

Twierdzenie Pascala.

Na zasadzie rozważań artykułu poprzedniego ustaliliśmy dla cieczy, znajdującej się w równowadze, następujący związek pomiędzy ciśnieniem, a potencjałem sil

$$p = \sigma U + C ;$$

Ze związku tego widać, iż przy zwiększeniu ciśnienia na powierzchnię cieczy o pewną dowolną wielkość, ciśnienie w całej cieczy wzrośnie o tę samą wielkość. Jeżeli teraz weźmiemy na uwagę, iż podług art.3, ciśnienie w danym punkcie cieczy nie zależy od kierunku, otrzymamy prawo Pascala, według którego ciśnienie wywarte na powierzchnię cieczy rozchodzi się w cieczy jednakowo we wszystkich kierunkach. Już Pascal zwracał uwagę na znaczenie swego prawa dla zastosowań technicznych. Równomierny rozkład ciśnień pozwalał bowiem otrzymywać za pomocą niewielkich wysiłków znaczne siły, o ile tylko umiejętnie dobierzemy przekroje tłoków, na które ciecz ma działać. Mimo to dopiero w XVIII w. angielski Bramah skonstruował prasę hydrauliczną.

§5. Śród mechanizmów tego typu wyróżniamy lewary, prasy hydrauliczne i akumulatory wodne.

Lewarem nazywamy niewielką prasę, służącą do podnoszenia ciężarów /rys.4/.



zaś dla tłoczka pompki $d = 10 \times 20$ mm., tak iż przy normalnych przekładniach dźwigni można wywołać ręcznie ciśnienie do 600 atm., przyjmując średnią siłę ludzką $P = 30$ kg. Jest rzeczą oczywistą, że przy tak wielkich ciśnieniach ważną rolę gra deszczelnianie tłoków. Uskuteczniamy je w ten sposób, że skórę grubości 5 - 6 mm., rozmiększoną w ciepłej wodzie, wytłaczamy w kształcie kołnierza K i zakładamy w pierścieniowych wydrążeniach cylindrów. Wówczas skóra twardnieje i dzięki własnej sprężystości oraz pod ciśnieniem wody dociska się bardzo szczelnie do tłoków. Mechanizm działania lewara jest w krótkości następujący: Wysuwając ręcznie tłoczek pompki, zasysamy dzięki podniesieniu się wentyla W_1 wodę, i w drugim suwle wtłaczamy ją przez wentyl W_2 do cylindra roboczego. Wówczas tłok T podnosi się do góry, mogąc pokonywać znaczne opory /kil-kaset tonn/. Należy jeszcze móc opuścić ten tłok, skoro już podniesienie żadanego ciężaru zostało uskutecznione. W tym celu zaopatrujemy tłoczek pompki w wysłający koniec, za pomocą którego otwiera on wentyl W_2 , pozwalając wodzie odpływać przez kanał dopływowy, albo za pomocą odpowiednich nacięć w tłoczku lub cylindrze pompki. Wskażemy jeszcze w rysach, jak można obliczać taki lewar. Jako opory szkodliwe, wchodzi tu głównie tarcie dociska-

nych skór. Zauważmy, że wysokość H takiego skózanego pierścienia wynosi przy małych średnicach $\frac{D}{3}$, przy większych zaś spada nawet do $\frac{D}{20}$. Otóż pierścienie skórzane dociskane są do powierzchni tłoków przez siły normalne

$\pi D H p$, gdzie przez p oznaczyliśmy ciśnienie. Stąd siły tarcia będą odpowiednio $\mu \pi D H p$ i $\mu \pi d h p$. Wobec tego tłok pompki działa nie z siłą $P \frac{L}{\ell}$, jakabyśmy wyliczyli, znając przekładnię $\frac{L}{\ell}$ dźwigni, lecz tylko z siłą $P \frac{L}{\ell} - \mu \pi d h p$. Natomiast tłok roboczy nie tylko podnosi ciężar Q , lecz jeszcze pokonuje siłę tarcia $\mu \pi D H p$

Wobec tego na tłok pompki działa ciśnienie

$$\frac{P \frac{L}{\ell} - \mu \pi d h p}{\pi d^2 / 4} = p$$

zaś na tłok roboczy ciśnienie

$$\frac{Q + \mu \pi D H p}{\pi D^2 / 4} = p$$

Opierając się na prawie Pascala, według którego ciśnienie wywarte na powierzchni cieczy rozchodzi się jednakowo we wszystkich kierunkach, musimy założyć, że ciśnienia te są jednakowe, a więc:

$$\frac{P \frac{L}{\ell} - \mu \pi d h p}{\pi d^2 / 4} = p \quad \text{ i } \quad \frac{Q + \mu \pi D H p}{\pi D^2 / 4} = p$$

Z pierwszej równości wynika, iż

$$p = P \frac{L}{\ell} \cdot \frac{1}{\frac{\pi d^2}{4} + \mu \pi d h}$$

tak iż z drugiej jest:

$$Q = p \left(\frac{\pi D^2}{4} - \mu \pi D H \right) = P \frac{L}{\ell} \cdot \frac{\frac{\pi D^2}{4} - \mu \pi D H}{\frac{\pi d^2}{4} + \mu \pi d h}$$

Widzimy tedy, iż wskutek tarcia nie osiągnęliśmy wartości Q/P , równej stosunkowi kwadratów średnic, jak to-
by miało miejsce w mechanizmie beztarciowym, lecz mniej.
Tak np. dla $\mu = 0,15$; $d = 1,5 \text{ cm}$. $D = 15 \text{ cm}$. $h = 0,5 \text{ cm}$;
 $H = 3 \text{ cm}$. $P = 30 \text{ kg}$; $L = 100 \text{ cm}$. $\ell = 5 \text{ cm}$.

mamy, iż

$$Q = 30 \cdot \frac{100}{5} \cdot \frac{\pi \cdot 15^2/4 - 0,15 \pi \cdot 15 \cdot 3}{\pi \cdot 1,5^2/4 + 0,15 \pi \cdot 1,5 \cdot 0,5} = 30 \cdot 20 \cdot \frac{56,2 - 6,75}{0,562 + 0,1125}$$

$$= 600 \cdot \frac{49,45}{0,675} = 44000 \text{ kg}$$

Cylinder A obliczamy wytrzymałościowo, jako naczynie podległe nadciśnieniu wewnętrznemu p , kładąc, iż jego grubość

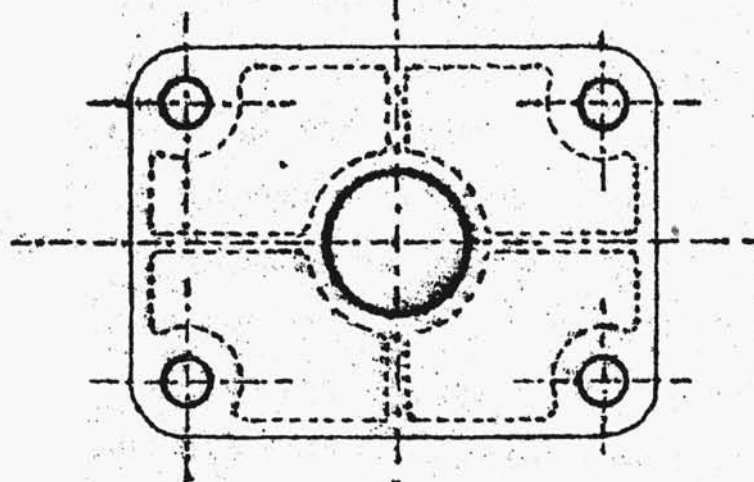
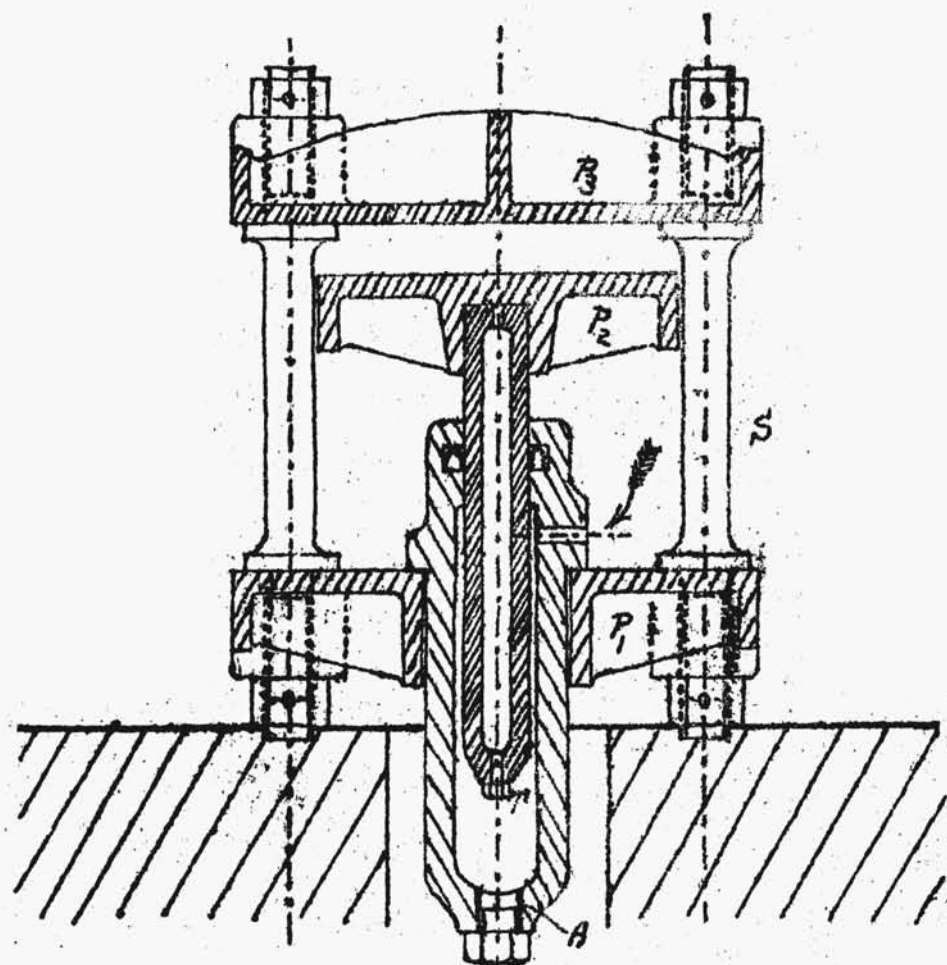
$$s = \frac{D}{2} \left[\sqrt{\frac{K_r + p}{K_r - p}} - 1 \right];$$

gdzie K_r jest współczynnikiem na rozrywanie. Stąd też nie jest wskazane używanie żelaza lanego przy większych ciśnieniach, bo dla $p = K_r$ staje się $s = \infty$, gdy tymczasem K_r wynosi dlań tylko 400. Ścianki bierzemy grube i dlatego, że pod ciśnieniem metale /szczególnie bronz/ stają się porowate. Nadto dno płaskie cylindra A jest specjalnie narażone na znaczne gięcie; musi mieć przeto grubość większą, niż ścianki boczne.

Prasa hydrauliczna pracuje naogół pod mniejszem ciśnieniem /300 atm./ niż lewar. Jest odeń jednak znacznie więk-

sza tak, iż wywiera większe siły. Ta niemożność osiągnięcia wyższych ciśnień objaśnia się tem, że przy dużych średnicach i wysokich ciśnieniach otrzymujemy zbyt grube ściany cylindrów, oraz tem, że w tych warunkach trudno jest otrzymać szczelność. Składa się ona /rys.5/ z cylindra A , wykonanego z odlewu stalowego, rzadziej żelaznego i tłoka T_1 , najczęściej z żelaza lanego, doszczelnionego w sposób taki sam, jak i lewar. Cylinder ze względu na znaczną długość, zależną od skoku tłoka, obrabiany bywa od wewnątrz za pomocą waku wiertniczego, musimy zatem w dnie cylindra wykonać otwór, zamknięty następnie korkiem gwintowanym lub specjalnem denkiem. Otwór ten zresztą potrzebny jest jeszcze i ze względu na odlew. Tłok, jeżeli jest lany, bywa zwykle wydrążony, a to w tym celu, aby otrzymać odlew ścisły, a zatem gładką powierzchnię, po uskutecznieniu obróbki zewnątrz. Cylinder, zaopatrzony w tym celu w specjalny kołnierz, opiera się na płycie

P_1 , która za pomocą długich śrub jest złączona z płytą P_3 ; do tej ostatniej tłok prasy dociska płytę P_2 , pracując w ten sposób żądane przedmioty. Śruby S , które oczywiście pracują na rozciąganie są często zaopatrzone w 2 nakrętki, aby móc płytę P_3 przesuwac, t.j. aby skracac lub wydłużac odstęp między płytami. Wodę pod odpowiedniem ciśnieniem otrzymujemy za pośrednictwem mocnej budowy pompy, zwanej hydrauliczną. Pompa ta jest często transmi-

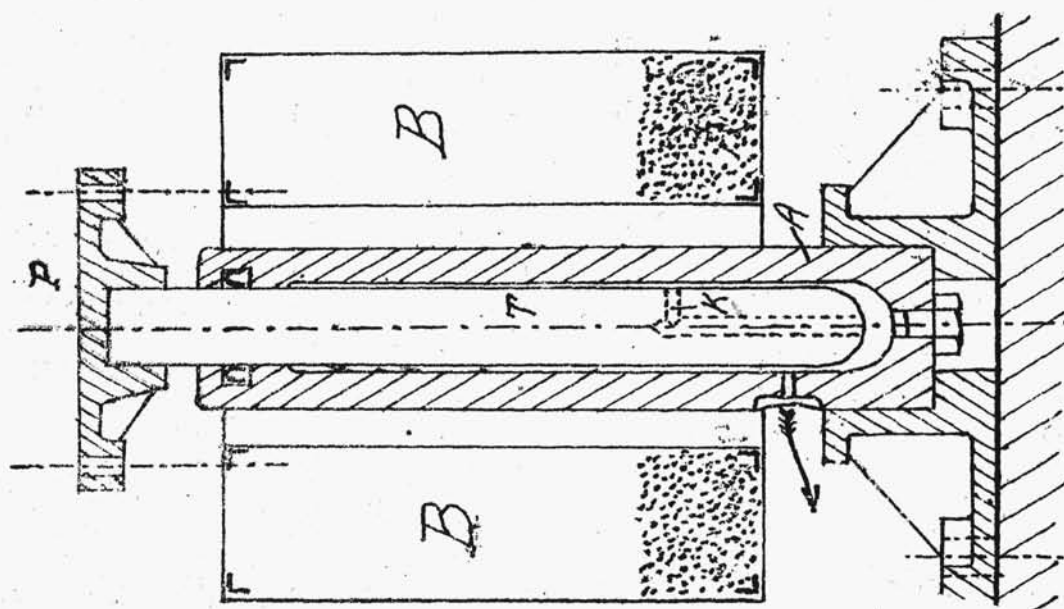


Rys. 5.

syjną lub parową, gdyż przy napędzie ręcznym działanie prasy jest zbyt powolne. Woda wtłaczana jest do cylindra prasy przez rurę, połączoną z cylindrem za pomocą kołnierza i śrub. Działanie pras połączone jest z natury rzeczy z przerwami, podczas których szykujemy przedmioty do prasowania. Jeżeli chcemy, aby podczas działania prasy prędkość tłoka była większa, niż to odpowiada wydatkowi pompy, to pompa pracuje bez przerwy, natomiast pomiędzy pompę i prasę wkładamy akumulator hydrauliczny.

Akumulator /rys.6/ jest podobny do prasy, składa się bowiem, jak i ona, z cylindra A i tłoka T . Różnica polega tylko na tym, że tłok wykonuje pracę, podnosząc bęben B z balastem i gromadząc tym sposobem energję potencjalną w postaci wody pod znacznem ciśnieniem. Otwierając w odpowiedniej chwili wentyl na rurze łączącej, wpuszczamy tę wodę pod wielkiem ciśnieniem do cylindra prasy hydraulicznej. Tak urządzony akumulator byłby narażony na niebezpieczeństwo przepełnienia i wypchnięcia tłoka. Aby tego uniknąć wiercimy w nim kanał K tak, iż skoro tylko górny otwór tego kanału wynurzy się z cylindra, nadmiar cieczy, dostarczanej przez pompę, wypływać będzie na zewnątrz i tłok nie wznieśnie się wyżej pomimo dalszego działania pompy. Akumulatory hydrauliczne stosowane są nie tylko do pras, lecz i w innych wypadkach, np. do dźwig-

nie hydraulicznych, pracujących na podobnej zasadzie, jak prasy.



Rys. 6

§ 6. Rozpatrzmy parę przykładów zastosowania powyższych danych teoretycznych.

ZADANIE. Znaleźć powierzchnie ekwipotencjalne dla cieczy doskonałej, zawartej w naczyniu w stanie równowagi.

Założmy początkowo, że wymiary naczynia są tak drobne, w porównaniu z promieniem ziemskim, iż można przyjąć część pola ciężenia ziemskiego w nim zawartą za pole jednostajne. Innymi słowy, na każdy element cieczy, zawartej w naczyniu /rys.7/, działają tylko stałe siły zewnętrzne, które pochodzą od ciężenia powszechnego. Obierając tedy