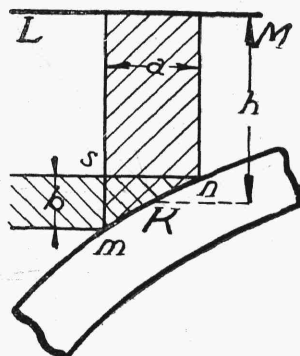


zakładamy, że jest ono równomierne na małym odcinku  $sm$  i wobec tego równa się (rys. 429):

$$Z_2 = b \cdot \gamma \cdot h \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (872)$$

t.j. iloczynowi parcia jednostkowego przez rzut powierzchni  $mn$  na płaszczyznę pionową.

Za punkt zaczepienia zarówno parcia poziomego, jak i pionowego, uważamy środek odcinka  $mn$ . (Przyjmujemy tutaj, że  $\phi_m = 0$ ).

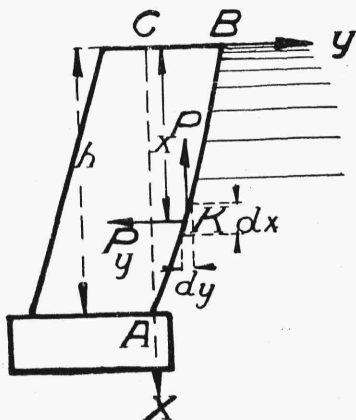


Rys. 429.

W wypadku szczególnym, gdy kąt tarcia  $\phi_s$  równy jest zeru, wzór (857) dla parcia jednostkowego przekształca się we wzór:

$$z = \gamma \cdot x = p \quad (873)$$

gdzie  $p$  jest to jednostkowe parcie (ciśnienie) hydrostatyczne.



Rys. 430.

Parcie hydrostatyczne na część muru  $ds$  (rys. 430) równa się  $pds$ , gdzie  $ds$  oznacza długość odcinka śladu tylnej powierzchni muru. Odpowiednio pozioma i pionowa składowa tego parcia równa się  $\gamma x dx$  i  $\gamma x dy$ , wobec czego dla całkowitego parcia poziomego i pionowego cieczy mamy, że:

$$P_x = \int_0^h \gamma x dx = \frac{\gamma h^2}{2} \quad (874)$$

$$P_y = \gamma \int_0^h x dy = \gamma \cdot \text{pole } ABC \quad (875)$$

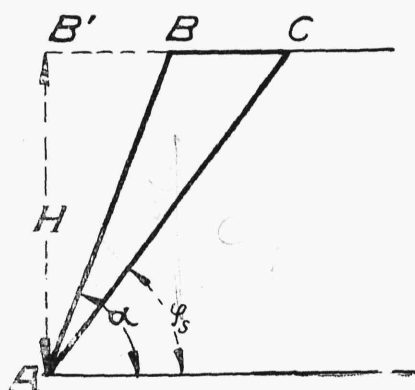
## 5. Stateczność stoków.

W masach ziemnych niepodpartych, np. w nasypach, wykopach i t.p. spoistość ziemi daje się dostrzec i zmierzyć łatwiej, niż w masach podpartych.

Wobec tego obliczenie stateczności mas niepodpartych możemy nie-raz z powodzeniem oprzeć na spoistości ziemi. Odpowiednie obliczenia porównawcze wykazują, że dla pewnych gatunków ziemi uwzględnienie

spoistości jest właściwe, dla innych zaś bezpieczniej jest oprzeć obliczenie na tarcu (por. § 1).

Bierzemy masę ziemną, ograniczoną od góry płaszczyzną poziomą a z boku płaszczyzną nachyloną względem poziomu pod kątem  $\alpha$ . Uwzględniając spoistość ziemi, przyjmujemy, że powierzchnia odłamu  $AC$  jest płaska i przechodzi przez krawędź  $A$  (rys. 431).



Rys. 431.

Ciężar klina odłamu równa się w danym wypadku:

$$G = \gamma \cdot \text{pole } ABC = \gamma \cdot \text{pole } (AB'C - AB'B) =$$

$$= \gamma \frac{H^2}{2} (\text{ctg } \varphi_s - \text{ctg } \alpha) \quad (876)$$

Opór spoistości w płaszczyźnie  $AC$  równa się (w założeniu, iż jest równo miernie rozłożony w tej płaszczyźnie):

$$S = \frac{cH}{\sin \varphi_s}$$

gdzie  $c$  oznacza spoistość ziemi w  $\text{t/m}^2$ .

Składowa ciężaru klina odłamu równoległa do  $AC$  równa się:

$$R = \frac{\gamma H^2}{2} (\text{ctg } \varphi_s - \text{ctg } \alpha) \cdot \sin \varphi_s \quad (877)$$

Dla równowagi potrzeba, aby  $R = S$ , co prowadzi do równania następującego:

$$\frac{\gamma H^2}{2} (\text{ctg } \varphi_s - \text{ctg } \alpha) \cdot \sin \varphi_s = \frac{cH}{\sin \varphi_s} \quad (878)$$

Rozwiązujemy to równanie względem  $\text{ctg } \alpha$ :

$$\text{ctg } \alpha = \text{ctg } \varphi_s - \frac{2c}{\gamma H} (1 + \text{ctg}^2 \varphi_s)$$

lub

$$\text{ctg } \alpha = x - \frac{2c}{\gamma H} (1 + x^2) = U \quad (879)$$

gdzie

$$x = \text{ctg } \varphi_s$$

Aby znaleźć największy kąt  $\alpha$ , jaki można nadać stokowi  $AB$  przy danej wysokości  $H$  znajdujemy  $\min \text{ctg } \alpha$ .

W tym celu rozwiązujemy równanie:

$$\frac{dU}{dx} = 0 \quad (880)$$

czyli równanie:

$$\frac{dU}{dx} = 1 - \frac{4cx}{\gamma H} = 0$$

Otrzymujemy, że:

$$x = \operatorname{ctg} \varphi_s = \frac{\gamma H}{4c} \quad \operatorname{tg} \varphi_s = \frac{4c}{\gamma H} \quad (881)$$

stąd:

$$\min \operatorname{ctg} \alpha = \frac{\gamma H}{4c} - \frac{2c}{\gamma H} \left( 1 + \frac{\gamma^2 H^2}{16c^2} \right) = \frac{\gamma^2 H^2 - 16c^2}{8\gamma Hc} \quad (882)$$

Z równania tego wynika, że w razie zmiany wysokości  $H$ , ulegnie zmianie i największy możliwy kąt  $\alpha$  nachylenia stoku. Aby tej zależności nadać więcej przejrzystości, rozwiązujemy ostatnie równanie względem  $H$ :

$$\gamma^2 H^2 - 8\gamma Hc \operatorname{ctg} \alpha - 16c^2 = 0$$

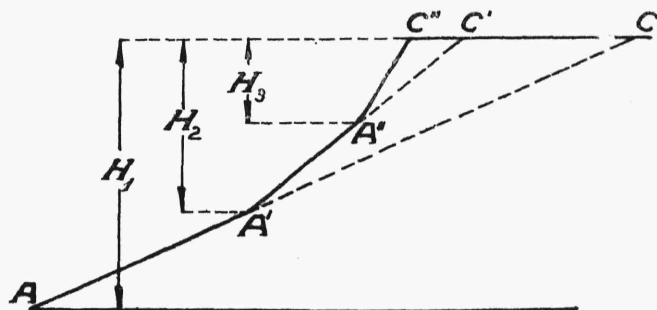
$$\begin{aligned} H &= \frac{4\gamma c \operatorname{ctg} \alpha \pm \sqrt{16\gamma^2 c^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 16\gamma^2 c^2}}{\gamma^2} = \\ &= \frac{4c \operatorname{ctg} \alpha \pm 4c \sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha}}{\gamma} = \frac{4c}{\gamma} \left( \operatorname{ctg} \alpha \pm \frac{1}{\sin \alpha} \right) = \\ &= \frac{4c}{\gamma} \left( \frac{1 + \cos \alpha}{\sin \alpha} \right) = \frac{4c}{\gamma} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \quad (883) \end{aligned}$$

$$H = \frac{4c}{\gamma} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \quad \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = \frac{H\gamma}{4c} \quad (884)$$

Porównyując ze sobą równania (881) i (884) widzimy, że przy danym  $H$ ,  $\varphi_s = \frac{\alpha}{2}$  czyli, że płaszczyzna odłamu jest dwusieczną kąta nachylenia płaszczyzny stoku.

Z równania (884) wynika, że tem większy może być kąt  $\alpha$  stoku, im mniejsza jest jego wysokość. Tem też tłumaczy się kształt nadawany stokom nasypów i przedstawiony na rys. 432. Kształt ten powstał na zasadzie następującego rozumowania,

Dzielimy wysokość stoku na odcinki. Dla wysokości  $H_1$  otrzymujemy ze wzoru (884) stok  $AC$ . W punkcie  $A'$ , którego odległość pod naziemem wynosi  $H_2$  sypiemy ziemię, która przy wysokości  $H_2$  otrzyma stok  $A'C'$ . W dalszym ciągu dla wysokości  $H_3$  otrzymamy stok  $A''C''$ . Pomijamy w naszym rozumowaniu obciążenie stoku  $AC$  bryłą  $A'A''C''C$ , a stoku  $A'C'$  przez bryłą  $A''C''C'$ . Obciążenia te mogłyby wprowadzić zmniejszyć odpowiednio kąty stoków, nie wpłynęłyby jednak na ogólny kształt stoku  $AA'A''C''$ .



Rys. 432.

Przy nieskończenie małych różnicach  $\Delta H = H_1 - H_2$  linia łamana  $AA'A''C''$  staje się linią krzywą.

Porównujemy dla trzech różnych wysokości stoku  $H$  kąty nachylenia w założeniu spoistości ziemi i w założeniu tarcia.

W tym ostatnim wypadku kąt  $\phi_s$  nie jest zależny od wysokości.

Dla suchego piasku mamy:<sup>1)</sup>

$$\phi_s = 35^\circ \quad c = 0,020 \text{ t/m}^2 \quad \gamma = 1,640 \text{ t/m}^3$$

$$H = 3 \text{ m.} \quad \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 3 \cdot \frac{1,640}{4 \cdot 0,020} = 6,15 \quad \alpha = 18^\circ < 35^\circ$$

$$H = 6 \text{ m.} \quad \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 12,30 \quad \alpha = 10^\circ < 35^\circ$$

$$H = 9 \text{ m.} \quad \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 18 \quad \alpha = 6^\circ < 35^\circ$$

$$\text{Dla suchej gliny } \phi_s = 40^\circ \quad c = 0,6 \text{ t/m}^2 \quad \gamma = 1,5 \text{ t/m}^3$$

$$H = 3 \text{ m.} \quad \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 3 \cdot \frac{1,5}{4 \cdot 0,6} = 1,88 \quad \alpha = 56^\circ > 40^\circ$$

<sup>1)</sup> Wartości  $c$  według „Podręcznika Statyki Budowli“ prof. M. Thulliego.

$$H = 6 \text{ m.} \quad \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 3,76 \quad \alpha = 30^\circ < 40^\circ$$

$$H = 9 \text{ m.} \quad \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 5,64 \quad \alpha = 20^\circ < 40^\circ$$

$$\text{Dla żwiru rzecznoego } \psi_s = 30^\circ \quad c = 1,5 \text{ t/m}^2 \quad \gamma = 1,8 \text{ t/m}^3$$

$$H = 3 \text{ m.} \quad \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 3 \cdot \frac{1,8}{4 \cdot 1,5} = 0,9; \quad \alpha = 96^\circ > 30^\circ$$

$$H = 6 \text{ m.} \quad \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 1,8 \quad \alpha = 58^\circ > 30^\circ$$

$$H = 9 \text{ m.} \quad \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 2,7 \quad \alpha = 40^\circ > 30^\circ$$

Jeżeli ziemia niepodparta trzyma się tarcie, wówczas kąt nachylenia płaszczyzny odłamu  $\varphi_s = \psi_s = \alpha$ . Jeżeli ziemia znajduje się pod wpływem spoistości, to stok ma nachylenie  $\alpha$ , jeżeli jednak  $\frac{\alpha}{2}$  staje się większe od  $\varphi_s$ , wówczas ziemia po przewyciężeniu spoistości klina będzie się utrzymywała tarcie przy kącie stoku  $\alpha = \psi_s$ .

Spoistość ziemi  $c$  możemy obliczyć ze wzoru (884). W tym celu przy danych  $H$  i  $\gamma$  bierzemy szereg wartości dla  $\alpha$ , zauważamy, przy której z nich ma miejsce obsuwanie się stoku, i dla niej wyznaczamy  $c$ .

## 6. Odpór ziemi.

Kiedy mówimy o parciu ziemi na mury, mamy na widoku siły skierowane od strony ziemi w stronę muru i mogące wywołać wywrócenie się muru w kierunku od ziemi.

Może się jednak zdarzyć, że na mur w kierunku ku ziemi działają siły poziome, których wypadkowa większa jest niż parcie ziemi na mur. W tym wypadku siły poziome za pośrednictwem muru mogą dążyć do oddzielenia od masy ziemnej za murem pewnej bryły i do przesunięcia jej po pozostałej masie ziemnej. Tego rodzaju przesunięciu masa ziemna stawia opór, zwany odporem ziemi lub biernym parciem.

Ze względu na stateczność muru interesuje nas przede wszystkim odpór  $Z^0$ , jaki ziemia za murem dać musi w warunkach najmniej nawet korzystnych, podobnie jak przy wyznaczaniu czynnego parcia ziemi interesowało nas największe parcie możliwe  $Z$ .