystając z niewielkiego wysiłku, otrzymywać bardzo znaczne siły. Główne części prasy są następujące /rys.70/.

Nurnik o średnicy D i przekroju F , mogący poruszać się w nieruchomym cylindrze C_1 . Na górnym końcu nurnika na czopie jest osadzona mocna płyta 1. Płyta 1 może razem z nurnikiem odbywać ruchy na dół i do góry. Nad płytą 1 widzimy płytę 2, która przy pomocy dwóch lub czterech śrub 3,3 jest nieruchomo połączona z cylindrem C_1 .