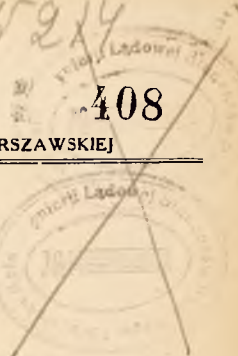


624.132.5
539.244.9

445214



KOMISJA WYDAWNICZA
TOW. BRATNIEJ POMOCY STUDENTÓW POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

DR. INŻ. ST. KUNICKI
PROF. POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

PARCIE ZIEMI NA MURY PODPOROWE

KONSPEKT Z WYKŁADÓW STATYKI BUDOWLANEJ II-EJ NA
WYDZIALE INŻYNIERJI ŁĄDOWEJ POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ



Nr. Wyd. 234.

1932

WARSZAWA

WYDANO WESPÓŁ Z KOŁEM INŻYNIERJI ŁĄDOWEJ STUD. POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

C.34783

Don. N.N. 1958

BGOLA/013-32

OD WYDAWCÓW

W związku z wydaniem niniejszego podręcznika poczuwamy się do miłego obowiązku złożenia serdecznego podziękowania Autorowi,

WP. prof. dr. inż. Stanisławowi Kunickiemu za przychylne potraktowanie sprawy wydania niniejszej pracy i bezinteresowny trud przy opracowaniu do niej rękopisu.

KOŁO INŻYNIERJI
LĄDOWEJ
STUD. POLIT. WARSZ.

85 NC. KOMISJA WYDAWNICZA
TOW. BRAT. POM. STUD.
POLIT. WARSZAWSKIEJ

Warszawa, w maju 1932 r.

ROZDZIAŁ I

PARCIE ZIEMI AKTYWNE, CZYLI ROZ- PÓR ZIEMI.

Pojęcia wstępne

Rozpatrzmy warunki równowagi i ruchu cząsteczek masy ziemi, posilkując się prawami ruchu ciała twardego po płaszczyźnie pochyłej. Jeśli /rys. 1 a/

ciężar cząsteczki ziemi

jest P , to nacisk jej

na płaszczyznę pochyłą

AB , nachyloną do po-

ziomu pod kątem φ /czy-

li składowa siły P , pro-

stopadła do płaszczyzny

AB /jest $N = P \cdot \cos \varphi$.

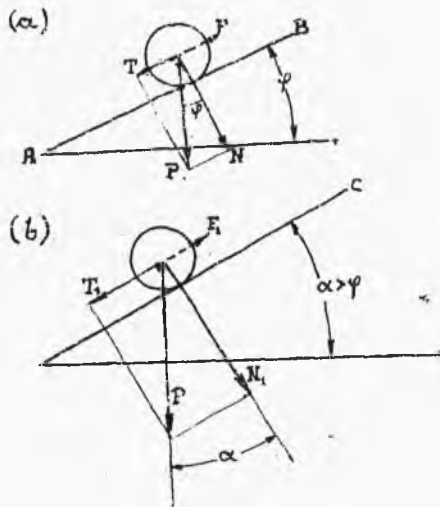
Zaś siła, powodująca ob-

sunięcie cząsteczki sie-

mi po płaszczyźnie pochy-

łej /czyli składowa siły P

równoległa do płaszczyzny AB



Rys. 1

jest $T = P \cdot \sin \varphi$.

Siła tarcia między cząsteczką ziemi i płaszczyzną AB jest $F = f \cdot N$, gdzie f jest to współczynnik tarcia. Warunek chwilowej równowagi cząsteczki ziemi wymaga, aby $T = F$ czyli:

$$P \sin \varphi = f \cdot P \cos \varphi, \text{ z\kappaąd } f = \operatorname{tg} \varphi.$$

Kąt φ - odpowiadający temu warunkowi - jest to kąt stoku naturalnego.

Jeśli zaś /rys. 1, b./ $T_1 > F$ albo $\operatorname{tg} \alpha > f$

gdzie kąt $\alpha > \varphi$, to cząsteczka ziemi obsunie się w dół.

Z tego wynika, że ziemia nasypana pod kątem, większym od kąta

φ /t.j. kąta stoku naturalnego/ nie jest w stanie sama przez

się zachować równowagi. Jednakże w tym ostatnim wypadku, ziemia

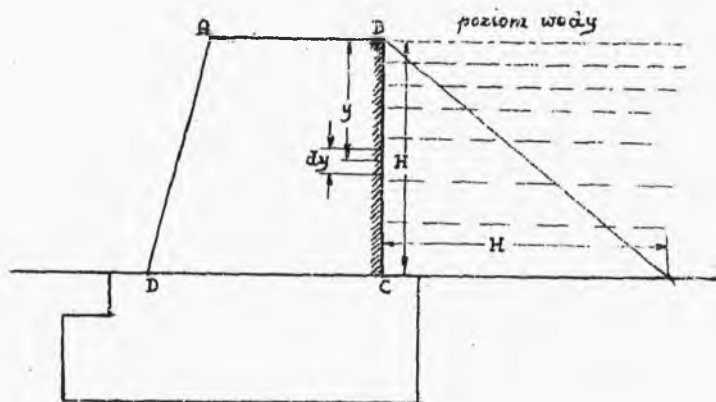
może być powstrzymana od obsunięcia się przez zastosowanie ściany

podporowej, która będzie przyjmowała na siebie od ziemi pewne

parcie. Jeżliby na ścianę $ABCD$ /rys. 2/, o wysokości H , napierała

woda, to, na mocy prawa hydrostatyki /prawa Pascal'a/, par-

cie wody na elementarne pólko tylnej powierzchni ściany o wysokoś-



Rys. 2.

ci $/dy/$ i o szerokości równej jednostce długości, byłoby normalne do tego półka i miałyby wielkość, odpowiadającą ciężarowi słupa wody, którego podstawą byłoby wspomniane elementarne półko tylnej powierzchni ściany, a wysokością odległość $/y/$ poziomu wody od środka ciężkości tegoż półka, czyli otrzymalibyśmy

$$dW = \gamma_w \cdot y dy \quad \text{gdzie } \gamma_w \text{ - ciężar jednostki objętości wody.}$$

Na całą więc ścianę o wysokości H mieliśmyby całkowite parcie wody:

$$W = \int_0^H \gamma_w \cdot y dy = \frac{\gamma_w \cdot H^2}{2} ;$$

Parcie zaś ziemi na tą samą ściankę będzie

$$Z = \gamma_z \cdot k \cdot \frac{H^2}{2} ;$$

gdzie $\gamma_z > \gamma_w$, ale zato współczynnik k , - zależny od tarcia między

cząsteczkami ziemi, jest znacznie mniejszy od jedności, a zatem parcie ziemi na ściankę podporową jest mniejsze od parcia wody. /Na-

przykład, w pewnym wypadku współczynnik $k = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$; /, przy $\varphi = 30^\circ$

mamy $k = \operatorname{tg}^2(30^\circ) = (\frac{1}{\sqrt{3}})^2 = \frac{1}{3}$; $\gamma_z = 1600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$; $\gamma_w = 1000$

zatem stosunek $\frac{Z}{W} = 1,6 \cdot \frac{1}{3} = 0,53$. Z tego względu dla

zmniejszenia parcia ziemi na ścianę podporową należy przestrzegać, żeby poza ścianą nie zbierała się woda i była starannie odprowadzana. W tym celu w ścianach robi się otwory A /rys. 3/, a w dole

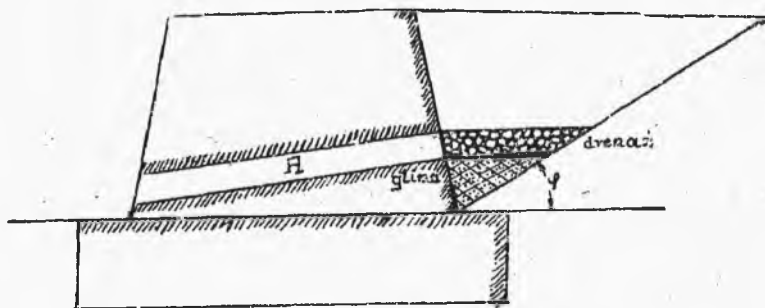
ściany nasypuje się drenaż z grubego żwiru, albo z drobnych kamieni, żeby zatrzymać cząsteczki ziemi od wynoszenia ich razem z wodą przez

otwory A /. Pod drenażem kładzie się warstwę gliny, t.j. materiał

nieprzepuszczający wody. Ziemia, którą zasypuje się na ścianami podporowymi powinna być sucha, nienasycona wodą, - żeby zmniejszyło

parcie na ścianę. Ziemia ta powinna być układana warstwami pozio-

memi i ubijana. Najlepiej wybierać dla zasypywania za ścianami podporowemi piasek, żwir, lub szeber /tłuczeń/.



Rys. 3.

Poniżej podana jest tablica wskazująca kąty stoku naturalnego, oraz współczynniki tarcia, a także

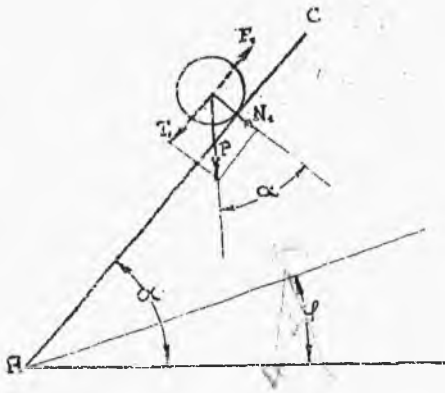
wagę jednostki objętości ziemi dla różnego rodzaju gruntów. Przy rozpatrzeniu rysunków /1,a/ i /1,b/ przyjmowaliśmy, że ślizganiu się cząsteczki ziemi po płaszczyźnie pochylej pod wpływem siły T przeciwdziała siła tarcia F . W rzeczywistości między cząsteczkami ziemi działa jeszcze siła przyczepności. Zjawisko przyczepności między cząsteczkami ziemi może objaśnić często obserwowany fakt, że w niegłębokich wykopach i jamach niektóre rodzaje gruntów mogą utrzymywać się przy pewnych warunkach w przeciągu pewnego czasu przy skarpach prawie pionowych. Doświadczenie pokazuje, że pryczepność między cząsteczkami gruntu w znacznej mierze zależy od stopnia wilgotności gruntu, t.j. od okoliczności bardzo zmiennej. Dla tego też w zwykłej teorii parcia ziemi na ściany podporowe zupełnie nie przyjmuje się pod uwagę zjawisko pryczepności pomiędzy cząsteczkami ziemi, liczy się li tylko na tarcie między temi cząsteczkami. Taki sposób obliczenia wypada na korzyść stałości i wytrzymałości ścian podporowych.

T A B L I C A KĄTÓW STOKU NATURALNEGO

Rodzaj gruntu	Ciepłar gatunkowy gruntu	Kąt φ stoku naturalnego	Współczynnik f tarcia	Waga w kg. jednego metra ³ gruntu
Piasek albo żwir suchy	1,64	35°	0,700	1640
Piasek nasycony wodą	2,00	24°	0,445	2000
Gлина sucha	1,60	40°	0,839	1500
Gлина nasycona wodą	1,95	17°	0,300	1950
Żwir kantowaty	1,77	38°	0,781	1770
Żwir rzeczny /okrągły/	1,77	45°	1,000	1770
Szabór /tłoczeń/	1,62	30°	0,577	1620
Czarnoziem o wilgotności naturalnej	1,58	45°	1,000	1580
Czarnoziem nasycony wodą	1,80	27°	0,510	1800
/Dla porównania/ Woda	1,00	0	0	1000

Jeżeli płaszczyzna, po której cząsteczki ziemi dążą do obsunięcia się na dół stanowi z poziomem kąt (α) większy od kąta (φ) stoku naturalnego /rys. 1, b i 4 a/, to, żeby i w tym wypadku utrzymać cząsteczkę ziemi w równowadze, należałoby przyłożyć do niej pewną siłę, która by przeciwdziałała ślizganiu się tej cząsteczki, ponieważ siła tarcia F_1 , zależna tylko od ciężaru P cząsteczki ziemi jest w tym wypadku niedostateczna dla przeciwdziałania sile T_1 .

dążącej do przesunięcia cząsteczki ziemi w dół po płaszczyźnie pochyłej. Nazwijmy dodatkową siłę, którą przykładamy dla utrzymania w tym wypadku cząsteczki ziemi w równowadze, przez Z



/rys. 4b/. Dla chwilowej równowagi siła Z powinna być taka, żeby wypadkowa z ciężaru P cząsteczki ziemi i z siły Z przedstawiała siłę Q /rys. 4,b/

Rys 4 a.

formującą z prostopadłą do płaszczyzny AC poślizgu kąt tarcia,

t.j. kąt φ . Wobec tego, w tym wypadku mamy:

$$\begin{aligned} T' &= Q \sin \varphi < T_0 \\ N' &= Q \cos \varphi > N_0 \\ F' &= f \cdot N' = \operatorname{tg} \varphi \cdot Q \cdot \cos \varphi = Q \sin \varphi; \end{aligned}$$

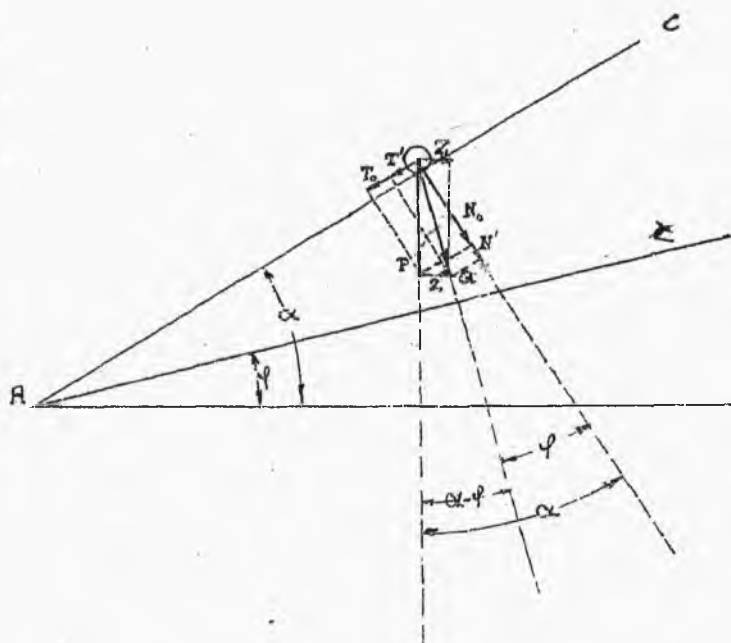
t.j. został wypełniony warunek chwilowej równowagi

$$T' = F'$$

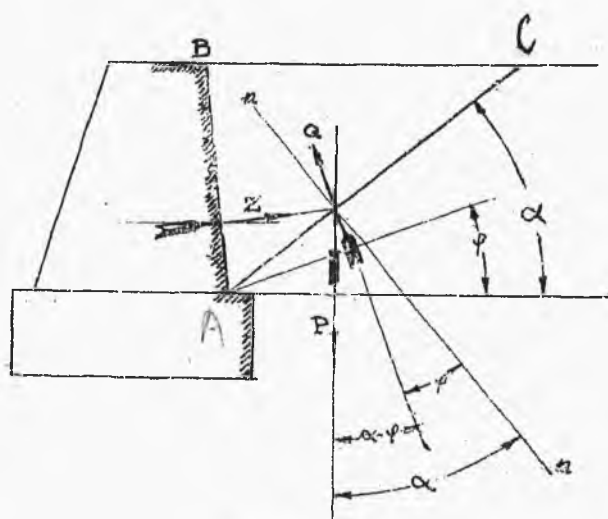
Jeśliby siła Q stanowiła z prostopadłą do płaszczyzny AC poślizgu kąt mniejszy od kąta tarcia (φ), to równowaga byłaby stateczna. Na rozumowaniach, objaśnionych rysunkami /4,a/ i /4,b/ i na hipotezie, że ziemia przy zsuwaniu oddziela się wzdłuż pewnej płaszczyzny, nazywanej płaszczyzną przestąpienia /odłamu, lub poślizgu/, oparta jest przybliżona teoria parcia ziemi na ściany

podperowe. W rzeczywistości zsuwanie się ziemi odbywa się po pewnej krzywej powierzchni bliskiej do płaszczyzny, jak wskazuje doświadczenie.

Jeśli, zamiast jednej cząsteczki ziemi, rozpatrzyć zespół takich cząsteczek, albo cały pryzmat ziemi o ciężarze P , który dąży do obsunięcia się po pewnej płaszczyźnie AC poślizgu /stanowiącej z poziomem kąt α większy od kąta (φ) tarcia ziemi po ziemi, albo od tego zwanego kąta stożku naturalnego /rys. 5/, to i w tym wypadku dla utrzymania tego pryzmatu ziemi w równowadze, ko-

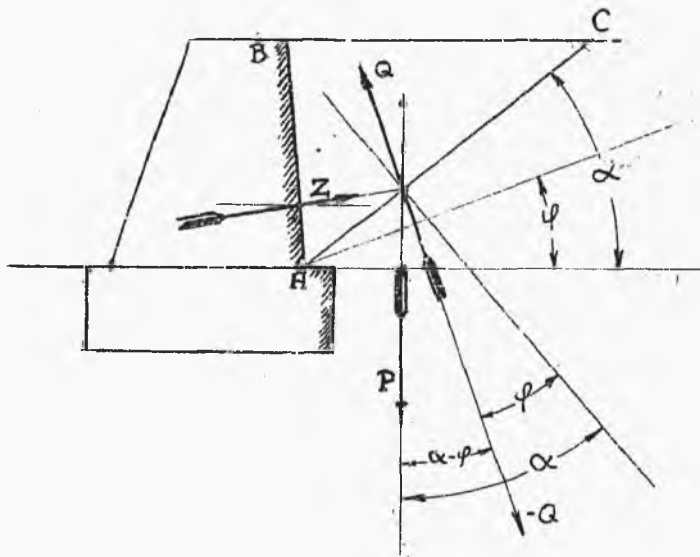


Rys. 4 b.



Rys. 5.

niecznym jest przyłożenie do tego pryzmatu pewnej siły Z .
Ta siła Z może być urzeczywistniona przez przeciwdziałanie muru podporowego obsuwaniu się pryzmatu ABC ziemi. Ten pryzmat nazywa się pryzmatem odłamu, /przesunięcia, lub poślizgu/.
Siła $-Q$ przedstawia nacisk pryzmatu ABC na masę ziemi, która leży niżej płaszczyzny AC przesunięcia /odłamu/. Ta ostatnia masa ziemi wywiera na pryzmat ABC przesunięcia przeciwdziałanie /reakcję/ $+Q$ równą i wprost przeciwną naciskowi $-Q$ /rys. 6/.

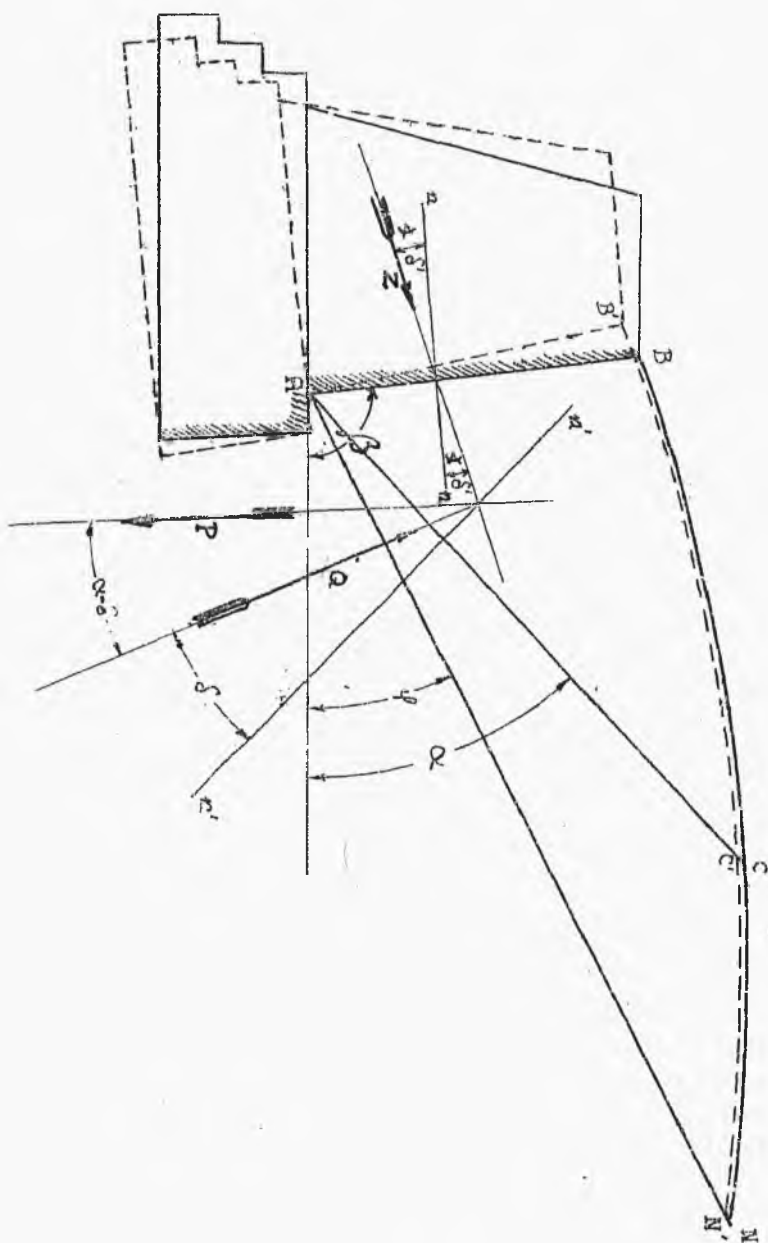


Rys. 6.

§ 1. Określenie położenia linii przesunięcia i wielkości parcia ziemi Z / sposób Pillet a /

Załóżmy, że AB jest śladem tylnej płaszczyzny ściany podporowej /na płaszczyźnie rysunku/, za którą znajduje się nasyp $ABCN$ /rys. 7/ i że kąt β nachylenia AB do poziomu jest większy od kąta (φ) . Przyjmijmy, że powierzchnie masy ziemi z góry jest ograniczona krzywą powierzchnią cylindryczną prostopadłą do płaszczyzny rysunku, śladem której na tej płaszczyźnie jest krzywa BCN . Przeprowadźmy płaszczyznę, ślad której AN stanowi kąt (φ) z poziomem. Część masy ziemi niżej płaszczyzny AN znajduje się w naturalnej równowadze. Parcie na ścianę podporową zależy wyjątkowo od wpływu części przyzmatu ziemi ABN znajdującego się wyżej płaszczyzny AN . Jeśli ściana AB choć trochę się poruszy, czy to wskutek nierównomiernego osiadania gruntu pod jej fundamentem, czy to wskutek niewielkiego przesunięcia się jej, i przejdzie przy tem, do położenia AB' , to, jak pokazuje doświadczenie, zaraz zacznie się ruch cząsteczek ziemi w przyzmacie ABN połączony z uformowaniem się płaszczyzny AC poślizgu /przesunięcia/ i obsuwanie się przyzmatu ziemi ABC /tak nazwanego przyzmatu odłamu lub przesunięcia / w dół po płaszczyźnie AC . To przesunięcie będzie trwało dopóki nie nastąpi równowaga między ciężarem P - przyzmatu odłamu, reakcją Z ściany podporowej i odporem Q masy ziemi, leżącej niżej płaszczyzny AC .
Przyjmując pod uwagę, że przy obsuwaniu się przyzmatu odłamu wys-

tepuje tarcie między cząsteczkami ziemi i tylną powierzchnią ścia-
ny , znajdziemy w wypadku chwilowej równowagi pryzmatu ABC , że



Rys. 7.

ciężar jego P równowały się dwiema siłami, a mianowicie: Z ,
stanowiącą z prostopadłą (n, n) do tylnej powierzchni ściany kąt
 $\delta' \leq$ kątowi tarcia ziemi o ścianę i Q , stanowiącą z prostopad-
łą (n', n') do linii AC /przesunięcia, czyli odłamu/ pewien kąt
 $\delta \leq$ od kąta tarcia ziemi o płaszczyznę AC /czyli ziemi o zie-
mie/. $\text{Max. } \delta =$ kątowi φ , t.j. kątowi stoku naturalnego.
Co się zaś tyczy kąta δ' , to zwykle przyjmuje się /co zgadza się
z rzeczywistością / przyczepność /adhezja/ pewnej bardzo cien-
kiej warstwy ziemi do tylnej powierzchni ściany tak, że tarcie
powstaje nie między ścianą a ziemią, lecz między ziemią i bar-
dzo cienką warstwą ziemi przyczepioną do ściany. $\text{Max. } \delta' = \varphi$.

W ten sposób linje działania sił Z i Q określiły się.

Ciężar pryzmatu przesunięcia /odłamu/ jest:

$$P = \text{pole } ABC \cdot \gamma_1 \cdot 1,$$

ponieważ rozpatrujemy ścianę o długości 1 metra; γ_1 - jest to cięż-
zar jednostki objętości ziemi. Jak widzimy dla określenia z warun-
ku równowagi wielkości Z trzeba znać położenie płaszczyzny AC .

Załóżmy, że kąt $\delta' = \text{max } \delta' = \varphi$ i kąt $\delta = \text{max } \delta = \varphi$ i nary-

sujemy dla wypadku chwilowej równowagi dowolnego pryzmatu ACB

ziemi /leżącej z tyłu ściany podporowej/ plan sił /rys. 8/ kąt ρ
między siłą Z i pionem, $\rho = 180^\circ - (\beta + \varphi)$. Przy $\beta = 90^\circ$; $\rho = 180^\circ - (\beta + \varphi) = 90^\circ - \varphi$.

Żeby znaleźć pryzmat odłamu, robimy szereg postępowych prób, zas-
tosowując do dowolnie wziętych pryzmatów wykresy, pokazane na

rys. 8, przy czem wszystkie plany sił kreślimy na tym samym ogól-

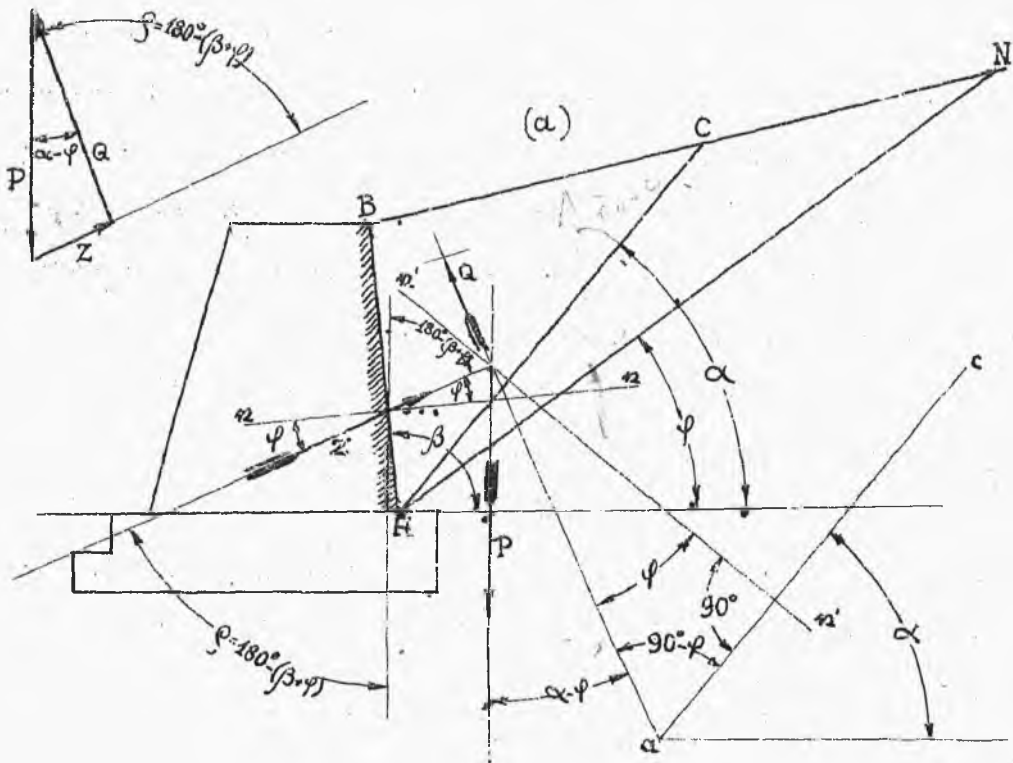
nym rysunku, odkładając ciężary oddzielnych pryzmatów na jednej

prestej /rys. 9/. Prebujemy pryzmaty ABD ; ABG ; ABC ;

ABK, ABM, ABU i ABN,

których odpowiednie ciężary są P_1 ; P_2 ; P_3 ; P_4 ;
 P_5 ; P_6 i P_7 . Dla każdego z pryzmatów znajdziemy w pla-
 nie sił /rys. 9/ odpowiednią wartość Z ; wartości te wyrażają

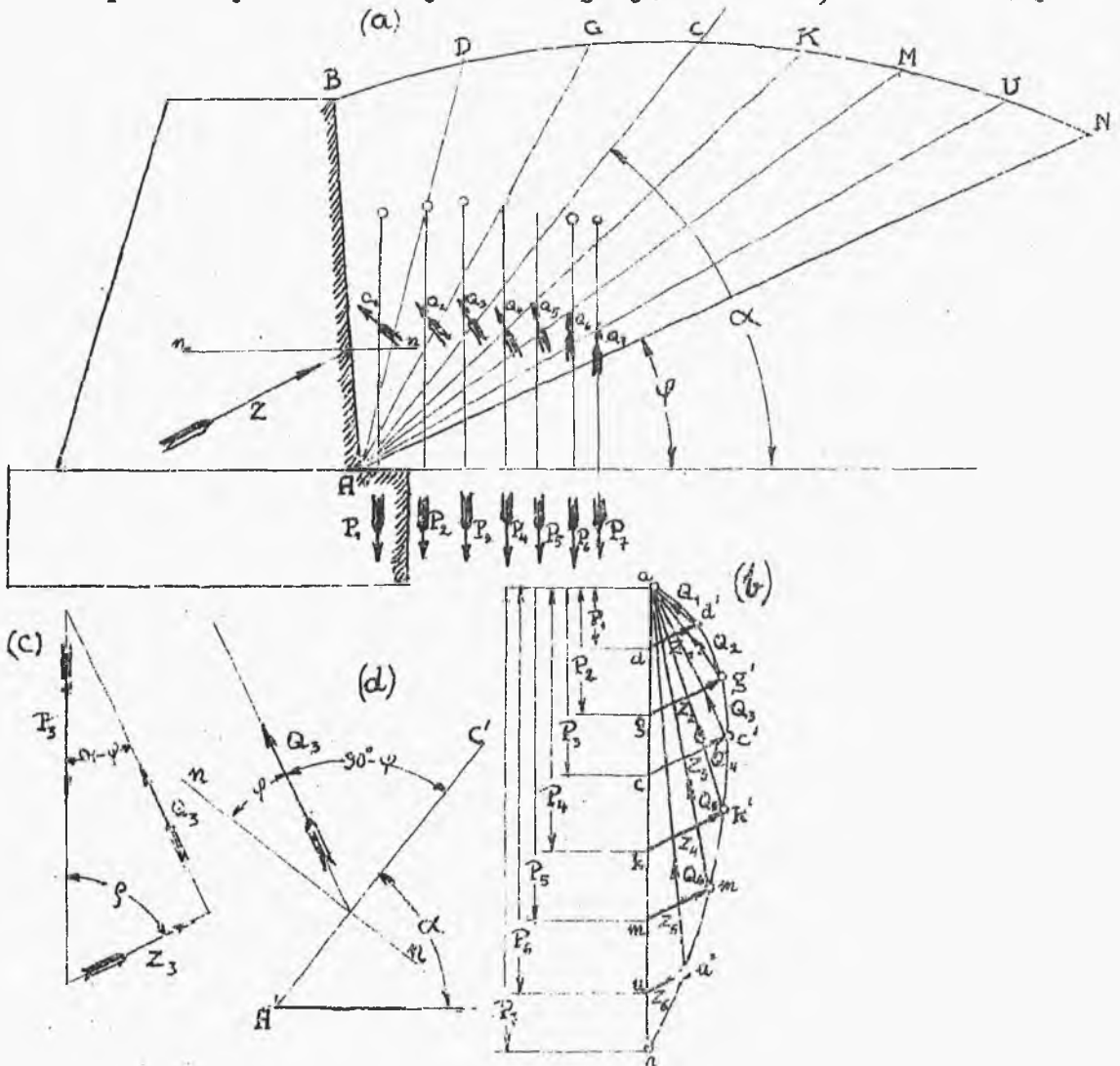
(b)



Rys. 8.

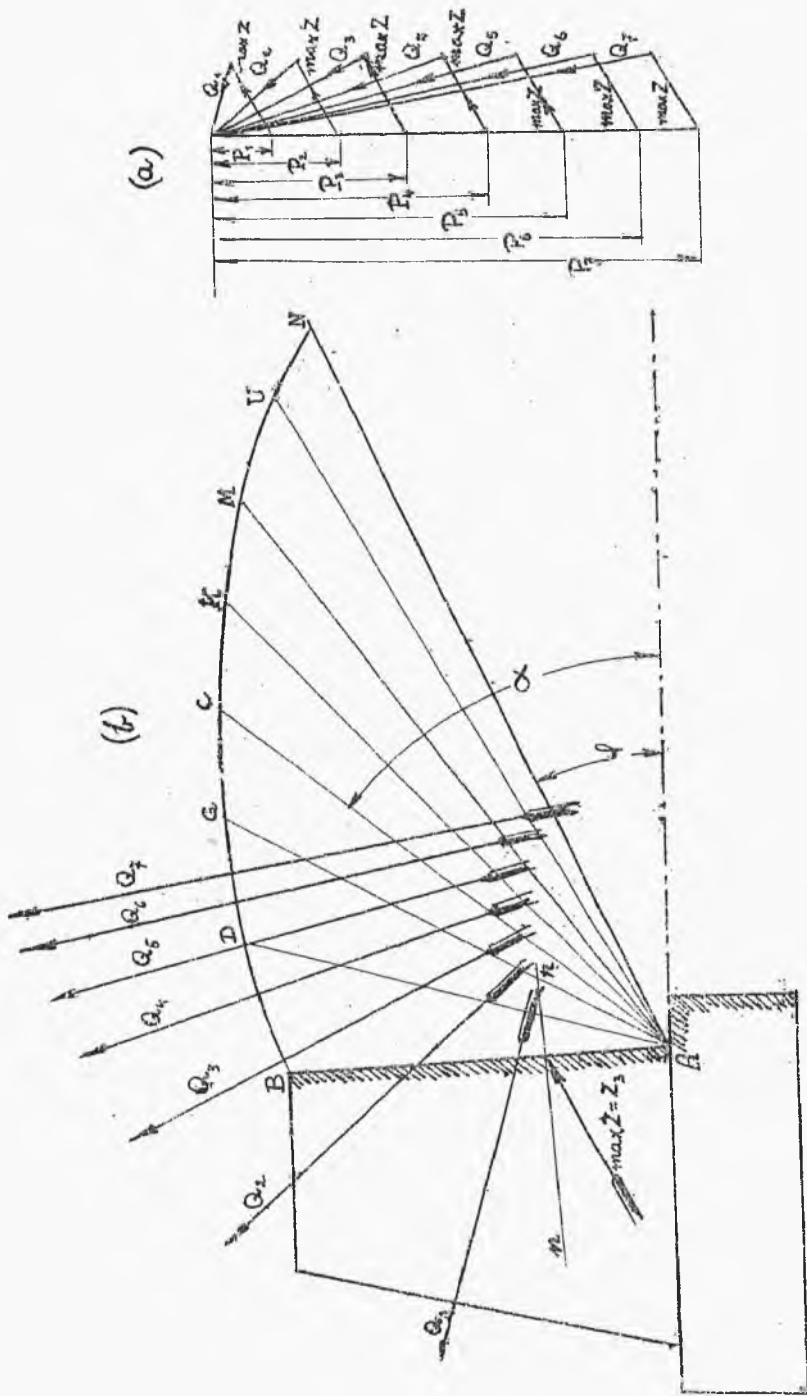
się odcinkami $d'd$; $g'g$; $c'c$; $k'k$; $m'm$; $u'u$ i $n'n$.
 Łącząc punkty: a , d ; g' ; c' ; k ; m' ; u' i n' (n) ,
 ciągłą krzywą, przeprowadzamy do tej krzywej styczną pionową. Daj-
 my na to, że punktem styczności jest punkt C' ; wtedy odcinek $\overline{C'C}$
 da nam największą wartość parcia ziemi na ścianę, t.j. $\max Z$.
 Poszukiwany pryzmat odłamu /czyli przesunięcia/ odpowiada oczywiście
 wartości $\max Z$; ponieważ ruch ściany nastąpi, natural-

nie, przy działaniu największego możliwego w danym wypadku parcia ziemi. A zatem pryzmat ACB jest pryzmatem odłamu /czyli przesunięcia/, a płaszczyzną przesunięcia /czyli poślizgu/ jest płaszczyzna AC . Jesliby w planie sił punkt styczności linii równoległej do sił F , nie znalazł się



Rys. 9.

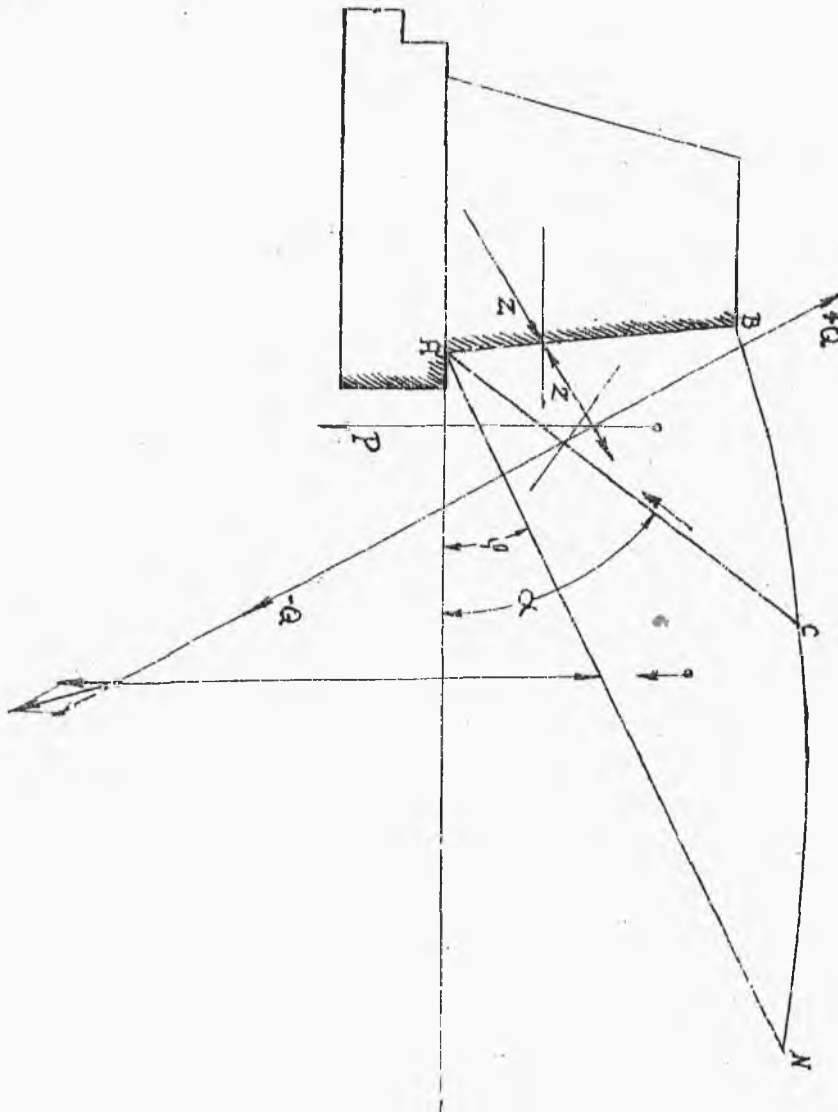
z żadnym z punktów przez które była zbudowana krzywaj $ad'g'c'k'$
 $m'un'$ /to należałoby połączyć punkt styczności z punktem (α)
planu sił i do otrzymanej w ten sposób linii działania siły Q
/odpowiadającej poszukiwanemu pryzmatowi przesunięcia/ przeprowe-
dzić na rysunku ściany podporowej przez punkt A prostą pod ką-
tem $90^\circ - \varphi$. Ta prosta przedstawiłaby poszukiwaną linię przesunięcia,
ponieważ z rysunku /9 d/ wypada, że linja przesunięcia stanowi z
odpowiednią siłą Q kąt $90^\circ - \varphi$. Łatwo zauważyć, że jeśli par-
cie ziemi na ścianę, albo równa mu i wprost przeciwna reakcja ściany
na ziemię - wyraża się odcinkiem $\overline{cc'} = \max Z$, to
przesuwanie się ziemi nie może odbywać się wzdłuż płaszczyzn AD ;
 AG ; AK ; AM ; AU i AN , a tylko wzdłuż płaszczyz-
ny AC . W istocie, jeśli, utrzymując stałą wartość
 $Z = \max Z = \overline{cc'}$, określimy z warunków równowagi /zma-
knięty plan sił/ dla pryzmatów ABD ; ABG ; ABK - odpowiednie siły
/rys. 10/, to się okaże, że siły Q dla płaszczyzn AD ; AG ; AK ;
będą stanowiły z prostokadłami do tych płaszczyzn kąty (δ) mniej-
sze od kąta tarcia (φ) , a dla niektórych płaszczyzn nawet ujemne
kąty $\delta < \varphi$. Wartość $\max \delta = \varphi$ będzie odpowia-
dała tylko jednej płaszczyźnie poślizgu AC , dla której mamy
 $\max Z$. Z tego wypada, że tylko dla tej jedynej płaszczyzny bę-
dzie zachodziła chwilowa równowaga w momencie przed rozpoczęciem
się ślizgania. Klincz ziemi ACN zawarty między płaszczyzna-
mi AC poślizgu i AN stoku naturalnego /rys. 11/ przyjmuje
na siebie parcie Q od pryzmatu odłamu /przesunięcia/ i dla te-
go nie zsuwa się pod działaniem ciężaru własnego po płaszczyź-



Rys. 10.

nie stoku naturalnego.

Opisany sposób francuskiego inżyniera Pillet'a, czyli sposób postępowych prób - przedstawia ogólną metodę, która poprzednio była często stosowana w Statyce Budowlanej w różnych wypad-



Rys. 11.

kach, na przykład przy obliczaniu sklepień sposobem krańcowej

równowagi i przy innych obliczeniach. Sposób Pillet'a daje nam możliwość określenia płaszczyzny przesunięcia /odłamu/ i wartości parcia ziemi na mury podporowe.

§ 2. A n a l i t y c z n e w y z n a c z e n i e
p ł a s z c z y z n y p r e s u n i ę c i a / s p o s ó b
P o n c e l e t ' a ./

Rozpatrzmy ogólny wypadek, kiedy na powierzchni nasypu znajduje się jakieś obciążenie użyteczne /np. tłum ludzi, wozy, pociąg, które może być zastąpione równoznaczną warstwą ziemi, leżącej na powierzchni nasypu.

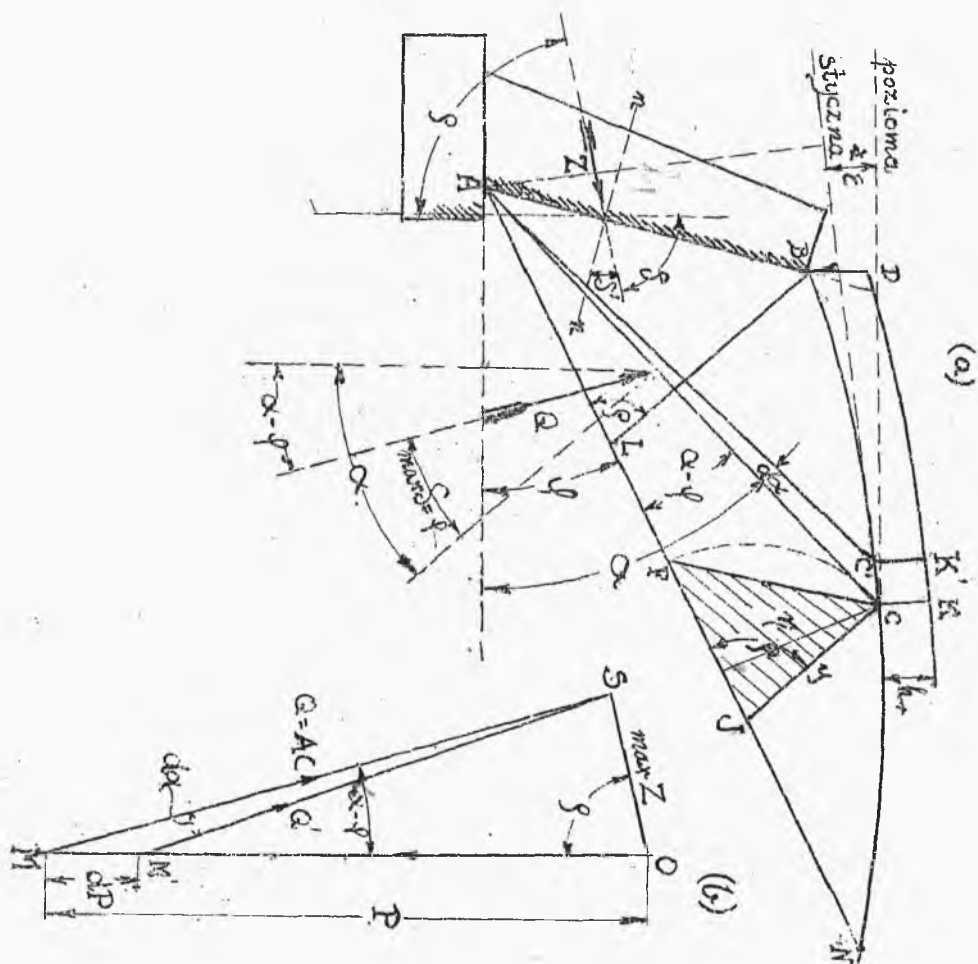
Załóżmy, że górna powierzchnia nasypu jest cylindryczna i przecięcie tej powierzchni z płaszczyzną rysunku przedstawia krzywa linja BCN /rys. 12/.

Jeśli obciążenie użyteczne nasypu jest równomiernie rozłożone wzdłuż rzutu poziomego górnej powierzchni nasypu, to ono może być zastąpione ciężarem warstwy ziemi, mającej stałą wysokość h_r /hauteur réduite - sprowadzona wysokość/.

Zastosujmy ogólną metodę analizy, t.j. załóżmy, że ślad poszukiwanej płaszczyzny odłamu /przesunięcia/ już został znaleziony i przedstawia linję AC /rys. 12/. Postarajmy się z wiadomych nam warunków, którym powinna odpowiadać płaszczyzna przesunięcia, wyprowadzić niektóre geometryczne cechy, czyli odznaki. Te geometryczne wyniki posłużą nam dla sprawdzenia, czy przyjęta przez nas płaszczyzna AC przedstawia rzeczywiste położenie płaszczyzny odłamu, oraz, w przeciwnym wypadku, da-

dzą nam możliwość znalezienia na rysunku prawdziwego położenia tej płaszczyzny.

Warunki, którym powinna odpowiadać płaszczyzna odłamu są



Rys. 12.

nam znane /to znaczy ze sposobu określenia tej płaszczyzny metodą postępowych prób/, a mianowicie:

1/ parcelo ziemi Z odpowiadająca tej płaszczyźnie osiąga swoją najwyższą wartość $max Z$

2/ kąt δ między siłą Q i prostopadłą do AC , także osiąga swoją największą wartość, t.j. $\max \delta = \varphi$ t.z. staje się równym kątowi tarcia ziemi po ziemi. Siła Q - jest to wypadkowa reakcji masy ziemi leżącej niżej płaszczyzny przesunięcia AC na parcie pryzmatu ABC .

Ze sposobu Fillet'a jest widocznem, że dla różnych pryzmatów, wartości Z zmieniają się w zależności od kąta (α) który formuje z poziomem dowolną próbną płaszczyznę. Zatem za zmienną niezależną dla funkcji Z możemy przyjąć kąt (α)

Jak wiadomo z matematyki dla $\max Z$ i $\min Z$ powinien być spełniony warunek:

$$\frac{dZ}{d\alpha} = 0$$

Jeśli płaszczyzna AC dowolnie przez nas obrana na rys. 12, jest rzeczywiście płaszczyzną przesunięcia /odłamu/, to dla niej, jako odpowiadającej $\max Z$ musi być spełniony powyższy warunek:

$$\frac{dZ}{d\alpha} = 0$$

Ztąd bezpośrednio wypływa bardzo interesujący wynik, który nam posłuży do wyprowadzenia poszukiwanej geometrycznej cechy /czyli odznaki/, której powinno odpowiadać położenie płaszczyzny AC .

Napiszmy, że Z jest pewną funkcją zmiennej niezależnej (α) $Z = f(\alpha)$. Dajmy zmiennej niezależnej, t.j. kątowi α pewien nieskończenie mały przyrost $d\alpha$ i określmy dla $(\alpha + d\alpha)$ nową wartość funkcji $f(\alpha + d\alpha) = Z_1$, i w tym

celu zastosujemy szereg Taylor'a:

$$Z_1 = f(\alpha + d\alpha) = f(\alpha) + \frac{d\alpha}{1} f'(\alpha) + \frac{d\alpha^2}{1.2} f''(\alpha) + \dots$$

Ponieważ dla płaszczyzny AC musi być:

$$f'(\alpha) = \frac{dZ}{d\alpha} = 0$$

to

$$Z_1 = f(\alpha + d\alpha) = f(\alpha) + \frac{d\alpha^2}{1.2} \cdot f''(\alpha),$$

albo wprowadzając oznaczenie poprzednie

$$Z = f(\alpha)$$

znajdziemy, że

$$Z_1 = f(\alpha + d\alpha) = Z + \frac{d\alpha^2}{1.2} \cdot f''(\alpha) + \dots$$

W ten sposób, co ścisłością do nieskończenie małych wielkości drugiego i wyższych stopni, mamy:

$$Z_1 = Z$$

a zatem, jeśli na rysunku /rys.12/ przeprowadzimy płaszczyznę AC' pod kątem $d\alpha$ do płaszczyzny AC to wielkość parcia Z /czyli rozporu ziemi/, odpowiadająca nowej płaszczyźnie AC' pozostanie /ze ścisłością do nieskończenie małych wielkości drugiego i wyższych rzędów/ tą samą, jak dla płaszczyzny AC t.j. $\max Z$.

Na tych prostych rozumowaniach oparte jest następujące twierdzenie o geometrycznej osi, które określa położenia płaszczyzny przesunięcia. Ciężar P przyzmatu odłamu ABDKCA /rys. 12/ równoważy się dwoma siłami, a mianowicie: siłą $\max Z$ równą i wprost przeciwną parciu ziemi na ścianę, i reakcją Q masy ziemi, leżącej niżej płaszczyzny przesunięcia AC.

Nazwijmy pole $ABDKCA$ podstawy pryzmatu przesunięcia przez U .

$$U = \text{pole } ABDKCA$$
$$P = \gamma \cdot U \cdot l,$$

ponieważ rozpatrujemy pryzmat ziemi, który ma pole podstawy U a wysokość /prostopadle do płaszczyzny rysunku/ równą jednostce długości, t.j. jednemu metrowi.

Zbudujmy plan sił /rys. 12, b/, przyozsem wybierzmy skalę sił tak, żeby siła Q w planie sił mierzyła się odcinkiem równym odcinkowi AC na rysunku ściany podporowej /rys. 12, a i b/

$$Q = \overline{AC}$$

Narysujmy /rys. 12, a/ płaszczyznę AC' , formującą z płaszczyzną AC nieskończenie mały kąt $d\alpha$. Ciężar nowego pryzmatu $ABDK'CA$ jest:

$P - dP$,
gdzie dP ciężar elementarnego pryzmatu $AC'K'KCA$

Ciężar pryzmatu $ABDK'CA$ powinien się równoważyć z poprzednią wielkością siły $Z = \max Z$ /na mocy powyższych rozważań/ i z nową siłą Q' , która będzie stanowił z siłą Q kąt $d\alpha$.

Ta ostatnia okoliczność objaśnia się w ten sposób, że zarówno dla płaszczyzny przesunięcia AC jak i dla nieskończenie bliższej do niej płaszczyzny AC' mamy krańcowe warunki równowagi, t.j. że wzdłuż tych płaszczyzn tylko oś nie następuje przesuwanie się /poślizg/ ziemi /chwilkowa równowaga/. A zatem, siły

Q i Q' są nachylone do odpowiednich prostopadłych do płaszczyzn AC i AC' pod jednakowymi kątami tarcia $\max \alpha = \varphi$.

Wskutek tego i kąt między Q i Q' będzie równy kątowi $d\alpha$ /między AC i AC' /. W ten sposób, jeśli w planie sił /rys. 12, a/ odłożymy kąt $d\alpha$, to otrzymamy

$$Q' = \overline{MS} \quad \text{i} \quad dP = \overline{MM'}$$

Każdy z dwóch rysunków /12 a i b/, t.j. plan sił i rysunek, pokazujący pola podstaw pryzmatów ziemi, da nam możliwość napisania następującego stosunku

$$\frac{P}{dP}$$

Porównywując otrzymane w ten sposób dwa wyrazy, znajdziemy ostatecznie poszukiwaną geometryczną zależność dla określenia śladu AC płaszczyzny odłamu, t.j. linii przesunięcia AC .

Przeprowadźmy na rys. /12, a/ styczną do krzywej BCN w punkcie C i przez ten sam punkt C linię poziomą i oznaczmy ostry kąt między temi dwoma prostymi przez ε . Długość odcinka prostopadłej opuszczonej z punktu A na styczną do krzywej BCN w punkcie C oznaczmy przez h' . Odległość między rzędnymi K_1C_1 i KC obciążenia użytkowego jest oczywiście:

$$\overline{C'C} \cos \varepsilon$$

Wskutek tego, mamy według rysunku /12, a/

$$\begin{aligned} dP &= \gamma_1 \times 1 \times \text{pole } K_1 K C_1 C A = \\ &= \gamma_1 (\text{pole } \Delta - a A C C' + h' \times \overline{C'C} \cos \varepsilon) \end{aligned}$$

albo

$$dP = \gamma_1 \cdot \text{pole } \Delta\text{-}\alpha ACC' \left\{ 1 + \frac{h_r \cdot \overline{CC} \cos \varepsilon}{\text{pole } \Delta\text{-}\alpha ACC'} \right\}$$

Przy nieskończenie małym kącie możemy napisać, że pole

$$ACC' = \frac{1}{2} \overline{CC} \cdot h'$$

Zkąd:

$$dP = \gamma_1 \cdot \text{pole } ACC' \left\{ 1 + \frac{h_r \cdot \overline{CC}' \cos \varepsilon}{\frac{1}{2} \overline{CC}' \cdot h'} \right\}$$

t. j.

$$dP = \gamma_1 \cdot \text{pole } ACC' \left\{ 1 + \frac{2h_r \cos \varepsilon}{h'} \right\}$$

Ten wyraz może być jeszcze przekształcony, jeśli przyjąć pod uwagę, że pole $\Delta ACC'$, przy nieskończenie małym kącie $d\alpha$ można przedstawić przez

$$\frac{1}{2} \overline{AC}^2 \cdot d\alpha$$

W ten sam sposób można wyrazić w planie sił /rys. 12, b/ pole trójkąta MSM' . Pole $\Delta MSM' = \frac{1}{2} Q^2 d\alpha$.

Ponieważ na mocy wybranej skali sił

$$Q = \overline{AC}$$

więc, z porównania między sobą wyrazów dla pól Δ -ów ACC' i MSM' wypada, że pole $\Delta\text{-}\alpha ACC' = \text{pole } \Delta\text{-}\alpha MSM'$. (1)

a zatem:

$$dP = \gamma_1 \cdot \text{pole } MSM' \cdot \left[1 + \frac{2h_r \cos \varepsilon}{h'} \right]$$

Z rys. /12, a/ stosunek

$$\frac{P}{dP} = \frac{\gamma \cdot v}{\gamma_1 \cdot \text{pole } MSM' \left[1 + \frac{2h_r \cos \varepsilon}{h'} \right]} \quad (2)$$

Z drugiej strony, z planu sił /rys. 12, b/ znajdujemy, ponieważ Δ -y MSM' i MSO mają jednakową wysokość:

$$\frac{P}{dP} = \frac{\text{pole } MSO}{\text{pole } MSM'} \quad (3)$$

Porównując równania /2/ i /3/, mamy:

$$\frac{v}{\text{pole } MSM' \left[1 + \frac{2h_r \cos \epsilon}{h} \right]} = \frac{\text{pole } MSO}{\text{pole } MSM'}$$

Zkąd:

$$v = \text{pole } MSO \left[1 + \frac{2h_r \cos \epsilon}{h} \right] \quad (4)$$

Równanie /4/ może być znów przekształcone, jeśli na rys. /12, a/ przeprowadzimy z punktu C prostą CJ , stanowiącą z linią AN stoku naturalnego kąt φ , t.j. kąt równy kątowi linii działania siły Z z pionem.

Oznaczony na rys. /12, a/ trójkąt ACJ będzie równy Δ -owi MSO , ponieważ

$$\begin{aligned} \overline{AC} &= Q = \overline{MS} \\ \sphericalangle CJA &= \varphi = \sphericalangle SOM \\ \sphericalangle CAN &= \alpha - \varphi = \sphericalangle OMS \end{aligned}$$

Zatem

$$v = \text{polu } ACJ \cdot \left\{ 1 + \frac{2h_r \cos \epsilon}{h} \right\} \quad (5)$$

Wyraz /5/ przedstawia właśnie poszukiwaną geometryczną cechę /czyli odznakę/ dla określenia rzeczywistego położenia linji przesunięcia /czyli poślizgu/.

Prosta AC musi być tak wyznaczona, żeby równanie /5/ było spełnione.

§ 3. Określenie wielkości parcia /czyli rozporu/ ziemi.

Dla określenia wielkości $\max Z$ użyjmy tegoż rysunku 12-go. Nazwijmy na rys. /12, a/ odcinek \overline{CJ} przez y , a długość prostopadłej, opuszczonej z punktu C na prostą AN , przez η

Trójkąt ACJ jest podobny do trójkąta planu sił, wskutek czego siły z planu sił można wyrazić zapomocą odcinków prostych, stanowiących boki trójkąta ACJ . Wskutek tego możemy napisać

$$\frac{\max Z}{P} = \frac{\overline{CJ}}{\overline{JA}}$$

albo

$$\max Z = \frac{P \cdot \overline{CJ}}{\overline{JA}} = \frac{P y}{\overline{JA}}$$

Podstawiając do wyrazu /6/, zamiast P , jego wartość

$$P = \gamma_i \cdot v$$

otrzymamy:

$$\max Z = \frac{\gamma_i \cdot v \cdot y}{\overline{JA}} \quad (7)$$



Jeśli zaś, zamast \mathcal{V} podstawić jego wartość z równania /5/, to znajdziemy:

$$\max Z = \frac{\gamma_i y \cdot \text{pole ACJ} \left\{ 1 + \frac{2h_r \cos \epsilon}{h} \right\}}{JA} \quad (8)$$

ale pole Δ -a ACJ = $\frac{1}{2} JA \cdot \eta$

Zatem:

$$\max Z = \frac{1}{2} \gamma_i y \cdot \eta \left\{ 1 + \frac{2h_r \cos \epsilon}{h} \right\} \quad (9)$$

Jeśli nie ma żadnego obciążenia użytkowego, to $h_r = 0$

$$i \quad \max Z = \frac{1}{2} \gamma_i y \cdot \eta \quad (10)$$

Na rys. /12, a/ pole zakreskowanego Δ -ka CJF wyraża wielkość proporcjonalną do $\max Z$, ponieważ dla otrzymania $\max Z$ wspomniane pole należy tylko pomnożyć przez γ_i .

Trójkąt CJF nazywa się trójkątem parcia ziemi.

§ 4. Wypadek, kiedy masa ziemi ograniczona jest z góry płaszczyzną /naziem płaski/.

$$\alpha\beta + \alpha\delta + \alpha\varphi = 180^\circ$$

gdzie φ - jest to kąt, który tworzy linja działania siły Z z pionem.

Rozpatrzmy /rys.13/ ten wypadek, kiedy masa ziemi ograniczona jest z góry płaszczyzną pochyłą /kąt nachylenia jej do poziomu = ϵ /i oprócz tego mamy obciążenia nasypu użytkowe, cięż-

zar którego na jednostkę długości pochylej płaszczyzny stanowi ρ .
Obciążenie jednostki pola rzutu poziomego górnej powierzchni
ziemi będzie stanowiło

$$\frac{\rho}{1 \cdot \cos \varepsilon}$$

a wprowadzona /zastępcza / wysokość słupa gruntu, ciężar którego
równoważy ciśnienie obciążenia użytkowego wyniesie:

$$h_r = \frac{\rho}{1 \cdot \gamma_r \cdot \cos \varepsilon}$$

a zatem, na mocy wyrazu /5-go/, otrzymamy:

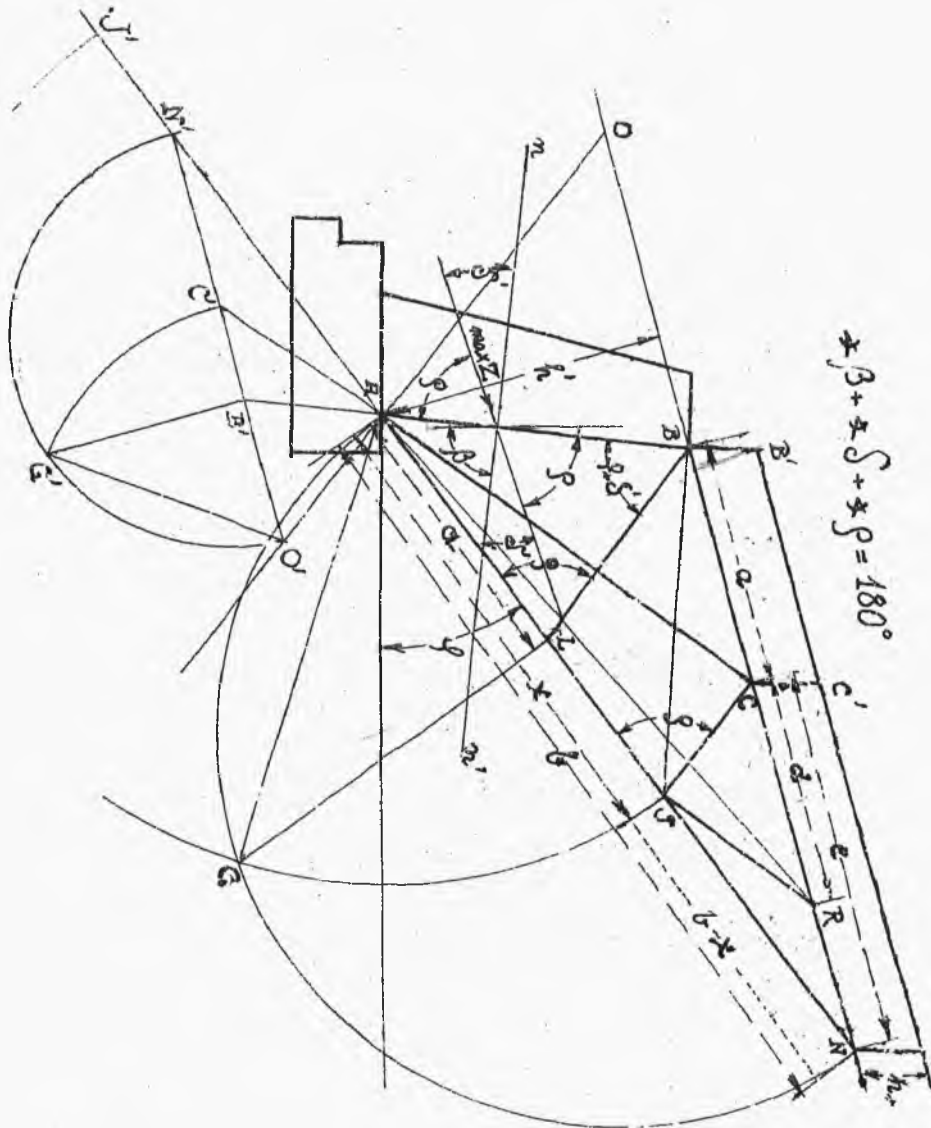
$$v = \text{pole } \Delta ACJ \left[1 + \frac{2\rho \cdot \cos \varepsilon}{\gamma_r \cdot \cos \varepsilon \cdot h'} \right] = \text{pole } \Delta ACJ \left\{ 1 + \frac{2\rho}{\gamma_r \cdot h'} \right\} \dots (11)$$

która to wartość może być obliczona, jeśli jest dane ρ .

Z drugiej strony:

$$\begin{aligned} v &= \text{pole } \Delta ABC + \text{pole } BB'C'C = \\ &= \text{pole } \Delta ABC + h_r \cdot \overline{BC} \cdot \cos \varepsilon = \\ &= \text{pole } \Delta ABC \left[1 + \frac{h_r \cdot \overline{BC} \cdot \cos \varepsilon}{\text{pole } \Delta ABC} \right] = \\ &= \text{pole } \Delta ABC \left[1 + \frac{h_r \cdot \overline{BC} \cdot \cos \varepsilon}{\frac{1}{2} \overline{BC} \cdot h'} \right] = \\ &= \text{pole } \Delta ABC \left[1 + \frac{2\rho \cdot \cos \varepsilon}{\gamma_r \cdot \cos \varepsilon \cdot h'} \right] = \\ &= \text{pole } \Delta ABC \left[1 + \frac{2\rho}{\gamma_r \cdot h'} \right] ; \end{aligned} \quad (12)$$

Porównując równania /11/ i /12/, widzimy że w rozpatrywanym wypadku pol. $\Delta ACJ = \Delta ABC$, t.j. położenie płaszczyzny przesunięcia /odłamu/ nie zależy od obciążenia użytkowego.



Rys. 13.

W ten sposób dowiedzione jest twierdzenie, że przy plasz-

kiej powierzchni zasypki za ścianą, położenie linii przesunięcia (AC) nie zależy od użytkowego obciążenia.

$$Z = \frac{1}{2} \gamma_i y \cdot \eta \left\{ 1 + \frac{2p}{\gamma_i \cdot h} \right\} \quad (13).$$

Przy $p=0$ $Z = \frac{1}{2} \gamma_i y \cdot \eta$

§ 5. Wykreślony sposób oznaczenia linii przesunięcia i parcia ziemi, podany przez Poncelet'a.

Oznaczmy /rys. 13/ przez β - kąt, który tylna powierzchnia ściany podporowej tworzy z płaszczyzną poziomą i przez S' , jak poprzednio, kąt między linią działania siły Z i prostopadłą do tylnej powierzchni ściany i przez φ /jak poprzednio kąt między siłą Z i pionem.

Zauważymy, że $S' + \varphi + \beta = 180^\circ$, z kąd
 $\beta = 180^\circ - (S' + \varphi)$

Przeprowadźmy przez B /rys. 13/ prostą BL pod kątem φ do AN ; $\sphericalangle BLA = \varphi$; wtedy

$$\sphericalangle ABL = 180^\circ - \varphi - (\beta - \varphi)$$

t.j.

$$\sphericalangle ABL = 180^\circ - \varphi - [180^\circ - (S' + \varphi)] + \varphi = S' + \varphi$$

a zatem, prostą BL zawsze łatwo można wyznaczyć, wskutek czego nazywa się ją linią orientacyjną.

Załóżmy, że na rys. 13 narysowana jest poprzednio znaleźć

na przez nas linja przesunięcia /poślizgu/ AC . Na mocy wykresu $BL \parallel CJ$, ponieważ CJ tworzy z linją AN kąt φ jak to wiadomo z poprzedniego, przeprowadźmy jeszcze prostą $JR \parallel AC$ i zastosujmy następujące oznaczenia:

$$\overline{AL} = a; \overline{AN} = b; \overline{AJ} = x; \overline{CN} = e; \overline{BC} = \overline{CR} = d.$$

Równość $\overline{BC} = \overline{CR}$ wynika z tego, że, jak widać z poprzedniego, ΔACB równoważny jest Δ -owi ACJ , a Δ -t ACJ równoważny jest Δ -owi ACR . Z rysunku /13-go/ widać, że

$$\Delta ACN \sim \Delta JRN; \quad \Delta BLN \sim \Delta CJN,$$

wskutek równoległości boków.

Zkąd:
$$\frac{d}{e} = \frac{x}{b}$$

i
$$\frac{d}{e} = \frac{x-a}{b-x}$$

a zatem:
$$\frac{x}{b} = \frac{x-a}{b-x}$$

t.j.
$$x(b-x) = (x-a)b$$

zkąd
$$x^2 = ab$$

wskutek czego
$$x = \sqrt{ab},$$

t.j. x - jest średnią proporcjonalną między a i b

Wskutek powyższego, wykreślne oznaczenie linji przesunięcia AC przedstawia się w następujący sposób.

Przez punkt B /rys. 13/ przeprowadzamy prostą BL pod kątem $\varphi + \varphi$ do AB do przecięcia się z AN w punkcie L , na AN ; opisujemy półkole i z punktu L wystawiamy prostopadłą LG do przecięcia się z półkolem w punkcie G . Promieniem AG

zaczniemy na AN i na jej przedłużeniu punkty J i J' .
Kreśląc $JC \parallel BL$ znajdziemy poszukiwaną linię przesunięcia /po-
ślizgu/ AC . Ponadto już łatwo zbudować trójkąt CJF' /rys.
12/. pole którego pomnożone przez γ_1 , przedstawić wartość naj-
większego parcia ziemi, t. j. $\max Z$.

Łatwo jest spostrzedz, że jeśli z punktu J' /leżącego z dru-
giej strony tylnej powierzchni ściany AB /zrobilibyśmy podobny
wykres, przedłużywszy linie naziomu BN i linie stoku natural-
nego AN , w założeniu, że ziemia jest nasypana z dwóch stron
wyobrażalnej nieskończonej cienkiej, lecz absolutnie sztywnej
ściany AB , to otrzymalibyśmy nowy trójkąt $C'J'F'$.

Mnożąc pole tego trójkąta przez γ_1 znaleźlibyśmy drugą krańcową
wartość Z a mianowicie $\min Z$.

Rzeczywiście wykres, wypływający z warunku $\frac{dZ}{d\alpha} = 0$, któremu
odpowiadają dwie wartości Z , a mianowicie $\max Z$ i $\min Z$,
powinien dawać dwa rozwiązania, co się i potwierdziło. że trój-
kątem CJF' odpowiada $\max Z$ wypływa to zasadniczo z rozpat-
rzenia pytania o parciu aktywnem, czyli o rozporze ziemi na
ścianę, a także z dowodzenia, wyłożonego powyżej w sposobie
Pillet'a. Jest to największa wartość aktywnego parcia ziemi.

Co zaś tyczy się drugiego rozwiązania, otrzymanego wyżej,
któremu odpowiadałby trójkąt $J'C'F'$ /niepokazany na rys. 13/,
to ono objaśnia się z rozważania zjawiska tak zwanego oporu
ziemi /czyli parcia pasywnego/. t.j. zjawiska wrost przeciwno-
go /odwrotnego/ parciu aktywnemu. To zjawisko powstaje przy na-
ciśnięciu ściany na ziemię, czyli przy ruchu ściany w odwrotnym kie-

runku przyozem masa ziemi opiera się przesunięciu, t.j. tak zwa-
ne parcie pasywne, czyli bierne.

Tam się objaśnia, że chociaż pole $\Delta-\alpha J'C'F'$ jest
większe znacznie od pola $\Delta-\alpha JCF'$, ale ponieważ pierwsze po-
le można rozpatrywać jakby ujemne /pasywne/ zależne od przesu-
nięcia ziemi z dołu do góry, wzdłuż AC' , a drugie odwrotne, jakby
 dodatnie /aktywne/ zależne od przesunięcia ziemi z góry na dół
wzdłuż AC ; zatem pierwszemu, choć większemu pod względem wartości
bezwzględnej, odpowiada $\min Z$, a drugiemu, choć mniejszemu
co do wartości bezwzględnej, odpowiada $\max Z$.

Zjawisko pasywnego parcia ziemi, czyli oporu ziemi będzie
wyłożone więcej szczegółowo poniżej w oddzielnym rozdziale.

Może się zdarzyć, że punkt N wypadnie poza granicami ry-
sunku, w takim razie wykres wyknuje się w sposób pokazany na
rys. 13-ym na dole, a mianowicie: przez punkt A prowadzimy
prostą $AO \parallel BL$, do przecięcia się w punkcie O z przedłu-
żeniem NB ; przez punkt N' /wybrany dowolnie/ prowadzimy $N'O'$
 $\parallel BN$ i przedłużamy AB do przecięcia się z $N'O'$ w B'
z punktu B' wystawiamy prostopadłą $B'G'$ do $N'O'$ i promieniem
 $O'G'$ zacinamy $N'O'$ w punkcie C' ; łącząc C' z A i przedłu-
żając CA do przecięcia z NB w punkcie C znajdziemy lin-
ję przesunięcia /poślizgu/ AC ; o czem możemy się przekonać z
podobieństwa trójkątów, które daje:

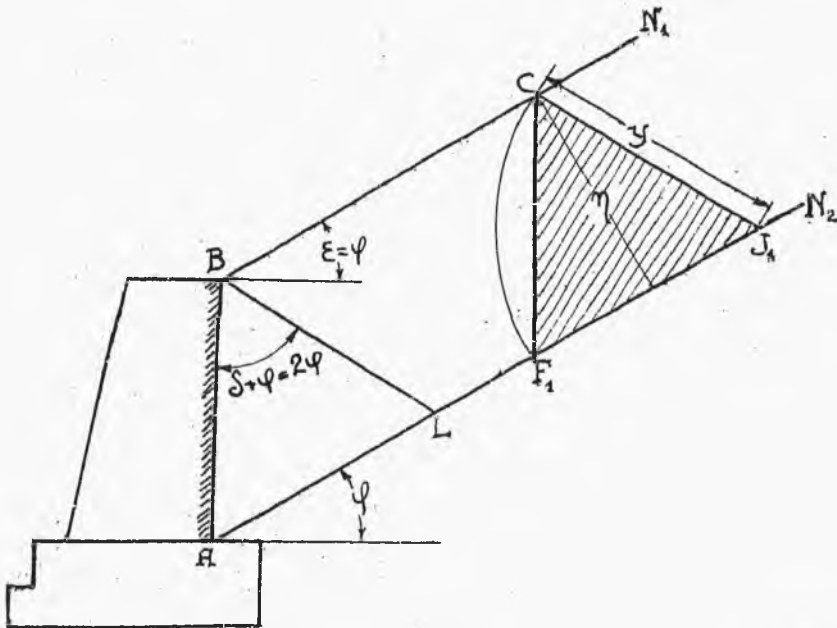
$$\overline{OB} : \overline{OC'} : \overline{O'N'} = \overline{OB} : \overline{OC} : \overline{ON} = \overline{AL} : \overline{AJ} : \overline{AN}.$$

§ 6. Oznaczenie linii przesunięcia, oraz parcia ziemi na ścianę w niektórych wypadkach poszczególnych.

Zastosujmy wykreślny sposób Poncelet'a do oznaczenia linii przesunięcia /poślizgu/ i wielkości parcia ziemi w niektórych wypadkach, spotykanych w praktyce.

W dalszych przykładach, w celach uproszczenia i zgodnie z rzeczywistymi warunkami, będziemy przyjmować kąty δ i δ' równymi kątowi φ , t.j. kątowi stoku naturalnego.

I. Załóżmy /rys. 14/, że płaszczyzna BN powierzchni na-



Rys. 14.

sypu jest równoległa do płaszczyzny stoku naturalnego, t.j. sta-

nowi z poziomem kat φ . Oczywiście, że w tym wypadku linja przesunięcia /poślizgu/ zlewa się z linją stoku naturalnego.

W istocie, linja BN i linja stoku naturalnego, jako równoległe przecinają się w nieskończoności, wskutek czego $AJ = \infty$ i $BC = \infty$ i punkty J i C są nieskończenie oddalone, wskutek czego, trójkąt CJF' oddaliłby się w nieskończoność.

Lecz, z drugiej strony, jasnym jest, że wskutek równoległości BN_1 i AN_1 i jeśli weźmiemy dowolny punkt C_1 na linii BN_1 i przeprowadzimy przez ten dowolny punkt prostą $C_1J_1 \parallel BL$

/t.j. do linii orientacyjnej, tworzącej z prostą AB kąt $\delta + \varphi = 2\varphi$ /, i zbudujemy trójkąt $J_1C_1F_1$, to wszystkie trójkąty zbudowane w ten sposób z dowolnie wziętych na linii BN_1 punktów będą równe między sobą, oraz będą równe trójkątowi CJF

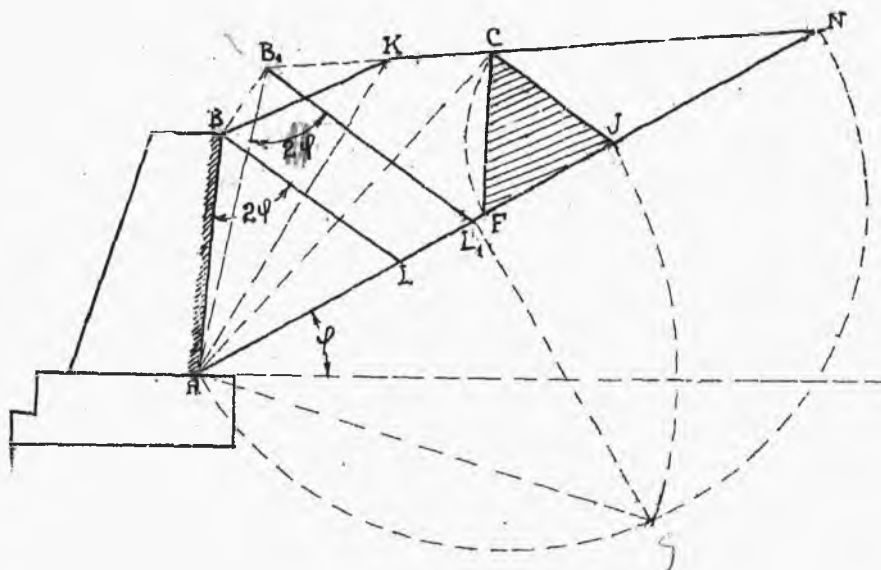
Zatem w danym wypadku wystarczy w dowolnym punkcie linii BN_1 zbudować w powyższy sposób trójkąt i pole jego pomnożyć przez δ .

$$\max Z = \frac{1}{2} \delta y \eta .$$

II. Powierzchnia ziemi /nasypu/ ograniczona dwoma płaszczyznami /rys. 15/. Załóżmy, że ślady dwóch płaszczyz, ograniczających z góry powierzchnię ziemi /nasypu/, tworzą linję łamaną BKN .

Ten wypadek może być aprowadzony do rozpatzonego poprzednio, kiedy powierzchnia ziemi była ograniczona z góry jedną płaszczyzną. W tym celu przeprowadźmy prostą AK i zastąpmy trójkąt ABK równoważnym jemu $\Delta = em ABK$ poprowadźmy przeto prostą $BB_1 \parallel AK$ i przedłużmy prostą KN do

przecięcia się w punkcie B_1 z prostą BB_1 . Pryzmat ziemi $ABKN$ zastąpiony został teraz równoważnym mu pryzmatem AB_1KN_1 . Przeprowadźmy przez punkt B orientacyjną linię BL pod kątem 2φ do AB i następnie przez punkt B_1



Rys. 15.

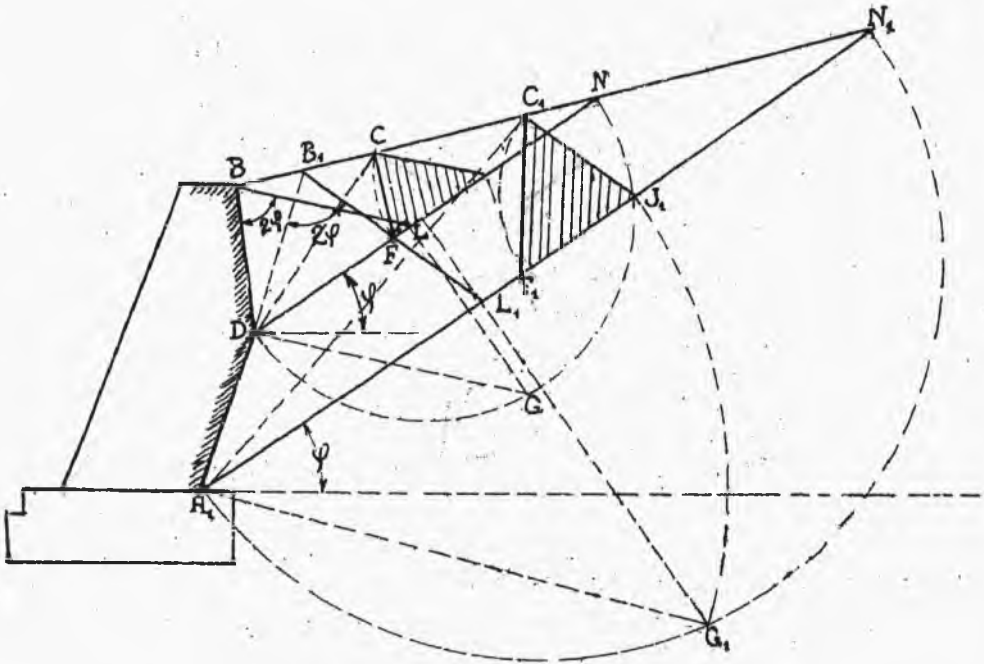
przeprowadźmy prostą $B_1L_1 \parallel BL$

Dalej z punktu L_1 wystawmy prostopadłą L_1G do AN aż do przecięcia się tej prostopadłej w punkcie G z półkolem, opisanym na AN , jako na średnicy. Następujący wykres robi się według Poncelet'a, przy czym w rezultacie otrzymuje się linię przesunięcia /poślizgu/ AC i trójkąt JCF , pole którego, pomnożone przez γ_1 , przedstawia wartość poszukiwanego parcia ziemi na ścianę AB

III. Tylna powierzchnia ściany składa się z dwóch lub

kilku płaszczyzn /rys. 16/.

Dla górnej części DB ściany wyznaczenie linii przesunięcia DC i trójkąta parcia ziemi robi się zwyczajnym sposobem. Co się zaś tyczy dolnej części ściany A_1D , to dla otrzymania pola, proporcjonalnego do parcia ziemi na tę część ściany, postępujemy w następujący sposób. Przedłużamy prostą A_1D do przecięcia się w punkcie B_1 z prostą BN i wyznaczamy w



Rys. 16.

zwykły sposób /według Poncellet a / linję przesunięcia /poślizgu/
 A_1C_1 i Δ -t parcia ziemi na wyobraźalną ścianę A_1DB_1 .
Następnie, ^{na jęc} trójkąt $J_1C_1F_1$, pole którego pomnożone przez γ_1
/ciężar jednostki objętości gruntu/ wyraża parcie ziemi $max Z$
na wyobraźalną ścianę A_1DB_1 , odejmiemy od tego pola, pole

$\Delta\alpha$, przedstawiającego parcie ziemi na część DB_1 wyobrażalnej ściany ADB_1 . Wtedy otrzymany pole pewnego trapezu /różnica pól dwóch trójkątów, wyrażające /po pomnożeniu przez γ_1 / największe parcie ziemi na część A_1D tylnej powierzchni ściany.

W ten sposób znajdziemy parcie ziemi na każdą oddzielną płaską część A_1D i DB tylnej powierzchni ściany, niezależnie od ilości tych części.

Jeśli ściana podporowa przedstawia krzywo-linjową tylną powierzchnię, to w takową należy wpisać wielobok o dowolnej ilości boków. Następnie na każdy bok parcie ziemi wyznacza się wyżej opisanym sposobem.

IV. Stosunek między polami trójkątów, proporcjonalnymi do parć ziemi na całą płaską ścianę i na jej część.

Dla wyjaśnienia stosunku między polami trójkątów, przedstawiającymi wielkości proporcjonalne do parć ziemi na odpowiednie części tej samej ściany o płaskiej tylnej powierzchni, a mianowicie na całą wyobrażalną ścianę AA_1B i na jej część A_1B , skorzystajmy z rysunku 17-go.

Łatwo się przekonać, że, jeśli zechcemy wyznaczyć parcie ziemi na całą ścianę AB , jak i na część jej A_1B , to dostatecznym będzie wykonać wykres Poncellet'a jeden raz, na przykład dla całej ściany AB , nie powtarzając tego wykresu dla części ściany A_1B . W istocie, możemy z podobieństwa trójkątów napisać:

$$\Delta ABJ \sim \Delta A_1BJ$$

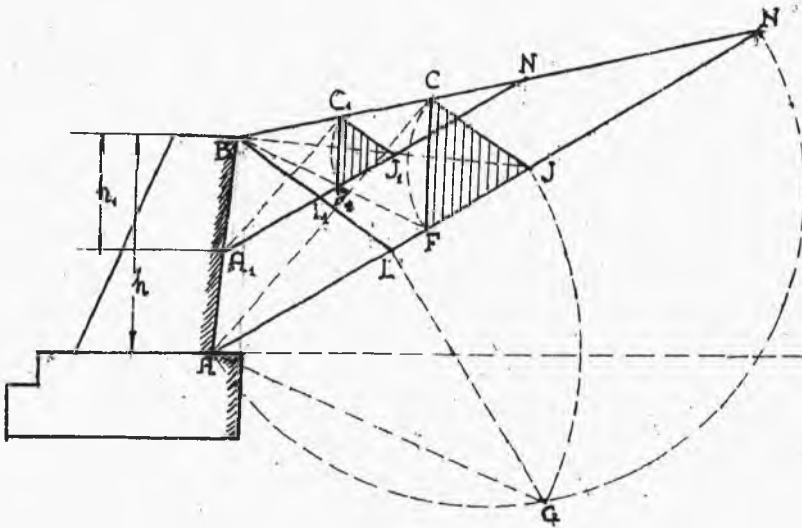
z kąd:

$$AB : A_1B = BJ : BJ_1$$

ponieważ na rysunku przeprowadziliśmy

$$JC \parallel J_1C_1 \parallel BL$$

Załóżmy, że na rysunku 17 zwykłym sposobem zostały wyznaczone trójkąty JCF i $J_1C_1F_1$, odpowiadające odcinkom AB i A_1B_1 płaskiej tylnej powierzchni ściany AA_1B .



Rys. 17.

Z wykresu oznaczonych trójkątów wypada, że wierzchołki ich J i J_1 , a także F i F_1 dzielą dwie równoległe proste $AN \parallel A_1N_1$ w jednakowym stosunku. Z drugiej strony wiadomo, że pęczek promieni, wychodzących z jednego punktu, dzieli dwie równoległe proste w jednakowym stosunku. Z tego wynika, że jednoznaczne wierzchołki obydwóch wspomnianych trójkątów leżą na jednej prostej, wychodzącej z punktu B .

Innymi słowami linja BJ_1J - jest prostą i linja BF_1F

jest prostą. Z podobieństwa trójkątów:

$$\triangle ABJ \sim \triangle A_1B_1J_1$$

/wskutek równoległości boków $AN \parallel A_1N_1$ / bezpośrednio wypada

że:
$$\overline{AB} : \overline{A_1B_1} = \overline{BJ} : \overline{B_1J_1}$$

ale ponieważ

$$JC \parallel J_1C_1 \parallel BL,$$

zatem:

$$\overline{BJ} : \overline{B_1J_1} = \overline{BC} : \overline{B_1C_1},$$

zład:

$$\overline{AB} : \overline{A_1B_1} = \overline{BC} : \overline{B_1C_1} \quad (14).$$

Wskutek czego:

$$AC \parallel AC_1,$$

t.j. dowiedzione zostało twierdzenie, że przy płaskiej powierzchni nasypu i przy płaskiej tylnej powierzchni ściany linie przesunięcia są między sobą równoległe.

Jeśli nazwiemy parcie ziemi na całą ścianę AB przez Z a na część ściany A_1B_1 przez Z_1 , to dla wypadku nieobciążonej powierzchni ziemi będziemy mieli:

$$\begin{aligned} Z : Z_1 &= \text{pole } \triangle CJF : \text{pole } \triangle C_1J_1F_1 \\ \text{Pole } \triangle CJF : \text{pole } \triangle C_1J_1F_1 &= \overline{CJ}^2 : \overline{C_1J_1}^2 \\ \overline{CJ}^2 : \overline{C_1J_1}^2 &= \overline{AB}^2 : \overline{A_1B_1}^2 \end{aligned}$$

Z drugiej strony:

$$\overline{AB}^2 : \overline{A_1B_1}^2 = h^2 : h_1^2$$

Zład:

$$Z : Z_1 = h^2 : h_1^2 \quad (15)$$

Jeśli wstawić, zamiast h , jakąś zmienną wysokość (x) ściany /licząc x od wierzchu ściany/, to można, na mocy wyrazu

/15/ napisać:
$$Z_{(x)} : Z = x^2 : h^2$$

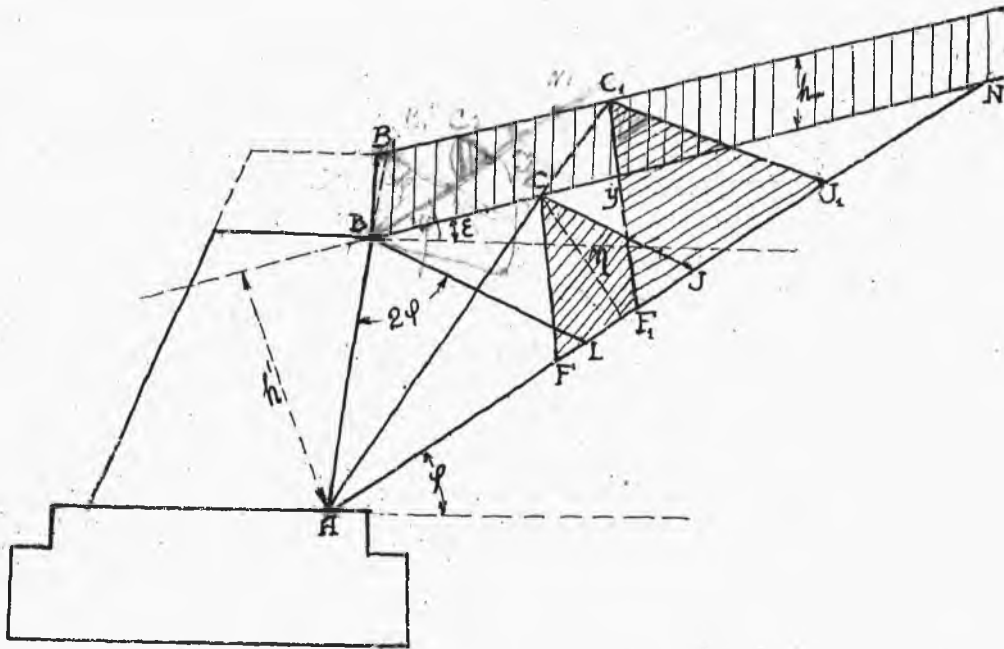
zład:
$$Z_{(x)} = \frac{x^2}{h^2} \cdot Z \quad (16)$$

W ten sposób widzimy, że parcie aktywne /rozpór/ ziemi nie-
obciążonej wzrasta przy płaskiej powierzchni nasypu proporcjo-
nalnie do kwadratu wysokości ściany /albo proporcjonalnie do
kwadratu głębokości, licząc od powierzchni ziemi/.

Zmienna wartość pełnego parcia ziemi $Z_{(x)}$ wzrasta, ze
zmianą x , według prawa parabolii.

V. Płaska powierzchnia ziemi jest obciążona użytkowym
obciążeniem. Załóżmy /rys. 18/, że płaska powierzchnia ziemi
/czyli nasypu za ścianą/ obciążona jest na całej długości BN
obciążeniem użytkowym, równomiernie rozdzielonym wzdłuż pozio-
mego jej rzutu. Poprzednio udowodniliśmy twierdzenie, że przy
płaskiej powierzchni ziemi położenie linii przesunięcia AC
nie zależy od obciążenia użytkowego. Z drugiej strony, jeśli
zamiast rzeczywistej ściany AB rozpatrywać będziemy wyobra-
żalną ścianę AB_1 , a użytkowe obciążenie zastąpimy warstwą grun-
tu o wysokości h_1 , to z powyższego twierdzenia wypadnie, że
jeśli zbudujemy linię przesunięcia AC_1 dla wyobrażalnej ścia-
ny AB_1 , to ta linja będzie poszukiwaną, odpowiadającą rzeczywis-
tej ścianie AB . Co się zaś tyczy pola, proporcjonalnego do
parcia ziemi na wyobrażalną ścianę AB_1 , to takowe wyrazi się
polem trójkąta $J_1C_1F_1$. Parcie na rzeczywistą ścianę AB
zależne od nasypu i od obciążenia użytkowego znajdziemy odej-
mując od pola $\Delta J_1C_1F_1$, pole trójkąta, odpowiadającego części BB_1
wyobrażalnej ściany i mnożąc otrzymane pole trapezu przez γ_1 .

W ten sposób wypadek płaskiego nasypu obciążonego użytkowym obciążeniem sprowadza się do wypadku płaskiego nasypu bez obciążenia użytkowego. Oddzielne rozpatrywanie wpływu obciążenia użytkowego staje się, przy takim sposobie traktowania



Rys. 18.

zadania, zbytecznym.

Zauważmy, że pryzmatowi przesunięcia AC_1B_1 odpowiada część użytkowego obciążenia C_1B_1 , pozostała część użytkowego obciążenia C_1N nie wywiera żadnego parcia na ścianę.

VI. Wypadek, kiedy użytkowe obciążenie zajmuje tylko część NK powierzchni AN nasypu /rys. 19/. W tym wypadku należy naprzód określić linię przesunięcia /poślizgu/ AC nie

przyjmując zupełnie pod uwagę użytkowego obciążenia, ponieważ z poprzedniego wiadomo, że przy płaskiej powierzchni nasypu linja ta nie zależy od obciążenia użytkowego.

Wiadomo, również z poprzedniego, że część obciążenia użytkowego, znajdująca się po za przyzmatem przesunięcia /odłamu/, nie wywiera parcia na ścianę podporową. A zatem wpływ na ścianę podporową będzie wykazywać tylko część użytkowego obciążenia $KCDK'$, przedstawiona na rys. 19 równoległobokiem, którego podstawą jest \overline{KC} , a wysokością $h_r = \overline{KK'} = \overline{CD}$.

Ciężar tej części obciążenia użytkowego jest:

$$P_0 = \gamma_1 \times \overline{KC} \times h_r \times l \times \cos \varepsilon$$

Żeby sprowadzić ten wypadek do poprzedniego, zastąpmy ciężar P_0 równym mu ciężarem obciążenia użytkowego, równomiernie rozłożonego wzdłuż rzutu poziomego całego odcinka \overline{CB} zawartego między tylną powierzchnią ściany i płaszczyzny przesunięcia /poślizgu/

Zkąd:

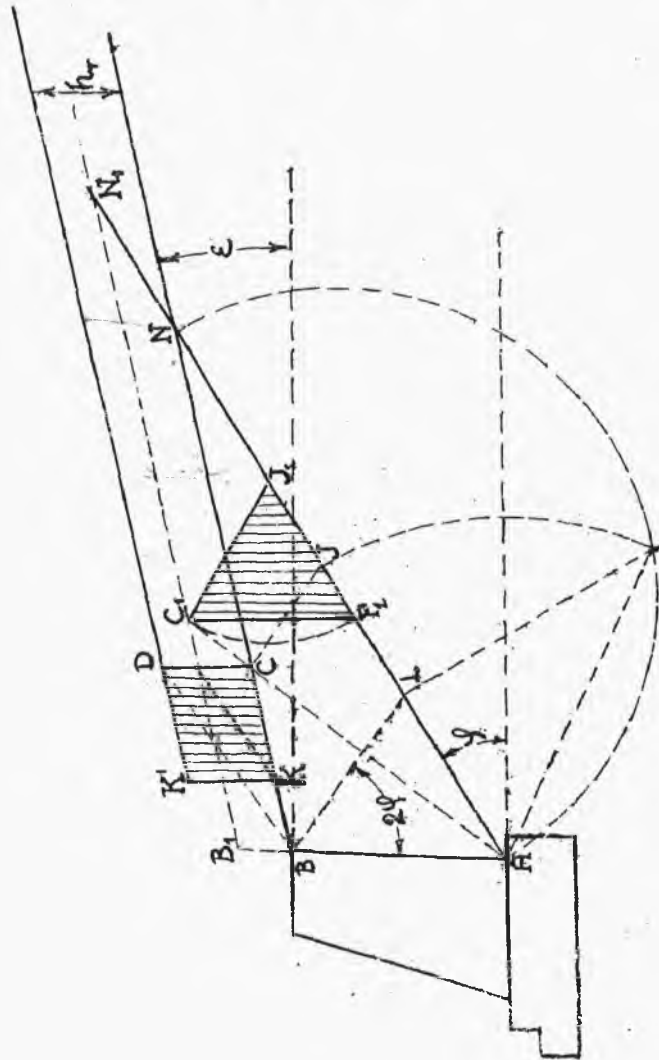
$$P_0 = \gamma_1 \times \overline{KC} \times h_r \times l \times \cos \varepsilon = \gamma_1 \times \overline{BC} \times h_r' \times l \times \cos \varepsilon$$

$$\frac{h_r'}{h_r} = \frac{\overline{KC}}{\overline{BC}}$$

Zatem, pytanie sprowadza się do zastąpienia równoległoboku $KCDK'$ równoznacznym mu równoległobokiem z podstawą równą \overline{BC} . Wykonawszy to, przedłużmy prostą AB do przecięcia się w punkcie B_1 z prostą B_1N_1 , a linję przesunięcia AC przedłużmy do punktu C_1 przecięcia się z tą samą prostą. Następnie zbudujemy trójkąt parcia ziemi $C_1J_1F_1$ i odej-

mijmy od tego trójkąta pole trójkąta parcia, odpowiadającego części $\overline{BB_1}$ wyobraźmalnej ściany ABB_1 . W rezultacie otrzy-

mamy pole trapezu parcia ziemi i obciążenia, które będzie odpowiadać rzeczywistej ścianie AB . Do tego samego wypadku cząstkowego obciążenia nasypu może być sprowadzony i taki wypadek, kiedy, zamiast równomiernie rozłożone-



Rys. 19.

go użytkowego obciążenia, mamy obciążenie w postaci ciężarów skupionych /np. nacisków kół wozów lub pociągu kolejowego/.

Z poprzedniego jasnym jest, że ciężary skupione,

położone poza pryzmatem przesunięcia /odłamu/ żadnego wpływu na parcie tego pryzmatu na ściane nie wywierają.

Co się zaś tyczy ciężarów skupionych, położonych między tylną powierzchnią ściany AB i płaszczyzną przesunięcia t.j. leżących między punktami A i C , to takowe wywierają parcie na ścianę. Dla pokazania, jak określić wpływ tych ciężarów skupionych, dostatecznym będzie rozpatrzyć jeden z nich, np. P' .

Ciężar ten możemy zastąpić ciężarem pewnego słupa ziemi, t.j. można zastąpić ciężar skupiony przez ciągle obciążenie /warstwą ziemi/ równomiernie rozłożone na pewnym polu, wskutek czego rozwiązanie sprowadzi się do wypadku poprzedniego. Przytem zastępcze obciążenie ciągle rozkłada się na całą długość BC , która przedstawia jeden bok wspomnianego pola.

Drugi bok tegoż pola określi się w zależności od wzajemnego położenia ciężarów skupionych P' , stojących w jednym rzędzie wzdłuż ściany /t.j. prostopadle do płaszczyzny rysunku poprzecznego przekroju ściany /, jak i w zależności od warunków w jakich ciśnienie od ciężarów skupionych oddaje się masie ziemi.

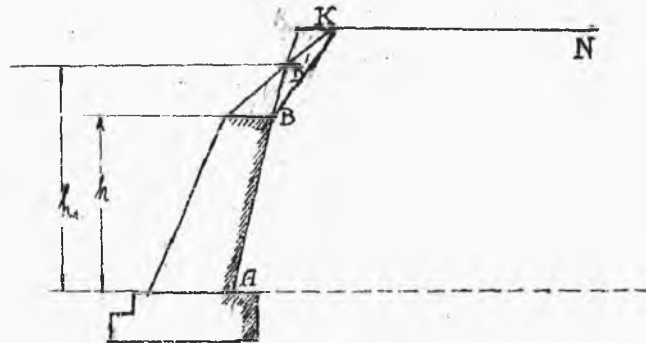
Tak, na przykład, w nasypach pod torami kolei żelaznej, każde dwa skupione ciężary P' , przedstawiające ciśnienia kół jednej osi, oddają swój ciężar $2P'$ na nasyp przez podstawę podkładu i przez balast.

VII. Wypadek, kiedy powierzchnia nasypu jest ograniczo-
na dwoma płaszczyznami i przytem górna powierzchnia ściany

jest pokryta ziemią /rys. 20/.

Ten wypadek sprowadza się do wypadku, pokazanego na rys. 15-ym. Różnica polega tylko na tem, że zamiast rzeczywistej ściany AB o wysokości h , należy rozpatrywać wyobraźalną ścianę AB_1 o wysokości h_1 . Oznaczywszy sposobem, pokazanym na rys. 15, trójkąt $C_1J_1F_1$ parcia na wyobraźalną ścianę AB_1 , znajdujemy następnie trójkąt parcia na część BB_1 wyobraźalnej ściany AB_1 , i pole tego ostatniego trójkąta odejmujemy od pola trójkąta $C_1J_1F_1$.

W rezultacie
otrzymany pole
pełnego trapezu,
które, będąc
pomnożone przez
 γ_1 , da nam



Rys. 20.

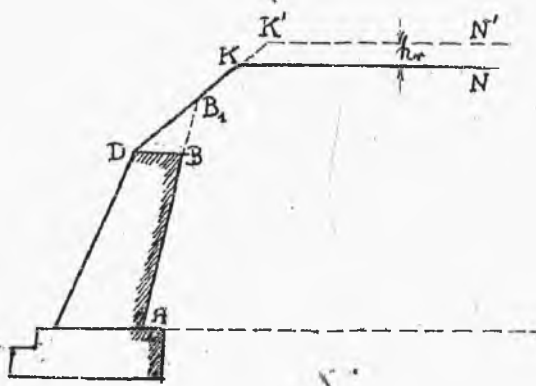
wielkość parcia na rzeczywistą ścianę AB .

VIII. Wypadek według rys. 20, ale z obciążeniem użytkowem na powierzchni ziemi KN /rys. 21/. Ten wypadek ma miejsce przy podtrzymaniu ścianami podporowemi skarp nasypów kolei żelaznych, albo dróg zwyczajnych /szos i t.p./

W tym wypadku największe możliwe użytkowe obciążenie powierzchni drogi zastępuje się ciężarem słupa ziemi, którego wysokość (h_r) otrzymuje się z warunku:

$$h_r = \frac{\sigma}{\gamma_1} \quad ,$$

gdzie: G największe ciśnienie obciążenia użytkowego na jednostkę pola górnej powierzchni nasypu.



γ_1 ciężar jednostki objętości ziemi. Następnie, przyjmując nową /sprowadzoną/ powierzchnię ziemi po linii $N'K'D'$ postępujemy jak w wypadku pokazanym na rys.

20.

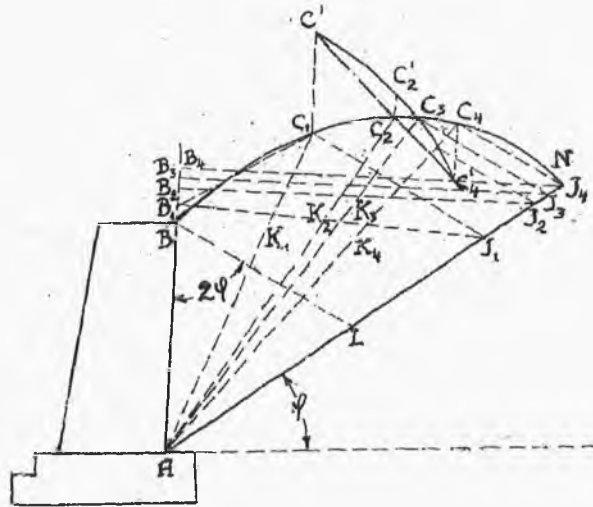
Rys. 21.

IX. Ogólny wypadek - powierzchnia nasypu na dowolną formę /rys. 22/. W tym wypadku można byłoby zastosować do wyznaczenia linii przesunięcia /poślizgu/ sposób Pillet'a, ale prościej i prędzej prowadzi do celu następujący sposób /rys. 22/. Narysowawszy linię orientacyjną, staramy się na oko wybrać taką linię AC_1 , która najbliższej podchodziłaby do poszukiwanej rzeczywistej linii przesunięcia /poślizgu/, a następnie sprawdzamy, czy przyjęta linia AC_1 , odpowiada tym warunkom, którym powinna zadość uczynić linia przesunięcia. Jeżeli okazuje się nieodpowiednią dla tych warunków, to robimy poprawkę, wybierając w pobliżu linii AC_1 , nową linię AC_2 i t.d. do póki nie znajdziemy prawdziwej linii przesunięcia /poślizgu/.

Przytem korzystamy z dowiedzionej poprzednio własności linii przesunięcia /poślizgu/, że pole podstawy pryzmatu odle-

mu /przesunięcia/ ABC powinno być równe polu trójkąta ACJ

/rys. 23/. Ponieważ u tych trójkątów podstawa AC jest *ty sama* i pola ich są sobie równe, to i wysokości tych trójkątów muszą być sobie równe.



Zatem

$$\overline{BB'} = \overline{JJ'}$$

Rys. 22.

/rys. 23/ łącząc B z J prostą BJ , która przecina prostą AC w punkcie O' , znajdziemy, że wskutek równości trójkątów

$$\Delta O'J'J = \Delta O'B'B,$$

$$\frac{O'B}{O'J}$$

powinno być

t.j. linja przesunięcia /poślizgu/ powinna rozdzielać na połowę prostą BJ , łączącą wierzchołki trójkątów ACB i ACJ leżących z dwóch stron tej linii.

Wracając do rys. 22, postępujemy w następujący sposób: Obieramy na oko linję przesunięcia AC_1 ; z punktu C_1 , prowadzimy prostą $C_1J_1 \parallel BL$ zastępujemy pole ABC_1 , /ograniczone z góry linją krzywą BC_1 / równoznacznym mu polem Δ -a AB_1C_1 , łączymy punkty B_1 i J prostą linją.

Jeśli AC_1 była rzeczywiście linją przesunięcia, to

na mocy powyższego powinno byłoby być:

$$\overline{B_1 K_1} = \overline{K_1 J_1}$$

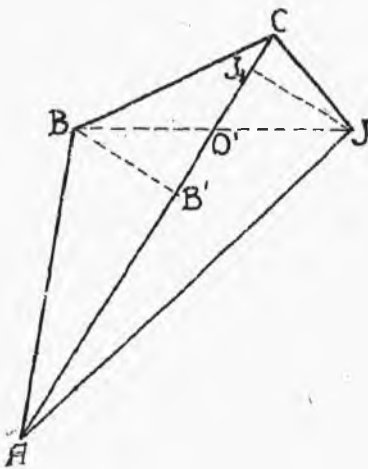
Leżąc wogóle nie uda się od razu znaleźć prawdziwą linię przesunięcia, na przykład w danym wypadku okazuje się, że

$$\overline{K_1 J_1} > \overline{K_1 B_1}$$

Przeprowadźmy przez punkt C_1 pionową i odłóżmy na niej od tego punktu linjowy odcinek

$$\overline{C_1 C'_1} = \overline{K_1 J_1} - \overline{K_1 B_1} > 0$$

Ta różnica odcinków wyraża wielkość omyłki, odpowiadającej przypuszczeniu, że prosta AC_1 jest linią przesunięcia. Weź-



Rys. 23.

my teraz punkt C_4 od strony większego odcinka, t.j. $\overline{K_1 J_1}$ prostej $J_1 B_1$. Przyjmijmy za nową linię przesunięcia prostą AC_4 i powtórzmy poprzednie działania.

Wtedy okaże się, że

$$\overline{K_4 B_4} > \overline{K_4 J_4}$$

Znów przeprowadźmy pion przez punkt C_4 i odłóżmy na nim od tegoż punktu odcinek:

$$\overline{C_4 C'_4} = (\overline{K_4 J_4} - \overline{K_4 B_4}) < 0$$

Ten odcinek jako ujemny, należy odłożyć na dół, a nie na górę od punktu C_4 . W ten sposób otrzymamy drugi punkt C'_4 linii $C_1 C'_4$ zmienności omyłki. Jeśliby ta linja była prostą, to w punkcie C_2 omyłka byłaby równa zeru. W rzeczywistości zaś linja zmienności omyłek jest krzywą. Jeśli powtórzyć

poprzedni wykres dla punktu C_2 , to omyłka dla tego punktu oka-
że się równą odcinkowi $\overline{C_2 C_2'}$.

Zatem mamy trzy punkty C_1 , C_2 i C_4 dla wykreślenia krzy-
wej zmienności omyłek. Ta krzywa przetnie ślad powierzchni na-
sypu w punkcie C_3 . Powtarzając poprzednie wykresy dla pun-
ktu C_3 , otrzymamy równe odcinki:

$$\overline{J_3 B_3} = \overline{B_3 K_3}$$

t.j. omyłkę równą zeru. Czyli prosta AC_3 jest istotną linią
przesunięć. Znalazłszy tę linię zbudujemy trójkąt parcia $C_3 J_3 E_3$

zwykłym sposobem.

X. Wypadek, kiedy płaska tylna powierzchnia ściany
stanowi z poziomem kąt $\beta \approx 180^\circ - \varphi$ albo większy /rys. 24 i 25/
Z planu sil /patrz rys. 8, a i b/, a także z rys. 26, wypada,

że:

$$Z : P = \sin(\alpha - \varphi) : \sin \psi$$

ale kąt

$$\psi = 180^\circ - [(\alpha - \varphi) + \beta]$$

zatem:

$$\psi = \beta + 2\varphi - \alpha$$

i

$$Z = P \cdot \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\sin(\beta + 2\varphi - \alpha)} \quad (17)$$

W wypadku kiedy:

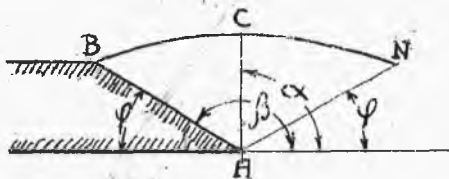
$$\beta = 180^\circ - \varphi,$$

Znajdziemy z ogólnego wyrazu /17/ dla Z , zasługujący na uwa-

gę wynik, a mianowicie:

$$Z = P \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\sin(180^\circ - \alpha + \varphi)} = P \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\sin(\alpha - \varphi)} = P \quad (18)$$

Zatem, w tym szczególnym wypadku parcie ziemi na ścianę równa się ciężarowi pryzmatu odłamu



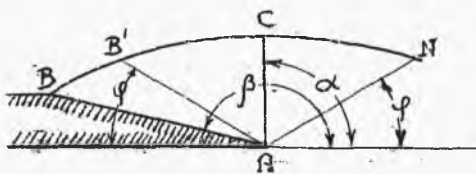
Rys. 24.

/przesunięcia/. Załóżmy, że nasyp /rys. 24/ jest symetryczny względem pionu AC

W takim razie jasnym jest, że, ponieważ płaszczyzna AB tyl-

nej powierzchni ściany jest względem AC położona symetrycznie do AN /t.j. do płaszczyzny stoku naturalnego/, płaszczyzna przesunięcia powinna być pionową.

Parcie Z ziemi na ścianę, stanowiące z prostokątem do niej kąt tarcia φ powinno być pionowe i równe ciężarowi pryz-



Rys. 25.

matu ziemi ABC, leżącej nad ścianą. Dla wypadku, kiedy $\beta > 180^\circ - \varphi$ /rys.

25/ parcie Z ziemi na

ścianę jest także pionowe i

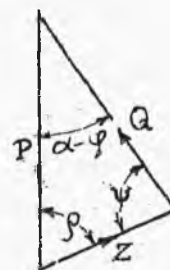
równe ciężarowi ziemi, leżącej nad ścianą.

W istocie, w tym wypadku ziemia nie może się przesunąć wzdłuż płaszczyzny AB, ale, w razie osiadania, lub przesuwania się ściany, powstaje w płaszczyźnie AB szczelina i po tej płaszczyźnie ziemia będzie się obsuwać. Pole ABC może-

my rozłożyć na pole ABC i na pole ABB' .

Z poprzedniego zaś nam wiadomo, że, przy symetryczności względem AC powierzchni nasypu i przy symetrycznym położeniu /względem tej że płaszczyzny AC / płaszczyzn AB' i AN parcie ziemi na AB' jest pionowem i równa się ciężarowi pryzmatu ABC .

Dodając do tego ciężaru, ciężar pryzmatu ABB' /ponieważ ten ostatni pryzmat nie przesuwając się, działa na ścianę tylko swoim ciężarem/ znajdziemy, że wypadkowa Z parcia ziemi na ścianę AB będzie pionową, i równą ciężarowi pryzmatu ABC , ziemi leżącej nad ścianą i będzie



Rys. 26.

przyłożoną w środku ciężkości tego pryzmatu.

To twierdzenie ważnem jest i dla $\beta = 180^\circ$, t.j. dla ściany o poziomej powierzchni. Parcie ziemi na poziomą ścianą jest pionowe i równe ciężarowi ziemi, leżącej nad ścianą.

Nawet w wypadku, gdyby powierzchnia nasypu nie była symetryczna względem AC , to dla ściany o tylnej powierzchni poziomej można w przybliżeniu korzystać z powyższego twierdzenia. Prawdliwość wyrazu /17/ może być sprawdzona przez zastosowanie tego wyrazu do wypadku parcia wody t.j. kiedy $\beta\phi = 0$. W rezultacie powinno się otrzymać wyraz dla parcia hydrostatycznego.

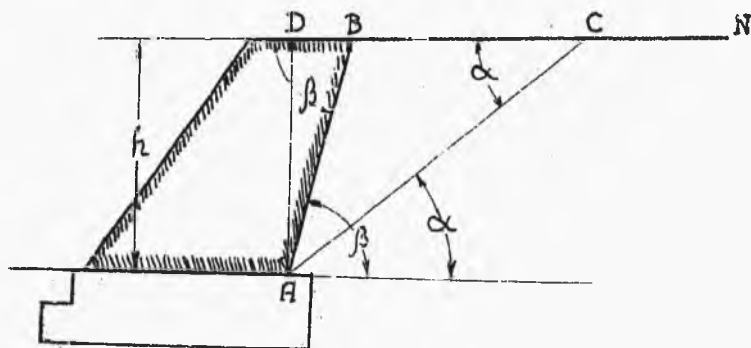
Rzeczywiście, korzystając z wyrazu /17/, rozpatrzmy wy-

padek, kiedy $\varphi = 0$, a α weźmiemy dowolny /rys. 27/, zamiast γ przyjmujemy γ t.j. ciężar jednostki objętości wody. Według /17/ mamy:

$$Z = P \cdot \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\sin(\beta + 2\varphi - \alpha)}$$

Zakładając $\varphi = 0$ i wprowadzając oznaczenie W /woda/, zamiast Z /ziemia/, otrzymamy:

$$W = \frac{P \sin \alpha}{\sin(\beta - \alpha)} \quad (19)$$



Rys. 27.

Według rys. 27 dla dowolnego kąta α mamy:

$$P = \gamma \cdot \text{pole } \Delta ABC = \gamma \cdot \frac{1}{2} \overline{BC} \cdot h = \frac{1}{2} \gamma \cdot h (\overline{DC} - \overline{DB}) \quad (20)$$

Zauważmy, że

$$h = \overline{DC} \cdot \text{tg} \alpha,$$

i

$$h = \overline{DB} \cdot \text{tg} \beta,$$

Zkąd:

$$\overline{DC} = \frac{h}{\text{tg} \alpha} = h \cdot \text{cotg} \alpha$$

$$\overline{DB} = \frac{h}{\operatorname{tg}\beta} = h \cdot \operatorname{cotg}\beta$$

Podstawiając te wyrazy do równania /20/, znajdziemy:

$$P = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 (\operatorname{cotg}\alpha - \operatorname{cotg}\beta) ; \quad \text{albo}$$

$$P = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin\beta \cdot \sin\alpha} \quad (21)$$

Podstawiając P z równania /21/ do równania /19/, otrzymamy:

$$W = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \frac{\sin\alpha \cdot \sin(\beta - \alpha)}{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin\beta \cdot \sin\alpha} ;$$

z kąd po skróceniu:

$$W = \frac{1}{2} \gamma \cdot \frac{h^2}{\sin\beta} \quad (22)$$

Wzór /22/ jest znany z Hydrostatyki.

§ 7. Rozłożenie parcia ziemi na tylnej powierzchni ściany w wypadku płaskiej powierzchni nasypu.

Wyżej dowiedziono było twierdzenie, że przy płaskiej powierzchni nasypu i przy płaskiej tylnej powierzchni ściany linie przesunięcia /poślizgu/ dla różnych wysokości tej samej ściany są między sobą równoległymi. Oprócz tego, było dowiedzione, że przy płaskiej powierzchni nasypu położenie płaszczyzny przesunięcia nie zależy od obciążenia użytkowego.

Poza tem, poprzednio był wyprowadzony wzór /16/ :

$$Z_{(\infty)} = \frac{x^2}{h^2} \cdot Z$$

Korzystając z ogólnego wzoru /9/ na parcie od ziemi i od obciążenia użytkowego:

$$Z = \frac{1}{2} \gamma_1 \cdot y \cdot \eta \left\{ 1 + \frac{2h_r \cos \varepsilon}{h} \right\}$$

i zauważwszy, /rys. 28/, że dla ściany o wysokości h i dla ściany o wysokości x , trójkąty parcia $C'J'F'$ i $C''F''J''$ są podobne i że:

$$h' : h'_{(\infty)} = h : x ;$$

zkaąd:

$$h'_{(\infty)} = h \frac{x}{h} ;$$

możemy napisać:

$$y : y_{(\infty)} = h : x , \text{ zkaąd: } y_{(\infty)} = \frac{x}{h} y ;$$

$$\eta : \eta_{(\infty)} = h : x , \text{ zkaąd: } \eta_{(\infty)} = \frac{x}{h} \eta$$

Z tego powodu parcie $Z_{(\infty)}$ odpowiadające ścianie o wysokości (x) może być wyrażone w następujący sposób:

$$Z_{(\infty)} = \frac{1}{2} \gamma_1 \cdot y \cdot \frac{x}{h} \cdot \eta \cdot \frac{x}{h} \left\{ 1 + \frac{2h_r \cos \varepsilon}{h \frac{x}{h}} \right\} \quad (23)$$

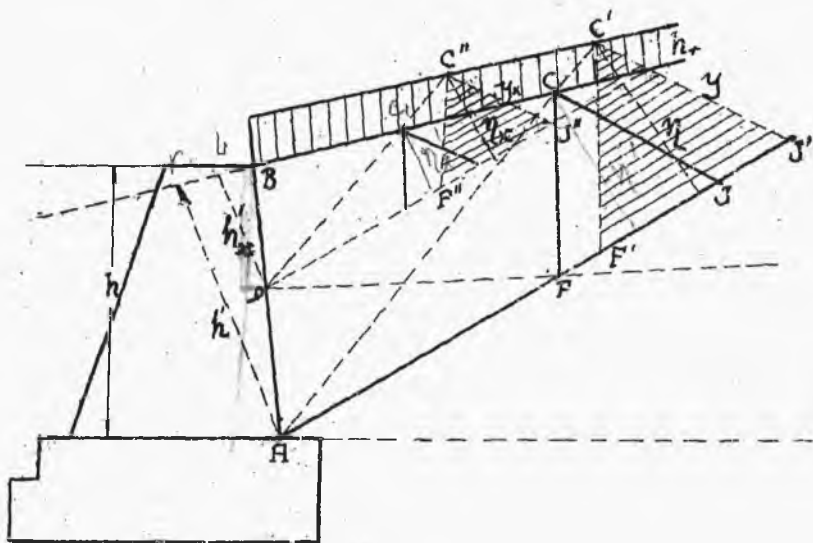
Zkaąd:

$$Z_{(x)} = \frac{1}{2} \gamma_i \cdot y \cdot \eta \frac{x^2}{h^2} \left[1 + \frac{2h_r \cdot h \cos \epsilon}{h \cdot x} \right] \quad (24)$$

albo:

$$Z_{(x)} = \frac{1}{2} \gamma_i \cdot y \cdot \eta \frac{x^2}{h^2} + \gamma_i \cdot y \cdot \eta \frac{h_r \cos \epsilon}{h} \frac{x}{h} \quad (25)$$

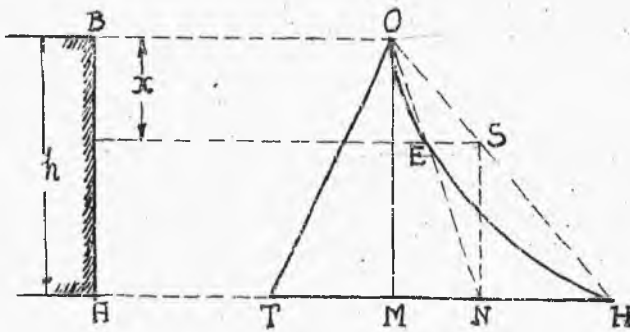
Ze wzoru /25/ łatwo rozpoznać prawo zmienności parcia $Z_{(x)}$ w zależności od zmiany głębokości (x) od powierzchni ziemi.



Rys. 28.

Ten wzór da się łatwo przedstawić wykreślnie dla dowolnego (x),
rys. 29.

OdlóŜmy na pionie wartości (x), a na poziomej odpowiednie wartości Z_{ω} . Na rys. /29/, odlóŜmy odcinek linjowy $\overline{MT} = \gamma_i y \cdot \eta \cdot \frac{h_r \cos \varepsilon}{h}$ i złączmy punkt O z punktem T prostą, która oczywiście, przedstawi zmienność wartości $\gamma_i y \cdot \eta \cdot \frac{h_r \cos \varepsilon}{h} \cdot \frac{x}{h}$ ze zmianą (x). Zmienność wielkości $\frac{1}{2} \gamma_i y \cdot \eta \cdot \frac{x^2}{h^2}$, przedstawi się krzywa paraboliczna \overline{OEH} . Dla zbudowania tej krzywej od-



Rys. 29.

łóŜmy $\overline{MH} = \frac{1}{2} \gamma_i y \cdot \eta$, przeprowadźmy prostą \overline{OH} i z punktu S opuśćmy prostopadłą \overline{SN} na \overline{MH} , punkt N złączmy z punktem O prostą, w przecięciu \overline{ON} z

poziomą prostą przez punkt S znajdziemy punkt E , naleŜący do poszukiwanej parabolicznej krzywej. KaŜda rzędna wykresu \overline{TOEHM} , przedstawia pełne parcie /sumaryczne/ ziemi i obciáżenia uŜytkowego na ścianę o wysokości (x), czyli otrzymamy tak zwany wykres całkowity parcia na ścianę.

Oznacząc przez:

$$C_1 = \frac{1}{2} \gamma_i \frac{y \eta}{h^2}$$

i

$$C_2 = \gamma_i y \cdot \eta \cdot \frac{h_r \cos \varepsilon}{h \cdot h}$$

możemy napisać:

$$Z_{(x)} = C_1 x^2 + C_2 x \quad (26)$$

A zatem parcie elementarne, t.j. na element pola tylnej powierzchni ściany o wysokości dx i o szerokości równej jedności, będzie:

$$dZ_{(x)} = 2C_1 x dx + C_2 dx \quad (27)$$

albo

$$dZ_{(x)} = (2C_1 x + C_2) dx \quad (28)$$

Oznaczając:

$$2C_1 x + C_2 = \sigma$$

Otrzymamy:

$$dZ_{(x)} = \sigma dx \quad (29)$$

Zkąd:

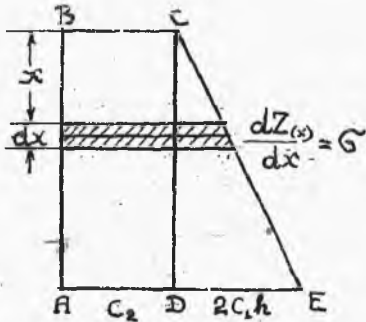
$$\sigma = \frac{dZ_{(x)}}{dx} = 2C_1 x + C_2 \quad (30)$$

gdzie σ przedstawia parcie jednostkowe, t.j. na jednostkę pola tylnej powierzchni ściany, czyli naprężenia parcia.

Funkcja σ da się łatwo wyznaczyć wykreślnie, odkładając zmienną niezależną (x) na pionie, a odpowiednie wartości σ na liniach poziomych /rys. 30/.

Przy tem otrzyma się tak zwany wykres różniczkowy parcia na ścianę, t.j. wykres dający możliwość wyznaczenia na do-

wolnej głębokości (x) parcia na element tylnej powierzchni ściany, a także parcia na jednostkę pola tylnej powierzchni ściany. Poziome rzędne tego wykresu składają się z dwóch części, a mianowicie: wpływ parcia ziemi /czyli nasypu/ wyraża się trójkątem DCE , a wpływ parcia od użytkowego obciążenia prostokątem $ABCD$. W ten sposób zbudowanie pola parcia sprowadza się do odłożenia wartości $2C_1h$ i C_2 , i zbudowania wyżej wspomnianych trójkąta i prostokąta. Rzędne różniczkowego wyk-



Rys. 30.

resu przedstawiają odpowiednie parcia jednostkowe a zakreskowany na rysunku 30 paseczek o wysokości (dx) przedstawia parcie elementarne /czyli różniczkę parcia/ na głębokości (x). Zapomoce różniczkowego wykresu można znaleźć i całkowite parcie na ścianę o wyso-

kości (x), jako sumę odpowiednich paseczków pola w granicach od zera do (x), t.j. całe pole wykresu różniczkowego, odpowiadające wysokości (x).

Jeśli rozdzielić współczynniki C_1 i C_2 przez γ_1 i rozpatrzyć, zamiast rzeczywistej ściany AB wyobraźnia ścianę AB' /rys. 31/, podejmującą się do prostej BN' , ograniczającej użytkowe obciążenie sprowadzone do warstwy gruntu, to zamiast trapezu parcia otrzymamy trójkąt parcia a, b, c , którego zakreskowane pole, pomnożone przez γ_1 , przedstawi parcie na rzeczywis-

ki sposób wzrasta parcie na tylną powierzchnię ściany w zależności od głębokości (x).

Dla zbudowania tych trójkątów stosuje się prosty sposób, pokazany na rys. 32

$$\frac{1}{2}h \cdot x = \frac{1}{2}\lambda \cdot a,$$

zład:

$$\frac{x}{a} = \frac{\lambda}{h}$$

We wszystkich praktycznych zastosowaniach, zwykle używają się, zamiast trójkątów Poncelet, także trójkąty, które dają możliwość, jak to będzie pokazane niżej, określić dla każdej części ściany punkt przyczepienia do tylnej jej powierzchni wypadkowej parcia ziemi i obciążenia użytkowego.

§ 8. Oznaczenie punktu przyczepienia wypadkowej parcia ziemi i obciążenia użytkowego na ścianę.

Jak dowiedziono wyżej, parcie ziemi i obciążenia użytkowego na element pola tylnej po-

wierzchni ściany o wysokości (dx)

i o długości równej jedności, wyra-

ża się według wzoru /28/ przez:

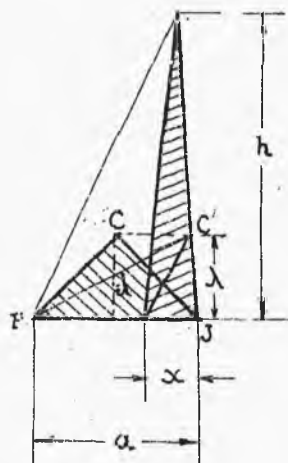
$$dZ_{(x)} = \sigma dx,$$

gdzie σ jest rzędną trapezu parcia

/patrz wykres różniczkowy/, a gra-

ficznie elementarnym paseczkiem

pola tego trapezu o wysokości (dx)



Rys 32

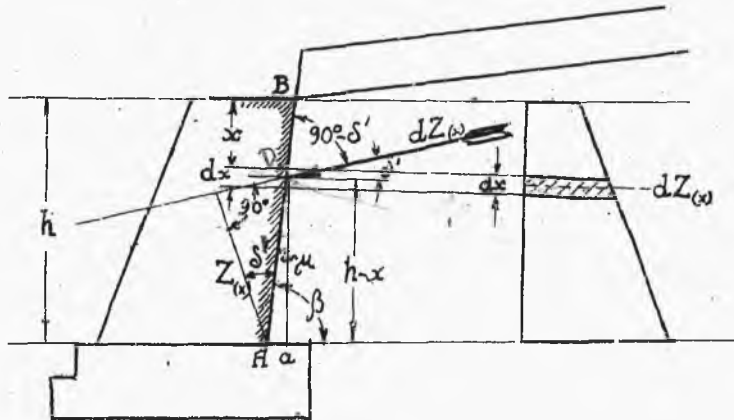
odpowiadającym głębokości (x) Punkt przyłączenia siły $dZ_{(\omega)}$ znajduje się, oczywiście, na poziomej prostej, przechodzącej przez środek ciężkości elementarnego paseczka /półka/ trapezu parcia. Według rysunku /33, b/

$$\mu = 180^\circ - 90^\circ - \beta = 90^\circ - \beta$$

$$\overline{AB} = \frac{h-x}{\cos \mu} = \frac{h-x}{\sin \beta}$$

$$Z_{(\omega)} = \frac{(h-x) \cos \delta'}{\sin \beta}$$

Linia działania siły $dZ_{(\omega)}$ skierowana jest /rys. 33/ pod kątem



Rys. 33 a.

δ' w górę od prostopadłej do tylnej powierzchni ściany.

Jeśli weźmiemy sumę momentów wszystkich elementarnych sił $dZ_{(\omega)}$ względem punktu A i przyrównamy tę sumę momentowi względem tegoż punktu wypadkowej Z parcia ziemi i obciąże-

nia użytkowego na całą ścianę, to z otrzymanego równania znajdziemy odległość linii działania wypadkowej Z od dołu ściany. Odległość $Z_{(x)}$ linii działania siły $dZ_{(x)}$ od punktu A równa się, jak widać z rysunków 33a i b:

$$Z_{(x)} = \frac{(h-x) \cos \delta'}{\sin \beta}$$

Wskutek tego moment elementarnego parcia $dZ_{(x)}$ względem punktu A równa się:

$$M = \frac{(h-x) \cos \delta'}{\sin \beta} dZ_{(x)} \quad (31)$$

Suma momentów elementarnych sił dla całej ściany równa się:

$$\begin{aligned} \sum M &= \int_0^h \frac{\cos \delta'}{\sin \beta} (h-x) dZ_{(x)} = \\ &= \frac{\cos \delta'}{\sin \beta} \int_0^h (h-x) \sigma dx \quad ; \end{aligned}$$

albo, podstawiając

$$\sigma = 2C_1 x + C_2$$

otrzymamy:

$$\sum M = \frac{\cos \delta'}{\sin \beta} \int_0^h (h-x)(2C_1 x + C_2) dx \quad (32)$$

Ponieważ moment wypadkowej równa się sumie momentów składowych, więc:

$$Z \cdot Z = \frac{\cos \delta'}{\sin \beta} \int_0^h (h-x)(2C_1x + C_2) dx \quad (33)$$

Wyraźmy ramię (Z) w funkcji pionowej odległości od punktu przy-
czepienia wypadkowej Z do dołu ściany

$$Z = (h-x_0) \frac{\cos \delta'}{\sin \beta}$$

albo, oznaczając $h-x_0 = \xi$

$$Z = \xi \frac{\cos \delta'}{\sin \beta}$$

znajdziemy z równania /33/

$$Z \xi \frac{\cos \delta'}{\sin \beta} = \frac{\cos \delta'}{\sin \beta} \int_0^h (h-x)(2C_1x + C_2) dx \quad (34)$$

Zkąd

$$\xi = \frac{\int_0^h (h-x)(2C_1x + C_2) dx}{Z} \quad (35)$$

Podstawiając

$$Z = C_1 h^2 + C_2 h$$

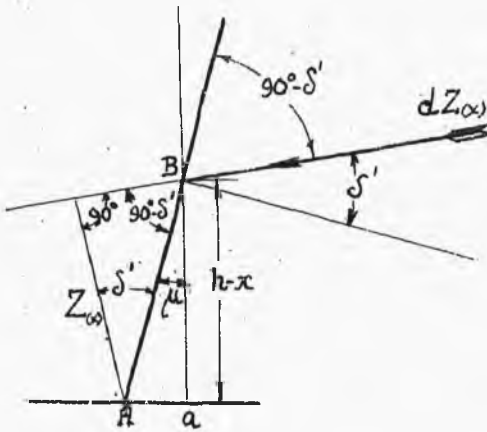
i całkując, otrzymamy:

$$\xi = \frac{h}{6} \cdot \frac{2C_1 h + 3C_2}{C_1 h + C_2} \quad (36)$$

Przy $C_2 = 0$ t.j. w wypadku kiedy niema obciążenia użytkowego

$$\xi = \frac{h}{6} \cdot \frac{2C_1 h}{C_1 h} = \frac{h}{3} \quad (37)$$

t.j. odległość od dołu ściany - punktu przyezepienia wypadkowej parcia ziemi równa się jednej trzeciej wysokości ściany.



Rys. 33 b.

wysokość jest h_r , to

$$\xi = \frac{h}{6} \cdot \frac{2C_1 h + 3C_2}{C_1 h + C_2} = \frac{h}{6} \cdot \frac{2 \frac{1}{2} \gamma_i \cdot \frac{4\eta \cdot h}{h^2} + 3\gamma_i \cdot \eta \cdot \frac{h_r \cos \epsilon}{h h}}{\frac{1}{2} \gamma_i \cdot \frac{4\eta h}{h^2} + \gamma_i \cdot \eta \cdot \frac{h_r \cos \epsilon}{h h}}$$

Po skróceniu otrzyma się:

$$\xi = \frac{h}{3} \left(\frac{3h_r \cos \epsilon + h'}{2h_r \cos \epsilon + h'} \right) \quad (38)$$

Przy $h_r = 0$

otrzymuje się poprzedni rezultat

$$\xi = \frac{h}{3}$$

Jeśli $\epsilon = 0$

, to

$$h' = h$$

i wzór /38/ zmienia

się jak niżej

$$\xi = \frac{h}{3} \left[\frac{3h_r + h}{2h_r + h} \right] \quad (39)$$

Ten rezultat jest zrozumiały z trójkąta parcia, gdyż oczywiście punkt przyezepienia wspomnianej wypadkowej powinien leżeć na poziomej linii, przechodzącej przez środek ciężkości trójkąta parcia /rys.34/. Jeśli mamy obciążenie użytkowe, którego sprowadzona

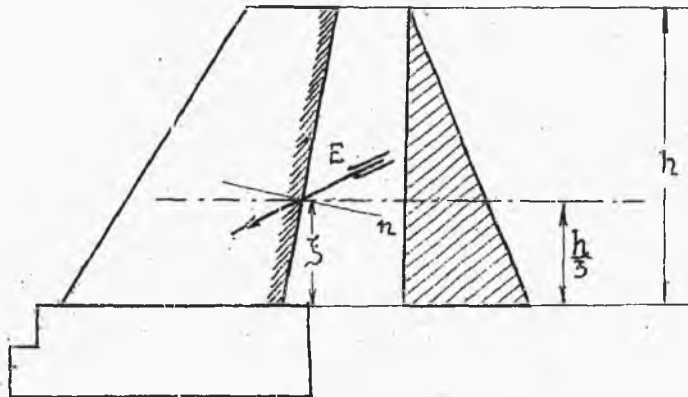
Wielu autorów, zamiast h_r pisze h_1 , przy takim oznaczeniu otrzyma się wzór /40/, który znajdziemy w wielu podręcznikach:

$$\xi = \frac{h}{3} \left[\frac{3h_1 + h}{2h_1 + h} \right] \quad (40)$$

ξ oczywiście przedstawia odległość środka ciężkości trapezu parcia od podstawy tegoż trapezu.

Punkty przyłączenia poszczególnych wypadkowych parcia na oddzielne części ściany, oczywiście, znajdują się, jeśli przez środek cięż-

kości odpowiedniej części pola parcia przeprowadzić prostą poziomą do przecięcia się z płaszczyzną



Rys. 34.

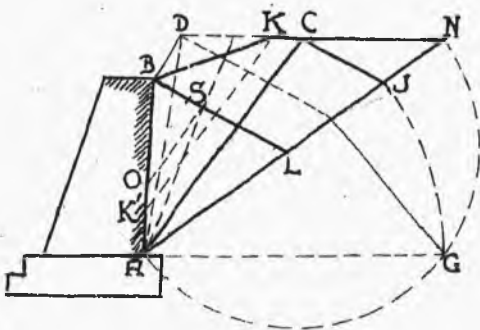
dem tylnej płaszczyzny ściany. Linja działania parcia na poszczególne części ściany tworzy z prostopadłą do tylnej powierzchni ściany kąt δ' /który w większości wypadków obraca się w

$\delta\varphi = \max \delta'$. W ten sposób położenie poszczególnej wypadkowej parcia na każdej części ściany może być zupełnie określone.

W szczególnych wypadkach, kiedy powierzchnia nasypu ograniczona jest dwoma, albo kilkoma płaszczyznami /rys. 35/,

albo jest powierzchnią krzywą /np. cylindryczną/, oznaczenie punktu przyłączenia wypadkowej parcia ziemi i obciążenia użytkowego nie może być wykonane na mocy poprzednich rozważań, gdyż dla różnych części ściany, np. dla części $K'B$ i AK' zmienia się profil pryzmatu przesunięcia, dla pierwszej części jest on trójkątny, a dla drugiej - czworokątny, a wskutek tego zmienia się i sposób rozłożenia się parcia wzdłuż tylnej powierzchni ściany.-

Linje przesunięcia dla różnych części ściany nie są już równoległymi. Lecz i w tym wypadku możliwym jest przybliżone /z dostateczną dla celów praktycznych ścisłością/ określenie punktu przyłączenia parcia ziemi /rys. 35/. W tym celu należy przeprowadzić przez środek (S) ciężkości pryzmatu przesunięcia /odłam/, prostą (SO) równoległą do linii przesunięcia



Rys. 35.

/określonej jak pokazano poprzednio /rys. 15/ do przecięcia się ze śladem tylnej powierzchni ściany w punkcie O . W otrzymanym punkcie należy wystawić prostopadłą do tylnej powierzchni

ściany i odłożyć od niej do góry kąt δ' / w poszczególnym wypadku kąt $\varphi = \max \delta'$ /, wtedy otrzymane położenie wypadkowej Z parcia na ścianę. W podobny sposób, w wypadku więcej złożonym,

a mianowicie kiedy górna powierzchnia ściany pokryta jest ziemią i kiedy oprócz tego mamy obciążenie użytkowe, - określa się punkt przyczepienia wypadkowej, a mianowicie, z początku oznacza się punkt przyczepienia wypadkowej, parcia Z na całą wyobrażalną ścianę AB , następnie określa się punkt przyczepienia wypadkowej parcia na dodaną część BB' , wyobrażalnej ściany.

W tym ostatnim punkcie przykłada się siłę równą i wprost przeciwną parciu Z' na część BB' ściany. Na koniec, zbudowaniem wieloboku sznurowego na siłach Z i Z' oznacza się położenie wypadkowej parcia Z_0 na rzeczywistą ścianę AB .

W wypadku, kiedy tylna powierzchnia ściany jest krzywa, /np. cylindryczna/ lub składa się z kilku płaszczyzn, to określenie punktu przyczepienia wypadkowej parcia na całą ścianę, przy płaskiej powierzchni nasypu, nie przedstawia osobliwych trudności. Krzywą tylną powierzchni ściany zastępuje się wielościenną powierzchnią - z kilku płaszczyzn.

Funkty przyczepienia oddzielnych wypadkowych parcia na każdą z tych płaszczyzn określa się, zapomocą środków ciężkości odpowiednich trapezów parcia dla każdej z płaszczyzn.

Następnie, stosując plan sił i wielobok sznurowy, określamy ogólną wypadkową $Z_{(g)}$ parcia na całą ścianę i jej punkt przyczepienia. Wykresy te zostały wypełnione na rysunku 36-ym.

§ 9. S z o z o g ó l n y w y p a d e k p a r c i a z i e m i p r z y p o z i o m e j p o w i e r z c h n i n a s y p u / $\angle \varepsilon = 0$ / , p r z y p i o n o w e j

tylnej płaszczyźnie ściany / $\alpha\beta = 90^\circ$ / i bez uwzględnienia tarcia ziemi o ścianę / $\alpha S' = 0$ /.

Przy założeniu, że kąt tarcia $\alpha S' = 0$, odpowiada wypadkowi, kiedy masa ziemi znajduje się w stanie spoczynku, gdyż przy ruchu ziemi oczywiście następuje tarcie ziemi o ścianę i kąt S' nie jest równy zeru. Kąt S' zmniejsza się, w wypadku ruchu, jeśli tylna powierzchnia ściany jest gładką, lub jeśli ziemia nasycona jest wodą.

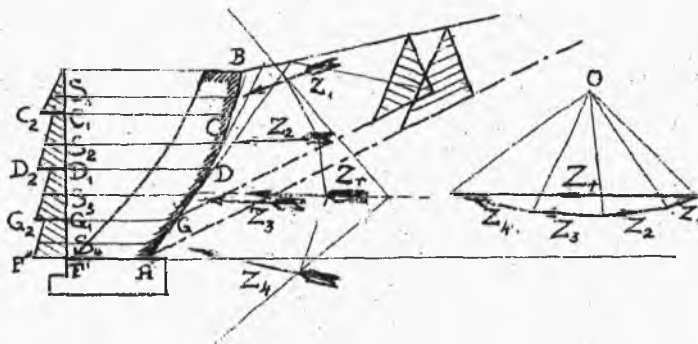
Rozpatrzenie wypadku parcia ziemi na ścianę przy założeniu $\alpha S' = 0$ daje wyniki na korzyść stateczności ściany i wogóle na korzyść bezpieczeństwa, gdyż linja działania siły Z parcia na ścianę jest w tym wypadku prostopadłą do ściany, przez co powiększa się ramię momentu tego parcia względem zewnętrznego punktu podstawy ściany, tak zwanego momentu wywracającego ścianę. Praktyka zaś pokazuje, że nasypy za ścianami podporowymi po jakimś czasie osiadają, ziemia się jakby ubija /sprasowuje/ pod wpływem działania obciążeń użytkowych /np. przejście pociągów, lub wozów ładowych/ i wynikiem tego bywa często zauważony fakt nieznaczego przesunięcia, lub nachylenia ścian podporowych, które po wykonaniu tego nieznaczego jednorazowego ruchu, odpowiadającego sprawowaniu się nasypu, nadal pozostają w spoczynku.

Zjawisko to do pewnego stopnia można objaśnić zmniejszeniem kąta S' , w tym ostatnim wypadku, przez co pozioma składowa

siły parcia Z i moment tej siły się zwiększają.

Powyższe zjawisko nie ma miejsca o ile ziemia za ścianą była ubijana poziomymi niegrubymi warstwami, a nie sypana z góry nasypu całą masą bez ubijania. - Dla zapasu bezpieczeństwa,

ze względu na wyżej przytoczone uwagi, - obliczenia ścian podporowych /np. przy-



rys. 36.

mostowych/ często robione są w przypuszczeniu, że $\alpha S' = 0$ /patrz przepisy do obliczeń statycznych/. W powyższym wypadku mamy:

$$\alpha E = 0, \alpha S' = 0 ; \alpha \beta = 90^\circ ; h' = h, \text{ kąt } S' + \varphi = \varphi.$$

kąt φ w ogólnym wypadku, jak wiadomo, /rys. 3/ jest

$$\varphi = 180^\circ - (\beta + S').$$

Podstawiając $\alpha \beta = 90^\circ$ i $\alpha S' = 0$, otrzymujemy w tym wypadku

$$\alpha \varphi = 90^\circ$$

Zastosujemy wykres Poncelet a /rys. 37/ i zbudujemy z obu stron wyobraźlonej ściany AB /którą sobie wyobraźmy nieskończenie cienką i absolutnie sztywną/ dwa trójkąty CJF' i $C_1J_1F_1$ odpowiadające warunkowi:

Ponieważ $\sphericalangle ABN = 90^\circ$, to półkole, opisane na AN , jako na średnicy, powinno przejść przez punkt B .

$$h = \overline{AB} = \overline{AJ} \quad \text{wskutek wykresu i}$$

$\triangle ABC = \triangle ACJ$, ponieważ te prostokątne trójkąty mają po dwa boki równe między sobą:

$$\overline{AC} = \overline{AC}$$

$$\overline{AB} = \overline{AJ}$$

Zatem:

$$\sphericalangle BAC = \sphericalangle CAJ$$

ale

$$\sphericalangle BAJ = 90^\circ - \varphi$$

z kądem

$$\sphericalangle BAC = \sphericalangle CAJ = \frac{90^\circ - \varphi}{2} = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$$

Trójkąt CJF w danym wypadku jest prostokątny, ponieważ linja orientacyjna $BL \perp AN$; $CJ \parallel BL$

Dlatego $CJ \perp AN$, t.j. $CJ \perp JF$.

Zatem w danym wypadku:

$$\eta = y$$

Z trójkąta ACJ mamy:

$$y = \overline{AJ} \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$

albo:

$$y = h \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$\max Z_{(a)} = \frac{1}{2} \gamma_1 y \eta = \frac{1}{2} \gamma_1 y^2 \quad (41)$$

albo

$$\max Z_{(a)} = \frac{1}{2} \gamma_1 h^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Jeśli powierzchnia nasypu obciążona jest ciężarem, użytkowym, to, jak wiadomo, ogólny wzór parcia jest:

$$\max Z_{(a)} = \frac{1}{2} \gamma_1 y \eta \left\{ 1 + \frac{2h_r \cos \varepsilon}{h} \right\}$$

Ponieważ w danym wypadku $h' = h$; $\varepsilon = 0$, to przyjmąwszy nowe oznaczenie $h_r = h_1$ i wprowadziwszy, zamiast y i η znalezione ich znaczenia, otrzymamy:

$$\max Z_{(a)} = \frac{1}{2} \gamma_1 h^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \left[1 + \frac{2h_1}{h} \right]$$

skąd:

$$\max Z_{(a)} = \frac{1}{2} \gamma_1 [h^2 + 2hh_1] \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (42)$$

W takiej postaci wyraz parcia na ściany podporowe spotyka się zwykle w kalendarzach technicznych. Łatwo, tym samym sposobem, wyprowadzić, że /rys. 37/

$$\min Z_{(p)} = \frac{1}{2} \gamma_1 [h^2 + 2hh_1] \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (43)$$

Często spotyka się uogólniony wzór na aktywne i pasywne parcia na ściany podporowe:

$$Z = \frac{1}{2} \gamma_1 [h^2 + 2hh_1] \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ \pm \frac{\varphi}{2} \right) \quad (44)$$

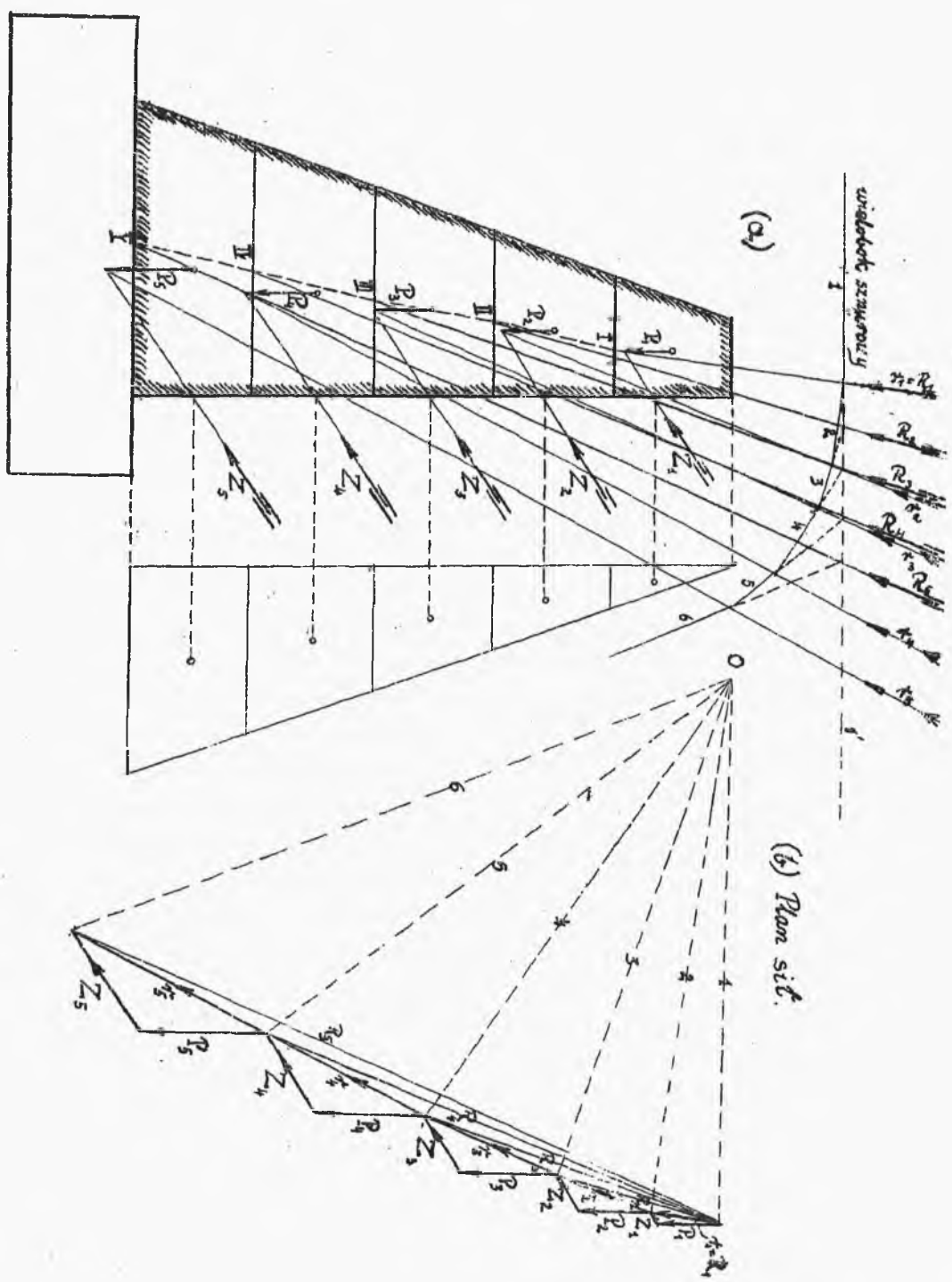
który przedstawia kombinację wzorów /42/ i /43/ dla dwóch wypadków, mających zasadniczo rozmaite znaczenia w statyce budowlanej. Jeślibyśmy dla danego wypadku zbudowali trójkąt parcia CJF

przy założeniu $\delta' = \varphi$, t.j. dla wypadku ruchu ziemi, to łatwo przekonalibyśmy się że parcie na ścianę w wypadku ruchu ziemi jest mniejsze niż w wypadku spoczynku.

§ 10. P o r z ą d e k o b l i c z e n i a m u -
r u p o d p o r o w e g o / r y s . 3 8 / .

Dzielimy ścianę oraz odpowiedni wykres różniczkowy parcia /trójkąt, albo trapez - stosownie do tego czy mamy do czynienia tylko z parciem ziemi, czy też z parciem ziemi i obciążenia użytkowego/ linjami poziomymi na kilka części, znajdujemy ciężary tych części ściany P_1, P_2, P_3 i t.p. i punkty ich przyczepienia, t.j. środki ciężkości części ściany. Następnie określamy siły parcia Z_1, Z_2 ; i t.d. ziemi i obciążenia użytkowego na odpowiednie części ściany i punkty przyczepienia tych parć, przeprowadzając poziome linje z środków ciężkości odpowiednich pól wykresu różniczkowego parcia do przecięcia z śladem tylnej powierzchni ściany. Dalej znajdujemy wypadkowe τ_1, τ_2, τ_3 i t.d. z ciężaru odpowiedniej części ściany (P) i z parcia (Z) na tę część ściany.

Dla tych sił wypadkowych / τ_1, τ_2, τ_3 i t.d./ budujemy wielobok sznurowy /rys. 38/, za pomocą którego znajdujemy położenie ostatecznych wypadkowych sił działających na każdą część ściany przy uwzględnieniu działania nacisku od górnych części ściany na dolną, t.j. siły R_1, R_2, R_3 i t.p. gdzie $R_1 = \tau_1$, a R_2 jest wypadkową τ_1 i τ_2 i t.d. Nakoniec, znajdujemy punkty przecięcia wypadkowych R_1, R_2, R_3



Rys. 38.

i t.d. z odpowiednimi stosugami muru I, II, III, i t.d. łącząc te punkty prostymi linjami, otrzymamy tak zwaną linję ciśnień. Dla stateczności i wytrzymałości ściany podporowej powinny być zadośuczynione poniższe niezbędne warunki, aby:

1/ linja ciśnień przecinała stosugi muru wewnątrz średniej trzeciej części grubości muru, żeby nieotrzymywało się w murze naprężeń rozciągających.

2/ siła wypadkowa, działająca na daną stosugę muru stanowiła z prostopadłą do stosugi kąt mniejszy od kąta tarcia kamienia o kamień, co dla powierzchni pokrytych świeżą cementową zaprawą, wynosi kąt równy 22° , i

3/ naprężenie materiału w stosugach, gdzie linja ciśnień najbliżej podchodzi do krawędzi ściany, nie przekraczało dopuszczalnego naprężenia dla danego rodzaju muru na ciśnienie.

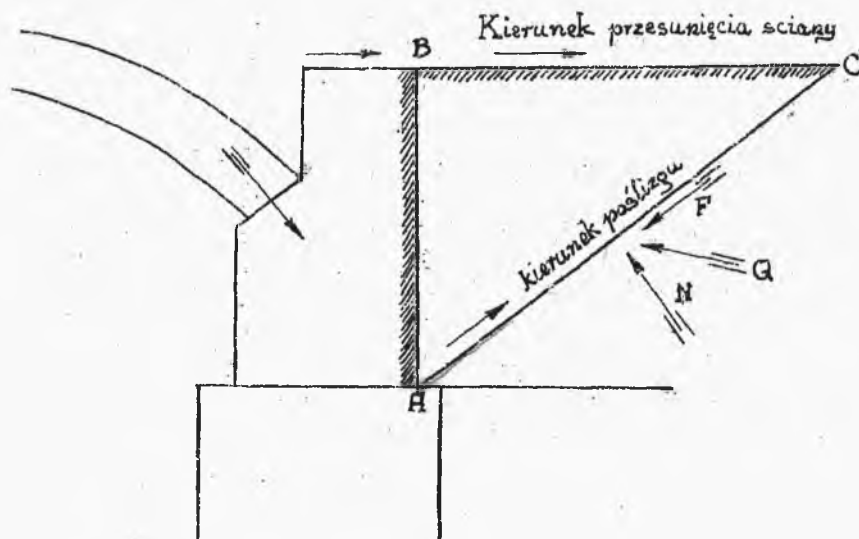
R O Z D Z I A Ł II.

O D P Ó R Z I E M I / P A R C I E P A S Y W N E / .

Parcie ziemi na ściankę podporową skierowane w ten sposób, że ono może przy wzrastaniu wywołać przesunięcie ściany, lub przewrócenia jej przez ruch obrotowy około zewnętrznej krawędzi ściany, nazywa się, jak wspomniano powyżej, rozparem ziemi, albo parciem czynnym /aktywnem/ $Z_{(a)}$ /poussée, pression active.

aktiver Erddruck/ w odróżnieniu od oporu masy ziemi przesunięcia pod wpływem zewnętrznego naciska do niej przyłożonego, który to opór nazywa się bierny a czyli pasywnym parciem ziemi, albo odporem ziemi $Z_{(p)}$ /butée des terres, albo pression passive; passiver Erddruck/.

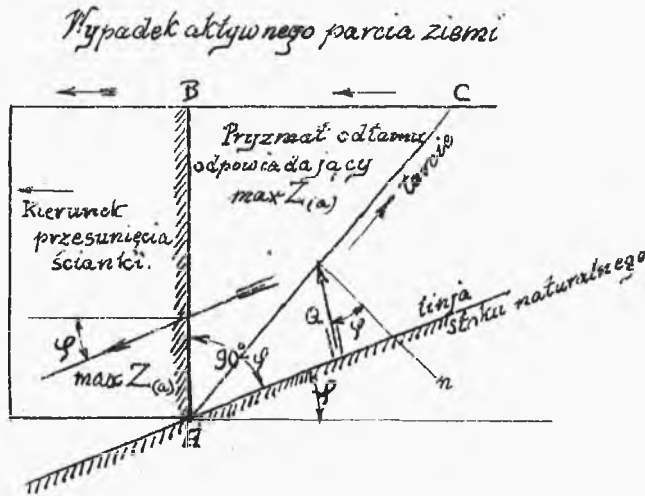
Jako przykład oporu ziemi na rys. 39 jest przedstawiony wypadek, kiedy obciążone sklepienie naciska na przyczółek, wywołując tendencję do przesunięcia przyczółka w stronę masy zie-



Rys. 39.

mi, zasypanej za przyczółkiem. Pod wpływem nacisku który oddaje się od sklepienia ścianie przyczółka, część znajdującej się za nią masy ziemi jest pobudzona do ślizgania się w górę /a nie na dół, jak to ma miejsce w wypadku aktywnego parcia ziemi/

wzdłuż pewnej płaszczyzny poślizgu /przesunięcia/, przyczem tworzy się tak zwany pryzmat odporu /pryzmat przesunięcia/, czyli poślizgu/ ABC /rys. 41/, przedstawiający najmniejszy opór temu przesunięciu. Należy tutaj zauważyć, że przy jednako-



Rys. 40.

wych warunkach, absolutna wartość najmniejszego odporu jest kilka razy większa od absolutnej wartości największego rozporu.

$$\begin{aligned} \min Z_{(p)} &> \max Z_{(a)} \\ \min Z_{(p)} &= m \cdot (\max Z_{(a)}) \end{aligned}$$

gdzie m jest liczbą większą od jedności. Porównanie rysunków 40 i 41 daje jasne pojęcie o różnicy między zjawiskami rozporu /t.j. parcia aktywnego, czynnego/ i odporu /t.j. parcia pasywnego, biernego/.

Przesunięciu pryzmatu ABC /rys. 41/ do góry przeszkadza tarcie wzdłuż płaszczyzn AC i AB , przyczem siły tarcia są skierowane na dół, t.j. w stronę przeciwną przesunięciu

nasy, zsuwającej się po płaszczyźnie pochylej w kierunku do pryzmatu odporu.

Z tych porównań wynika jasno, że na rys. 41 linja stoku naturalnego powinna być odchylna pod kątem $-\varphi$, w dół od poziomemu /a nie do góry jak to ma miejsce na rys. 40 w wypadku aktywnego parcia ziemi/.

Z powyższego łatwo zrozumieć, że na rys. 41 kąt między $Z_{(p)}$ i linją ścianki AB powinien być $90^\circ + \varphi$, przyczem kąt między AB i linją stoku naturalnego równa się także $90^\circ + \varphi$.

Na rysunku 41 wszystkie kąty φ , odłożono w stronę wprost przeciwną, niż rysunku 40 i zostały oznaczone przez $-\varphi$, /t.j. jako kąty ujemne/.

Na rysunkach 40 i 41 kąt δ' tarcia między ścianą i ziemią, przyjęty został jako równy kątowi φ , na podstawie założenia, że zachodzi przyczepność cienkiej warstwy ziemi do ściany. Z rysunku 42 i z poprzednich rozważań jasnym jest, że siła tarcia $T_{(p)}$ w wypadku pasywnego parcia ziemi ma znak odwrotny niż znak siły $T_{(a)}$. Ponieważ zaś

$$T_{(a)} = N_{(a)} \operatorname{tg} \varphi,$$

to wskutek analogji możemy napisać:

$$T_{(p)} = N_{(p)} \operatorname{tg}(-\varphi) = -N_{(p)} \operatorname{tg} \varphi,$$

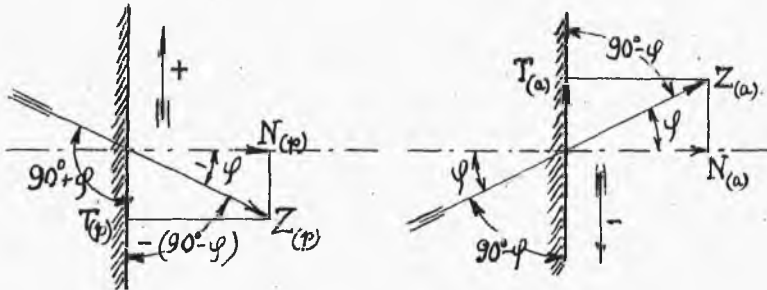
t.j. dla otrzymania $T_{(p)}$ należy we wzór dla $T_{(a)}$ przedstawić, zamiast $N_{(a)}$ wartość $N_{(p)}$ i wziąć kąt $-\varphi$, zamiast kąta φ .

Wskutek tego, że w analitycznych równaniach równowagi:

$$\sum X=0 \quad \sum Y=0$$

napisanych dla pryzmatu odporu /parcia pasywnego/ kąty φ wchodzi tylko do tych wyrazów, które przedstawiają rzuty sił tarcia na odpowiednie osie współrzędnych, to jasnym będzie, że przy zastąpieniu w tych wyrazach kątów φ , przez $-\varphi$ i w ostatecznym wyniku, przedstawiającem wielkość odporu ziemi, kąt φ także powinien zmienić swój znak.

Dlatego też, ze wzoru na aktywne parcie można otrzymać wzór na parcie pasywne, przez zmianę znaku przed kątem φ .



Rys. 42

Na przykład, poprzednio był wyprowadzony wzór na parcie aktywne w wypadku, pokazanym na rys. 37, a mianowicie:

$$Z = \max Z_{(a)} = \frac{1}{2} \gamma h^2 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

a zatem, w wypadku, pokazanym na rys. 41, wzór na parcie pasyw-

ne będzie:

$$\min Z_{(p)} = \frac{1}{2} \gamma_1 h^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

Jeśli obliczyć stosunek $\frac{\min Z_{(p)}}{\max Z_{(a)}}$ dla wypadku, kiedy kąt stoku

naturalnego $\varphi = 30^\circ$, co odpowiada zwykłemu piaszczystemu gruntu-
wi, to otrzymamy:

$$\frac{\min Z_{(p)}}{\max Z_{(a)}} = \frac{\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)}{\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)}$$

$$\frac{\min Z_{(p)}}{\max Z_{(a)}} = \frac{\operatorname{tg}^2 60^\circ}{\operatorname{tg}^2 30^\circ} = \frac{(\sqrt{3})^2}{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2} = 9 ,$$

t. j. dla wypadku pokazanego na rys 41 najmniejszy odpór ziemi
jest dziewięć razy większy od największego jej rozporu.

Jeśli na powierzchni nasypu /rys. 41/ było obciążenie
użytkowe p na jednostkę pola powierzchni, równoważne obciąże-
niu od warstwy ziemi o wysokości h_1 , gdzie $h_1 = \frac{p}{\gamma_1}$, to

analogicznie do wzoru na aktywne parcie:

$$\max Z_{(a)} = \frac{1}{2} \gamma_1 (h^2 + 2hh_1) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

moglibyśmy napisać:

$$\min Z_{(p)} = \frac{1}{2} \gamma_2 (h^2 + 2hh_1) \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$$

Z porównania wzorów dla $Z_{(p)}$ i $Z_{(a)}$ łatwo wywnioskować, że parcie na ścianę w obu wypadkach rozkłada się jednakowo /gdyż wykresy różniczkowe będą do siebie podobne w obu wypadkach/. A zatem punkt przyłączenia wypadkowej odporu ziemi znajduje się od dolnej krawędzi ściany na takiej samej odległości, jak i punkt przyłączenia rozporu ziemi /czyli parcia aktywnego/, a mianowicie:

a/ jeśli powierzchnia nasypu nie jest obciążona ciężarem użytkowym, to odległość punktu przyłączenia wypadkowej odporu od dolnej krawędzi ściany jest:

$$h_0 = \frac{1}{3} h, \quad i$$

b/ jeśli powierzchnia nasypu jest obciążona ciężarem użytkowym, stanowiącym p jednostek ciężaru na jednostkę pola powierzchni nasypu, przyczem zastępcza /sprawdzona/ wysokość warstwy ziemi

$$h_1 = \frac{p}{\gamma_2}, \quad \text{to:}$$

$$h_0 = \frac{h}{3} \cdot \frac{3h_1 + h}{2h_1 + h}$$

§ 1. Wykreślne wyznaczanie pasywnego parcia /czyli oporu/ ziemi.

Żeby określić wielkość pasywnego parcia ziemi za pomocą wykresu należy znaleźć taki kąt α linii przesunięcia /poślizgu/ z poziomem, przy którym otrzymuje się najmniejszy opór ziemi na przesunięcie, t.j. $\min Z_{(p)}$ ale \min funkcji $Z_{(p)}$, przy zmienności kąta α otrzymuje się, jak wiadomo, z warunku:

$$\frac{dZ}{d\alpha} = 0.$$

Dla tego też i w danym wypadku, t.j. dla wykreślnego zbudowania pryzmatu parcia pasywnego /czyli oporu/ możemy zastosować znany już nam wykres Poncelet'a, z tem zastrzeżeniem, że, stosownie do poprzednich rozważań, zamiast kąta stoku naturalnego φ - należy przyjąć kąt ten jako $-\varphi$, a także kąt między linią orientacyjną BL i ścianą należy odkładać z odwrotnej strony ściany w porównaniu z wypadkiem parcia aktywnego. Na rysunkach 43 i 44 pokazane są wykresy linii przesunięcia w wypadkach pasywnego parcia, bez uwzględnienia tarcia ziemi o ścianę i z uwzględnieniem tego tarcia. Wielkość parcia ziemi, otrzymywana z tych wykresów wyraża się, jak wiadomo, wzorem:

$$Z = \frac{1}{2} \gamma \cdot y \cdot \eta$$

W wypadku aktywnego parcia ziemi:

$$\max Z_{(a)} = \frac{1}{2} \gamma_1 y_1 \eta_1 .$$

Według rysunku 43

$$y_1 = \eta_1$$

a zatem:

$$\min Z_{(p)} = \frac{1}{2} \gamma_1 y_1^2 ;$$

ale $y_1 = \overline{BF}' = \overline{BA} \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$

$\overline{BA} = h$, zikąd.

$$\min Z_{(p)} = \frac{1}{2} \gamma_1 h^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

Według rysunku 44

$$\min Z_{(p)} = \frac{1}{2} \gamma_1 y_1 \eta_1$$

Ten wzór może być z łatwością zmieniony, jeśli zauważyć, że

$$\eta_1 = y_1 \cos \varphi$$

$$\min Z_{(p)} = \frac{1}{2} \gamma_1 y_1^2 \cos \varphi$$

Dałej łatwo zauważyć z podobieństwa trójkątów $\triangle NLB \sim \triangle NC'J'$ i wskutek równoległości boków, że:

$$y_1 : \overline{BL} = \overline{J'N} : \overline{LN} ,$$

albo

$$y_1 = \frac{\overline{J'N} \cdot \overline{BL}}{\overline{LN}}$$

a zatem:

$$\min Z_{(\varphi)} = \frac{1}{2} \gamma_1 \cos \varphi \left[\frac{\overline{J'N} \cdot \overline{BL}}{\overline{LN}} \right]^2$$

$$\overline{J'N} = \overline{AJ'} + \overline{AN}; \quad \overline{AJ'} = \overline{AG}; \quad \overline{J'N} = \overline{AG} + \overline{AN}$$

$$\overline{AG} = \overline{AJ'} = \sqrt{\overline{AN} \cdot \overline{AL}}; \quad \overline{AN} = \frac{h}{\sin \varphi}; \quad \overline{J'N} = \sqrt{\overline{AN} \cdot \overline{AL}} + \overline{AN}$$

Z Δ -ka ABL łatwo znajdziemy, że

$$\frac{\overline{AL}}{h} = \frac{\sin 2\varphi}{\sin(90^\circ - \varphi)},$$

t.j.

$$\overline{AL} = h \cdot \frac{\sin 2\varphi}{\cos \varphi}$$

a zatem

$$\overline{AJ} = \sqrt{\frac{h}{\sin\varphi} \cdot \frac{h \sin 2\varphi}{\sin(90^\circ - \varphi)}} = h \sqrt{\frac{\sin 2\varphi}{\sin\varphi \cos\varphi}}$$

$$\overline{JN} = h \sqrt{\frac{\sin 2\varphi}{\sin\varphi \cos\varphi}} + \frac{h}{\sin\varphi}$$

$$\overline{BL} = h; \quad \overline{LN} = \overline{AN} - \overline{AL} = \frac{h}{\sin\varphi} - \frac{h \sin 2\varphi}{\cos\varphi}$$

W ten sposób:

$$\min Z_{(p)} = \frac{1}{2} \gamma_2 \cos\varphi \cdot \frac{\left[\left(\frac{h}{\sin\varphi} + h \sqrt{\frac{\sin 2\varphi}{\sin\varphi \cos\varphi}} \right) h \right]^2}{\left[\frac{h}{\sin\varphi} - \frac{h \sin 2\varphi}{\cos\varphi} \right]^2}$$

albo

$$\min Z_{(p)} = \frac{1}{2} \gamma_2 h^2 \cos\varphi \frac{\left[\frac{1}{\sin\varphi} + \sqrt{\frac{\sin 2\varphi}{\sin\varphi \cos\varphi}} \right]^2}{\left[\frac{1}{\sin\varphi} - \frac{\sin 2\varphi}{\cos\varphi} \right]^2}$$

Zauważmy, że

$$\sin 2\varphi = 2 \sin\varphi \cos\varphi,$$

znajdujemy:

$$\min Z_{(\varphi)} = \frac{1}{2} \gamma_1 h^2 \cos \varphi \frac{\left[\frac{1}{\sin \varphi} + \sqrt{2} \right]^2}{\left[\frac{1}{\sin \varphi} - 2 \sin \varphi \right]^2}$$

Przyrowadzając do jednego mianownika wyrazy zawarte w nawiasach i następnie skracając, otrzymamy:

$$\min Z_{(\varphi)} = \frac{1}{2} \gamma_1 h^2 \cos \varphi \frac{[1 + \sqrt{2} \cdot \sin \varphi]^2}{[1 - 2 \sin^2 \varphi]^2}$$

Przyjmąwszy pod uwagę, że

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \sin 45^\circ \text{ i że } 1 = \sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi$$

znajdziemy po niewielkich przeróbkach:

$$\min Z_{(\varphi)} = \gamma_1 h^2 \cos \varphi \frac{[\sin 45^\circ - \sin \varphi]^2}{[\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi]^2}$$

Wiadomo, że $\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi = \cos 2\varphi$, podstawiając ten wy-

raz, we wzór dla $\min Z_{(\varphi)}$ otrzymamy ostatecznie:

$$\min Z_{(p)} = \gamma_1 h^2 \cos \varphi \frac{[\sin 45^\circ + \sin \varphi]^2}{\cos^2 2\varphi}$$

ze znalezionego wyrazu dla $\min Z_{(p)}$, można natychmiast znaleźć wyraz dla $\max Z_{(a)}$ korzystając z powyższych uwag i w tym celu należy tylko, zamiast φ , podstawić $-\varphi$.

W ten sposób dla wypadku pokazanego na rys. 44, znajdziemy:

$$\max Z_{(a)} = \gamma_1 h^2 \cos \varphi \frac{[\sin 45^\circ - \sin \varphi]^2}{\cos^2 2\varphi}$$

Stosunek

$$\frac{\min Z_{(p)}}{\max Z_{(a)}} = \frac{[\sin 45^\circ + \sin \varphi]^2}{[\sin 45^\circ - \sin \varphi]^2},$$

przy $\varphi = 30^\circ$, *) będzie równy:

$$\frac{\min Z_{(p)}}{\max Z_{(a)}} = \frac{[\sin 45^\circ + \sin 30^\circ]^2}{[\sin 45^\circ - \sin 30^\circ]^2} = \frac{[\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{2}]^2}{[\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{2}]^2} = \frac{[1 + \sqrt{2}]^2}{[\sqrt{2} - 1]^2}$$

*) Przy $\varphi = 0$ t.j. dla wody $\min Z_{(p)} = \max Z_{(a)} = W$

albo:

$$\frac{\min Z_{(p)}}{\max Z_{(a)}} = \frac{[2,4142]^2}{[0,4142]^2} = 33,88.$$

Przy kącie $\psi = 22^\circ$, jak przyjęto na rys. 44

$$\frac{\min Z_{(p)}}{\max Z_{(a)}} = \text{około } 10.$$

W ogóle, jak widać z rysunków 43 i 44 na jednym i tym samym rysunku za pomocą jednego wykresu można określić dla danej ściany $\max Z_{(a)}$ i $\min Z_{(p)}$ przyczem stosunek iloczynów:

$$\frac{\eta_1 y_1}{\eta y} = \frac{\min Z_{(p)}}{\max Z_{(a)}}$$

Jeśli działanie ściany na ziemię zastąpić działaniem pewnego pryzmatu odłemu na pryzmat oporu, to staje się zupełnie jasnym, że obsuwaniu się pierwszego pryzmatu na dół powinno odpowiadać wypieranie drugiego pryzmatu do góry.

Z trygonometrii wiadomo, że:

$$\frac{\sin \alpha + \sin \beta}{\sin \alpha - \sin \beta} = \frac{\operatorname{tg} \frac{1}{2}(\alpha + \beta)}{\operatorname{tg} \frac{1}{2}(\alpha - \beta)};$$

wskutek czego możemy napisać:

$$\frac{\min Z_{(\varphi)} = [\sin 45^\circ + \sin \varphi]^2}{\max Z_{(\alpha)} = [\sin 45^\circ - \sin \varphi]^2} = \frac{\operatorname{tg}^2 \frac{1}{2}(45^\circ + \varphi)}{\operatorname{tg}^2 \frac{1}{2}(45^\circ - \varphi)}$$

Odpór ziemi ma osobliwie ważne znaczenie w praktyce budowlanej w tych wypadkach, kiedy koniecznie trzeba przeciwdziałać osiadaniu mas ziemi spowodowanemu ich obsuwaniem się pod wpływem leżącego na nich ciężaru budynku. Takie osiadanie, czyli obsuwanie się mas ziemi jest możliwe tylko przy jednoczesnym wypieraniu do góry sąsiednich mas gruntu, zaś temu wypieraniu przeciwdziała właśnie odpór ziemi.

Zjawiska te mają miejsce w fundamentach budowli i warunkują głębokość posadowienia fundamentów, o czym będzie mowa niżej. Co się zaś tyczy zapobieżenia od bocznych przesunięć podpór budowli /rys. 39/, to w tym wypadku odpór ziemi, czyli pasywne parcie, nie ma praktycznego znaczenia, ponieważ dla wywołania tego odporu, koniecznym jest pewne sprasowanie /zgęszczenie/ ziemi, co może nastąpić dopiero po pewnym przesunięciu się ściany. Takie zaś przesunięcie, bez względu na jego małą wartość, jest w stanie wywołać szkodliwe dla wytrzymałości budynku - cdkształcenia lub uszkodzenia /np. pęknięcia w sklepieniach/ nawet już przed wywołaniem użytecznego działania odporu ziemi. Wobec tego zwykle na praktyce, w podobnych wypadkach,

nie uwzględniają odporu ziemi, obliczając budowlę tylko na aktywne parcie ziemi.

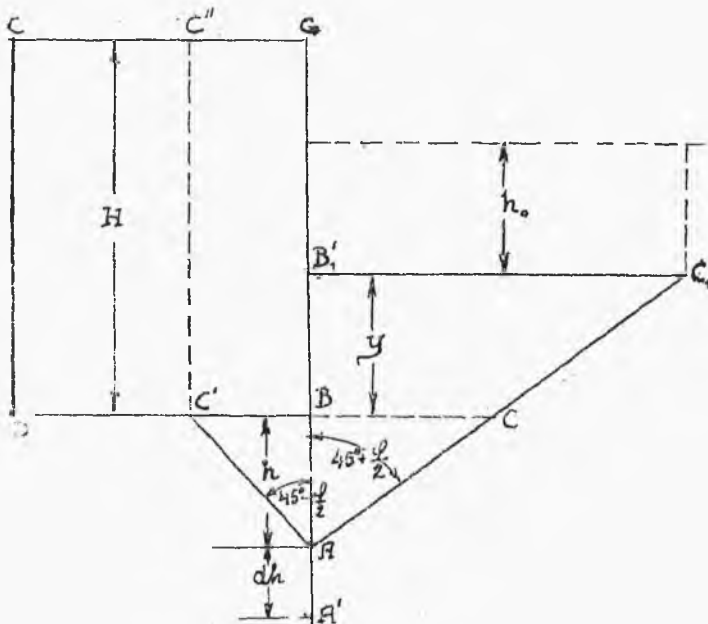
ROZDZIAŁ III.

GŁĘBOKOŚĆ POSADOWIENIA FUNDAMENTÓW.

Zasady budownictwa wymagają, żeby podstawy fundamentów były posadowione poniżej linii przemarzania gruntu, a w budow-
lach hydrotechnicznych *) poniżej linii oczekiwanego najwięk-
szego możliwego rozmycia łoża rzeki /według obliczenia hydra-
ulicznego.

Niezależnie od tego, dla stateczności i wytrzymałości budynku koniecznym jest, żeby fundament był posadowiony jeszcze niżej od wskazanych granic na pewną głębokość, zależną od ciśnienia, które oddaje budynek gruntowi na jednostkę pola podstawy jego fundamentu i głębokość ta, przy danym polu podstawy fundamentu, jest tem większa im większe ciśnienie na grunt. Rozszerzając podstawę fundamentu można tę głębokość odpowiednio zmniejszyć wskutek zmniejszenia ciśnienia na grunt. Wymaganie odpowiedniej głębokości posadowienia fundamentu wpływa, jak to zobaczymy poniżej z warunków stateczności budynku, t.j. ze wskazówek
*) np. filary mostów na rzekach.

Statyki Budowlanej. Zwróćmy się do rys. 45, na którym prostokąt $BCDG$ przedstawia słup gruntu o wysokości H zastępujący ciężar budynku, cisnącego swoją podstawą BD na grunt. Oznaczmy poszukiwaną /konieczną dla stateczności budynku/ głębokość posadowienia fundamentu przez y , licząc tę głębokość poniżej linii, leżącej na obranej głębokości h_0 od powierzchni ziemi /np. poniżej linii oczekiwanego rozmycia dna rzeki /. W poszczególnych przypadkach h_0 może być równym zeru, np. jeśli budynek stawia się na miejscu suchym, gdzie nie oczekuje się żad-



Rys. 45.

nego rozmycia gruntu. W tych ostatnich wypadkach $h_0 = 0$, jeśli y okaże się większym, albo równym głębokości przemarzenia gruntu. Weźmy w płaszczyźnie GB niżej podstawy (DB)

fundamentu budynku na głębokości h , punkt A i przeprowadźmy przez ten punkt płaszczyzny AC i AC' ograniczające pryzmaty odłamu /parcia aktywnego/ $ABC'C''G$ i pryzmatu odporu /parcia pasywnego/ $ABB'C$. Żeby pod naciskiem ciężaru budynku nie mogło nastąpić zjawisko wypierania /wyciskania/ gruntu po linii AC z jednoczesnym osiadaniem gruntu pod podstawą fundamentu, koniecznym jest, żeby aktywne parcie $\max Z_{(a)}$ pryzmatu odłamu $ABC'C''G$, było mniejsze od odporu $Z_{(p)}$ pryzmatu parcia pasywnego $ABB'C$. Ten warunek powinien mieć miejsce dla każdej jednostki pola elementarnego /nieskończenie małego/ pólka $AA' = dh$ płaszczyzny ABB' t.j. jednostkowe parcie na głębokości h powinny odpowiadać warunkowi:

$$\frac{d(\max Z_{(a)})}{dh} \leq \frac{d(\min Z_{(p)})}{dh}$$

Jak wiadomo z powyższego, jeśli nie uwzględnimy tarcia w płaszczyźnie ABB' między pryzmatami odłamu i odporu, to

$$\max Z_{(a)} = \frac{1}{2} \gamma_1 (h^2 + 2hH) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

$$\min Z_{(p)} = \frac{1}{2} \gamma_1 (h^2 + 2hy) \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$$

zład:

$$\frac{d(\max Z_{(a)})}{dh} = \gamma_1 (h+H) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

$$\frac{d(\min Z_{(p)})}{dh} = \gamma_1 (h+y) \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$$

Wartości $\frac{d(\max Z_{(a)})}{dh}$ i $\frac{d(\min Z_{(p)})}{dh}$

można rozpatrywać jako naprężenia parcia aktywnego i pasywnego na wyobrażalną ścianę ABB' na głębokości h ,
a zatem powinno być:

$$\gamma_1 (h+H) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \leq \gamma_1 (h+y) \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}),$$

zład:

$$\frac{h+y}{h+H} \geq \frac{\operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})}{\operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}$$

albo:

$$\frac{h+y}{h+H} \gg \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \cdot \operatorname{cotg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$$

ale

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

Dlatego:

$$\frac{h+y}{h+H} \gg \operatorname{tg}^4(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

Przy zbliżeniu h do zera, t.j. pod samą podstawą fundamentu, będziemy mieli:

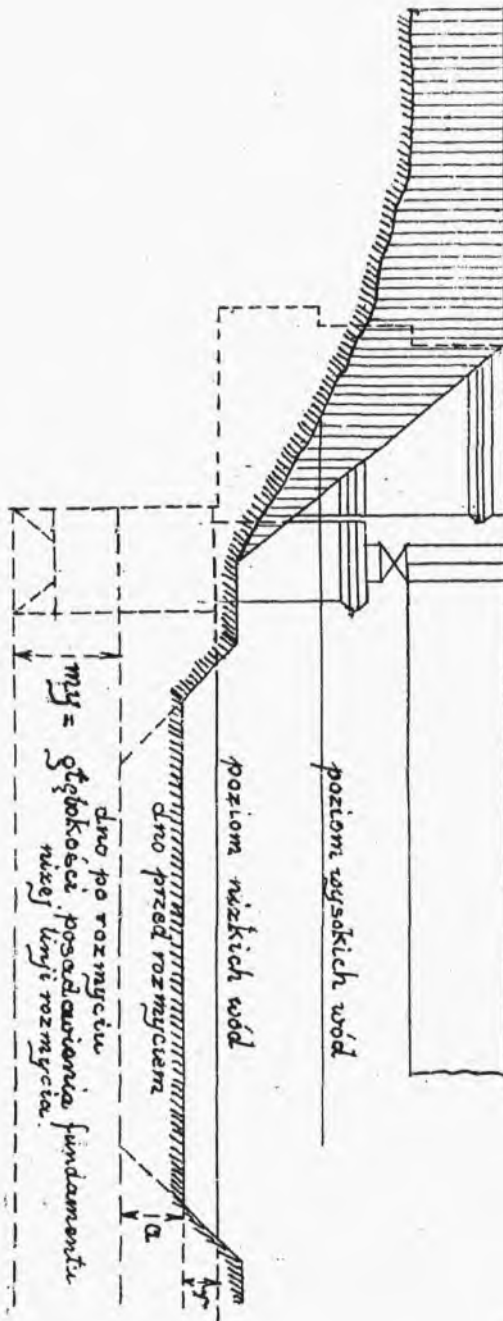
$$h=0$$

$$\frac{y}{H} \gg \operatorname{tg}^4(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

zład

$$y \gg H \operatorname{tg}^4(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

t.j. otrzymaliśmy znany wzór Pauker'a określający głębokość posadowienia fundamentów. Tym wzorem posilkują się w Budownictwie dla wyznaczenia wspomnianej głębokości, przy czem dla fundamentów na palach / y / liczy się od dolnego końca pala, dla kessonów zaś i studni od dolnej krawędzi noża.



Rys. 46.

Otrzymana wartość (y) odpowiada, przy zrobionych założeniach, chwilowej równowadze budynku. Dla zapasu stateczności należy ją pomnożyć przez tak zwany współczynnik bezpieczeństwa, który dla budynków na miejscach suchych przyjmuje się zwykle w granicach

$m_1 = 1,5$ do $1,75$,
a dla gruntów pokrytych wodą i podległych możliwemu rozmrociu m_2 w granicach od 2 do 3,5 i do otrzymanej w ten sposób bezpiecznej głą-

bokości $m_2 y$ dodaje się największą głębokość rozmycia (a).

W ten sposób, głębokość posadowienia fundamentów podpór /filarów/ mostów, licząc od poziomu niskich wód, wyniesie /rys.46/

$$r+a+m_2 y = r+a+m_2 H \operatorname{tg}^4(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

Jeśli przyjąć pod uwagę tarcie w płaszczyźnie ABB' i obciążenie pryzmatu odłamu warstwą gruntu o wysokości H , to z powyższego łatwo zauważyć, że:

$$\max Z_{(a)} = \gamma_1 (h^2 + 2hH) \cdot \frac{\cos \varphi [\sin 45^\circ - \sin \varphi]^2}{\cos^2 2\varphi}$$

1

$$\min Z_{(p)} = \gamma_1 (h^2 + 2hy) \frac{\cos \varphi [\sin 45^\circ + \sin \varphi]^2}{\cos^2 2\varphi}$$

Parcie jednostkowe /na jednostkę powierzchni/ nieskończenie małego pólka $\overline{AA'}$ = dh /t.j. naprężenie parcia/ będzie:

$$\frac{d(\max Z_{(a)})}{dh} = 2\gamma_1 (h+H) \frac{\cos \varphi [\sin 45^\circ - \sin \varphi]^2}{\cos^2 2\varphi}$$

1

$$\frac{d(\min Z_{(p)})}{dh} = 2\gamma_1 (h+y) \frac{\cos \varphi [\sin 45^\circ + \sin \varphi]^2}{\cos^2 2\varphi}$$

Dla stateczności budynku powinniśmy mieć, jak poprzednio, spełniony warunek:

$$\frac{d(\min Z_{(\varphi)})}{dh} \gg \frac{d(\max Z_{(a)})}{dh}$$

albo

$$\frac{h+y}{h+H} \gg \frac{[\sin 45^\circ - \sin \varphi]^2}{[\sin 45^\circ + \sin \varphi]^2}$$

albo, przyrównując $h=0$

$$y \gg H \frac{[\sin 45^\circ - \sin \varphi]^2}{[\sin 45^\circ + \sin \varphi]^2}$$

Zgodnie z poprzednimi wywodami ten wzór może być przedstawiony inaczej, a mianowicie:

$$y \gg H \frac{\operatorname{tg}^2 \frac{1}{2}(45^\circ - \varphi)}{\operatorname{tg}^2 \frac{1}{2}(45^\circ + \varphi)}$$

Poprzednio był wyliczony przy $\varphi = 30^\circ$ stosunek

$$\frac{\min Z_{(\varphi)}}{\max Z_{(a)}} = 33,88$$

a zatem w tym wypadku

$$y > \frac{1}{35,88} H$$

Zwykle y powiększa się przez pomnożenie współczynnikiem stateczności, który, jak wyżej, dla miejsc suchych bierze się $m_1 = 1,5$ do 1,75, a dla miejsc pokrytych wodą i podległych rozmyciu $m_2 = 2$ do 3,5. Rozpatrzmy teraz wypadek wskazany na rysunku 47.

Założmy że głębokość posadowienia fundamentu ze względu na przemarzanie gruntu, a także ze względów więcej równomiernego rozłożenia ciśnienia i zmniejszenia ciśnienia na podstawie fundamentu, jest (a) Należy zbadać, czy nie jest potrzebnem powiększenie tej głębokości w celach stateczności budynku, t.j. żeby nie nastąpiło wypieranie gruntu z pod podstawy fundamentu.

To powiększenie głębokości może być wykonane przez dodanie pod fundamentem warstwy piasku, albo betonu o grubości γ Jeśli do wzorów poprzednich, wyprowadzonych z założeniem nieuwzględnienia tarcia wzdłuż płaszczyzny ABB' /rys. 45/ podstawić, zamiast y , równą mu wielkość /rys. 47/:

$$y = a + \gamma$$

to otrzymamy:

$$a + \gamma > H \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Pomnożywszy obie strony równania przez γ_1 - t.j. przez ciężar jednostki objętości gruntu /w danym wypadku jednego sześciennie-

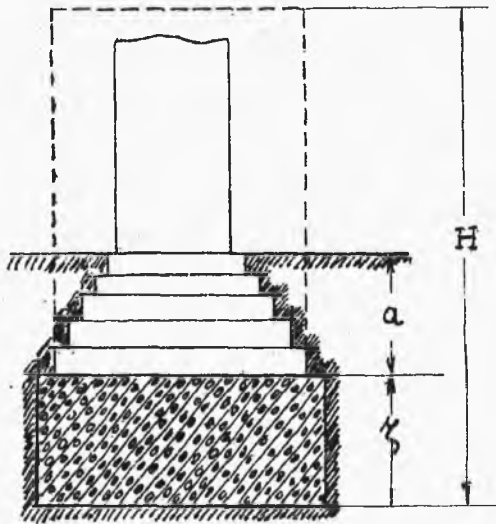
go centymetra/, znajdziemy:

$$\gamma_1(a+z) \geq \gamma_1 H \operatorname{tg}^4(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

Zastąpmy $\gamma_1 H$ następującym wzorem:

$$\gamma_1 H = p + \gamma_2 z$$

gdzie p - największe /przyjmując nierównomierne ciśnienie/ ciśnienie od ciężaru budynku w kilogramach na cm^2 , a γ_2 - ciężarowi jednego sześciennego centymetra mater-



Rys. 47.

jału /piasku czy betonu/, którym zamierzamy zapelnąć wykop pod fundamentem. Jako pole podstawy fundamentu na którą oddaje się ciśnienie należy przyjąć, jeśli pod fundamentem ma być zasypany piasek, pole dolnego szeregu kamieni fundamentu, a jeśli pod fundamentem ma być betonowa płyta, to pole tej płyty, o ile krawędź betonu nie występuje za krawędź muru fundamentu więcej niż o grubość warstwy betonu. Dla piasku $\gamma_2 = 0,0014$ do $0,0019$; dla betonu $\gamma_2 = 0,002$ w kilogramach na sześcienny centymetr. Przy tych oznaczeniach

rowi jednego sześciennego centymetra materiału /piasku czy betonu/, którym zamierzamy zapelnąć wykop pod fundamentem. Jako pole podstawy fundamentu na którą oddaje się ciśnienie należy przyjąć, jeśli pod fundamentem ma być zasypany piasek, pole dolnego szeregu

znajdziemy:

$$\gamma_1(a+y) \geq (p + \gamma_2 y) \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}),$$

z kąd poszukiwana głębokość (y) w centymetrach - wykopu pod fundamentem, podlegająca wypełnieniu betonem lub piaskiem:

$$y_{\text{cm}} = \frac{p \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) - a_{\text{cm}} \gamma_1}{\gamma_1 - \gamma_2 \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})}$$

Jeśli y otrzyma się ze znakiem ujemnym wnuknie z tego, że można obejść się bez ułożenia pod fundamentem warstwy piasku, lub betonu.

Jeśli budynek buduje się na twardym gruncie, to zwykle nie ma potrzeby urządzenia pod fundamentem wskazanej podstawy w formie warstwy piasku lub betonu; lecz jeśli grunt w górnych warstwach jest słaby, albo obciążenie fundamentu jest znaczne, a dobry grunt leży głęboko, to należy albo poszerzyć fundament, albo wykonać sztuczną podstawę z taniego materiału /piasek, lub chudy beton/.

Pod ciężkie budowle i pod dźwigi /żórawie/ do podejmowania ciężarów często używa się sztucznych podstaw. W ostatnim wzorze należałoby jeszcze dla większej ostrożności uwzględnić współczynnik stateczności (m), o którym mówiono powyżej dla zupełnego uzgodnienia z poprzednimi rozumowaniami.

Lecz ponieważ nie uwzględnialiśmy przy wyprowadzeniu tego wzoru tarcia w płaszczyźnie ABB' to w wypadkach, kiedy górne warstwy gruntu są dobre i dla budynków na suchym miejscu, można to dopuścić, jak pokazuje praktyka.

S P I S R Z E C Z Y .

str.

ROZDZIAŁ I.

PARCIE ZIEMI AKTYWNE CZYLI ROZPÓR ZIEMI

Pojęcia wstępne.....	5
§ 1. Określenie położenia linii przesunięcia i wielkości parcia ziemi Σ /sposób Pillet'a /.....	13
§ 2. Analityczne wyznaczenie płaszczyzny przesunięcia..	21
§ 3. Określenie wielkości parcia czyli rozporu ziemi...	29
§ 4. Wypadek, kiedy masa ziemi ograniczona jest z góry płaszczyzną /naziom płaski/.....	30
§ 5. Wykreślny sposób oznaczenia linii przesunięcia i parcia ziemi, podany przez Poncelet'a/.....	33
§ 6. Oznaczenie linii przesunięcia, oraz parcia ziemi na ścianę w niektórych wypadkach poszczególnych.....	37
§ 7. Rozłożenie parcia ziemi na tylnej powierzchni ściany w wypadku płaskiej powierzchni nasypu.....	57
§ 8. Oznaczenie punktu przyłączenia wypadkowej parcia ziemi i obciążenia użytkowego na ścianę.....	64
§ 9. Szczególny wypadek parcia ziemi przy poziomej powierzchni nasypu/ $\varepsilon=0$ /przy pionowej tylnej powierzchni ściany / $\beta=90^\circ$ / i bez uwzględnienia tarcia ziemi o ścianę / $\delta=0$ /.....	71
§10. Porządek obliczenia muru podporowego.....	77

ROZDZIAŁ II.	str.
ODPÓR ZIEMI / PARCIE PASYWNE/.....	79
§ 1. Wykreślne wyznaczenie pasywnego parcia /czyli od- poru / ziemi.....	87
ROZDZIAŁ III.	
GLEBOKOSC POSADOWIENIA FUNDAMENTÓW.....	97

