

ilością zawartej w nich cieczy. Pomimo tego, parcie na dno tych naczyń, jak wynika z powyższego wzoru, zachowuje jednakową wartość.

Tę pozorną sprzeczność określono nazwą paradoksu hydrostatycznego, który można sformułować w sposób następujący. Parcie na dno naczynia nie zależy od kształtu naczynia ani od ciężaru zawartej w nim cieczy, lecz zależy wyłącznie od ciężaru właściwego cieczy, głębokości dna pod zwierciadłem i od powierzchni dna.

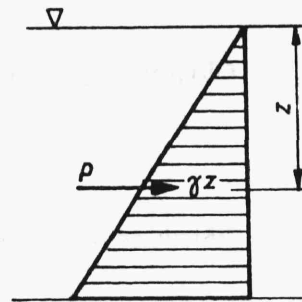
2.10.3. WYZNACZANIE PARCIA METODĄ WYKRESŁNĄ

Rozkład nadciśnienia panującego na ścianie płaskiej, pozostającej pod działaniem parcia hydrostatycznego można przedstawić graficznie w postaci wykresu ciśnienia, które zmienia się liniowo od zera na powierzchni swobodnej cieczy do $p = \gamma z$ (rys.2.26) na głębokości z .

Wykres ciśnienia działającego na rozważanym polu F (rys.2.26) stanowi podstawę do obliczania zarówno wielkości parcia, jak i położenia środka parcia. Parcie hydrostatyczne na ściankę płaską obliczyliśmy ze wzoru (2.34).

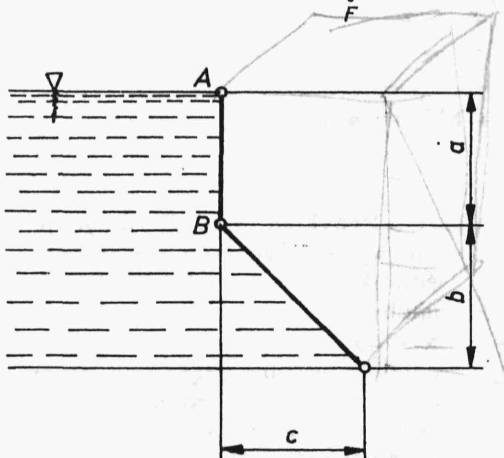
Iloczyn γz na wykresie ciśnień określa wartość ciśnienia na dowolnym elemencie powierzchni dF .

Biorąc pod uwagę, że $\gamma z dF = \gamma dV$ oraz uwzględniając wzór (2.34), otrzymamy



Rys.2.26

$$P = \int_F \gamma z dF = \gamma \int_F dV = \gamma V. \quad (2.42)$$



Rys.2.27

Przykład 2.5. Obliczyć parcie hydrostatyczne działające na załamana ścianę boczną zbiornika o długości l (rys.2.27).

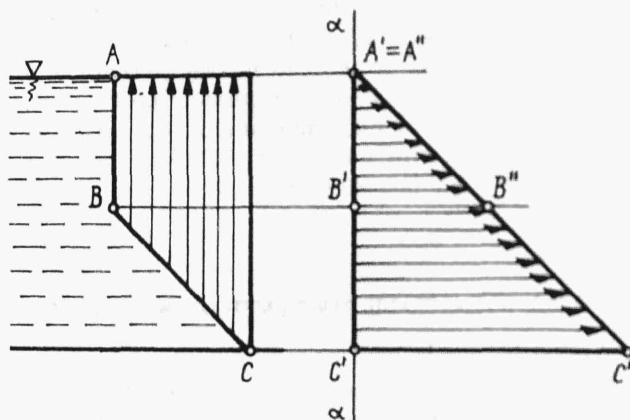
Rozwiązanie. Sporządzamy wykresy parć składowych (rys.2.28).

Objętość wykresu parcia pionowego jest równa

$$V_z = \frac{1}{2} c l (2a + b).$$

Składowa pionowa parcia

$$P_z = \frac{1}{2} \gamma c l (2a + b).$$



Rys. 2.28

Objętość wykresu parcia poziomego

$$V_x = \frac{1}{2} l (a + b)^2.$$

Składowa pozioma parcia

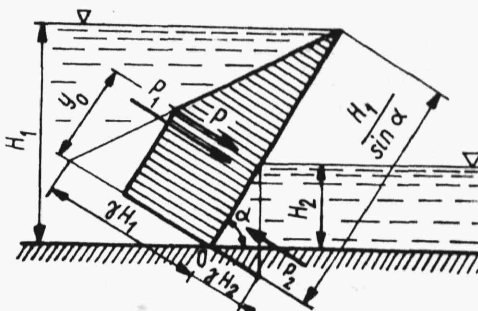
$$P_x = \frac{1}{2} \gamma l (a + b)^2.$$

Całkowite parcie wyraża się zależnością

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2},$$

ostatecznie

$$P = \frac{1}{2} \gamma l \sqrt{c^2 (2a + b)^2 + (a + b)^4}.$$



Rys. 2.29

Przykład 2.6. Obliczyć parcie wypadkowe na prostokątną ściankę o szerokości $b = 1$ m, nachyloną do poziomu pod kątem $\alpha = 45^\circ$ oraz położenie środka parcia. W obu częściach zbiornika przedzielonego tą ścianką znajduje się woda ($\gamma = 1 \text{ T/m}^3$) do wysokości $H_1 = 4,5$ m i $H_2 = 2,5$ m (rys. 2.29).

Rozwiązanie. Parcie wypadkowe P działające na ściankę będzie równe

$$P = P_1 - P_2,$$

gdzie: P_2 - parcie na ściankę z prawej strony,

P_1 - parcie z lewej strony.

Wielkości P_1 i P_2 obliczymy ze wzoru (2.39):

$$P_1 = \gamma z_{s_1} F_1;$$

$$P_2 = \gamma z_{s_2} F_2,$$

$$\text{gdzie: } z_{s_1} = \frac{H_1}{2}, \quad z_{s_2} = \frac{H_2}{2},$$

$$F_1 = \frac{H_1}{\sin \alpha} b, \quad F_2 = \frac{H_2}{\sin \alpha} b$$

stąd

$$P_1 = \gamma \frac{H_1^2 b}{2 \sin \alpha} = 1 \cdot \frac{4,5^2 \cdot 1}{2 \sin 45^\circ} = 14,3 \text{ T},$$

$$P_2 = \gamma \frac{H_2^2 b}{2 \sin \alpha} = 1 \cdot \frac{2,5^2 \cdot 1}{2 \sin 45^\circ} = 4,4 \text{ T}.$$

Parcie

$$P = P_1 - P_2 = \frac{\gamma b}{2 \sin \alpha} (H_1^2 - H_2^2) = 14,3 - 4,4 = 9,9 \text{ T}.$$

Znacznie prościej wyznacza się wypadkowe parcie P metodą graficzną. Oblicza się objętość V zakreskowanego na rysunku 2:29 wykresu ciśnień:

$$V = V_1 - V_2,$$

$$V_1 = \frac{b \gamma H_1^2}{2 \sin \alpha} ; \quad V_2 = \frac{b \gamma H_2^2}{2 \sin \alpha} ,$$

a więc

$$P = V = \frac{b \gamma}{2 \sin \alpha} (H_1^2 - H_2^2) .$$

Współrzedną środka parcia P_1 wyznaczmy na podstawie wzoru (2.39)

$$z_{N1} = z_{S1} + \frac{J_{s1} \sin^2 \alpha}{z_{s1} F_1} = \frac{H_1}{2} + \frac{\left(\frac{H_1}{\sin \alpha} \right)^3 \frac{b}{12} \sin^2 \alpha}{\frac{H_1}{2} \frac{H_1 b}{\sin \alpha}} = \frac{2}{3} H_1$$

oraz z zależności (2.42)

$$y_{N1} = \frac{z_{N1}}{\sin \alpha} = \frac{2 H_1}{3 \sin \alpha} = 4,24 \text{ m} .$$

Analogicznie obliczymy współrzędne środka parcia P_2 :

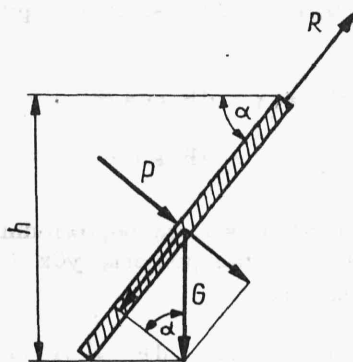
$$z_{N2} = z_{S2} + \frac{J_{S2} \sin^2 \alpha}{z_{S2} F_2} = \frac{H_2}{2} + \frac{\left(\frac{H_2}{\sin \alpha} \right)^3 \frac{b}{12} \sin^2 \alpha}{\frac{H_2}{2} \frac{H_2 b}{\sin \alpha}} = \frac{2}{3} H_2 ,$$

$$y_{N2} = \frac{z_{N2}}{\sin \alpha} = \frac{2 H_2}{3 \sin \alpha} = 2,36 \text{ m} .$$

Przykład 2.7. Zasuwa nachylona pod kątem $\alpha = 65^\circ$ względem zwierciadła wody zamyka kanał o wysokości $h = 1,4$ m i szerokości $b = 1800$ mm. Ciężar zasuwy $G = 200$ kG. Obliczyć siłę potrzebną do jej podniesienia, jeżeli współczynnik tarcia $f = 0,4$ (rys.2.30).

Rozwiązanie. Parcie na zasuwę

$$P = b \frac{h}{\sin \alpha} \frac{h}{2} \gamma g = 1,8 \cdot \frac{1,4}{\sin 65^\circ} \cdot \frac{1,4}{2} \cdot 1000 \cdot 9,81 = 19100 \text{ N} .$$



Rys. 2.30

Siła podnosząca przy uwzględnieniu ciężaru własnego

$$R = G \sin \alpha + (P + G \cos \alpha) f =$$

$$= 200 \cdot 9,81 \cdot 0,906 + (19100 + 200 \cdot 9,81 \cdot 0,42) \cdot 0,4 = 9731,52 \text{ N.}$$

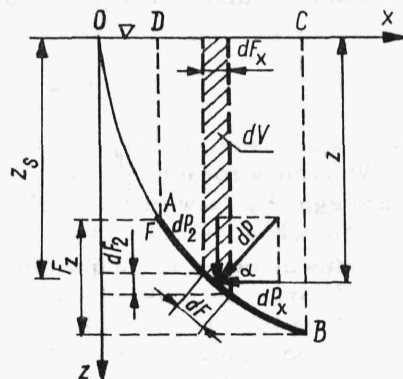
2.11. PARCIE CIECZY NA POWIERZCHNIĘ KRZYWE

Parcie na krzywą powierzchnię można przedstawić jako sumę geometryczną wektorów parć elementarnych, prostopadłych do odpowiednich elementów rozważanej powierzchni i działających w różnych kierunkach. Obliczanie parcia sprowadza się do znalezienia jego rzutów na kierunki osi współrzędnych.

Rozważmy prosty przypadek powierzchni cylindrycznej AB, której tworzące są prostopadłe do płaszczyzny x z (rys.2.31). Skierujmy oś x wzdłuż powierzchni swobodnej cieczy, a oś z pionowo w dół.

Obierzmy na powierzchni F element dF o głębokości z pod zwierciadłem cieczy. Parcie elementarne w kierunku prostopadłym do powierzchni elementu będzie równe

$$dP = \gamma z dF.$$



Rys. 2.31