W zwykły sposób (§ 62) wyznaczamy linię ciśnienia dla obu sklepień i ich oddziaływania na filar R_1 i R_2. Składając następnie wykreślnie siły R_1, R_2 i ciężar własny filara, otrzymujemy wypadkową ostateczną R, która przecina podstawę w p. *m*.

Składowa pionowa wypadkowej R wynosi 63 t.; podstawa 3,00 m. Zatem natężenie w środku podstawy (oznaczone na rys. 239 literą s_0).

$$\sigma = \frac{63,0}{3,0} = 21 \text{ t/m}^2 = 2,1 \text{ kg/cm}^2.$$

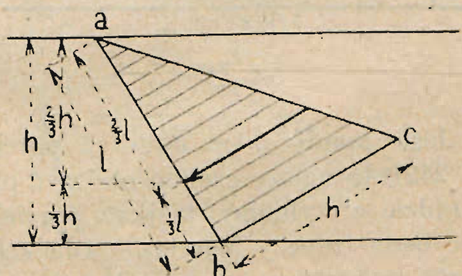
Największe natężenie cisnące na podstawę powstaje w p. a. i wynosi (z wykresu)

$$\sigma_a = s_a = 3.7 \text{ kg/cm}^2.$$

C. Budowle ziemne.

§ 65. Parcie (napór) wody.

Z fizyki wiadomo, że ciśnienie (czyli parcie, napór) wody na pewną powierzchnię równe jest ciężarowi słupa wody, którego podstawą jest dana powierzchnia, a wysokością pionowa odległość jej środka ciężkości od powierzchni wody. Np. ciśnienie na poziomą powierzchnię $p=0,5$ m² o głębokości $h=2.40$ m wynosi $P=phg=$ $=0,5 \,.\, 2,40 \,.\, 1000=1200$ kg (gdzie $g=1000$ kg/m³ jest ciężarem gat. wody).



Rys. 240

Weźmy pod uwagę płaszczyznę ab o długości 1 m, a szerokości 1 m prostopadle do rysunku sięgającą od zwierciadła aż do głębokości h (rys. 240), to środek jej znajduje się w głębokości $\frac{h}{2}$ m pod zwierciadłem wody, a wielkość ciśnienia wody wynosi:

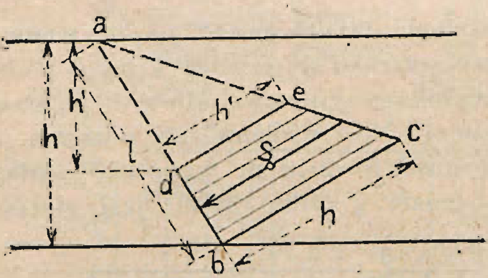
$$W = 1 \,.\, 1 \,\frac{h}{2}\, 1000 \text{ kg} = \frac{1h}{2}\, 1000 \text{ kg} = \frac{1h}{2} \text{ ton} \quad . \; . \; . \; . \; 219.$$

Jeśli w b przeprowadzimy ac prostopadłą do ab o długości h, to powierzchnia $\triangle abc$ wynosi $\frac{lh}{2}$, zatem tyle, ile ciśnienie wody na ścianę ab w tonach. Poszczególne rzędne *de* trójkąta parcia (rys. 241) przedstawiają parcie na cząstkę powierzchni w punkcie d, t. j. w głębokości h', zaś powierzchnia defg parcie na pow. de. Wypadkowa parcia zaś na całą ścianę zaczepia tam, gdzie wypadkowa wszystkich pasków h', t. j. przechodzi przez środek ciężkości $\triangle abc$, przecina więc podstawę ab = l w odległości ukośnej $\frac{1}{3}$ od dolnego punktu b*) i jest prostopadła do ściany ab.

Dla ściany pionowej l = h, zatem ciśnienie wody wynosi:

$$W = \frac{h^2}{2} \text{ ton} \qquad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 220,$$

zaś trójkąt parcia staje się równoramiennym prostokątnym.



Rys. 241.

Ponieważ parcie wody na ścianę ab przedstawia się w postaci $\triangle abc$, zaś na część ściany ad w postaci $\triangle ade$, przeto parcie na dolną część db przedstawia trapez dbce (rys. 241), a wypadkowa jego przechodzi przez środek ciężkości trapezu t. j. przez S.

Jeśli mamy więc obliczyć parcie wody na ścianę łamaną (rys. 242), to należy osobno obliczyć parcie wody na część najwyższą (gdzie otrzymamy trójkąt parcia), osobno na części niższe (gdzie będą trapezy parcia). Dla ściany zakrzywionej najlepiej zastąpić krzywiznę poszczególnemi prostemi i obliczać parcie jak na ścianę łamaną.

*) Więc w odległości $\frac{h}{3}$ od dna.

Przykłady 143—144.

143. Jak wielkie parcie wywiera na mur pionowy o wysokości h=3,5 m woda sięgająca do korony muru. Należy je obliczyć a) na wysokość 2,0 m poczynając od korony, b) na pozostałą dolną część muru.

a) Na górną część wynosi parcie wody mierzone na 1 m długości muru:

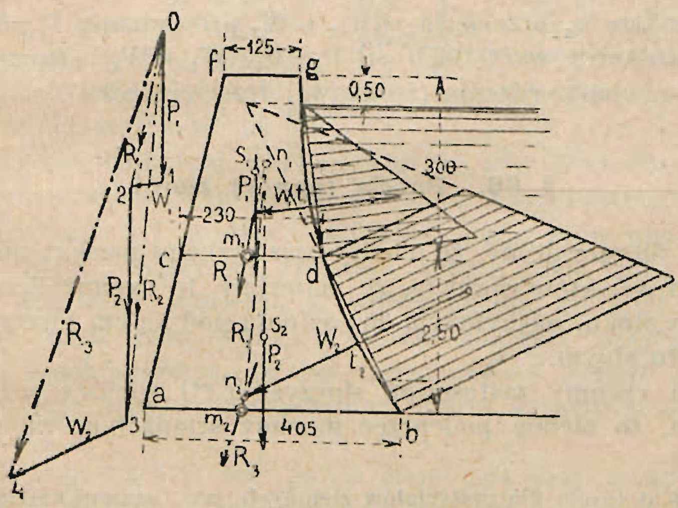
$$W_1 = \frac{h_g{}^2}{2}\ \text{ton} = \frac{2^2}{2} = 2\ \text{t} = 2000\ \text{kg}$$

b) Parcie na dolną część znajdziemy drogą pośrednią: obliczając parcie na cały mur, a następnie odejmując odeń część przypadającą na część górną, obliczoną pod a). Otrzymamy wtedy:

$$W_2 = \tfrac{1}{2}\,(h^2 - h_g{}^2) = \tfrac{1}{2}\,(3{,}5^2 - 2{,}0^2) = 4125\ \text{kg}$$

Parcie na cały mur wynosi:

$$W = W_1 + W_2 = \tfrac{1}{2}\,h^2 = 6125\ \text{kg}.$$



Rys. 242.

144. Zbadać, czy w murze przedstawionym na rys. 242 linia ciśnienia nie wychodzi z jądra. (C. g. muru wynosi 2400 kg/m³).

Obliczymy najpierw parcie na część górną muru ponad krawędzią c d, potem na część dolną, zamieniając linię krzywą muru dwiema prostemi d e i b d.

Ciężar górnej części muru c d g f na 1 m długości muru wynosi: $P_1 = \frac{1}{2}(2{,}3+1{,}25) \,.\, 3{,}0 \,.\, 1{,}0 \,.\, 2{,}4 = 12{,}8$ t

Ciężar dolnej części muru:

$$P_2 = \frac{1}{2}(4{,}05+2{,}30)\; 2{,}5 \,.\, 1{,}0 \,.\, 2{,}4 = 19{,}1 \text{ t}$$

Napór wody na część górną:

$$W_1 = \frac{1}{2}\, 2{,}51 \,.\, 2{,}50 \,.\, 1{,}0 \,.\, 1{,}0 = 3{,}14 \text{ t}$$

Napór wody na część dolną:

$$W_2 = \frac{1}{2}(5{,}0+2{,}5) \,.\, 2{,}82 \,.\, 1{,}0 \,.\, 1{,}0 = 10{,}60 \text{ t}$$

Ciężary P_1 i P_2 zaczepiają w środkach ciężkości odpowiednich części muru S_1 i S_2; W_1 i W_2 w punktach t_1 i t_2 odpowiednich środkom ciężkości trójkąta wzgl. trapezu parcia. Składamy siłę P_1 z W_1 otrzymując wypadkową R_1; przecina ona stosugę c d w punkcie m_1, leżącym wewnątrz jądra. Następnie wypadkową R_1 przedłużamy aż do przecięcia się z siłą P_2 w punkcie n, z którego wychodzi wypadkowa R_2 sił R_1 i P_2 (czyli P_1, W_1 i P_2); wreszcie w punkcie n_2 przecięcia sił R_2 i W_2 prowadzimy R_3//04, która jest wypadkową wszystkich sił P_1, P_2, W_1 i W_2. Zaczepia ona również wewnątrz rdzenia (środkowej trzeciej części).

§ 66. Parcie (napór) ziemi.

W § 58 mówiliśmy, że między cząsteczkami piasku, ziemi i t. d. panuje tarcie, które sprawia, że materjały te sypane luźno, układają się w stoku, nachylonym do poziomu pod kątem tarcia,*) t. zw. stoku naturalnym.

Jeśli chcemy zastosować stoczystość **) większą niż wynosi kąt tarcia, to ziemię podeprzeć musimy ścianą murowaną, t. zw.

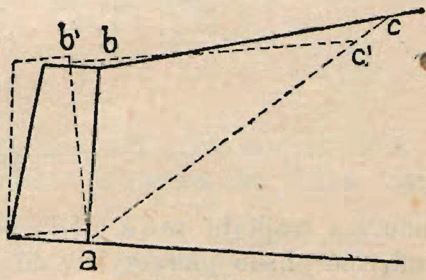
*) Kąt tarcia dla materjałów ziemnych naz. czasem kątem zesypu.

**) Stoczystością naz. stosunek wysokości skarpy do jej rzutu poziomego.

murem oporowym. Aby potrzebną grubość tegoż obliczyć, znaleść trzeba przedewszystkiem ciśnienie, jakie ziemia na ten mur wywiera, t. zw. *parcie* czyli *napór ziemi.*

Do pewnego stopnia jest parcie ziemi swojem działaniem podobne do parcia wody. Pomiędzy cząsteczkami materjałów ziemnych występuje jednak tarcie, które sprawia, że ziemia luźno nasypana utrzymuje się już sama pod kątem tarcia do poziomu (gdy woda rozlewa się poziomo), że zatem mimo większego ciężaru gatunkowego ziemi parcie jej jest zwykle mniejsze od parcia wody. Obliczeniem jego wielkości zajmiemy się obecnie. Z góry zaznaczymy tylko, że nie ma ono tej samej wartości dla wszystkich materjałów ziemnych, a nawet dla tego samego materjału zależy od stanu, w jakim ten materjał się znajduje (np. od wilgoci).

Weźmy pod uwagę mur oporowy (rys. 243). Jeśliby ściana AB poddała się, to trójkąt ziemi abc podtrzymywany nią usunąłby się po płaszczyznach ab i ac w położenie ab′c′ i tylko stok na prawo od ac pozostałby w równowadze. Ruchowi temu przeciwdziałałoby jednak tarcie między ziemią a murem na płaszczyźnie ab i tarcie między trójkątem usuwającym się abc a ziemią pozostającą w równowadze w płaszczyźnie ac, t. zw. *płaszczyźnie odłamu.* Aby więc ruch był możliwy, musiałby ciężar klina abc pokonać oba te tarcia. Kierunek ciśnienia zatem, jakie klin wywiera na ab i ac, musi zawierać z prostopadłemi do tych powierzchni kąt tarcia (por. § 58); przyczem możemy przyjąć z wystarczającą dokładnością, że kąt tarcia między murem a ziemią (płaszczyzna ab) jest równy kątowi tarcia między ziemią a ziemią (pł. ac).

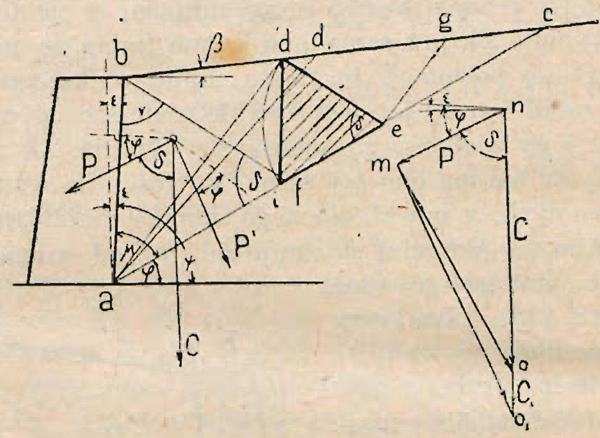


Rys. 243.

Obliczenie rachunkowe parcia ziemi jest dość żmudne, toteż zadowolimy się tylko podaniem wyników poniżej (por. § 69). Tutaj zaś rozważmy, jak można parcie to obliczyć wykreślnie.

§ 67. Wyznaczenie płaszczyzny odłamu.

Niech na rys. 244 oznacza ac stok naturalny *), ad płaszczyznę odłamu, C ciężar części ziemi abd, to parcie ziemi P otrzy-



Rys. 244.

mamy z trójkąta mno. Dla płaszczyzny odłamu ad_1 leżącej niezmiernie blisko płaszczyzny ad otrzymalibyśmy trójkąt sił mno_1.

Nazywając C_1 ciężar części add_1, uzyskamy proporcję:

$$\triangle abd : \triangle add_1 = C : C_1 = no : oo_1$$

Ale powierzchnie trójkątów w tej samej wysokości mają się do siebie jak ich podstawy, więc:

$$\triangle mno : \triangle moo_1 = no : oo_1$$

a stąd:

$$\triangle abd : \triangle add_1 = \triangle mno : \triangle moo_1 \quad . \quad . \quad . \quad 221.$$

Wielobok sił możemy jednak wykreślić w dowolnej podziałce, a więc i w takiej, aby mo=ad; wtedy $\triangle add_1$ i $\triangle moo_1$ będą równe (w bardzo znacznem przybliżeniu), a więc z równania 221:

$$\triangle abd = \triangle mno$$

*) T. j. stok, wedle którego utrzymałaby się w równowadze ziemia bez muru oporowego i t. p. sztucznego wzmocnienia.

Jeśli z d przeprowadzimy prostą de nachyloną do ac pod kątem $\delta = 90 - \varphi - \varepsilon$), to $\triangle$ ade $\cong$ $\triangle$ mno; a stąd wynika wreszcie równość powierzchni $\triangle$ abd = $\triangle$ ade. Poprowadźmy wreszcie bf // de, a eg // ed, to otrzymamy nast. proporcję z $\triangle$acd $\sim$ $\triangle$ecg:

$$ae : ac = dg : dc$$
$$= bd : dc$$

(z równości $\triangle$ abd i $\triangle$ ade wynika bowiem, że dg = bd);

następnie z $\triangle$ bdc $\sim$ $\triangle$ fec

$$bd : dc = fe : ec$$

a więc:

$$ae : ac = fe : ec$$
$$= (ac - af) : (ac - ae)$$

stąd zaś wynika:

$$ae\,(ac - ae) = ac\,(ae - af)$$

a po wykonaniu działań:

$$ae^2 = ac\,.\,af$$

Czyli długość ae jest średnią geometryczną między ac a af. Z $\triangle$ abf mamy jednak (na podstawie prawa, że suma kątów w trójkącie wynosi 180°)

$$\sphericalangle\mu + \sphericalangle\nu + \sphericalangle\delta = 180^0,\ \text{czyli}$$

$$90 - (\varphi + \varepsilon) + \nu + 90 + (\varphi + \varepsilon) = 180^0,\ \text{a stąd:}$$

$$\nu = 2\varphi \qquad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 222.$$

Zatem dla znalezienia płaszczyzny odłamu rysujemy prostą ac nachyloną pod $\sphericalangle$ kątem tarcia φ do poziomu, prowadzimy prostą bf nachyloną pod kątem 2φ do płaszczyzny muru ab i szukamy średniej geometrycznej ae między af a ac. Prosta ed równoległa do bf z punktu e przecina się z naziomem w p. d, który połączony z a daje płaszczyznę odłamu.

Odcinek ae, t. j. średnią geometryczną między af a ac, znajdujemy zwykle wykreślnie zapomocą nast. konstrukcji:

Zataczamy na ac półkole; w p. f prowadzimy prostopadłą do ac, a następnie promieniem ag odcinamy na prostej ac długość ae, która jest średnią geometryczną między af a ac (rys. 245).

§ 68. Wyznaczenie parcia ziemi.

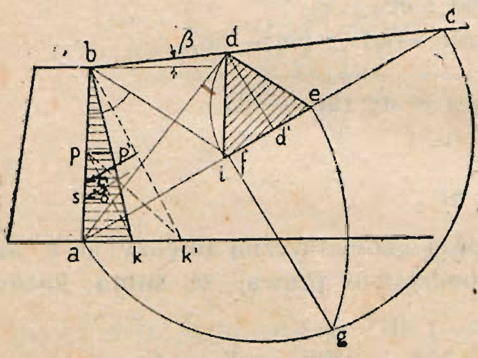
Odetnijmy od p. e (rys. 244) długości ei=ed, to $\triangle$ade i $\triangle$ide mają się do siebie jak ich podstawy, t. j.

$$\triangle ade : \triangle ide = ae : ie = ae : de$$

ale $\triangle$ade ∞ $\triangle$mno, więc:

$$ae : de = no : mn = C : P, \text{ a stąd}$$

$$\triangle ade : \triangle ide = C : P$$



Rys. 245.

Powierzchnia $\triangle$ade jako równa pow. $\triangle$abd pomnożona przez ciężar gatunkowy ziemi g, przedstawia całk. ciężar ziemi (liczony na szerokość 1 m prostopadle do rysunku), która w razie naruszenia równowagi przesunie się, więc:

$$C = \triangle ade \, . \, 1 \, . \, g \quad \ldots 223$$

a stąd parcie ziemi na ścianę ab:

$$P = \triangle ide \, . \, 1 \, . \, g \quad \ldots\ldots 224$$

Czyli: aby otrzymać całkowite parcie ziemi na mur ab na długości muru (prostopadle do rysunku) 1 m należy pomnożyć $\triangle$ ide (przez 1 m, oraz) przez ciężar gatunkowy ziemi. Trójkąt ten nazywamy trójkątem parcia (naporu).

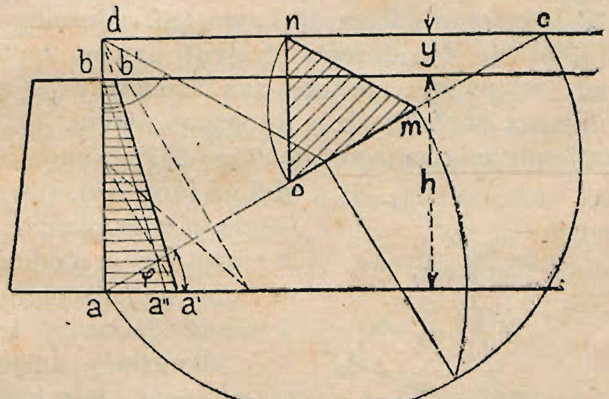
Trójkąt parcia nie daje nam jednak wprost rozkładu parcia na ścianę ab, które przecież rozkłada się na całą jej wysokość. Musimy więc $\triangle$ ide zamienić na $\triangle$ abk o tej samej powierzchni, ale o jednym boku równym ab (rys. 245). Wykreślnie znajdziemy ten trójkąt abk odmierzając ak' = ie, prowadząc następnie poziomą pp' w odległości dd' od podstawy; wtedy $\triangle$ ak'p = $\triangle$ ide. Prowadząc teraz pk // bk', otrzymamy ak jako podstawę trójkąta abk (= △ ide), którego rzędne poziome dają wprost rozkład parcia na ścianę ab. Np. rzędna pp′ pomnożona przez ciężar gatunkowy ziemi przedstawia wielkość parcia w punkcie p.

Podobnie jak przy parciu wody (§ 65) otrzymamy parcie ziemi na część ściany, np. bp, równe iloczynowi powierzchni bpp′ przez ciężar gatunkowy ziemi, zaś parcie na pa równe pow. app′k (pomn. przez ciężar gatunk. ziemi).

Dla znalezienia punktu zaczepienia wypadkowej prowadzimy przez środek ciężkości powierzchni parcia (trójkąta wzgl. trapezu) poziomą, a punkt, w którym ta pozioma przecina ścianę, będzie punktem zaczepienia wypadkowej. Np. środkiem ciężkości trapezu app′k jest S, więc parcie na część ściany ap zaczepia w p. s. Parcie na całą ścianę ab zaczepia więc w $\frac{1}{3}$ wysokości ściany.

Dla innego kąta nachylenia ściany do pionu ε, dostaniemy inny △ parcia. Jeśli zatem ściana tylna muru jest łamana to dla każdego jej pochylenia musimy znaleść parcie osobno (por. rys. 249).

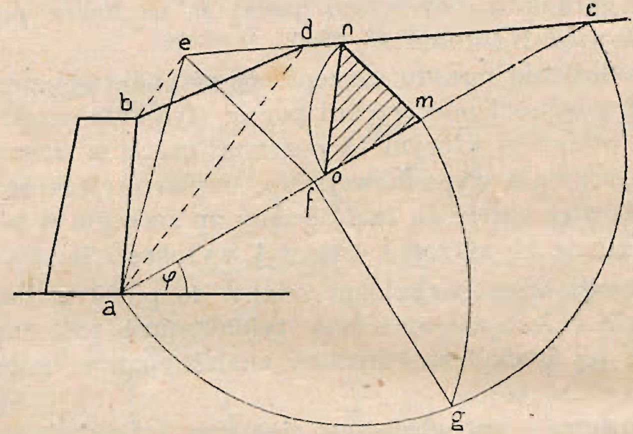
Jeśli naziom*) jest obciążony ciężarem jednostajnie rozłożonym p kg/m² to parcie na mur wzrasta. Dla znalezienia go zamie-



Rys. 246.

*) Naziomem nazywamy powierzchnię ziemi bc (rys. 224 i nast.

niamy obciążenie na warstwę ziemi o grubości $y = \frac{p}{g}$, gdzie g jest ciężarem gatunkowym ziemi (por. § 62), i przeprowadzamy wyżej podaną konstrukcję dla ściany ad, t. j. jak gdyby naziomem była

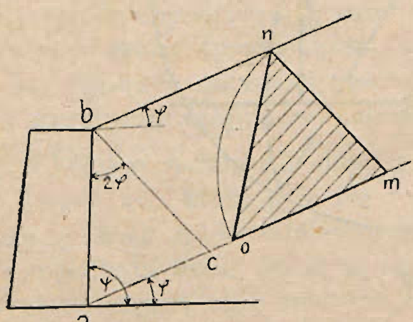


Rys. 247.

płaszczyzna dc. Z otrzymanego w ten sposób trójkąta ada′ będzie trapez abb′a′ trapezem parcia na ścianę ab. Możemy też ten trapez znaleść inaczej: Znajdujemy trójkąt parcia aba″ (rys. 246) na ścianę ab w zwykły sposób, zaś z punktu d prowadzimy a′d // a″b. Trapez abb′a′ będzie trapezem parcia.

Dla naziomu załamanego bdc (rys. 247) zamieniamy trójkąt abd na inny acd, równy mu wielkością o wierzchołku c, leżącym w przedłużeniu naziomu cd (prowadzimy bc//ad) i obliczamy parcie w znany sposób na ścianę ab.

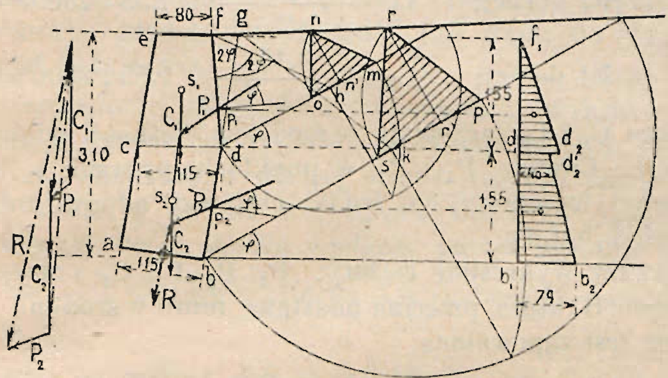
Dla naziomu nachylonego pod kątem tarcia do poziomu, otrzymamy trójkąt parcia, rysując kierującą bc oraz mn//bc a następnie odcinając mo=mn. Trójkąt mno jest trójkątem parcia (rys. 248).



Rys. 248.

Przykłady 145 i 146.

145. Zbadać stałość (stateczność) muru oporowego przedstawionego na rys. 249, jeżeli ciężar gatunkowy muru wynosi 2500 kg/m³, c. gat. ziemi 1800 kg/m³; zaś kąt $\varphi = 30^0$.



Rys. 249.

Ponieważ tylna ściana muru jest łamana, przeto musimy znaleść osobno parcie na część górną df, osobno na część dolną bd. Wedle § 67 wyznaczamy dla kierującej fh, nachylonej pod $\sphericalangle 2\varphi$ do ściany df, trójkąt parcia mno, którego powierzchnia wynosi: $mno = \frac{1}{2} om . nn' = \frac{1}{2} . 1,01 . 0,84 = 0,42$ m². Dla znalezienia parcia na ścianę dolną bd przedłużamy ścianę bd aż do punktu g, z którego kreślimy kierującą gk, a odpowiedni trójkąt parcia prs przedstawia parcie na bg. Pow. $\triangle$ prs wynosi $\frac{1}{2}$ 1,62.1,50 = 1,22 m². Aby wyznaczyć parcie na część dolną bd, musimy zamienić ten trójkąt na równy mu powierzchnią, ale o wysokości równej wysokości muru t. j. 3,10 m. Podstawa tego trójkąta musi wynosić zatem:

$$b = \frac{2 . 1.22}{3,10} = 0,79 \text{ cm} = b_1 b_2.$$

Zamiast odnosić trójkąt parcia bezpośrednio przy murze, odsunęliśmy go dla wyraźności rysunku. Na bd działa tylko część parcia poniżej poziomu d, t. j. trapez $b_1 b_2 d_1 d_2'$ o powierzchni:

$$b_1 b_2 d_1 d_2' = \frac{1}{2} (0,40 + 0,79) . 1,55 = 0,92 \text{ m}^2.$$

Parcie ziemi wynosi zatem:

na część muru górną df: $P_1 = 0{,}42 \,.\, 1800 = 760$ kg.

„ „ „ bd: $P_2 = 0{,}92 \,.\, 1800 = 1460$ kg.

Ciężar własny muru:

części górnej: $C_1 = \frac{0{,}80 \times 1{,}15}{2} \,.\, 1{,}55 \,.\, 2500 = 3800$ kg.

części dolnej: $C_2 = \frac{1{,}15}{2} \,.\, 1{,}55 \,.\, 2500 = 4500$ kg.

Ciężary C_1 i C_2 zaczepiają w środkach ciężkości odpowiednich powierzchni. Ciężary P_1 i P_2 w punktach p_1 wzgl. p_2 leżących na tej samej wysokości, co środki ciężkości odpowiednich figur $f_1d_1d_2$ wzgl. $b_1b_2d_1d'_2$.

Złożywszy wykreślnie ciężary: P_1, P_2, C_1, C_2 otrzymujemy linję ciśnienia R, która przecina podstawę muru w środku. Równowaga tegoż jest zapewniona.

146. Sklepienie o rozpiętości 4,00 m, a strzałce 0,85 m (rys. 250 na tablicy) obciążony jest jednostajnie ciężarem własnym i nadsypką. Należy obliczyć czy przyczółek, o wymiarach podanych na rysunku, posiada dostateczną wytrzymałość i czy ciśnienie na grunt nie przekracza granicy dozwolonej 3 kg/cm². Ciężar muru 2,2 t/m³, ziemi 1,6 t/m³, $\varphi = 30^0$.

Wytrzymałość samego sklepienia należy sprawdzić wedle § 62. Tu jednakowoż ograniczymy się tylko na znalezieniu parcia sklepienia na przyczółek R_2.

W tym celu dzielimy (wedle § 62) sklepienie na 5 pasków o szerokości po 0,40 m i znajdujemy ich ciężary*). Wynoszą one:

$P_1 = 1{,}2$ t, $P_2 = 1{,}3$ t, $P_3 = 1{,}4$ t, $P_4 = 1{,}6$ t, $P_5 = 1{,}8$ t.

Przyjmując biegun O_1, wykreślamy wielobok sznurowy 1 2 3 4 5 6 i znajdujemy wypadkową R_1 ciężarów $P_1 \ldots P_5$. Wypadkowa ta pozostaje w równowadze z parciem poziomem H oraz z oddziaływaniem na przyczółku R_2. Jeżeli więc przez środek sklepienia w kluczu o poprowadzimy poziomą oo_1 do przecięcia z wy-

*) $w'w'_0$ jest sprowadzoną linją obciążenia.

padkową R_1, to linja $o_1 o_2$, łącząca o_1 ze środkiem sklepienia na podporze o_2, określa kierunek oddziaływania R_2, którego wielkość znajdziemy z wieloboku sił $R_2 = mO$.

Na górną część przyczółka działają ciężary pionowe: $P_6 = 4,5$ t nadsypki na przestrzeni auwz i $P_7 = 6,4$ t części przyczółka bb_1ua, oraz parcie ukośne ziemi na część ab. Na część au działa tylko ciężar *pionowy*, gdyż kąt nachylenia tej części do poziomu jest mniejszy od kąta tarcia.

Dla oszczędności miejsca nie wykonywamy wykresu parcia na część muru ab lub ac, ale tylko na przedłużenie jej $a_1''a_0$ o wysokości 2,00 m. Znaleziony dla tej ściany trójkąt parcia hie zamieniamy wedle § 68 na $a''_1\ a_0\ a'$, zaś linja $a_0\ a'$ przedłużona do b' wzgl. do c' określa wielkość parcia na część ściany ab $\left(Z_1 = \dfrac{0,8 + 1,5}{2} \times 1,65 \times 1,6 = 3,0 \text{ t}\right)$, wzgl. na bc $\left(Z_2 = \dfrac{1,5 + 2,0}{2} \times 1,25 \times 1,6 = 3,5 \text{ t}\right)$.

Dla znalezienia położenia linji ciśnienia w szwie bb_1 składamy R_2 z P_6, następnie P_7 i Z_1, a wypadkowa tych wszystkich sil R_3 (linja „kreska—kropka") przecina szew bb_1 w punkcie s_1, jeszcze wewnątrz rdzenia).

Następnie składamy siłę R_3 z P_8, a ich wypadkową z Z_2, otrzymując znów punkt linji ciśnienienia s_2 dla wypadkowej $R_4 = pO$.

Parcie ziemi na ścianę pionową fundamentu $c''d$ znajdujemy zapomocą zwykłej konstrukcji, otrzymując trójkąt parcia mnł = $= c''dd'$. Linję $c''d$ przedłużamy do d_0 i prowadzimy $d_0d'' // c''d'$. Wtedy trapezem parcia na $c''d$ będzie $c''dd''c'''$, a wielkością tegoż

$$Z_3 = \frac{1,6 + 1,9}{2} \times 1,00 \times 1,6 = 2,0 \text{ t}.$$

Składamy teraz wypadkową R_4 z Z_3, otrzymując wyp. R_4^0 (wyciągniętą linję pełną), a tę wypadkową ostatecznie z ciężarem $P_9 = 4,8$ t fundamentu zapomocą wieloboku sił o biegunie O' i wieloboku sznurowego, którego linje I, II, III są wyciągnięte linjami kreskowanemi. Wypadkowa R_5 przecina podstawę w s_3.

Natężenia w szwie cc znaleźliśmy na rys. c. Siłą prostopadłą do przekroju będzie tu składowa pionowa siły R_4, t. j. $R'_4 = rO =$ $= 26{,}2$ t. Natężenie w środku przekroju wynosi $\sigma_c = \frac{26200}{100 \times 185} =$ $= 1{,}4$ kg/cm², zatem najw. $\sigma_c = 2{,}8$ kg/cm² (z wykresu).

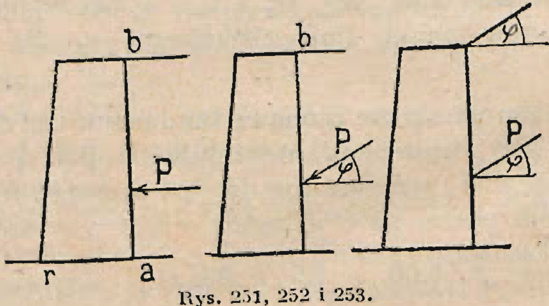
Ciśnienia na grunt wyznaczyliśmy na rys. d. Całkowita siła pionowa: $R'_5 = tO = 32{,}0$ t, a więc ciśnienie w środku przekroju: $\sigma_d = \frac{32000}{100 \times 220} = 1{,}45$ kg/m², zaś najw. ciśnienie znalezione wykreślnie najw. $\sigma_d = 2{,}8$ kg/cm².

Parcie ziemi na ścianę c_1d_1 jest tak małe, że możemy je zupełnie pominąć.

§ 69. Wzory rachunkowe na parcie ziemi na ścianę pionową.

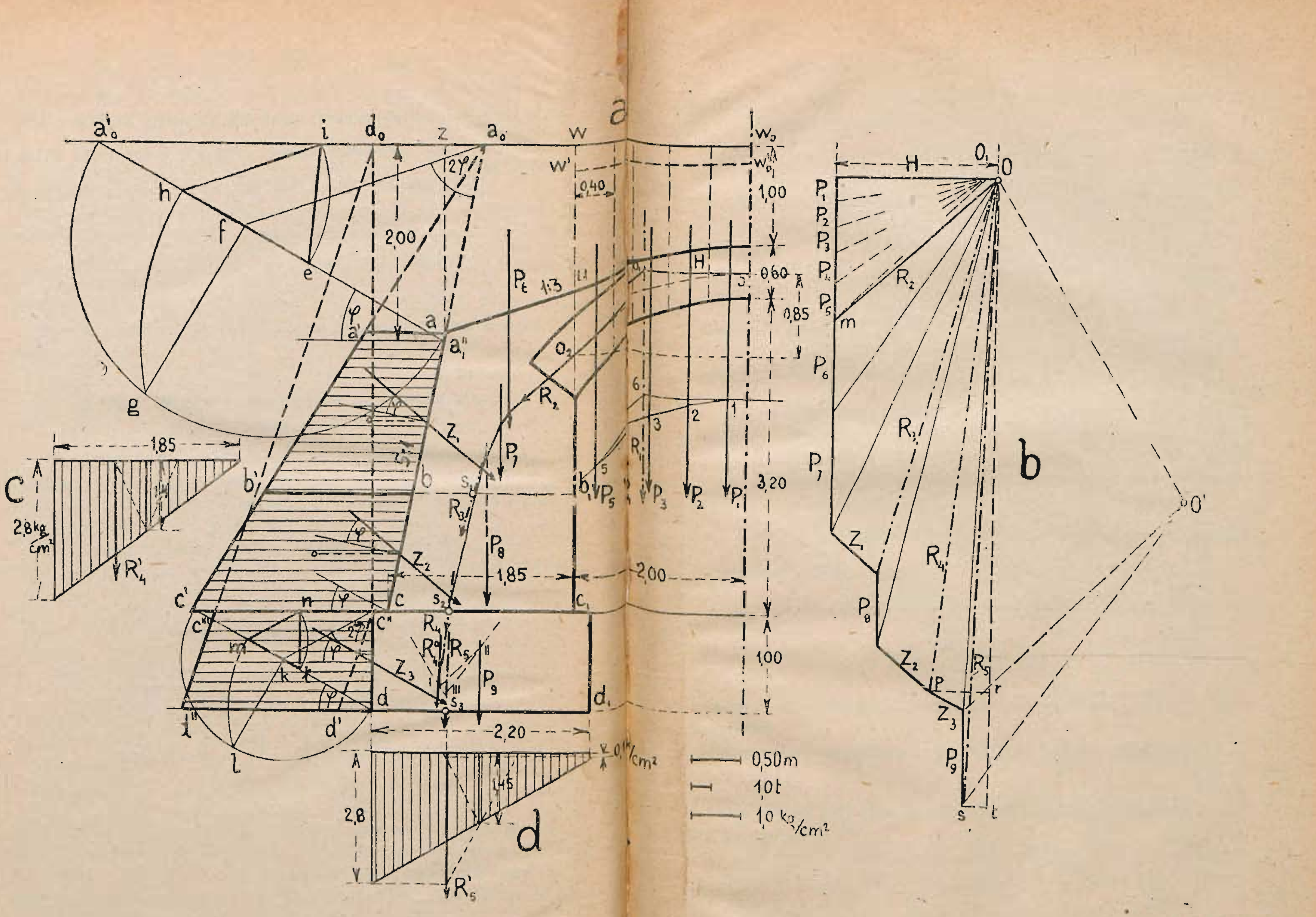
Wyżej (§ 66) wspomniałem, że wyprowadzenie wzorów rachunkowych na napór ziemi jest dość żmudne. Ograniczam się tu przeto tylko do podania samych wzorów dla poszczególnych wypadków (dla ściany pionowej).

1. *Ściana pionowa gładka, naziom poziomy.* Przy ścianie zupełnie gładkiej nie wystąpiłoby wcale tarcie, wskutek którego



Rys. 251, 252 i 253.

zmniejsza się parcie ziemi. Parcie działa wtedy prostopadle do ściany podobnie jak woda, więc przy ścianie pionowej poziomo (rys. 251). Jest to zatem wypadek najniekorzystniejszy, a uwzględniać możemy go wtedy, gdy tarcie jest rzeczywiście bardzo



a
b
c
d
a'₀
i
d₀
z
a₀
w
w₀
w'
h
f
e
g
2,00
0,40
1,00
0,60
0,85
3,20
1,85
2,00
1,00
2,20
1,85
2,8 kg/cm²
2,8
1,45
0,1 kg/cm²
Pt 1:3
P₁
P₂
P₃
P₅
P₆
P₇
P₈
P₉
R₁
R₂
R₃
R₄
R₅
R'₄
R'₅
Z₁
Z₂
Z₃
H
O
O₁
O'
O₂
m
n
k
l
s
t
r
p
0,50 m
1,0 t
1,0 kg/cm²

małe, np. gdy ziemia przesiąknięta jest wodą. Wtedy całkowite parcie na ścianę o wysokości h:

$$P = \tfrac{1}{2} g h^2 \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 225.$$

2. *Ściana pionowa, naziom poziomy* (rys. 252). Dla kąta tarcia między ziemią a murem, oraz między ziemią a ziemią φ otrzymujemy:

$$P = \tfrac{1}{2} g h^2 \frac{\cos \varphi}{(1 + \sqrt{2} \sin \varphi)^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 226.$$

Składowa pozioma parcia P:

$$P_h = P \cos \varphi = \tfrac{1}{2} g h^2 \frac{\cos^2 \varphi}{(1 + \sqrt{2} \sin \varphi)^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 226a.$$

Wartości otrzymane z wzorów 225 i 226 różnią się stosunkowo bardzo mało od siebie; obliczenie parcia ziemi zresztą nigdy nie może być zupełnie dokładne. Zgadzając się przeto z góry na błąd, leżący zresztą w granicach zupełnie dopuszczalnych, możemy parcie obliczać zawsze z wzoru przybliżonego $P = \tfrac{1}{2} g h^2 \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$, przyjmując jednak to parcie jako nachylone do ściany pod kątem tarcia.

3. *Ściana pionowa, naziom nachylony do poziomu pod kątem tarcia* φ (rys. 253).

$$P = \frac{g h^2}{2} \cos \varphi \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 227.$$

W innych wypadkach o wiele prędzej dojdziemy do celu drogą wykreślną.

Parcie dla przypadków 1—3 zaczepia w $\tfrac{1}{3}$ wysokości muru:

$$n = \tfrac{1}{3} h \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 228.$$

Gdzie u jest odległością od podstawy muru do punktu zaczepienia wypadkowej P.

4. *Dla ciężaru ruchomego* p *spoczywającego na naziomie* należy we wzorach 225—227 podstawić wartość ph zamiast $\tfrac{1}{2} g h^2$. Otrzymamy wtedy:

dla ściany pionowej gładkiej, naziomu poziomego:

$$P = ph\, tg^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 229.$$

dla ściany pionowej, naziomu poziomego:

$$P = ph \frac{\cos \varphi}{(1 + \sqrt{2} \sin \varphi)^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad 230.$$

dla ściany pion., naziomu pochylonego do poziomu pod $\sphericalangle \varphi$:

$$P = ph \cos \varphi \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 231.$$

Parcie dla ciężaru p zaczepia w wysokości:

$$n = \frac{h}{2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 232.$$

Obliczając odrazu całe parcie ziemi z uwzględnieniem obciążenia, otrzymamy nast. wzory:

Dla wypadku 1:

$$P = \tfrac{1}{2} \left(g + \frac{2p}{h}\right) h^2\, tg^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \quad . \; . \; . \quad 233.$$

Dla wypadku 2:

$$P = \tfrac{1}{2} \left(g + \frac{2p}{h}\right) h^2 \frac{\cos \varphi}{(1 + \sqrt{2} \sin \varphi)^2} \quad . \; . \quad 234.$$

Dla wypadku 3:

$$P = \tfrac{1}{2} \left(g + \frac{2p}{h}\right) h^2 \cos \varphi \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 235.$$

Parcie to zaczepia w wysokości od podstawy.

$$n = \frac{h}{3} \times \frac{3p + hg}{2p + hg} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 236.$$

Przykłady 147 i 150.

147. Obliczyć parcie ziemi na mur o wysokości 2,50 m. jeżeli $g = 1800$ kg/m³, $\varphi = 30^0$.

Wedle wzoru 225:

$$P = \tfrac{1}{2} gh^2 tg^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) = \tfrac{1}{2} . 1800 . 2,5^2 . 0,577^2 = 1850 \text{ kg}.$$

Natomiast wedle wzoru 226:

$$P = \tfrac{1}{2} gh^2 \frac{\cos \varphi}{(1 + \sqrt{2} \sin \varphi)^2} = \tfrac{1}{2} 1800.2,5^2 \frac{0.866}{(1 + \sqrt{2} . 0,5)^2} = 1670 \text{ kg}.$$

Różnica wynosi zatem około 10%, przyczem wzór 225 daje wyniki większe. Przyjmując zatem wielkość parcia wedle niego uzyskujemy nieco większą pewność.

Parcie to zaczepia w wysokości $n = \frac{h}{3} = 0,87$ m od podstawy.

148. Obliczyć parcie ziemi dla wypadku jak w przykładzie 147, jeżeli jednak naziom nachylony jest do poziomu pod $\sphericalangle \varphi = 30^0$.

$$p = \frac{gh^2}{2} \cos \varphi = \tfrac{1}{2} 1800 . 2,5^2 \, 0,866 = 1870 \text{ kg}.$$

Jak widzimy, parcie w tym wypadku jest o wiele większe. Ponieważ zaś naziom nie może być nachylony pod kątem większym niż kąt tarcia, przeto dla terenu nieobciążonego jest to zarazem największe parcie, jakie może wogóle wystąpić.

149. Naziom, jak w przykładzie 147, obciążony jest ciężarem ruchomym $p = 300$ kg/m². Obliczyć parcie ziemi dla obciążenia ruchomego.

Wedle wz. 228:

$$P_1 = ph \; tg^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) = 300 \times 2,5 \times 0,577^2 = 250 \text{ kg}.$$

Wedle wz. 229:

$$P_1 = ph \frac{\cos \varphi}{(1 + \sqrt{2} \sin \varphi)^2} = 300 \times 2,5 \frac{0,866}{(1 + \sqrt{2} \times 0,5)^2} = 225 \text{ kg}.$$

150. Obliczyć parcie dla wypadku, jak 148, a naziomu obciążonego ciężarem ruchomym $p = 300$ kg/m².

Wedle wz. 227 i 230:

$$P = \left(\frac{gh^2}{2} + ph\right)\cos\varphi = \left(\frac{gh}{2} + p\right) h \cos\varphi =$$

$$= \left(\frac{1800}{2} . 2{,}5 + 300\right) . 2{,}5 . 0{,}866 = 5500 \text{ kg}.$$

Parcie to zaczepia w odległości od podstawy:

$$n = \frac{2{,}50}{3} \times \frac{3 \times 300 + 2{,}50 \times 1800}{2 \times 300 + 2{,}50 \times 1800} = 0{,}88 \text{ m}.$$

§ 70. Mury oporowe.

Mury oporowe, mające za zadanie podtrzymać ziemię w stromem nachyleniu, pozostają pod działaniem jej parcia. Parcie to stara się: a) przesunąć górną część muru po dolnej (nazewnątrz) w tej stosudze, w której zostanie przezwyciężone tarcie, b) przesunąć cały mur z fundamentem nazewnątrz, (o ile zostanie przezwyciężone tarcie między murem a ziemią, c) obrócić mur około punktu r (rys. 251) nazewnątrz. Jeżeli mur ma wypełnić w zupełności swoje zadanie podtrzymania ziemi, to muszą spełnić się nast. warunki (por. §§ 62 i 64).

1) Linja ciśnienia (wypadkowa z ciężaru własnego, parcia ziemi i innych obciążeń) nie powinna wyjść ze środkowej trzeciej części przekroju (także w podstawie! gdyż w przeciwnym razie działa tylko część podstawy muru). Co do wyjścia linji ciśnienia z rdzenia por. § 59.

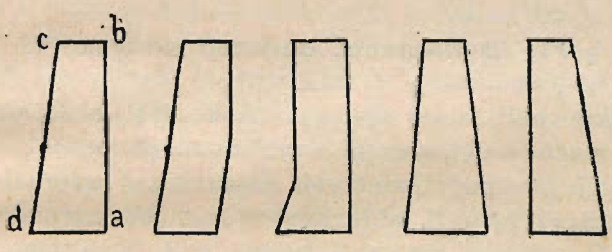
2) Linja ciśnienia nie może być odchylona od prostopadłej do szwu więcej niż wynosi kąt tarcia φ

3) Natężenia nie powinny przekraczać granicy dopuszczalnej.

Często w prostszych wypadkach, największe natężenie i największa odchyłka występuje u podstawy muru; wtedy wystarczy tam tylko zbadać stałość muru. Nieraz jednakowoż (np. przy przyczółkach przepustów sklepionych i t. d.) największa odchyłka l. ciśn. od osi występuje w innej wysokości i dlatego najczęściej dzielimy mur na poszczególne części, dla każdej z nich wyznaczamy wypadkową sił działających na nią i jej ciężaru własnego (t. j. linję ciśnienia) i badamy natężenie w paru przekrojach muru.

Grubość muru wzrasta zwykle ku dołowi odpowiednio do zwiększającego się ciężaru własnego i (głównie) parcia ziemi. Najczęściej grubość muru u góry wynosi 0,40—0,50 m, zaś zgrubienie wykonywamy w ten sposób, że pochylamy ku przodowi ścianę przednią cd, zaś tylną ab przeprowadzamy pionowo. Pochylenie ściany przedniej wynosi zwykle 5:1 lub 6:1 dla murów na zaprawie, zaś 3:1 lub 2:1 dla murów suchych (bez zaprawy). Mur ma wtedy kształt *trapezowy* (rys. 254).

Często ścinamy też ścianę tylną muru wedle rys. 255. Mur o tym przekroju nazywamy murem *trapezowym podciętym*. Obliczenie



Rys. 254—258.

następuje oczywiście wedle tych samych zasad. Również kształt wedle rys. 256, daje wielką oszczędność materjału.

Mur wedle rys. 257, używany jest rzadko, zaś wedle rys. 258, tylko wtedy, gdy chodzi o uzyskanie przedniej ściany pionowej.