

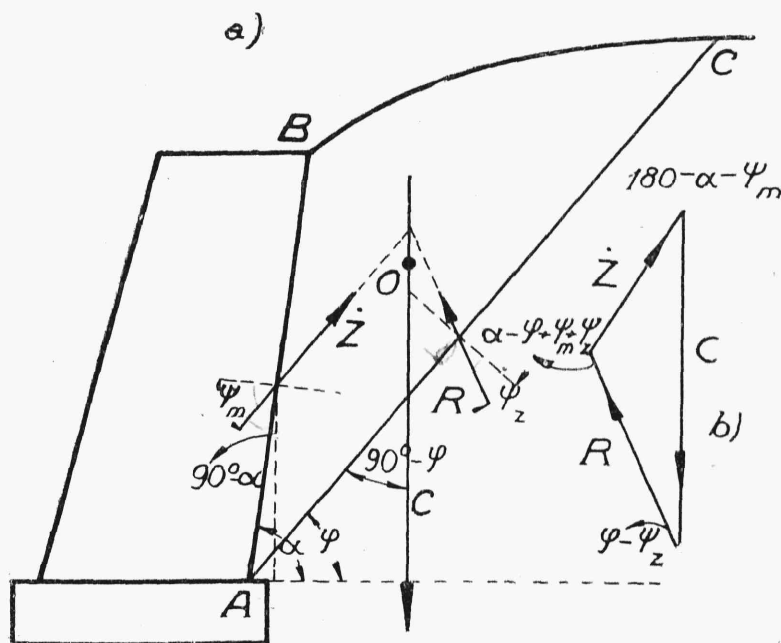
Założenia 1 i 2 zostały w znacznym stopniu potwierdzone przez doświadczenia, które wykazały, że powierzchnia odłamu  $AC$  istotnie mało się różni od płaszczyzny<sup>1)</sup>. Nachylenie płaszczyzny odłamu względem pionu tłumaczy się tem, że jest ono bliskie do kierunku naprężeń ścinających (największych) w bryle ziemnej, która naprężeniom tym opierać się nie może.

Założenie 3 tłumaczy się w ten sposób, że skoro nie możemy określić, który z możliwych klinów odłamu wywiera parcie na mur, to musimy się liczyć w obliczeniu stateczności muru z tym klinem, który wywołuje parcie największe.

Sam Coulomb nie uwzględniał tarcia w płaszczyźnie  $AB$  (rys. 415), co nieraz robi się i obecnie w obliczeniach murów na korzyść bezpieczeństwa. Ten wypadek może być jednak rozpatrywany, jako wypadek szczególny obliczenia, uwzględniającego tarcie ziemi po murze.

## 2. Wyznaczenie parcia ziemi na powierzchnię płaską.

W myśl trzeciego założenia Coulomb'a (vid. paragraf poprzedni), ob-



Rys. 416.

liczenie parcia ziemi polegać będzie na wyznaczeniu sił  $Z$ , utrzymujących w równowadze poszczególne kliny  $ABC$  (rys. 416), uważane za kliny odłamu,

<sup>1)</sup> F. Kötter, op. cit.

i na wybraniu z pośród nich największej siły, t. j.  $\max \dot{Z}$ , równej poszukiwanemu parciu ziemi  $Z$ . Zagadnienie rozpatrujemy, jako płaskie.

Klin  $ABC$  znajduje się w chwili, poprzedzającej przesuwanie się jego po płaszczyźnie  $AC$ , pod działaniem sił następujących (rys. 416):

- 1° ciężaru własnego ziemi w nim zawartej  $C$ ,
- 2° reakcji muru  $\dot{Z}$ ,
- 3° reakcji pozostałej nieruchomej części bryły ziemnej  $R$ .

Wskutek tarcia, działającego stycznie do powierzchni  $AB$  i  $AC$  linie działania  $\dot{Z}$  i  $R$  są nachylone względem normali do tych płaszczyzn odpowiednio pod kątami  $\phi_m$  i  $\phi_s$ .

Kąt  $\phi_s$  równa się np. dla suchego piasku  $30^\circ - 35^\circ$ , dla gliny suchej  $40^\circ$ , dla żwiru rzecznoego  $30^\circ$ , dla mokrej gliny  $20^\circ$  i t.d. Kąt  $\phi_m$  stanowi zwykle około 70% kąta  $\phi_s$ .

Litery  $\alpha$  i  $\varphi$  oznaczają na rys. 416 odpowiednio kąty nachylenia płaszczyzn  $AB$  i  $AC$  względem poziomu.

Ponieważ klin  $ABC$  znajduje się w stanie równowagi, więc wektory sił  $\dot{Z}$ ,  $C$  i  $R$  tworzą zamknięty trójkąt sił, przedstawiony na rys. 416b.

Poszczególne kąty tego trójkąta równe są:

$$\text{kąt } (R, C) = 180^\circ - 90^\circ + \varphi - 90^\circ - \phi_s = \varphi - \phi_s$$

$$\text{kąt } (\dot{Z}, C) = 90^\circ - \alpha + 90^\circ - \phi_m = 180^\circ - \alpha - \phi_m \quad (830)$$

$$\text{kąt } (\dot{Z}, R) = 180^\circ - (\varphi - \phi_s) - (180^\circ - \alpha - \phi_m) = \alpha - \varphi + \phi_s + \phi_m$$

Siłę  $\dot{Z}$  wyznaczamy bezpośrednio z trójkąta sił  $\dot{Z}$ ,  $C$ ,  $R$ :

$$\dot{Z} = C \cdot \frac{\sin(\varphi - \phi_s)}{\sin(\alpha - \varphi + \phi_s + \phi_m)} \quad (831)$$

Równanie to dotyczy wszystkich płaszczyzn przechodzących przez krawędź  $A$ . Uważając w równaniu (831) kąt  $\varphi$  (kąt odłamu) za wielkość zmienną, możemy w formie ogólnej ustawić zależność następującą;

$$\dot{Z} = F(\varphi) \quad (832)$$

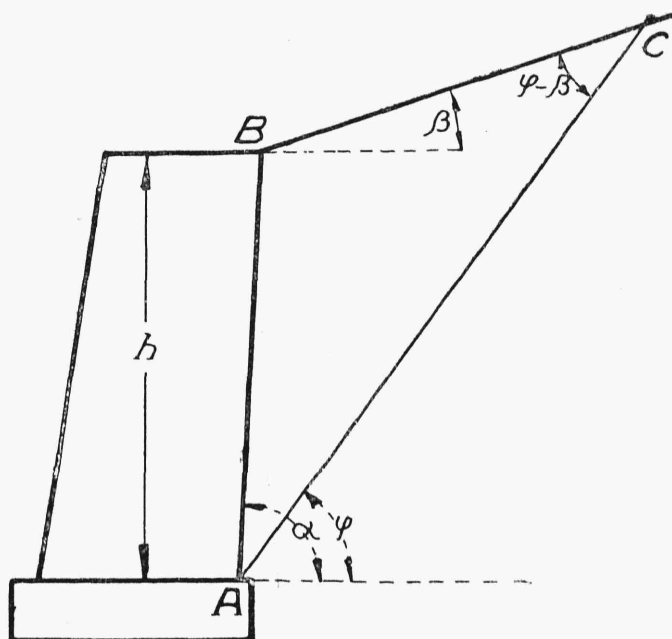
Ponieważ parcie ziemi  $Z$  równa się największej z sił  $\dot{Z}$ , możemy więc wyznaczyć tę siłę, zarówno jak i odpowiednie nachylenie płaszczyzny  $AC$ , t. j. płaszczyzny odłamu, z warunku maximum, czyli z równania następującego:

$$\frac{dF(\varphi)}{d\varphi} = 0 \quad (833)$$

Dla możliwości rozwiązania równania (833) musimy określić ciężar klina odłamu w zależności od kąta  $\varphi$  i w zależności od kształtu powierzchni naziomu.

W większości zagadnień praktycznych naziom jest albo płaski, albo składa się z paru przecinających się płaszczyzn.

Rozpatrujemy pierwszy z tych wypadków (rys. 417) i oznaczamy przez  $\beta$  kąt nachylenia naziomu względem płaszczyzny poziomej a przez  $h$  wysokość muru podporowego.



Rys. 417.

Ciężar klina odłamu równa się iloczynowi ciężaru jednostkowego ziemi  $\gamma$  przez pole trójkąta  $ABC$  i przez długość muru równą w danym wypadku  $l$ .

Dla pola trójkąta korzystamy ze wzoru:

$$\text{pole } ABC = \frac{l}{2} \cdot AB \cdot AC \cdot \sin(\alpha - \varphi)$$

Kąty trójkąta  $ABC$  równe są odpowiednio:

$$\text{ką} (AB, AC) = \alpha - \varphi$$

$$\text{ką} (BA, BC) = 180^\circ - \alpha + \beta$$

$$\text{ką} (CB, CA) = 180^\circ - (\alpha - \varphi) - (180 - \alpha + \beta) = \varphi - \beta$$

Otrzymujemy zależność:

$$\frac{AB}{AC} = \frac{\sin(\varphi - \beta)}{\sin(\alpha - \beta)}$$

Ponieważ zaś  $AB = \frac{h}{\sin \alpha}$ , dochodzimy więc do wzoru następującego:

$$C = \frac{\gamma}{2} \cdot \frac{h^2 \sin(\alpha - \beta) \cdot \sin(\alpha - \varphi)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\varphi - \beta)} \quad (834)$$

W związku z otrzymanym wzorem dla  $C$ , nadajemy wzorowi (831) dla  $\dot{Z}$  postać następującą:

$$\dot{Z} = \frac{\gamma}{2} \cdot \frac{h^2 \sin(\alpha - \beta) \cdot \sin(\alpha - \varphi)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\varphi - \beta)} \cdot \frac{\sin(\varphi - \phi_s)}{\sin(\alpha - \varphi + \phi_m + \phi_s)} \quad (835)$$

Aby otrzymać stąd parcie ziemi  $Z$ , obliczamy pochodną  $\frac{dF(\varphi)}{d\varphi}$ , czyli pochodną  $\frac{d\dot{Z}}{d\varphi}$  i ustawiamy równanie (833).

Wartość kąta  $\varphi$ , otrzymana z tego równania, będzie kątem nachylenia płaszczyzny odłamu, a wstawiona we wzór (835) da nam  $\max \dot{Z}$  czyli  $Z$ .

Wykonamy powyższe obliczenie dla wypadku, gdy tylna powierzchnia muru jest pionowa i gdy w kierunku stycznym do niej nie ma tarcia.

Zakładamy więc w równaniu (835):  $\alpha = 90^\circ$  i  $\phi_m = 0$ , poczem otrzymujemy:

$$\begin{aligned} \dot{Z} &= \frac{\gamma h^2}{2} \cdot \cos \beta \cdot \frac{\cos \varphi \cdot \sin(\varphi - \phi_s)}{\sin(\varphi - \beta) \cdot \cos(\varphi - \phi_s)} = \\ &= \frac{\gamma h^2}{2} \cdot \cos \beta \cdot \frac{\cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \phi_s)}{\sin(\varphi - \beta)} \end{aligned} \quad (836)$$

W dalszym ciągu opuszczamy znaczek przy  $\phi$ .

Iloczyn wszystkich wyrazów, nie zawierających  $\varphi$ , oznaczamy tu przez  $k$ , poczem wzór (836) przekształcamy, rozwijając funkcje trygonometryczne i zakładając  $\operatorname{ctg} \varphi = x$ .

W ten sposób wzór dla  $\dot{Z}$  przybiera następującą postać:

$$\begin{aligned}\dot{Z} &= k \cdot \frac{\cos \varphi (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \phi)}{(\sin \varphi \cdot \cos \beta - \cos \varphi \cdot \sin \beta) (1 + \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \phi)} \\ &= \frac{k \operatorname{ctg} \varphi (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \phi)}{(\cos \beta - \operatorname{ctg} \varphi \cdot \sin \beta) (1 + \frac{1}{x} \operatorname{tg} \phi)} = \frac{k (x - x^2 \operatorname{tg} \phi)}{(\cos \beta - x \sin \beta) (x + \operatorname{tg} \phi)} = \\ &= k \cdot \frac{x - x^2 \operatorname{tg} \phi}{x \cos \beta - x^2 \sin \beta + \operatorname{tg} \phi \cdot \cos \beta - x \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \phi} \quad (837)\end{aligned}$$

Ponieważ mianownik otrzymanego ułamka nie może być równy nieskończoności, więc możemy przyrównać do zera sam tylko licznik pochodnej  $\frac{d\dot{Z}}{dx}$ .

$\frac{d^2}{dx^2}$

Otrzymamy wówczas co następuje:

$$\begin{aligned}(1 - 2x \operatorname{tg} \phi) (x \cos \beta - x^2 \sin \beta + \operatorname{tg} \phi \cos \beta - x \operatorname{tg} \phi \sin \beta) - \\ - (x - x^2 \operatorname{tg} \phi) (\cos \beta - 2x \sin \beta - \operatorname{tg} \phi \sin \beta) = 0\end{aligned}$$

Rozwijamy nawias, robimy redukcję i dzielimy równanie przez  $\operatorname{tg} \varphi \cos \beta$ :

$$\begin{aligned}x^2 \cdot \left( \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \phi} - 1 + \operatorname{tg} \phi \cdot \operatorname{tg} \beta \right) - 2x \operatorname{tg} \phi + 1 = 0 \\ \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \phi} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \phi) - 1 = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \phi} \cdot \frac{1}{\cos^2 \phi} - 1 = \frac{2 \operatorname{tg} \beta}{\sin 2\beta} - 1 \\ x^2 \cdot \left( 1 - \frac{2 \operatorname{tg} \beta}{\sin 2\phi} \right) + 2x \operatorname{tg} \phi - 1 = 0 \\ x = \frac{-\operatorname{tg} \phi + \sqrt{\operatorname{tg}^2 \phi + 1 - \frac{2 \operatorname{tg} \beta}{\sin 2\phi}}}{1 - \frac{2 \operatorname{tg} \beta}{\sin 2\phi}}\end{aligned}$$

W rezultacie dochodzimy do następującego wzoru dla  $x = \operatorname{ctg} \varphi$ :

$$\operatorname{ctg} \varphi = x = \frac{-\operatorname{tg} \psi + \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \psi} - \frac{2 \operatorname{tg} \beta}{\sin 2 \psi}}}{1 - \frac{2 \operatorname{tg} \beta}{\sin 2 \psi}} \quad (838)$$

Przy rozwiązywaniu równania drugiego stopnia uwzględniamy przed znakiem pierwiastka tylko znak  $+$ , gdyż znak  $-$  przeczyłby tu poczynionym założeniom, co do kierunku siły  $Z$  i co do nachylenia płaszczyzny odłamu.

W razie naziomu poziomego t.j. przy  $\beta = 0$  mamy, że

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \varphi &= \frac{-\operatorname{tg} \psi + \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \psi}}}{1} = -\operatorname{tg} \psi + \frac{1}{\cos \psi} = \frac{1 - \sin \psi}{\cos \psi} = \\ &= \frac{1 - \cos 2(45^\circ - \frac{\psi}{2})}{\sin 2(45^\circ - \frac{\psi}{2})} = \operatorname{tg}(45^\circ - \frac{\psi}{2}) \quad (839) \end{aligned}$$

Biorąc pod uwagę tylko jeden pierwiastek równania (839) mamy:

$$\operatorname{ctg} \varphi = \operatorname{ctg} (45^\circ + \frac{\psi}{2}) \quad \varphi = 45^\circ + \frac{\psi}{2} \quad (840)$$

Wstawiając tę wartość do wzoru (836), otrzymamy, że:

$$\begin{aligned} Z = \max \dot{Z} &= \frac{\gamma h^2}{2} \operatorname{ctg} (45^\circ + \frac{\psi}{2}) \operatorname{tg} (45^\circ + \frac{\psi}{2} - \psi) = \\ &= \frac{\gamma h^2}{2} \operatorname{tg} (45^\circ - \frac{\psi}{2}) \operatorname{tg} (45^\circ - \frac{\psi}{2}) \end{aligned}$$

czyli, że:

$$Z = \frac{\gamma h^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \frac{\psi}{2}) \quad (841)$$

Rezultat ten można otrzymać i bezpośrednio ze wzoru (831), który będzie miał wtedy formę następującą:

$$\dot{Z} = \frac{\gamma h^2}{2} \cdot \frac{\operatorname{ctg} \varphi}{\operatorname{ctg} (\varphi - \psi)} \quad (842)$$

Zakładając tu  $\operatorname{ctg} \varphi = x$  i różniczkując równanie (842), dochodzimy do następujących wzorów:

$$\operatorname{ctg} (\varphi - \psi) = \frac{\operatorname{ctg} \varphi \operatorname{ctg} \psi + 1}{\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \psi} = \frac{x \operatorname{ctg} \psi + 1}{x + \operatorname{ctg} \psi}$$

$$\dot{Z} = \frac{\gamma h^2}{2} \cdot x \cdot \frac{x - \operatorname{ctg} \psi}{x \operatorname{ctg} \psi + 1}$$

$$\frac{d\dot{Z}}{dx} = (2x - \operatorname{ctg} \psi) (x \operatorname{ctg} \psi + 1) - (x^2 - x \operatorname{ctg} \psi) \operatorname{ctg} \psi = 0$$

$$x^2 + 2x \operatorname{tg} \psi - 1 = 0$$

$$\operatorname{ctg} \varphi = x = \frac{1 - \sin \varphi}{\cos \psi} = \frac{1 - \cos 2(45^\circ - \frac{\psi}{2})}{\sin 2(45^\circ - \frac{\psi}{2})} =$$

$$= \operatorname{tg} (45^\circ - \frac{\psi}{2}) = \operatorname{ctg} (45^\circ + \frac{\psi}{2})$$

$$\varphi = 45^\circ + \frac{\psi}{2}$$

Obliczamy parcie ziemi w razie naziomu załamane go, przedstawionego na rys. 418. Zakładamy, jak poprzednio,  $\alpha = 90^\circ$  i  $\psi_m = 0$ . Prosta  $CD$  jest pozioma, a prosta  $BC$  jest nachylona względem poziomu pod kątem  $\operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{b}{a}$ .

Ciężar klina odłamu wyraża się tu wzorem następującym:

$$C = \gamma \left[ \frac{(h + b)^2}{2} \cdot \operatorname{ctg} \varphi - \frac{ab}{2} \right] \quad (843)$$

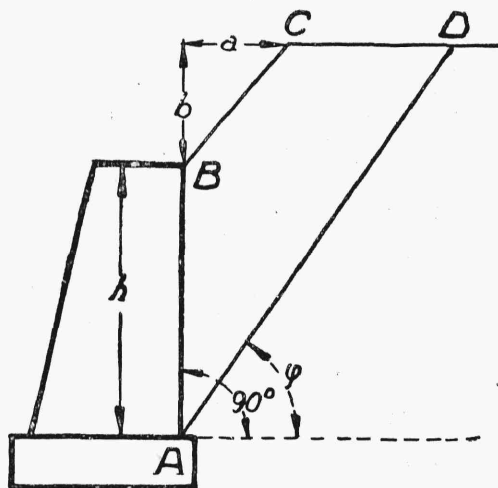
Ze wzoru (831) otrzymujemy w danym wypadku, że

$$\dot{Z} = \frac{\gamma}{2} \left[ \frac{(h + b)^2 \operatorname{ctg} \varphi - ab}{\operatorname{ctg} (\varphi - \psi)} \right]$$

lub też, że

$$\dot{Z} = \frac{\gamma}{2} (h+b)^2 \frac{\operatorname{ctg} \varphi - k}{\operatorname{ctg} (\varphi - \psi)} = \frac{\gamma}{2} (h+b)^2 U \quad (844)$$

gdzie  $k = \frac{ab}{(h+b)^2}$ , a  $U$  oznacza iloczyn czynników, zawierających  $\varphi$ .



Rys. 418.

Aby wyznaczyć kąt odłamu, odpowiadający  $\max \dot{Z}$ , oznaczamy  $\operatorname{ctg} \varphi$ , jak poprzednio, przez  $x$  i obliczamy  $\frac{d\dot{Z}}{dx}$  lub też  $\frac{dU}{dx}$ :

$$\begin{aligned} U &= \frac{(\operatorname{ctg} \psi - k)(\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{ctg} \psi)}{\operatorname{ctg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \psi + 1} = \frac{(x - k)(x - \operatorname{ctg} \psi)}{x \operatorname{ctg} \psi + 1} = \\ &= \frac{x^2 - x \operatorname{ctg} \psi - kx + k \operatorname{ctg} \psi}{x \operatorname{ctg} \psi + 1} \end{aligned} \quad (845)$$

W równaniu  $\frac{dU}{dx} = 0$  odrzucamy, jak poprzednio, mianownik, jako nierówny nieskończoności i ustawiamy równanie następujące:

$$\begin{aligned} &(2x - \operatorname{ctg} \psi - k)(x \operatorname{ctg} \psi + 1) - \\ &- \operatorname{ctg} \psi (x^2 - x \operatorname{ctg} \psi - kx + k \operatorname{ctg} \psi) = 0 \end{aligned} \quad (846)$$



które, po wykonaniu redukcji, przybiera formę:

$$x^2 + 2x \operatorname{tg} \phi - \frac{k(1 + \operatorname{tg}^2 \phi)}{\operatorname{tg} \phi} - 1 = 0$$

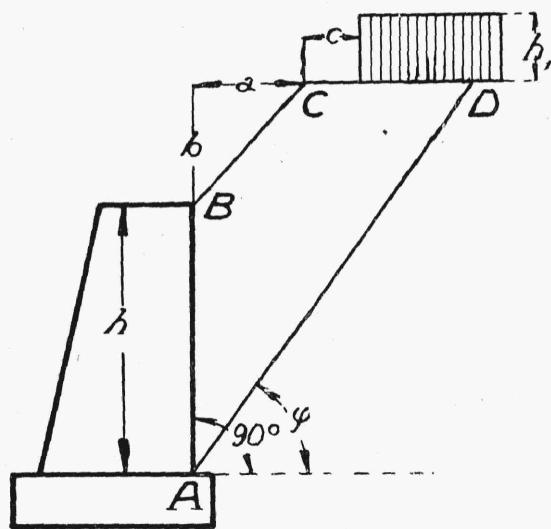
Wreszcie dla  $x = \operatorname{ctg} \varphi$  otrzymujemy wzór następujący:

$$x = \operatorname{ctg} \varphi = -\operatorname{tg} \phi + \sqrt{(1 + \operatorname{tg}^2 \phi) \left(1 + \frac{k}{\operatorname{tg} \phi}\right)} \quad (847)$$

Gdy naziom jest obciążony, to rzeczywiste jego obciążenie zwykle zastępujemy przez ciężar warstwy ziemi, odpowiedniej wysokości  $h_1$ , przyczem

$$h_1 = \frac{q}{\gamma}$$

gdzie  $q \text{ k/m}^2$  oznacza jednostkowe obciążenie naziomu, a  $\gamma$  ciężar jednostkowy ziemi. Tego rodzaju zamiana obciążenia ma na celu uproszczenie wzorów dla parcia ziemi przez możliwość wzięcia poza nawias  $\gamma$  i liczenia się jedynie z wymiarami geometrycznymi klina odłamu.



Rys. 419.

Mamy np. naziom załamany, poziomy w swej części  $CD$  i obciążony tu warstwą ziemi o wysokości  $h_1$  (rys. 419).

O ile naziom jest obciążony przez siły skupione, wówczas siły te zastępujemy przez odpowiednie obciążenie ciągłe.

Gdy więc np. chodzi o obciążenie naziomu parowozem, to znajdujemy obciążenie jednostkowe naziomu, dzieląc ciężar parowozu przez pole prostokąta, którego bokami są:

- 1) długość podkładu, powiększona o grubość warstwy balastu, i
- 2) odległość skrajnych kół parowozu również powiększona o tę grubość.

Ciężar klina odłamu otrzymujemy tu ze wzoru;

$$\begin{aligned} \frac{C}{\gamma} &= \frac{(h+b)^2 \operatorname{ctg} \varphi}{2} - \frac{ab}{2} + h_1(h+b) \operatorname{ctg} \varphi - ah_1 - ch_1 = \\ &= (h+b) \left( \frac{h+b}{2} + h_1 \right) \operatorname{ctg} \varphi - \left( \frac{ab}{2} + ah_1 + ch_1 \right) = A \operatorname{ctg} \varphi - B \end{aligned} \quad (848)$$

gdzie

$$A = (h+b) \left( \frac{h+b}{2} + h_1 \right)$$

$$B = \left( \frac{ab}{2} + ah_1 + ch_1 \right)$$

Zakładając, że  $k = \frac{B}{A}$  mamy, że

$$C = \gamma \cdot A (\operatorname{ctg} \varphi - k).$$

Ze wzoru (831) otrzymujemy, przy  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\phi_m = 0$ :

$$\dot{Z} = \gamma A \cdot \frac{\operatorname{ctg} \varphi - k}{\operatorname{ctg}(\varphi - \phi)} = \gamma \cdot A \cdot U \quad (849)$$

Ponieważ funkcja  $U$  we wzorze (849) ma ten sam kształt, co we wzorze (844), możemy więc tu dla  $\operatorname{ctg} \varphi$  skorzystać ze wzoru (847). Jeżeli we wzorze (848) założymy  $b=0$  i  $a+c=d$  to otrzymany wzór da objętości klina odłamu przy naziomiu poziomym, płaskim, częściowo obciążonym (rys. 420). Tutaj

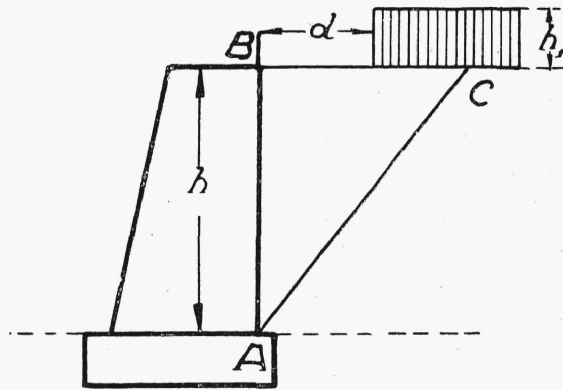
$$A = h \left( \frac{h}{2} + h_1 \right) \text{ i } B = dh_1$$

Pozatem znajdują tu zastosowanie te same wzory, co wyżej, t. j. (847) i (849).

W razie, gdy obciążenie ruchome zajmuje całą długość klina ( $B=0$  i  $d=0$ ), wówczas

$$C = \frac{\gamma h}{2} (h + 2h_1) \operatorname{ctg} \varphi$$

ponieważ zaś dla naziomu nieobciążonego w tych samych warunkach



Rys. 420.

$$C = \frac{\gamma h^2}{2} \operatorname{ctg} \varphi$$

to dwie te wielkości różnią się więc od siebie jedynie stałym współczynnikiem przy  $\operatorname{ctg} \varphi$ , a, co za tem idzie, i przy funkcji  $U$ . Kąt  $\varphi$  będzie się tu równał:

$$\varphi = 45^\circ + \frac{\psi}{2}$$

a parcie ziemi na mur w tym wypadku wyniesie:

$$Z = \frac{\gamma h}{2} (h + 2h_1) \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\psi}{2} \right) \quad (850)$$

### 3. Wykreślne sposoby obliczenia parcia ziemi.

Liczne sposoby wykreślnego obliczenia parcia ziemi dają się rozdzielić na dwie grupy, znacznie różniące się od siebie, co do konstrukcji geometrycznej. Poniżej omówimy sposób Poncelet'a, jako charakterystyczny dla jednej grupy, oraz sposób Pillet'a charakterystyczny dla drugiej.

Należy zauważyć, że wykreślne sposoby obliczenia parcia ziemi mają tę zaletę, że mogą być stosowane przy dowolnym kształcie naziomu.

Obliczenie parcia ziemi sposobem Poncelet'a dotyczy wypadku, gdy naziom może być sprowadzony do kształtu linii załamanej. Obliczenie odbywa się tu w sposób następujący (rys. 421):

1° Część pola klina odłamu  $HJFA$  zamieniamy przez trójkąt równoboczny,  $AKF$ , mający wierzchołek  $K$  na prostej  $OM$ .

2° Z punktu  $K$  przeprowadzamy równoległą  $KK'$  do płaszczyzny stoku naturalnego  $AM$ .

3° Z punktu  $A$  przeprowadzamy prostą  $AO$ , przecinającą prostą  $MO$  w punkcie  $O$  i nachyloną do tylnej powierzchni muru pod kątem  $\psi_s + \psi_m$ .

4° Z punktu  $K'$  przecięcia się  $KK'$  i  $OA$  przeprowadzamy prostą  $K'K''$ , prostopadłą do  $OA$ .

5° Na  $OA$ , jako na średnicy, zataczamy półkoło i znajdujemy punkt  $K''$  przecięcia się koła z prostą  $K'K''$ .

6° Odcinek  $OK''$  przenosimy na prostą  $OA$  od punktu  $O$  ( $OK'' = Oz$ ).

7° Przez punkt  $z$  przeprowadzamy prostą  $zG$  równoległą do płaszczyzny stoku naturalnego  $AM$ .

8° Punkt  $G$  przecięcia się prostej  $zG$  z  $MO$  łączymy z punktem  $A$ , a prosta  $AG$  będzie przedstawiała wówczas płaszczyznę odłamu.