

z relacji tej wynika, że chcąc otrzymać linie wpływowe momentów w słupie należy pomnożyć rzędne linii wpływowych sił poprzecznych w słupie przez połowę wysokości słupa, lub też odczytywać wprost w zmienionej odpowiednio skali wysokości.

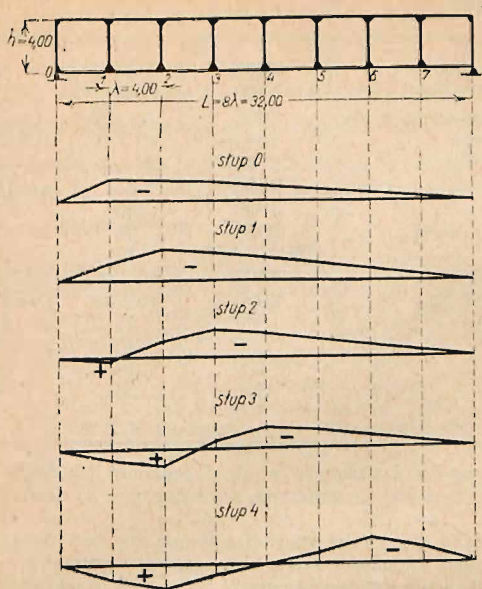


Fig. 425.

W naszym przypadku należy rzędne linii sił poprzecznych pomnożyć przez 2, gdyż  $m_r \pm \frac{1}{2}h = \pm 0,5 \times 4 t_r = 2 t_r$ .

Moment w stopie słupa otrzymuje znak +, w głowicy —.

## VII. Budowle ziemne i mury oporowe.

Napisał

inż. dr. Jan Bogucki,

profesor politechniki, Lwów.

Równowaga stoków. Stoki nasypów z luźnych materiałów (nie tylko ziemne, lecz także np. węgla, zboża) utrzymują się w równowadze stałej pod działaniem ciężaru własnego cząstek  $G$  i oporu tarcia  $T$ , które przeciwdziałają składowej ciężaru  $P$ , działającej wzdłuż pochyłości stoku (fig. 426). Tarcie  $T$  przyjmujemy proporcjonalne do nacisku  $Q$ , a więc  $T = f \cdot Q$ , nazywając  $f$  współczynnikiem tarcia. Dla równowagi będzie  $T = P = Q \tan \alpha$ ; stąd graniczny kąt równowagi odpowiada równaniu  $\tan \alpha = f$  i nazywa się kątem tarcia lub kątem zesypu; oznaczamy go zwykle  $\rho$ , więc  $\tan \rho = f$ .

Wartości  $f$  i  $\rho$ , wyznaczone doświadczalnie (podgartując dany materiał w stoku), zestawione są w tablicy I. wraz z ciężarem jednostkowym  $\gamma$  danego materiału.

Stok ziemny, nachylony pod kątem tarcia do poziomu, nazywamy sto-kiem naturalnym. Dla nasypów ziemnych przyjmujemy zwykle  $\rho = 34^\circ$ ,

$$\tan \rho = 0,67 = \frac{2}{3}.$$

Tablica I.

Materiał nasypu	$\gamma$ $kg/m^3$	$\rho^0$	$tg \rho$
Ziemia luźna sucha . . . .	1400	40	0,839
" " wilgotna . . . .	1600	45	1,000
" " nasycona wodą . . . .	1800	27—30	0,509—0,577
Gлина luźna sucha . . . .	1500	40—45	0,839—1,00
" " mokra . . . .	2000	20—25	0,364—0,466
Piasek suchy . . . .	1600	35	0,700
" wilgotny . . . .	1800	40	0,839
" nasycony wodą . . . .	2000	25	0,466
Tłuczeń . . . .	1600—1800	40	0,839
Żwir rzeczny suchy . . . .	1800	30—40	0,577—0,839
" " wilgotny . . . .	2000	25—30	0,466—0,577
Węgiel kamienny . . . .	850	45	1,00
Koks . . . .	500	45	1,00
Cement . . . .	1400	40	0,839
Zboże . . . .	800	25	0,466

Cyfry większe podane są w Przepisach M. R. P.

Stoki przekopów i wykopów w ziemi rodzimej (spoiastej) utrzymują się w równowadze pod kątem większym niż kąt tarcia, bo działa tu spójność cząstek ziemnych.

Jednak nie każdy stok ziemi spoiastej utrzyma się pod żądanym kątem  $\alpha > \rho$ . Przy większej wysokości stoku może nastąpić usunięcie części materiału aż po t. zw. płaszczyznę odłamu  $AC$  (fig. 427). Rozkładając ciężar  $G$

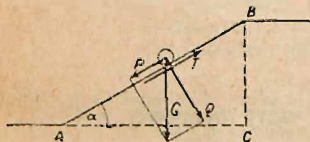


Fig. 426.

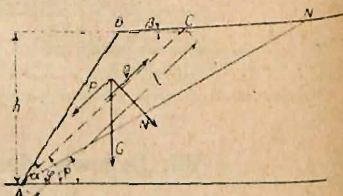


Fig. 427.

kłina odłamu  $ABC$  na siły  $P$  i  $N$ , otrzymamy tu pod wpływem nacisku  $N$  opór przeciw oderwaniu i zesunięciu w płaszczyźnie  $AC$ :  $Q = fN + cl$ , złożony z wpływu tarcia  $fN$  i oporu spójności  $cl$  na powierzchni  $l m^2$  (spójność jednostkowa  $c$  wynosi 150—250  $kg/m^2$ ).

Dla równowagi  $P \leq Q$ ; wartość graniczna  $P = Q$  określa płaszczyznę odłamu, która przy naziomie płaskim  $BCN$  wypada pod kątem  $\varphi = \frac{1}{2}$

$(\alpha + \rho)$  do poziomu. Płaszczyzna odłamu połówi kąt między stokiem naturalnym  $\rho$  a rzeczywistym  $\alpha$ . Położenie płaszczyzny odłamu pozostaje też samo również i przy naziomie płaskim obciążonym.

Wysokość stoku  $h$ , przy której utrzyma się ziemia o ciężarze jednostkowym  $\gamma$ , oraz spójności  $c$  w równowadze stałej pod żądanym kątem  $\alpha$ , wynosi:

$$h = \frac{2c \cos \rho \sin \alpha}{\gamma \sin^2 \frac{1}{2}(\alpha - \rho)},$$

niezależnie od wartości  $\beta$  nachylenia naziomu, jeżeli tylko  $\beta < \rho$ .



Dla  $\alpha = 90^\circ$  będzie wysokość stoku pionowego:  $h = h_0 = \frac{4c}{\gamma} \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\rho}{2}\right)$ .

W praktyce można  $h_0$  wyznaczyć doświadczalnie, co służy zwykle do wyznaczenia wartości  $c$ . Stoki pionowe (urwiska), zwykle kilkumetrowe, dochodzą w glinie nawianej (löss) do kilkunastu metrów wysokości.

Wartości  $h$ , zestawione dla różnych kątów  $\alpha$ , leżą na t. zw. paraboli spójności (fig. 428), której osią jest stok naturalny, spód stoku  $A$  ogniskiem, a połową parametru wartość  $\frac{4c}{\gamma} \cos \rho$ . Przy obciążeniu naziomu ciężarem jednostajnie rozłożonym  $p$ , utrzyma się stok o danej wysokości  $h$  pod kątem mniejszym  $\alpha_1$ , który otrzymamy, dodając w wykresie zastępczą wartość  $\frac{2p}{\gamma}$ .

Stok zakrzywiony. Stosując w różnych wysokościach stoku nachylenie, odpowiednie do częściowej, a nie całkowitej wysokości, otrzymamy stok zakrzywiony (fig. 429), stosowany czasem w głębokich przekopach, celem skrócenia stoku i zmniejszenia objętości przekopu.

**Mury oporowe.** Równowagę stoków, stromszych niż stok naturalny, można także zabezpieczyć przez podparcie ich ścianą oporową, a to murewaną (kamienną, betonową) albo ramową (drewnianą, żelazną, żelazno-betonową).

Ściana oporowa  $AB$  (fig. 430) znosi wtedy nacisk

czynny ziemi (napór czyli parcie ziemi), powstający wskutek możliwości przesunięcia się w dół klina odłamu  $ABC$ , ograniczonego ścianą oporową, naziomem i płaszczyzną odłamu  $AC$ , której położenie będzie różne od płaszczyzny odłamu przy stokach niepodpartych ścianą oporową.

Parcie czynne między ziemią, a murem oporowym odróżnić należy od parcia biernego, które znosi ziemia w razie nacisku ze strony muru np. obciążonego sklepieniem; usunięcie klina odłamu byłoby wtedy możliwem ku górze.

Kierunek parcia ziemi na mur oporowy powinien uwzględnić możliwość przesunięcia klina odłamu po murze w dół, po pokonaniu tarcia. Parcie czynne będzie więc pochylone ku dołowi, pod kątem  $\delta'$  do normalnej; parcie bierne przyjmujemy po drugiej stronie normalnej (pod kątem  $-\delta'$ ). Wartość kąta  $\delta'$  leży w granicach od zera (dla ściany zupełnie gładkiej, dla nasypu przesiąkniętego wodą, albo przy silnych wstrząśnieniach np. przy torze kolejowym ponad murem) aż do pełnej wartości kąta tarcia  $\rho$  dla danego materiału ziemnego, którą przyjmujemy jedynie w bardzo korzystnych warunkach (przestrzeń za murem dobrze odwodniona, obciążenie spokojne). W ostatnim razie przyjąć lepiej  $\delta' = \frac{2}{3}\rho$  dla większej pewności obliczenia. Müller-Breslau uważa przyjęcie  $\delta'$  stosownie do warunków, za środek w ręku inżyniera zbliżenia się do rzeczywistości, wobec niepewnej teorii parcia ziemi.

Dotychczasowe teorie (Coulomb, Rankine, Müller-Breslau, Färber) uwzględniają tylko parcie ziemi niespoistej, a jako jedynie działające siły: ciężar ziemi wraz z obciążeniem zmiennem, oraz tarcie wzdłuż ściany oporowej i wzdłuż płaszczyzny odłamu. Przy małym poddaniu się muru (przechyleniu na zewnątrz) tworzy się według Coulomba płaszczyzna odłamu  $AC$  (fig. 430), a ciężar  $G$  usuwającego się klina odłamu pokonać musi opory

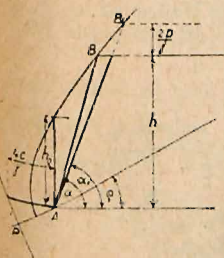


Fig. 428.

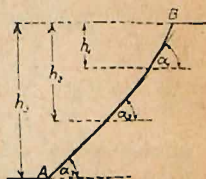


Fig. 429.

ruchu wzdłuż  $AB$  i  $AC$ ; tworzy więc dwie składowe równe siłom  $P$  i  $Q$ , z których składowa  $P$  jest parciem ziemi i działa pod kątem  $\delta'$  do normalnej muru, a pod kątem  $\psi$  do pionu. Przyjmując siłę  $Q$  pod kątem  $\rho$  do normalnej na  $AC$ , wyznaczymy  $P$  z trójkąta sił  $G$ ,  $P$ ,  $Q$  najlepiej wykreślnie, albo z równania:

$$P = G \frac{\sin(\psi - \rho)}{\sin(\varphi - \rho + \psi)}.$$

Dla różnych kątów  $\psi$  należałoby wyznaczyć odnośne wartości  $P$  i znaleźć wartość największą, którą ściana oporowa znieść winna z wystarczającą pewnością. Klin odłamu, wywierający  $P_{\max}$ , jest t. zw. „klinem Coulomba o największem ciśnieniu“, a  $P_{\max}$  jest najmniejszą wartością reakcji muru, potrzebną dla równowagi.

Określenie Coulomba  $P_{\max}$  przez  $\frac{dP}{d\psi} = 0$  stosuje Culmann do wykreślnego wyznaczenia płaszczyzny odłamu, wkładając trójkąt sił  $G$ ,  $P$ ,  $Q$  w rysunek między stok naturalny a płaszczyznę odłamu (fig. 431). Dla kilku

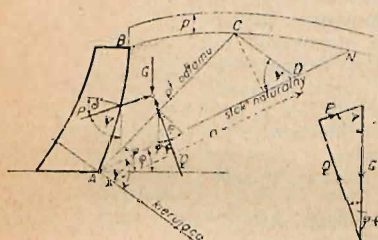


Fig. 430.

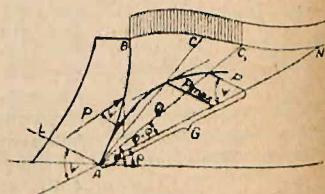


Fig. 431.

przyjęć próbnych  $AC_1, AC_2 \dots$  wyznacza się odnośne wartości  $G$  i wykreśla je wzdłuż  $AN$ , poczem  $P \parallel$  do „kierującej“, którą jest prosta  $L$  nachylona pod kątem  $\psi$  do stoku naturalnego. Końce odcinków  $P$  łączą się

krzywą, której maximum daje prawdziwą wartość  $P$  i położenie płaszczyzny  $AC$ . Nachylenie kierunku siły  $P$  do pionu (kąt  $\psi$ ) dane jest przez przyjęcie kąta  $\delta'$  między  $P$  a normalną muru oporowego.

Parcie ziemi na ścianę łamaną. Wyznaczenie sił działających rozpoczyna się tu od górnych części ściany (fig. 432). Niech będą już znalezione siły  $P_1, P_2$  co do kierunku i wielkości, a znany

tylko kierunek następnej siły  $P_3$ ; szukana wielkość  $P_3$ . Przedłużenie  $P_3$  daje siły  $K'$  i  $G'$ ; przy nieokreślonej jeszcze płaszczyźnie odłamu  $AC$  nieznanne są siły  $G''$  i  $Q$ , a całkowity klin odłamu  $G = G' + G''$ . Jako warunek dla wyznaczenia płaszczyzny odłamu będzie w myśl teorii Coulomba dla całkowitej siły  $K$ :

$$K = \left[ \frac{G'' \sin(\psi - \rho)}{\sin(\varphi - \rho + \psi)} \right]_{\max}, \quad \frac{dP_3}{d\psi} = \frac{dK}{d\psi} = 0.$$



Możnaby więc dla wyznaczenia  $K_{\max}$  użyć wykresu Culmanna podobnie jak dla  $F_{\max}$  (fig. 431), a stąd wypadnie położenie płaszczyzny odłamu  $AC$  i wartość  $P_3$ .

Praktycznie rozpocząć należy od wyznaczenia  $P_1$  jak dla ściany płaskiej, poczem określa się kolejno  $P_2, P_3 \dots$  metodą ogólną, wskazaną tu dla  $P_3$ .

Wzór Rebhanna. Przy wyznaczeniu rachunkiem wartości  $\frac{dK}{d\varphi} = 0$  otrzymamy po wstawieniu podanej wartości za  $K$ :

$$G'' \sin \psi = - \frac{dG''}{d\varphi} \sin(\varphi - \rho) \sin(\varphi - \rho + \psi).$$

Wprowadźmy tu dla ziemi obciążonej ciężar zastępczy  $\gamma' = \gamma + \frac{2p}{h}$ , wtedy będzie po wkreśleniu trójkąta  $ACD$  między stok naturalny a płaszczyzną odłamu:

$$\frac{dG''}{d\varphi} = - \frac{1}{2} \gamma' l^2; \quad \sin(\varphi - \rho + \psi) = \frac{n}{l} \sin \psi; \quad \sin(\varphi - \rho) = \frac{f}{l};$$

a po wstawieniu tych wartości w równanie górne otrzymamy:  $G'' = \frac{1}{2} \gamma' f n$  jako wzór Rebhanna w najogólniejszym kształcie.

Ponieważ  $K : Q : H : G'' = e : l : f : n$ , będzie więc:  $K = \frac{1}{2} \gamma' f e$ ;

$$Q = \frac{1}{2} \gamma' f l; \quad H = \frac{1}{2} \gamma' f^2.$$

Ściana płaska, naziom płaski obciążony. Dla ściany płaskiej  $G' = 0$ ,  $G'' = G$  (fig. 433), zatem  $G = \frac{1}{2} \gamma' f n$  (względnie  $G = \frac{1}{2} \gamma f n$  dla ziemi nieobciążonej). Przy naziomie płaskim będzie jednak  $G = \gamma' ABC = \gamma' ACD$ , czyli  $ABC = ACD$ , co wyraża się określeniem Rebhanna: „Płaszczyzna odłamu połowi pole  $ABCD$ , ograniczone ścianą oporową, naziomem, prostą  $CD \parallel$  do kierującej istokiem naturalnym”. Prawidło to ważne zarówno dla naziomu obciążonego, jak i dla ziemi nieobciążonej.

Z przekształceń geometrycznych wynika przytem  $AD = n = \sqrt{AN \cdot AL}$ , a stąd konstrukcja Ponceleta (fig. 433, linje 1—6) dla określenia płaszczyzny odłamu  $AC$  i wartości  $P$  jako ciężaru „graniastosłupa parcia” o podstawie  $CDK$ :

$$P = CDK. \text{ i. } \gamma', \text{ albo prościej: } P = \frac{1}{2} \gamma' f e.$$

Wypadki szczególne (fig. 434). I. Gdy kierująca  $BL$  wypada nad naziomem, konstrukcja pozostaje ta sama ze wskazaną zmianą.

II. Kierująca kryje się z naziomem; wtedy będzie wprost  $BC = CN$ .

III. Mur przechylony,  $\vartheta = \rho$ ; także dla IV, gdy  $\vartheta < \rho$ . W obu wypadkach płaszczyzna odłamu pionowa ( $Q = 0$ ), parcie ziemne  $P = G$ , równe więc ciężarowi pionowego słupa ziemi od muru do naziomu. Ważne dla nacisku ziemi na górne części sklepień, nadmurowań itp., gdy są od góry ograniczone nachyleniem  $< \rho$ .

V. Naziom, nachylony pod kątem  $\rho$  do poziomemu. Konstrukcja Ponceleta jest tu niemożliwa, więc punkt  $C$  nieokreślony; jednak dla stałych wartości  $e$  i  $f$  z dowolnego  $C$  będzie  $P = \frac{1}{2} \gamma' e f$ .

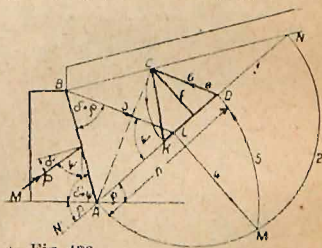


Fig. 433.



W wykresie  $\beta$ :

$$b' = \frac{P_p}{h}; \quad b = \frac{2P_\gamma}{h} = \frac{\gamma f e}{h}; \quad b' : b = \frac{P}{\gamma} : h,$$

stąd przecięcie  $T$  na linii  $\frac{P}{\gamma}$  i konstrukcja dla  $b'$  przy danem  $b$ .

Wypadkowa  $P_p$  zaczepta w połowie wysokości ściany; wypadkowa  $P_\gamma$  w  $\frac{1}{3}$  wysokości ściany. Wypadkowa ogólna  $P$  zaczepta w wysokości środka ciężkości trapezu parcia.

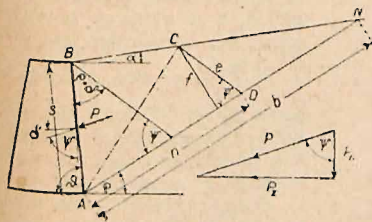


Fig. 435.

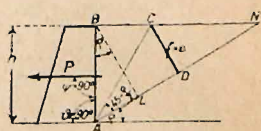


Fig. 436.

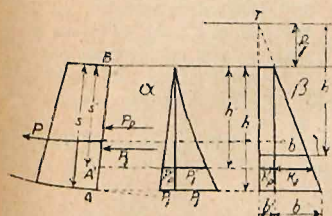


Fig. 437.

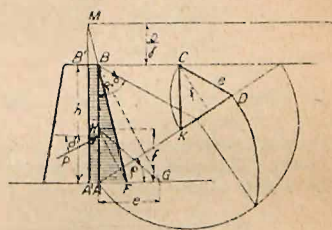


Fig. 438.

Drugi sposób wykresu trapezu parcia (fig. 438).

$$P = \Delta CDK. 1. \gamma' = \left( \gamma + \frac{2p}{h} \right) CDK.$$

Zamienia się  $CDK = AHG$  na trójkąt  $ABF$ ; dodaje prostokąt  $AA'BB'$  zapomocą punktu  $M$ , poczem cała powierzchnia trapezu, mnożona przez  $\gamma$ , daje wartość  $P$ .

Parcie ziemi wykreślić przy ścianie łamanej i naziemie łamanym (fig. 439). Dane  $P_1$  i  $P_2$ , szukane  $P_m$ . Konstrukcja ściany zastępczej  $AB'_m$  polega na zamianie klina odłamu  $G_0 - G'$  na klin  $\frac{1}{2} \gamma' x_m h_m$ , więc będzie:

$$x_m = \frac{G_0 - G'}{\frac{1}{2} \gamma' h_m}.$$

Stąd kierująca  $B'_m L$  pod kątem  $\psi_m$  do stoku naturalnego, poczem  $e$  i  $f$ ;

$$K = \frac{1}{2} \gamma' e f, \quad P_m = K - K'.$$

Równocześnie wykonywujemy wykres sił. Jest to więc sposób mieszany rachunkowo-wykreślny. Dla naziomu płaskiego składa się klin  $G_0$  z szeregu trójkątów o podstawach  $d_1 d_2 \dots$ , a wysokościach  $h_1 h_2 \dots$ . Wtedy będzie:



$$x_m = \frac{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^{m-1} \gamma' dh - G'_m}{\frac{1}{2} \gamma'_m h_m}; \quad \text{gdzie} \quad \frac{1}{2} \gamma'_m = \frac{1}{2} \gamma + \frac{p}{h_m}.$$

Sposób przybliżony (fig. 440). Pomijamy tu wpływ na dolną część ściany tego klina ziemi, który leży między murem a przedłużeniem w górę danej ściany, np. wpływ klina  $BA_1A_2B_3$  na parcie  $P_3$ .

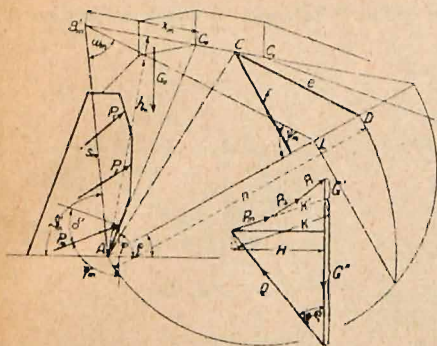


Fig. 439.

się ku górze. Kąty  $\rho$  i  $\delta'$  będą ujemne przy zmianie kierunku ruchu, stąd rozkład sił jak w rysunku.

Przy ujemnych kątach  $\rho$  i  $(\rho + \delta')$  ważną będzie konstrukcja Ponceleta (fig. 442). Najlepiej jednakże przyjąć  $C$  przez próby tak, aby  $BM = MK$ ; wtedy będzie odpór ziemi  $P = \gamma \cdot \dot{C}IK$ .

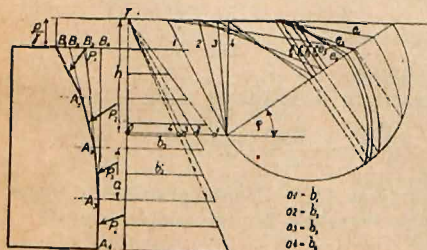


Fig. 440.

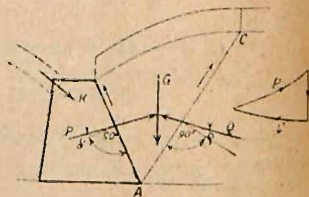


Fig. 441.

Odpór ziemi ujawnia się w stokach brukowanych i przy murach okładzinowych, których środek ciężkości pada poza krawędź podstawy (fig. 443). Odpór ziemi działa w  $\frac{1}{3}$  długości ściany  $AB$  (bruku). Minimum  $P$  odpowiada wypadkowej  $R$ , przechodzącej przez krawędź podstawy  $A$ .

Siłę  $R$  należy uwzględnić przy badaniu stałości muru oporowego  $M_1$ .

Linję ciśnienia w murze oporowym można wykreślić jako ciąg wypadkowych parcia ziemi i ciężaru muru dla poszczególnych przekroi poziomych, poczynając od góry, podobnie jak linję ciśnienia w sklepieniu.

Stąd trzy warunki stałości murów oporowych (por. str. 1324):  
1. Linja ciśnienia powinna leżeć w rdzeniu przekroju (dla przekroju prostokątnego w środkowej trzeciej części grubości muru), aby cały przekrój pra-



cował na ciśnienie. 2. Kierunek wypadkowej dla poszczególnych szwów nie powinien się odchyłać od normalnej szwu o kąt większy, niż kąt tarcia, aby nie było przesunięcia warstw po sobie. 3. Naprężenia w murze nie powinny przekroczyć granic dopuszczalnych.

Warunki te stosują się ściśle do murów suchych lub na zaprawie, nie wytrzymałej na ciągnięcie i ścinanie. Dla muru na zaprawie cementowej lub z betonu są większe odchyłki przy 1. i 2. dopuszczalne, choć niepożądane

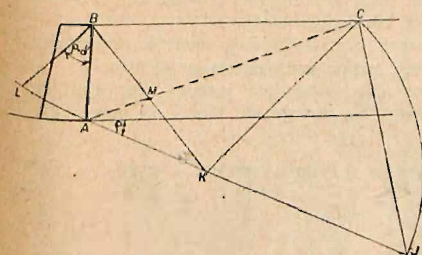


Fig. 442.

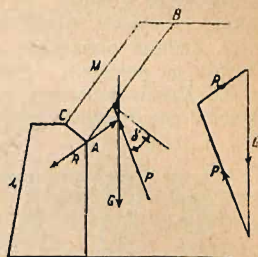


Fig. 443.

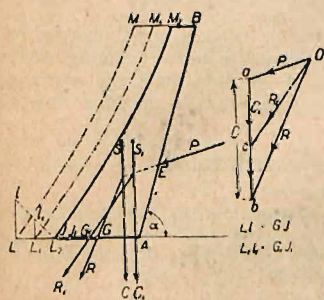


Fig. 444.

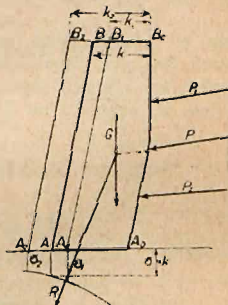


Fig. 445.

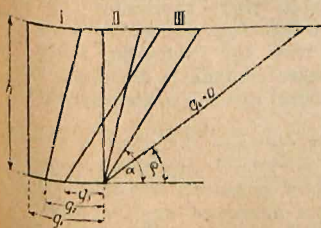


Fig. 446.



Fig. 447.

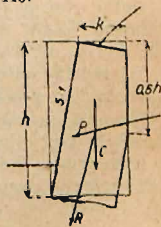


Fig. 448.

I tak dla murów betonowych może wyjść linia ciśnienia z każdej strony osi do  $\frac{1}{5} h$  ( $h$  = grubość muru), dla betonu uzbrojonego do  $\frac{1}{3} h$ ; wahania jej skrajne zajmować więc mogą  $0,4 h$ , względnie  $0,67 h$ .

Wyznaczenie wykreślne grubości muru oporowego. Sposób I. (fig. 444) dla warunku, aby w szukanej grubości muru leżała wypadkowa w  $\frac{1}{3}$  podstawy. Przyjęcia próbne  $L, L_1$ ; odchyłki wypadkowej od  $\frac{1}{3}$  podstawy odcinane w górę jako błąd przyjęcia, poczem linia błędów i szukana szerokość podstawy  $L_2 A$ .

Sposób II. (fig. 445) dla warunku, aby naprężenie  $\sigma$  u krawędzi podstawy wynosiło określoną wartość  $k$ . Rysuje się krzywą naprężeń krawędziowych dla różnych grubości muru; przecięcie jej z wartością  $k$  wskazuje grubość szukaną.

Korzystny przekrój murów oporowych. I. Zmiana prostokąta na romboid (fig. 446) daje ze względu na ilość materiału mury coraz korzystniejsze ze zmniejszającym się kątem  $\alpha$ ; potrzebne grubości  $g_1, g_2, g_3$  wypadają coraz mniejsze. To jednak mija się często z celem muru oporowego (podparcie stromej ściany ziemnej, skrócenie stoku).

II. Zmiana prostokąta na trapez (fig. 447) daje mur korzystniejszy ze względu na położenie wypadkowej, mimo mniejszego przekroju.

III. Profil trapezowy podcięty (fig. 448) jest jeszcze korzystniejszy ze względu na położenie wypadkowej, bo stosuje się lepiej do przebiegu linii

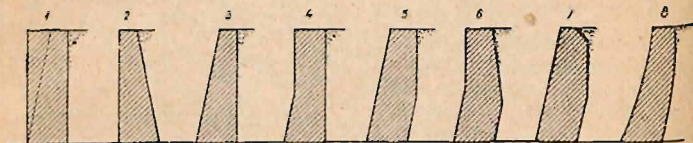


Fig. 449.

ciśnienia w dolnej części muru. Jest to zwykły profil normalny murów oporowych. Foerster (Taschenbuch) podaje dobre zestawienie (fig. 449) różnych przekrojów, w których szereg 1—3, 4—8 daje przekroje muru coraz korzystniejsze ze względu na ilość materiału, oraz na przebieg linii ciśnienia.

## VIII. Teoria żelbetu.

Opracował

inż. dr. Maksymiljan Thullie.

### I. Własności mechaniczne betonu i żelaza (por. także „Materiały budowlane“).

#### 1. Własności betonu.

Beton jest to mieszanina cementu, piasku i żwiru lub tłucznia, względnie kruszywa, która w połączeniu z pewną ilością wody twardnieje. Dla żelbetu beton musi mieć pewne wyborowe własności, mianowicie musi być więcej wytrzymały, niż użyty bez żelaza, musi być jednostajny i bez próżnych miejsc, posiadać przyczepność do żelaza i chronić je od rdzy i ognia.

Cement używany do betonu jest portlandzki i powoli wiążący (por. dział: Materiały budowlane. Cementy).

Kruszywem nazywamy kamień tłuczony (tłuczeń) lub żwir o różnych wielkościach ziarn z dodatkiem piasku w takiej ilości, aby piasek wypełniał, ile możności, wszystkie próżnie, zawarte między grubszymi ziarnami kamienia. Dla cieńszych części zespołów żelbetowych kruszywo zwykle składa się tylko z piasku o różnej wielkości ziarn piasku, dla innych części jednak ze względu na większą gęstość betonu dodaje się też tłucznia lub żwiru aż do grubości 3 cm, co zależne jest od wymiarów i odstępów żelaza. Kruszywo musi być wolne od wszelkich domieszek, które wpływają szkodliwie na wytrzymałość betonu, oraz wytrzymałe na mróz i zmiany atmosferyczne.

Kruszywo wydziela się zwykle wedle objętości, cement wedle wagi, przeliczając przy luźnem napełnieniu naczynia wedle ciężaru 1200 do 1300 kg/m<sup>3</sup>. Zazwyczaj stosunek ten należy wyznaczyć próbami. Stosunek piasku do kamienia zwykle waha się od 1:1,5 do 1:2. Stosunek mieszanki oznacza się albo ilością każdego materiału z osobna, więc 1:1,5:3 aż