SPOSÓB PRAKTYCZNY BUDOWY MURÓW OPOROWYCH

NAPISAŁ

KAZIMIERZ BRANDT

Przedstawiono na posiedzeniu Towarzystwa Nauk Ścisłych w Paryżu, 4 Listopada 1876 roku.

TREŚĆ.

WSTĘP.

Przy budowie murów oporowych należy przedewszystkiém zwrócić uwagę na naturę gruntu w którym fundamenta mają być założone. Rozpoznanie dokładne gruntu na którym budowa muru oporowego ma być dokonaną, nie należy bezpośrednio do przedmiotu którym się w téj pracy zająć życzymy, lecz jest ono wypływem znajomości czystéj geologii, do któréj to gałęzi wiedzy odsyłamy inżynierów, którzy tego rodzaju zadanie rozwiązać są obowiązani. My zaś zajmiemy zię natychmiast głównym przedmiotem naszéj pracy i dodamy tylko mimochodem, że wszędzie w ogólności, gdzie grunt jest skalisty lub zwirowaty (gravier siliceux), dostateczném będzie zrobić pokład z betonu i na nim ułożyć pierwsze warstwy muru.

Znając dokładnie 1° naturę gruntu na którym mur oporowy ma być zbudowanym; 2° wysokość nasypu lub wody których parciu mur winien przeciwstawić dostatecznie silny opór, bez żadnéj trudności oznaczymy grubość takiego muru, używając wzorów czysto empirycznych. Gdyby oznaczenie w ten sposób wymiarów przecięcia poprzecznego muru oporowego było w zupełności zadawalniającém, nie mielibyśmy bez wątpienia najmniejszéj potrzeby przedstawiania niniejszéj pracy. Rzecz się ma jednakże zupełnie inaczéj; wzory empiryczne po dziś dzień jeszcze używane nie wytrzymują rozbioru analitycznego (*), a nadto wystawiają zawsze na wielkie i zupełnie niepotrzebne koszta, których uniknąć nadal powinno być ustawiczném staraniem każdego inżyniera.

Przedmiot niniejszéj pracy. — Głównym zadaniem niniejszéj pracy jest podanie praktycznych wzorów do obliczania grubości murów oporowych, odpowiednio do przypadków na które w praktyce natrafić możemy i wskazanie w jaki sposob postępować należy dla osiągnięcia największéj oszczędności, zachowując zawsze téż samą wytrzymałość.

Zanim zajmiemy się oznaczeniem właściwego parcia, powiedzieć winniśmy słów kilka o *tarciu* (frottement) i o *sile spójności* (cohésion), ktorych znajomość szczegolniéj praktyczna, wynikająca z tyle licznych doświadczeń, jest nadzwyczaj pożądaną dla inżynierów.

(*) *Compte rendu de l'Académie des Science*, tome LXXVII, 1834, z dnia 28 lipca 1873 roku, str. 247.

CZĘŚĆ I

OZNACZENIE PARCIA ZIEMI.

§ 1szy. — WIADOMOŚCI WSTĘPNE.

Tarcie (Frottement). — Określenie ważniejszych przynajmniéj wyrazów używanych przy budowie murów oporowych (*murs des soutenements*), zdaje nam się w téj chwili rzeczą niezbędną; powiemy zatém, że przy budowaniu murów oporowych nazywamy *Płaszczyzną największego nachylenia* (*Plan de plus grande pente*), płaszczyznę której kąt nachylenia do poziomu jest taki, że cząsteczki ziemi pozostawione działaniu własnego ich ciężaru zaczynają się ześlizgiwać jedne po drugich. Kąt płaszczyzny, o któréj mowa, z poziomem zwiemy kątem *obsuwania* lub *ślizgania* (angle de glissement); wartość kąta ślizgania zmienia się odpowiednio do gatunku ziemi i do stanu mechanicznego jéj cząsteczek. W saméj rzeczy, z całą łatwością, każdy mógł zauważyć, że niektóre gatunki ziemi pozostawione działaniu ich własnego ciężaru zmieniają swe położenie pierwotne na płaszczyznie nachylonéj do poziomu pod kątem daleko mniejszym od innego kąta nachylenia, którego potrzebują cząsteczki innéj ziemi i nadto, że badając z blizka ziemie świeżo poruszone, dostrzegamy natychmiast, że cząsteczki ich ślizgają się po płaszczyznach pochyłych, tworzących z pionową kąty daleko większe od tych, którychby też cząsteczki potrzebowały, gdybyśmy poprzednio pozostawili téż ziemie w spoczynku przez pewien przeciąg czasu dostateczny do ich ułożenia się czyli cząstkowego opadnięcia (tassement). *Spadkiem naturalnym* nazywamy takie nachylenie pod którém cząsteczki składowe ziemi zostają jedne na drugich w pełnéj równowadze. *Kątem ślizgania lub obsuwania* nazywamy wyższą granicę kąta zawartego pomiędzy poziomem i spadkiem naturalnym (talus naturel) ziemi świeżo poruszonéj.

Spółczynnikiem tarcia nazywamy styczną trygonometryczną kąta ślizgania lub obsuwania, możemy jeszcze spółczynnik tarcia określić jak następuje: jest to stosunek składowéj równoległéj do płaszczyzny pochyłéj, ciężaru uważanéj cząsteczki, do składowéj normalnéj względem téjże płaszczyzny pochyłéj, tegoż samego ciężaru.

Jeżeli nasyp wzięty pod uwagę ma nachylenie większe od jego spadku naturalnego, widoczną jest rzeczą, że część jego zawarta pomiędzy spadkiem naturalnym a danym nachyleniem nie przestanie usiłować obsunąć się. Dla zapobieżenia temu ruchowi potrzeba zamknąć nasyp od strony spadku ścianą pełną, podtrzymywaną siłą równą i wprost przeciwną téj, która się wywiązuje w masie nasypu i powoduje własnie obsuwanie się części masy leżącéj ponad spadkiem naturalnym; siła o któréj mowa w téj chwili, i która się wywiązuje w masie nasypu, znaną jest pod nazwiskiem *parcia ziemi*.

Podawszy tych kilka krótkich objaśnień, dotyczących słownictwa używanego przy tego rodzaju pracach, zajmiemy się obecnie oznaczeniem zjawisk, które mają miejsce podczas ruchu jakiejkolwiek masy ziemi.

Niech będzie jakakolwiek masa ziemi, mająca np. kształt ABCDF (fig. 1); niech będzie AX ślad płaszczyzny spadku naturalnego, AM płaszczyzna pozioma. Z tego cośmy podali powyżéj widzimy, że graniastosłup ziemi ABX usiłować będzie bezustannie obsunąć się po płaszczyznie, któréj śladem jest linia AX. Podczas samego ruchu spostrzegamy szczególniéj dwie przeszkody które sprzeciwiają się obsunięciu graniastosłupa ABX po spadku AX, temi dwoma przeszkodami są: tarcie jednych cząsteczek o drugie i siła spójności (cohésion). Ponieważ tarcie i siła spójności wywierają wielki wpływ na oznaczenie grubości przecięcia poprzecznego muru oporowego, postaramy się więc w dalszym ciągu niniejszéj pracy, wprowadzić je do rachunku i podamy wypadki dotyczące tak tarcia jako też i siły spójności, któremi praktyka doświadczalna po dziś dzień obdarzyć nas zdołała.

Oznaczenie spółczynnika tarcia. — Powiedzieliśmy powyżéj, że spółczynnik tarcia jest stosunkiem składowéj równoległéj do płasczyzny pochyłéj; ciężaru cząsteczki uważanéj, do składowéj normalnéj tegoż samego ciężaru, względem téjże płasczyzny pochyłéj; pierwsza z tych składowych usiłuje zciągnąć za sobą po płasczyznie pochyłéj uważaną cząsteczkę, druga zaś przy-

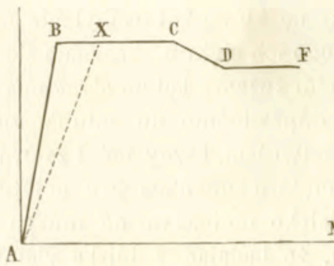


Fig. 1.

ciska ją do téj płasczyzny. Dla oznaczenia wartości spółczynnika tarcia, uważmy jakąkolwiek masę ziemi i przypuśćmy, że sypiemy na nią coraz to nowe warstwy tegoż samego gatunku co i masa pierwotna, przypuśćmy nadto, że to czynimy dopóty, dopóki cały nasyp nie dojdzie do pewnéj oznaczonéj wysokości; natychmiast po przejściu płasczyzny tworzącéj spadek naturalny dostrzegamy, że ślady płaszczyzn *największego nachylenia* powierzchni w ten sposób utworzonéj, są liniami prostemi tworzącemi z poziomem jeden i ten sam kąt dla ziemi jednego i tego samego gatunku, nadto, że obsuwanie się cząsteczek jednych po drugich odbywa się podług powyżéj wspomnianych linij.

Dodać tu winniśmy, że płasczyzny *największego nachylenia* zmieniają się odpowiednio do gatunku ziemi.

Przypuśćmy na chwilę, że cząsteczki nasypu o którym mowa, obsuwają się jedne po drugich pod wpływem pewnéj siły np. F; podczas tego ruchu; wywiązuje się tarcie czyli opór w kierunku równoległym do płasczyzny obsuwania; nazwijmy ten opór Ff, jeżeli f oznacza spółczynnik tarcia, t. j. styczną trygonometryczną kąta jaki tworzy spadek naturalny z poziomem. Na mocy powyższych uwag z łatwością moglibyśmy oznaczyć granice pomiędzy któremi spółczynnik tarcia zmienia swe wartości, jednakże sposób analityczny nieco zawiły nie odpowiada naszemu zadaniu, ograniczymy się więc na podaniu tak granic jako téż i wartości pośrednich spółczynnika tarcia, wyznaczonych drogą doświadczalną, i tak, spółczynik tarcia przybiera następujące wartości.

$f = 0{,}60$ dla drobnoziarnistego piasku ;

$f = 1{,}43$ dla jak najtwardszego gruntu.

Znając granice pomiędzy któremi wartość spółczynnika tarcia zmieniać się może, oznaczymy wartości kąta tarcia odpowiednie pewnym gatunkom gruntu. Jeżeli kąt tarcia nazwiemy φ otrzymamy :

$\varphi = 31°$ dla drobnoziarnistego piasku;

$\varphi = 36°$ dla wilgotnéj ziemi;

$\varphi = 43°30'$ dla suchéj i sproszkowanéj ziemi,

$\varphi = 55°$ dla jak najtwardszego gruntu.

Z powyższych danych możemy wyprowadzić wniosek następujący :

Spółczynnik tarcia jest zawsze bardzo bliski jedności, a kąt tarcia zawsze bardzo bliski 45°.

Treściwe pojęcie o spółczynniku tarcia, i o kącie tarcia, które w téj chwili podajemy, zdaje nam się wystarczającém do wskazania czytelnikom, w jaki sposób winien on wpłynąć na oznaczenie wymiarów przecięcia poprzecznego muru i w zupełności dostateczném do oznaczenia jego bezpośredniego wpływu. Gdyby czytelnik życzył powziąć bliższe pojęcie teoretyczne o spółczynniku tarcia, może je znaleźć w dziele p. Bress'a inżyniera naczelnego dróg i mostów : *Résistance des matériaux*, str. 431,432 i 433.

Przy obliczaniu wymiarów przecięć poprzecznych murów oporowych, konieczną jest dokładna znajomość wartości spółczynnika tarcia, dla materyałów budowlanych; dla ułatwienia poszukiwań zawsze zmudnych a często pod ręką nieznajdujących się, dołączamy poniżéj tablicę obejmującą wartości liczebne spółczynnika tarcia, jednych materyałow o drugie w początku i w czasie ruchu, dodając zarazem nazwisko uczonego, pod którego przewodnictwem doświadczenia zostały dokonane.

Tablica *zawierająca wartości liczebne spółczynników tarcia dla materyałów budowlanych* (*).

NAZWISKO MATERYAŁÓW ZOSTAJĄCYCH W ZETKNIĘCIU.	STOSUNEK TARCIA DO CAŁKOWITEGO CIŚNIENIA. W POCZĄTKU.	STOSUNEK TARCIA DO CAŁKOWITEGO CIŚNIENIA. W CIĄGU RUCHU.	NAZWISKO UCZONEGO.
Wapień kruchy czyli oolityczny doskonale obrobiony na jemu podobnym	0,74	0,64	Poncelet
Wapień twardy czyli muszelkalk, doskonale obrobiony na wapieniu kruchym	0,75	0,67	id.
Muszelkalk na muszelkalku	0,70	0,38	id.
Wapień kruchy (oolityczny) na muszelkalku	0,75	0,65	id.
Wapień oolityczny na podobnym sobie połączone zaprawą mularską bardzo drobną	0,74	«	id.
Cegły zwyczajne na wapieniu oolitycznym	0,67	0,65	id.
Cegły zwyczajne na wapieniu twardym czyli muszelkalku	0,67	0,60	id.
Krzemień gładki na krzemieniu, na sucho	0,71	«	Rennie
Krzemień gładki na podobnym sobie oddzielone zaprawą mularską	0,66	«	id.
Wapień twardy doskonale wygładzony na podobnym sobie	0,58	«	Rondelet
Wapień twardy wygładzony na podobnym sobie	0,78	«	Boistard
Granit ociosany na granicie wygładzonym	0,66	«	Rennie
Granit z zaprawą mularską na granicie wygładzonym	0,40	«	id.
Kamień grubo ociosany (libage) na suchéj glinie	0,51	«	Lesbros
Kamień grubo ociosany na wilgotnéj i zmiękczonéj glinie	0,34	«	id.
Kamień grubo ociosany na warstwie gliny pokrytéj grubą warstwą piasku	0,40	«	id.

Siła spójności. — Siłą spójności nazywamy siłę, która łączy pomiędzy sobą cząsteczki jednego jakiegokolwiek ciała. Siła ta jest największą w ciałach stałych, w ciałach płynnych możnaby ją uważać dokładnie za zero, gdyby w tych ciałach nie istniała lepkość (viscosité). Siła spójności jest odjemną w ciałach gazowych, cząsteczki bowiem tych ostatnich widocznie odpychają się. Siła spójności podobnie do siły tarcia, stawi opór obsuwaniu się cząsteczek ziemi jednych po drugich, lecz dokładne oznaczenie jéj wartości przedstawia analitycznie jeszcze więcéj trudności, jak oznaczenie spółczynnika tarcia.

Wiadomo każdemu, że ziemia świeżo poruszona pozostawiona w spoczynku, przez przeciąg czasu dostatecznie długi do zupełnego jéj ułożenia się lub cząstkowego opadnięcia, pozostanie w równowadze pod kątem daleko większym niż kąt jéj naturalnego spadku, skutek ten sprawia właśnie siła spójności.

(*) Powyżéj podana tablica wyjętą została z dzieła p. Poncelet'a p. t. *Introduction à la mécanique industrielle de M. Poncelet.*

Liczne doświadczenia robione przez Coulomb'a, pozwoliły mu dostrzedz, że siła spójności chociaż niezależna od ciśnienia normalnego na płasczyznę obsuwania, ma jednakże pewną oznaczoną wartość na jednostkę powierzchni, t. j. że siła spójności jest proporcyonalną do powierzchni oddzielającéj dwie części jednéj masy ziemi w ruchu.

Sprawdzenie analityczne prawa znalezionego przez Coulomb'a, o którém mówimy powyżéj, zostało podane przez p. Belanger i znajduje się w dziele p. Bresse'a « *Résistance des matériaux* ».

Nie mamy bynajmniéj zamiaru podawać tutaj udowodnienia prawa Coulomb'a, zachęcamy jednakże czytelników, którzy życzyliby bliżéj z nim się obeznać, do przejrzenia téj części w kursie p. Bresse'a powyżéj wspómnianym.

Jakkolwiek siła spójności istnieje tak w materyałach używanych do budowli jako téż i w ziemi, jednakże wprowadzenie jéj wartości do rachunków służących do obliczenia przecięcia poprzecznego muru oporowego, zdaje nam się nieuzasadnioném, albowiem ziemia użyta do robienia nasypu w chwili budowania muru oporowego, nie ma jeszcze żadnéj spójności i działa zupełnie w ten sam sposób jak gdyby siła spójności nie istniała. Zupełnie podobny fakt ma miejsce przy budowie samego muru oporowego; w chwili budowy zaprawa mularska, która łączy zazwyczaj po sobie następujące warstwy kamieni, nie mając czasu stwardnieć, winna być uważaną za zupełnie niedziałającą, albowiem w tym stanie przedstawia ona opór tak mało znaczący, że go za nieistniejący z całą słusznością uważać należy. Zdaniem naszém, przy budowie murów oporowych, których wznoszenie odbywa się warstwami odpowiedniéj wysokości warstwom po za niemi robionego nasypu, nie należy zupełnie zwracać uwagi na siłę spójności, która istnieje w rzeczywistości a która posłuży w następstwie do polepszenia warunków ich wytrzymałości.

Jakkolwiek siła spójności winna być usuniętą przy budowie murów oporowych, jednakże zdaje nam się użytecznem podanie jéj ostatecznych wartości, otrzymanych najprzód przez Coulomb'a w roku 1778 i sprawdzonych przez Navier'a. Wypadki doświadczeń czynionych przez tych dwóch uczonych możemy streścić w sposób następujący:

Nazwijmy g spółczynnik spójności, wartość jego dla ziemi zwyczajnéj obciętéj pionowo, dla któréj spółczynnik tarcia wyrównywa 1,07, równa się na metr kwadratowy powierzchni

$$g = 248 \text{ kilogramów.}$$

Wartość ta spółczynnika spójności zwiększa się ciągle i dochodzi dla ziemi silnéj, dla któréj spółczynnik tarcia równy jest 1,43, zawsze obciętéj pionowo, do wartości 662 kilogramów t. j. że

$$g = 662 \text{ kilogramów, na metr kwadratowy powierzchni.}$$

Oto są wartości ostateczne spółczynnika spójności dla rozmaitych gatunków ziemi; zobaczemy obecnie czemu się równa ten spółczynnik spójności dla materyałów budowlanych; oznaczenie jego wartości winniśmy zawdzięczyć pracom p. Rondelet'a. Od roku 1785 do roku 1802 p. Rondelet robił doświadczenia w celu oznaczenia spójności istniejącéj między dolną częścią muru i betonem na którym on spoczywa, doświadczenia te doprowadziły go do następujących wypadków:

Siła spójności zmienia się wraz z doskonałością zaprawy mularskiéj użytéj przy budowie, od 10,000 kilogramów do 144,000 kilogramów na metr kwadratowy powierzchni zetknięcia.

Tablica podana poniżéj wskaże wartości spółczynnika spójności dla rozmaitych materyałów budowlanych.

Tablica *zawierająca wartości liczebne siły spójności lub tylko przylegania rozmaitych materyałów budowlanych.*

GATUNEK PŁYT NA SOBIE LEŻĄCYCH I TYNKU.	NAZWISKO UCZONEGO	POWIERZCHNIA W DECYMETRACH KWADRATOWYCH	CZAS ZETKNIĘCIA W POWIETRZU LUB W WODZIE. DNIE.	ŚREDNI OPÓR NA METR KWADRATOWY POWIERZCHNI.
Wapień ogładzony na podobnym połączone zaprawą mularską z wapna tłustego i drobnego piasku..........................	Boistard	1 do 2	17 w pow.	6600kg
		3 do 5	id.	9400
		47	48 w pow.	1200
Jak poprzedzający połączony zaprawą mularską z wapna tłustego i cementu...........	Boistard	1 do 2	17 w pow.	3200
		3 do 5	id.	5300
Wapień kruchy z Jaumont na podobnym połączone zaprawą mularską z wapna hidraulicznego z Metz i z piasku..............	Morin	1 do 2	83 w pow.	18000
		2 do 3	48 id.	12000
		id.	43 id.	10100
		4 do 6	48 id.	10000
		7 do 8	48 id.	40 0
Cegły zwyczajne połączone zaprawą mularską jak powyżéj......................	Morin	1 do 3	48 w pow.	14000
		2 do 6	48 id.	10000
Wapień z Jaumont na podobnym połączone gipsem............................	Morin	2	48 w pow.	22000
		8	48 id.	28000
Wapień niebieski o gryficie wypolerowany na podobnym, połączone gipsem.........	Morin	2, 5	48 w pow.	11000
		4, 5	48 id.	20000

Wypadki podane w powyższéj tablicy odnoszą się do rozerwań, które mają miejsce już to w saméj warstwie zaprawy mularskiéj i wówczas wyrażają wartość siły spójności, już też pomiędzy warstwą kamieni i zaprawą mularską i wówczas wyrażają wartość siły przylegania.

§ 2gi. — OZNACZENIE PARCIA ZIEMI.

Wstęp. — Uważmy jakikolwiek nasyp zamknięty płasczyzną tworzącą z poziomem kąt większy od kąta spadku naturalnego; widoczną jest rzeczą, że graniastosłup zawarty pomiędzy spadkiem naturalnym i płasczyzną o któréj mowa zostanie w spoczynku tylko o tyle, o ile będzie on podtrzymanym przez siłę wyrównywającą jego dążności ku obsunięciu się. Ta dążność do obsunięcia się czyli do ześlizgnięcia się, którą należy zniszczyć, jest właśnie *parciem ziemi* o którém mowa.

W niniejszéj pracy nie mamy bynajmniéj zamiaru podawać całéj teoryi oznaczania parcia ziemi, znajdzie ją bowiem czytelnik w zupełném rozwinięciu w dziełach pp. Bresse'a, Colignon'a i Michon, lecz postaramy się przedstawić tutaj całą tę kwestyę, wychodząc z punktu widzenia czysto praktycznego; podamy wzory służące do oznaczenia parcia ziemi w przypadku zupełnie ogólnym, t. j. kiedy kształt nasypu jest jakikolwiek, lub też w przypadkach szczególnych, których granice zostaną ściśle oznaczone.

Oznaczenie parcia ziemi może być otrzymaném w dwojaki sposób, już to za pomocą analizy, już też sposobem wykreślnym. Pierwszy z tych sposobów zdaniem naszém, powinienby wyłącznie być używanym tak do znalezienia parcia ziemi, jako też do oznaczenia wymiarów poprzecznych muru, jednakże zcałkowanie równań, które służą do rozwiązania zadania jest po dziś dzień w zupełności niemożliwe i pociąga za sobą masę hypotez, które nie tylko zmniejszają dokładność wypadków, lecz niestety, czasem czynią je w zupełności fałszywemi; w skutek tych przyczyn uciec się musimy do drugiego sposobu czysto geometrycznego i wykreślnego, który przy dokładnym rysunku daje wypadki nie zostawiające nic do życzenia.

Sposób wykreślny oznaczania parcia ziemi w przypadku najogólniejszym. — Kształt nasypu, jak wiadomo, może być jakikolwiek, lecz wszędzie gdzie kształt jego może być zastąpiony z wierzchu płaszczyzną poziomą nieograniczenie przedłużoną od strony nasypu i zakończonym od strony muru oporowego płaszczyzną mającą nachylenie spadku naturalnego ziemi, jeżeli nadto przy powyższym warunku postawimy następujące: strona wewnętrzna muru oporowego pionowa i spółczynnik tarcia nasypu o mur równy zeru; wymiary przecięcia poprzecznego takiego muru oporowego oznaczą się z całą łatwością za pomocą tablic na ten cel specyalnie przygotowanych przez p. Poncelet'a i umieszczonych w « *Mémorial des officiers du genie*, n° 13, str. 28 i 40, które podajemy w dalszym ciągu niniejszéj pracy.

Jednakże warunków powyżéj podanych nie zawsze dopełnić można, jak np. przy budowie obmurowań (révêtements) ze ścieżką na około, lub przy budowie kontreskarpy (glacis de contrescarpe), w takim więc przypadku, sposób postępowania najpewniejszy i najściślejszy do oznaczenia parcia ziemi, jego punktu przyczepienia, jego momentu względem dolnéj krawędzi zewnętrznéj muru i nakoniec wymiarów samego muru oporowego, jest sposób wykreślny, którego całą teoryę podajemy poniżéj.

Uważmy jakąkolwiek masę ziemi tworzącą nasyp, któréj przecięcie poprzeczne ma kształt przedstawiony na fig. 2. np. ABCDEF; przypuśćmy, że cała ta masa ziemi opiera się o mur, którego ściana wewnętrzna, jeżeli to jest niezbędném, przedłużona wskróś ziemi jest przedstawioną w rzucie linią AB.

Obierzmy na ścianie AB jakikolwiek punkt a i postarajmy się oznaczyć dla tego punktu, czyli dla wysokości aB, graniastosłup największego parcia, czyli parcie rzeczywiste sprawione na tę cząstkę muru oporowego przez nasyp na nią działający.

Przez punkt a poprowadźmy prostę ax jakąkolwiek, prosta ta będzie właśnie przecięciem płaszczyzny siecznéj z powierzchnią nasypu ABCDEF. Płaszczyzna sieczna z płaszczyzną nasypu oddziela graniastosłup ABCx, dla którego postaramy się najprzód oznaczyć, sposobem wykreślnym, parcie wywarte na ścianę muru aB, t. j. wielkość siły równéj i wprost przeciwnéj temu parciu. Znając szukaną wartość siły o któréj mowa, z łatwością otrzymamy warunki cechujące graniastosłup największego parcia, a tém samém i parcie największe. W saméj rzeczy, graniastosłup ABCx, pod wpływem swego własnego ciężaru, który nazwiemy Q, działa na ściany aB i ax w sposób podobny do klina, to jest graniastosłup ten usiłuje oddalić od siebie ściany aB i ax i obsunąć się po nich. Idzie więc o to, żeby graniastosłup aBCx utrzymać w równowadze, t. j. przedstawić mu opór wyrównywający przynajmniéj dążeniu ziemi do obsunięcia się.

W jaki sposób najprościéj dojść możemy do zamierzonego celu?

Siły przedstawiające opór rozdzielić się dadzą w sposób następujący :

1° Oddziaływanie ścian aB i ax może wejść do rachunku jako opór.

2° Tarcie ziemi o ściany muru i tarcie ziemi o sam nasyp przedstawia drugą część oporu.

Jeżeli więc nazwiemy N i N′ natężenia sił oporowych, t. j. oporu ścian aB i ax, które działają normalnie do podanych ścian,

φ i φ' kąty tarcia nasypu o grunt i nasypu o ścianę muru aB, otrzymamy następujące wypadki.

Ściany aB i ax przedstawią opory równe N i N′, które działać będą normalnie, zatém siły N i N′ przedstawią ciśnienia ścian odpowiednich na graniastosłup największego parcia, jak to wskazuje figura 2.

Opory powstające z tarcia wywartego przez siły N i N′ będą miały wartości następujące :

N styφ' opór odpowiedni ścianie aB,

N′ sty φ « « ax.

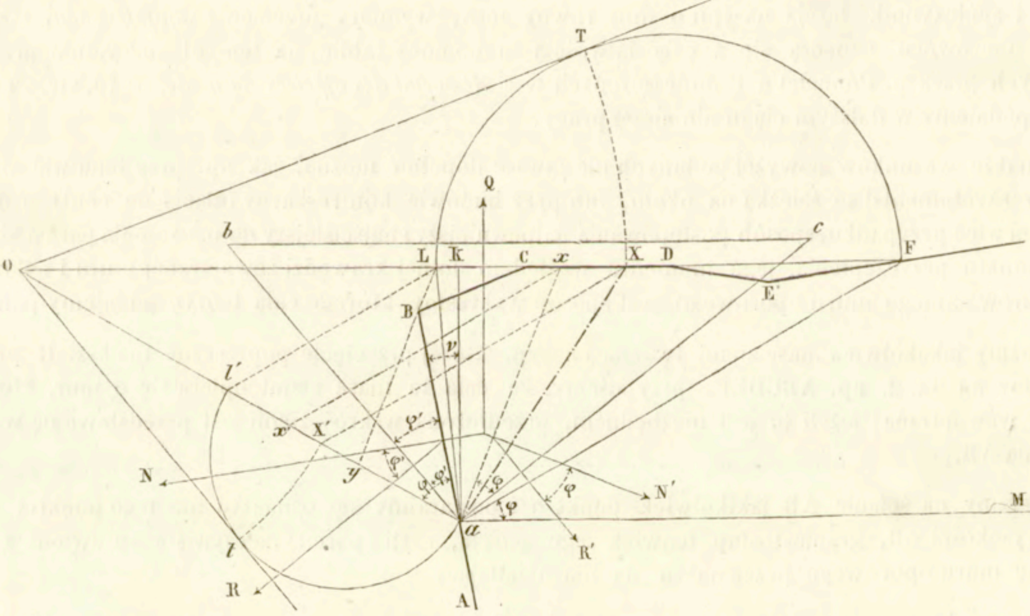


Fig. 2.

Porównywając tak znalezione siły z ciśnieniami od których one wzięły początek, otrzymamy dwie wypadkowe R i R′, których wartości są następujące :

$$(1)\qquad \left\{\begin{array}{l} R = N\sqrt{1+\mathrm{sty}^2\varphi'} \\ R' = N'\sqrt{1+\mathrm{sty}^2\varphi}. \end{array}\right.$$

zważywszy że

$$\sqrt{1+\mathrm{sty}^2\varphi'} = \frac{1}{\mathrm{dos}\,\varphi'} \quad \text{a} \quad \sqrt{1+\mathrm{sty}^2\varphi} = \frac{1}{\mathrm{dos}\,\varphi}\,.$$

otrzymamy

$$(2) \qquad R = \frac{N}{\text{dos}\,\varphi'}, \quad \text{a} \quad R' = \frac{N'}{\text{dos}\,\varphi}.$$

Z powyższych wzorów wyprowadzić możemy następujące wnioski.

Wypadkowe R i R′ tworzą z normalnemi do ścian *a*B i *ax*, kąty odpowiednio równe kątom φ' i φ, których wartości znamy (patrz *Tarcie*).

Na mocy powyższego wniosku, jeżeli z punktu *a* nakreślimy dwie proste *ab* i *ac* odpowiednio prostopadłe do kierunku wypadkowych R i R′ i jeżeli jakikolwiek punkt *b* jednéj z tych prostych połączymy linią poziomą z punktem np. *c* leżącym na drugiéj z nich, utworzymy trójkąt, którego boki będą odpowiednio prostopadłe do sił: R, R′ i Q, które to siły winny zostawać w równowadze i którego płaszczyzna leży w płaszczyznie powyżéj wskazanych sił.

Zobaczmy obecnie jakim warunkom zadosyć czynić winny siły R, R′ i Q żeby równowaga między niemi miała miejsce? Warunki których szukamy są nam natychmiast dane w statyce elementarnéj i brzmią jak następuje:

1° Siły R, R′ i Q powinny wszystkie działać w kierunku liczonym z zewnątrz trójkąta lub przeciwnie.

2° Siły R, R′ i Q powinny się mieć do siebie, jak się mają do siebie boki trójkąta, do których one są odpowiednio prostopadłe.

Pierwszy z powyższych warunków może mieć miejsce tylko wtedy, kiedy ślad płaszczyzny oderwania (rupture) *ax*, tworzy z poziomem kąt większy od kąta φ, t. j. kąt większy od kąta tarcia nasypu z gruntem. W saméj rzeczy, przypuśćmy na chwilę, że kąt *xa*M jest mniejszy od kąta φ, w takim razie prostopadła *ac* do wypadkowéj R′, która tworzy kąt φ z *ax*, t. j. ze śladem płaszczyzny oderwania, upadnie poniżéj poziomej *a*M, a zatém znajdzie się po lewéj stronie prostéj *ab* wtenczas, kiedy ani R ani R′ nie zmieniają znaku.

Wszystko cośmy dotąd powiedzieli da się streścić w sposób następujący:

Parcie na ścianę aB muru oporowego może mieć miejsce tylko wtenczas, kiedy kąt utworzony przez płaszczyznę oderwania z poziomem jest większy od kąta tarcia nasypu z gruntem.

Drugi warunek podany powyżéj prowadzi wprost do równania następującego:

$$R : Q = ab : bc.$$

zkąd

$$R = \frac{Q \cdot ab}{bc}$$

a ponieważ parcie jest równe i wprost przeciwne wypadkowéj R, widzimy więc, że jego kierunek jest w ten sposób w zupełności wyznaczony, t. j. że kierunek parcia utworzy z normalną do ściany *a*B kąt równy kątowi φ' tarcia nasypu o mur, czyli inaczéj mówiąc, kierunek parcia będzie prostopadły do prostéj *ab*, która ze ścianą muru *a*B tworzy kąt równy kątowi φ'.

Z powyższego dowodzenia poznaliśmy dokładnie kierunek parcia, idzie więc obecnie dla zupełnego rozwiązania zadania o znalezienie jego wartości liczebnéj.

Druga część zadania, którą w téj chwili zająć się życzymy, nie przedstawia żadnych trudności, albowiem wielkość parcia została już wyznaczoną przez równanie (3) idzie tylko o znalezienie jego maximum.

Równanie (3) wskazuje nam, że wartość maximum samego parcia jest właśnie wartością maximum wyrażenia $Q\frac{ab}{bc}$, a zatém, jeżeli potrafimy znaleźć największość wyrażenia $Q\frac{ab}{bc}$ zadanie nasze będzie w zupełności rozwiązane.

Ażeby znaleźć wartość maximum wyrażenia $Q\frac{ab}{bc}$, podstawmy za ilości Q, ab i bc ich wartości w funkcyi takich prostych, które się zmieniają wraz z położeniem punktu x. Zwrócić tu należy uwagę, że spadek naturalny nasypu przedstawiony na figurze 2, odpowiada prostéj aF, która tworzy z poziomem aM kąt równy kątowi φ.

Przypuśćmy najprzód, że położenie punktu x, które daje dla wypadkowéj R wartość największą przypada w jakimkolwiek punkcie na boku CD obwodu uważanego nasypu; znając położenie punktu x na boku CD z łatwością wyznaczymy na jego przedłużeniu punkt L, który połączony z punktem a oznaczy prostę tworzącą z prostą ax trójkąt Lax równoważny czworobokowi aBCx. Jeżeli obecnie z punktu a poprowadzimy prostopadłę na bok LC np. aK, powierzchnia trójkąta szukanego wyrazi się w sposób następujący :

$$\text{Powierzchnia } aLx = \frac{1}{2} Lx \times aK$$

a ciężar graniastosłupa mającego tę powierzchnię za podstawę lub ciężar całego graniastosłupa aBCx, — oznaczając przez p ciężar metra sześciennego nasypu, a przez Q ciężar szukany graniastosłupa — wyrazi się przez równanie następujące

$$Q = \frac{1}{2} p \times aK \times Lx. \tag{4}$$

w którém mamy tylko jedną zmiennę Lx.

Wartość zmiennéj Lx oznaczymy poniżéj, obecnie zaś zajmiemy się wskazaniem sposobu zastąpienia prostych ab i bc innemi prostemi zmieniającemi się wraz z położeniem punktu x.

Proste ab i bc dadzą się zastąpić przez inne w sposób następujący: obróćmy trójkąt abc około punktu a tak, żeby bok jego ac przypadł na prostéj ax, pozostałe boki trójkąta, po dokonaniu tego ruchu, utworzą z ich pierwotném położeniem kąt równy kątowi φ. Bok ab w tém nowém położeniu utworzy ze ścianą muru oporowego kąt równy $\varphi + \varphi'$, a bok bc przyjmie położenie równoległe do spadku naturalnego nasypu.

Zamiast kreślenia boku bc w tém nowém położeniu, poprowadźmy przez punkt x prostę xx' równoległą do spadku naturalnego nasypu, utworzony w ten sposób trójkąt axx' będzie podobny do trójkąta abc, a zatém boki ich będą proporcyonalne, czyli że otrzymamy proporcyę :

$$\frac{ab}{bc} = \frac{ax'}{xx'}. \tag{5}$$

Podstawiając w równaniu (3) za $\frac{ab}{bc}$ jemu równe $\frac{ax'}{xx'}$, będzie

$$R = \frac{1}{2} p \times aK \times Lx \times \frac{ax'}{xx'}, \tag{6}$$

które jeszcze napisać możemy w sposób następujący

$$R=\frac{1}{2}p.aK.ax'.\frac{Lx}{xx'}. \tag{6'}$$

Jeżeli w równanie (6') za $\frac{Lx}{xx'}$ podstawimy wartość równoważną, otrzymamy, uważając że trójkąt OaF jest stałym i kreśląc prostę Ly równoległą do ax, równanie następujące:

$$\frac{Lx}{Ox}=\frac{ay}{aO},\ \text{zkąd}\quad Lx=\frac{ay\times Ox}{aO}. \tag{7}$$

Prosta xx' równoległa do aF, dzieli boki trójkąta na części proporcyonalne, mamy zatém

$$\frac{xx'}{aF}=\frac{Ox}{OF},\ \text{zkąd}\quad xx'=\frac{Ox.aF}{OF}. \tag{8}$$

Dzieląc równanie (7) przez równanie (8) odpowiedniemi stronami otrzymamy:

$$\frac{Lx}{xx'}=\frac{OF\times ay}{aF\times aO};$$

równanie w którém mamy jedną tylko zmiennę ay.

Podstawiając tak otrzymaną wartość dla $\frac{Lx}{xx'}$ w równaniu (6) otrzymamy:

$$R=\frac{1}{2}p\times aK\times\frac{OF}{aF\times aO\times ax'\times ay}. \tag{9}$$

W równaniu (9), iloczyn $aK\times OF$ przedstawia dwa razy wziętą powierzchnię trójkąta OaF, jak to widzimy na figurze, t. j. powierzchnię równoległoboku, którego boki są Oa i aF, otóż powierzchnia ta da się wyrazić jeszcze w sposób następujący:

$$Oa\times aF\,\mathrm{wst}\,OaF=aK\times OF$$

podstawiając w równaniu (9) za $aK\times OF$ tak otrzymaną wartość, będzie ostatecznie

$$R=\frac{1}{2}p\,\mathrm{wst}\,OaF\times ax'\times ay. \tag{10}$$

Równanie (10) jest ostateczném wyrażeniem parcia, w którém jedyne zmienne są ax' i ay, zadanie więc nasze sprowadza się w téj chwili do znalezienia maximum iloczynu $ax'\times ay$, który oznaczy się z całą łatwością uważając że

$$ay\times ax'=(aO-Oy)(aO-Ox')=\overline{aO}^2-aO(Ox'+Oy)+Ox'\times Oy,$$

albowiem kreśląc Ll' równolegle do xx' mamy

$$Ox'\times Oy=Ol'\times Oa.$$

Druga strona ostatniego równania jest ilością stałą, a zatém iloczyn $Ox'\times Oy$ musi być także ilością stałą, a ztąd największość iloczynu $ax'\times ay$ odpowiada najmniejszości summy $Ox'+Oy$, czyli że maximum ma miejsce wtenczas kiedy $Ox'=Oy$.

Zobaczmy obecnie kiedy summa $Ox'+Oy$ jest najmniejszą?

Jeżeli weźmiemy Ox' i Oy za boki jednego czworokąta; których summa, przy téj że saméj po wierzchni, winna być najmniejszą widzimy, że warunek ten ma miejsce dla kwadratu, t. j. kiedy $Ox'=Oy$, a zatém punkta x' i y powinny się zlewać w jeden, czyli że będzie

$$Ox'=Oy=OX' \text{ i } ax'=ay=aX'.$$

Wartość ilości aX' moglibyśmy otrzymać w sposób daleko łatwiejszy, opisując na $l'a$ jako średnicy pół okręgu koła i prowadząc do niego styczną przez punkt O, w tym bowiem przypadku mamy natychmiast

$$\overline{Ot}^2=Ol\times Oa=Ox'\times Oy=\overline{OX'}^2$$

a ztąd

$$Ot=OX'.$$

Jeżeli więc z punktu O promieniem równym Ot zakreślimy łuk koła aż do przecięcia się jego z bokiem Oa, otrzymamy najprzód punkt X' a następnie największość iloczynu $ax'\times ay$, równą $\overline{aX'}^2$. Znając obecnie największość szukaną ilości podanéj w równaniu (10), wyrażenie ostateczne parcia da się przedstawić w następującym kształcie:

$$\text{(11)}\qquad \text{Maximum } R=P=\frac{1}{2}p \operatorname{wst} OaF\times\overline{aX'}^2.$$

Znamy obecnie wartość analityczną parcia maximum wywartego na ścianę muru oporowego przez całą masę nasypu, idzie więc tylko w téj chwili o znalezienie graniastosłupa największego parcia, który otrzymamy jak następuje:

Ażeby znaleźć linię odgraniczającą graniastosłup największego parcia od reszty nasypu, poprowadźmy przez powyżéj znaleziony punkt X' prostę XX' równoległą do xx' aż do przecięcia się jéj z jednym z boków wielokąta tworzącego obwód nasypu np. w punkcie X, łącząc punkt X z punktem a, linia aX będzie właśnie śladem płaszczyzny szukanéj, która odgranicza graniastosłup największego parcia od reszty nasypu.

Zwrócimy tu natychmiast uwagę czytelników naszych na położenie tylko co wyznaczonego punktu X. Nie jest bynajmniéj koniecznem, żeby punkt X przypadał na linii CD, może on upaść na którymkolwiek boku profilu nasypu, żeby zatém poszukiwania mogły być użytecznemi, trzeba żeby punkt X przypadał zawsze na tymże samym boku na którym obrany został punkt x; gdyby przypadkiem przy pierwszém poszukiwaniu parcia maximum, warunek ostatni nie był dopełnionym, należałoby powtórzyć całą operacyę przyjmując dla punktu L położenie na tym boku całego obwodu nasypu, na którym przypadł ostatecznie punkt X.

Dodać tu jednakże możemy, że wypadek powyżéj podany bardzo rzadko się zdarza i że prawie zawsze od razu znaleźć możemy punkt rzeczywisty.

Graniastosłup największego parcia znaleźć jeszcze możemy w sposób następujący: na linii LF nakreślmy pół okręgu koła i z punktu O poprowadźmy do niego styczną, która go dotknie w punkcie np. T, jeżeli z punktu O promieniem równym OT zakreślimy łuk koła, ten ostatni przetnie prostę LF w punkcie X, który będzie właśnie punktem szukanym, a zatém linia aX będzie właśnie śladem płaszczyzny odgraniczającéj od całego nasypu, graniastosłup największego parcia. W saméj rzeczy, w trójkącie OaF linia XX' równoległa do aF dzieli boki trójkąta na części proporcyonalne, mamy więc

$$OX:OF=OX':Oa.$$

W trójkącie OXX′ prosta Ll′ równoległa do XX′ pozwala napisać proporcyę

$$OX : OL = OX' : Ol',$$

mnożąc wyrazy pierwszéj proporcyi przez im odpowiednie drugiéj, otrzymamy :

$$\overline{OX}^2 : OF \times OL = \overline{OX'}^2 : Oa \times Ol';$$

wiemy z powyższego że

$$OX'^2 = Oa \times Ol',$$

zatém musi być także

$$\overline{OX}^2 = OF \times OL = \overline{OT}^2 \cdot$$

czyli ostatecznie

$$OX = OT.$$

Cała teorya podana powyżéj da się streścić w sposób następujący :

Największe parcie na jakiéjkolwiek wysokości ściany wewnętrznéj muru oporowego np. na wysokości aB, *przez nasyp na ten mur działający, otrzyma się : kreśląc prostę* aF *przedstawiającą nachylenia spadku naturalnego nasypu do przecięcia się jéj w punkcie* F *z prostą* CD, *na któréj przypuszczamy, że oderwanie będzie miało miejsce, kreśląc następnie prostę* aO *tworzącą z przeciwnéj strony muru oporowego z powyżéj uważaną ścianą kąt* $\varphi + \varphi'$, *do przecięcia się jéj w punkcie* O *z przedłużeniem prostéj* CD, *z punktu* L *obranego na prostéj* CD *prowadząc równoległę do* aF *w ten sposób, żeby utworzyć trójkąt równoważny parciu* Q *i na długości* al *jako średnicy kreśląc pół okręgu koła. Styczna wyprowadzona z punktu* O *do tego pół okręgu koła i odrzucona na prostę* aO, *wyznaczy wielkość* aX′, *któréj kwadrat jest proporcyonalny największemu parciu.*

Uwaga. — Jakiebykolwiek było położenie punktu x, z całą łatwością otrzymamy odpowiedni mu punkt L, zatém i wartość największego parcia, zwrócić tylko należy uwagę, że punkt L winien zmieniać swe położenie na liniach obwodu nasypu odpowiednio do zmiany położeń punktu x. Dla uproszczenia poszukiwań dodać tu winniśmy, że zawsze i wszędzie, gdzie nachylenie prostéj obwodu nasypu jest większe od spadku naturalnego nasypu, punkt należący do śladu płaszczyzny oderwania nie może mieć na niéj miejsca, albowiem wówczas prosta aF spotyka taką prostę poniżéj linii aO i nie pozwala nakreślić stycznéj z punktu O do półokręgu koła zakreślonego na średnicy LF. Wypadek o którym tu mówimy został sprawdzony i uświęcony doświadczeniem.

Przypadki szczególne. — 1° *Ściana wewnętrzna muru pionowa.* — Przypuśćmy najprzód, że ściana wewnętrzna muru oporowego jest pochyloną jak na figurze 2éj, nazwijmy $\pm$ V kąt zawarty pomiędzy ścianą aB i pionową aK, wyrażenie kąta OaF, stosownie do położenia pionowéj aK względem ściany aB, przybierze wartości następujące.

Pionowa aK leży na prawéj stronie ściany aB.

$$\text{Kąt } OaF = \varphi + \varphi' + V + 90^\circ - \varphi = 90^\circ + \varphi' + V.$$

Pionowa aK leży po lewéj stronie ściany aB.

$$\text{Kąt } OaF = \varphi + \varphi' - V + 90 - \varphi = 90 + \varphi' - V,$$

a zatém

$$\mathrm{wst}\,OaF = \mathrm{wst}\,[90^\circ + (\varphi' \pm V)] = \mathrm{dos}(\varphi' \pm V).$$

Podstawiając tak otrzymaną wartość na wst OaF w równaniu (11) będzie

$$P = \frac{1}{2} p\,\mathrm{dos}(\varphi' \pm V)\overline{aX}^2. \tag{12}$$

Jeżeli w równaniu (12) założymy kąt $V = 0$, t. j. że ściana wewnętrzna muru oporowego jest pionowa, otrzymamy najprzód

$$\mathrm{dos}(\varphi' \pm V) = \mathrm{dos}\,\varphi',$$

a następnie

$$P = \frac{1}{2} p\,\mathrm{dos}\,\varphi' \overline{aX}^2. \tag{13}$$

Równanie (13) przedstawia rzeczywistą wartość parcia wywartego przez nasyp na ścianę wewnętrzną muru oporowego, gdy ta ściana jest pionową.

2° *Nasyp zamknięty płaszczyznami których nachylenie jest mniejsze od spadku naturalnego* (fig. 3).

Uważmy jakikolwiek nasyp, którego płaszczyzna górna KE ma nachylenie mniejsze od spadku naturalnego aF; niech będzie aK ślad płaszczyzny pionowéj przyjętéj za stałą i przedstawiającéj

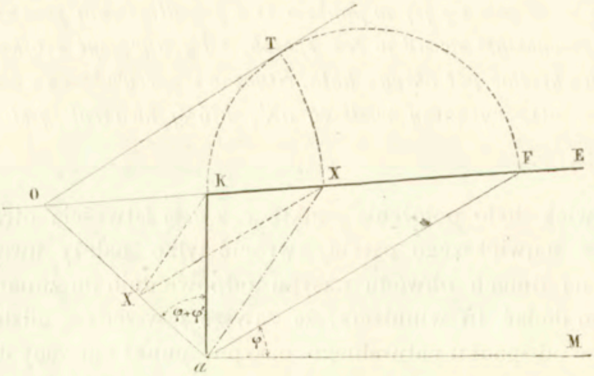


Fig. 3.

zarazem ścianę wewnętrzną muru oporowego, którą w razie potrzeby przedłużyć możemy do powierzchni gornéj nasypu, w warunkach tu podanych życzymy znaleźć wartość parcia wywartego przez graniastosłup którego podstawą jest aKF na ścianę muru aK.

W przypadku szczególnym, którym się w téj chwili zajmujemy, ściana wewnętrzna muru zlewa się z pionową aK, o której już mówiliśmy rozwiązując zadanie w przypadku ogólnym (fig. 2). W przypadku, którym się w téj chwili zajmujemy, punkt K jest zawsze znanym naprzód jakiebykolwiek było położenie punktu a, a zatém dla znalezienia wartości największego parcia wywartego na mur przez graniastosłup nasypu którego podstawą jest aKF, dostateczném będzie poprowadzić z punktu a prostę aF przedstawiającą ślad płaszczyzny spadku naturalnego, t. j. tworzącą z poziomem kąt równy kątowi φ; następnie poprowadzić przez punkt a prostę aO, tworzącą z pionową Ka kąt równy kątowi $\varphi + \varphi'$; na długości KF, jako średnicy zakreślić okrąg koła i z punktu O poprowadzić do niego styczną OT; odrzucając tak otrzymany punkt T na prostę KF, otrzymamy punkt X z którego kreśląc prostę XX′ równoległą do spadku naturalnego nasypu otrzymamy wielkość aX', któréj kwadrat będzie właśnie proporcyonalny do wartości największego parcia. Łącząc obecnie punkt a z punktem X prosta aX będzie właśnie śladem płaszczyzny odgraniczającéj graniastosłup największego parcia i zarazem śladem płaszczyzny oderwania (plan de rupture).

Wyrażenie analitycznie parcia dla uważanego przypadku będzie następujące.

$$P = \frac{1}{2} p \text{ wst } OaF \times \overline{aX'}^2 . \tag{14}$$

3° *Nasyp zamknięty płaszczyzną poziomą w przypuszczeniu kąta* $\varphi' = 0$, *t. j. że tarcie nasypu o mur nie istnieje zupełnie* (fig. 4).

Jeżeli powierzchnia górna nasypu jest pozioma, i jeżeli tarcie pomiędzy nasypem i murem oporowym nie istnieje, powiadamy że płaszczyzna oderwania odgraniczająca graniastosłup największego parcia dzieli kąt zawarty pomiędzy wewnętrzną ścianą muru i spadkiem naturalnym nasypu na dwie równe części. — Ściana wewnętrzna muru oporowego może być jakąkolwiek. — W samej rzeczy, niech będzie aL (fig. 4) ściana wewnętrzna muru oporowego, LF płaszczyzna górna nasypu; dwa

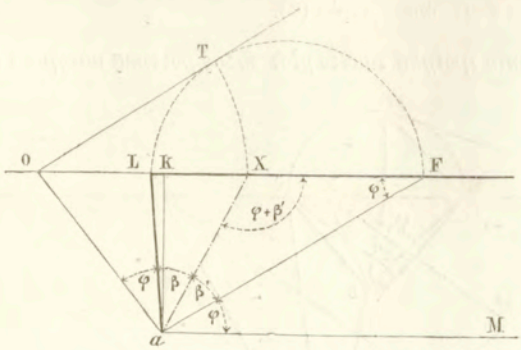


Fig. 4.

trójkąty OaF i OaL są podobne albowiem mają kąt O wspólny i nadto kąty OaL i OFa są sobie równe a zatém mamy związek następujący :

$$Oa = \sqrt{OL \times OF} .$$

Jeżeli teraz na linii LF jako średnicy zakreślimy pół okręgu koła i z punktu O poprowadzimy do niego styczną OT równą, po jéj odrzuceniu na LF, prostéj OX, otrzymamy :

$$OT = OX = \sqrt{OL \times OF}$$

czyli

$$OX = Oa.$$

Streszczając zatém powiedzieć możemy, że w przypadku którym się w téj chwili zajmujemy postąpić należy w sposób następujący :

Z punktu O jako środka, promieniem równym Oa zakreślić należy okrąg koła aż do spotkania się jego z prostą LF a otrzymany ztąd punkt X będzie właśnie drugim punktem przez który przechodzi ślad szukanéj płaszczyzny oderwania. — Postępując następnie w ten sam sposób jakeśmy wskazali powyżéj dla innych przypadków z łatwością znajdziemy długość, która podniesiona do kwadratu będzie proporcyonalną do parcia maximum.

Widzieliśmy tylko co że

$$OX = Oa$$

a zatém trójkąt OaX jest równoramiennym, jeżeli więc nazwiemy β i β' kąty jakie tworzy prosta aX z prostemi aL i aF otrzymamy

$$\text{kąt } OXa = OaX = \varphi + \beta;$$

nadto w trójkącie XaF, kąt $OXa = XaF + XFa = \beta' + \varphi$, a zatém

$$\varphi + \beta = \varphi + \beta',$$

czyli że

$$\beta = \beta'$$

to jest że : *płaszczyzna oderwania dzieli kąt zawarty pomiędzy spadkiem naturalnym nasypu i ścianą wewnętrzną muru oporowego, na dwie równe części* (*).

4° *Ślad płaszczyzny oderwania spotyka zawsze płaszczyznę poziomą nasypu i kąt* $\varphi' = 0$ (fig. 5).

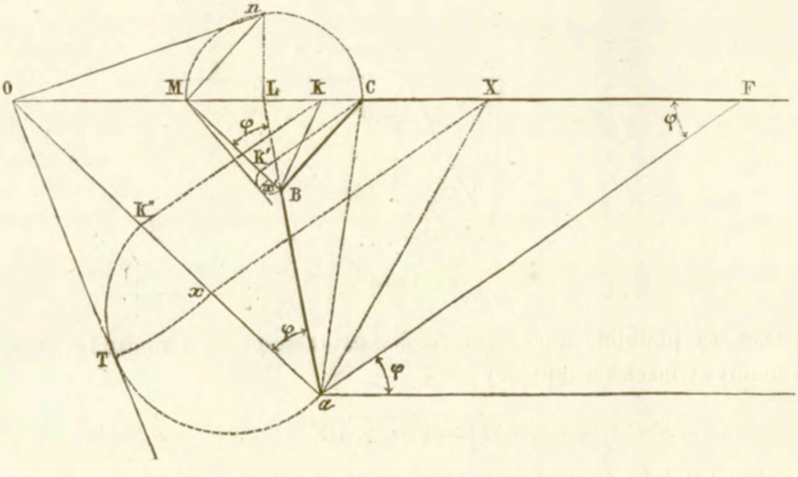


Fig. 5.

Niech będzie nasyp, którego profil zewnętrzny ma kształt przedstawiony na figurze 5téj to jest np. $aBCF$ i w którym nachylenie BC jest większe od spadku naturalnego nasypu, płaszczyzna CF jest poziomą i ściana muru oporowego aB ma nachylenie dowolne.

Różnica pomiędzy przypadkiem, który w téj chwili rozbieramy i przypadkiem ogólnym podanym powyżéj polega na tém, że w przypadku o którym mowa odległość Ox jest zawsze równą On i daje się oznaczyć z całą łatwością. W saméj rzeczy; przedłużmy ścianę wewnętrzną muru oporowego AB do

(*) Zadanie to zostało rozwiązane przez de Prony'ego w roku 1802 dla murów oporowych których ściana wewnętrzna est pionową; p. Français w roku 1830 podał tož dowodzenie dla murów oporowych których ściana wewnętrzna jest akąkolwiek.

przecięcia się jéj z przedłużoną płaszczyzną poziomą nasypu CF w punkcie L, z punktu B poprowadźmy prostę BM tworzącą ze ścianą muru oporowego aB kąt równy kątowi φ; na prostéj MC jako średnicy zakreślmy okrąg koła, który przetnie pionowę poprowadzoną z punktu L w punkcie np. n; połączmy punkt n z punktem O otrzymanym z przecięcia się prostéj aO,—poprowadzonéj z jakiegokolwiek punktu a dowolnie obranego na ścianie wewętrznéj muru oporowego i tworzącéj z tą ostatnią kąt φ — z płaszczyzną poziomą nasypu; długość ax, któréj kwadrat jest proporcyonalny do największego parcia, będzie miała wartość równą Oa — On.

Dla dowiedzenia tego oznaczmy najprzód wartość parcia wywartego w punkcie B, nakreślmy zatém prostę BM tworzącą z prostą BL kąt φ; poprowadźmy nadto CK' równolegle do spadku naturalnego nasypu; wiemy już z teoryi podanéj w zadaniu ogólném że w tym przypadku mamy

$$\mathrm{M}x' = \sqrt{\mathrm{MK}' \times \mathrm{BM}},$$

widzimy nadto na figurze 5éj że

$$\mathrm{M}n = \mathrm{M}x'$$

albowiem

$$\mathrm{M}n^2 = \mathrm{ML} \times \mathrm{MC},$$

i

$$\mathrm{M}x'^2 = \mathrm{MK}' \times \mathrm{MB}.$$

Dwa trójkąty MK'C i MLB są podobne albowiem mają kąt LMB wspólny i kąty MBL i MCK' są sobie równe, możemy więc napisać proporcyę następujęcą :

$$\mathrm{ML} : \mathrm{MK}' = \mathrm{MB} : \mathrm{MC},$$

zkąd

$$\mathrm{ML} \times \mathrm{MC} = \mathrm{MK}' \times \mathrm{MB},$$

czyli

$$\mathrm{M}n = \mathrm{M}x'.$$

Oznaczmy obecnie parcie wywarte w punkcie a; w tym celu poprowadźmy prostę Oa tworzącą kąt φ ze ścianą wewnętrzną aB muru oporowego; poprowadźmy nadto prostę BK równoległą do aC i przez punkt K nakreślmy równoległę do spadku naturalnego nasypu aż do przecięcia się jéj z prostą aO w punkcie K''. — Dwa trójkąty OKK'' i MK'C są podobne; możemy więc napisać proporcyę następującą :

$$\mathrm{OK}'' : \mathrm{MK}' = \mathrm{OK} : \mathrm{MC},$$

zkąd

(15) $$\mathrm{OK}'' = \frac{\mathrm{MK}' \times \mathrm{OK}}{\mathrm{MC}}.$$

W trójkącie OLa prosta MB równoległa do podstawy dzieli boki trojkąta na części proporcyonalne, mamy więc

$$\mathrm{O}a : \mathrm{MB} = \mathrm{OL} : \mathrm{ML},$$

a zatém

(16) $$Oa = \frac{MB \times OL}{ML};$$

mnożąc równanie (15) przez równanie (16) odpowiedniemi stronami otrzymamy

$$Oa \times OK'' = Ox^2 = \frac{MB \times MK'}{MC \times ML} = OL\,(OL + LK).$$

Ponieważ dwa trójkąty LBK i LaC są podobne, zatém LK równa się.

$$LK = \frac{LC \times LB}{La} = \frac{LM \times LC}{LO},$$

ponieważ nadto

$$LM \times LC = Ln^2$$

zatém

$$Ox^2 = \overline{OL}^2 + \overline{Ln}^2 = On^2,$$

czyli

$$Ox = On$$

a zatém

$$ax = aO - On, \text{ c.b.d.o.}$$

Wszystko cośmy dotąd powiedzieli da się streścić w sposób następujący: Chcąc otrzymać długość, któréj kwadrat jest proporcyonalny do największego parcia, w warunkach podanych w tym ustępie dostateczném jest *nakreślić prostę* MB *tworzącą kąt* φ *z przedłużeniem ściany wewnętrznéj muru oporowego*; *na prostéj* MC *jako średnicy nakreślić pół okręgu koła i z punktu* L *przecięcia się ściany wewnętrznéj muru oporowego z przedłużeniem płaszczyzny pozioméj nasypu, wyprowadzić prostopadłę* Ln *do téj płaszczyzny, prostopadła ta spotka zawsze okrąg koła w punkcie dla którego będzie.*

$$On = Ox.$$

3° *Ściana wewnętrzna muru oporowego pionowa i ślad płaszczyzny oderwania spotyka zawsze płaszczyznę oziomą nasypu, nadto kąt* $\varphi' = 0$ (fig. 6).

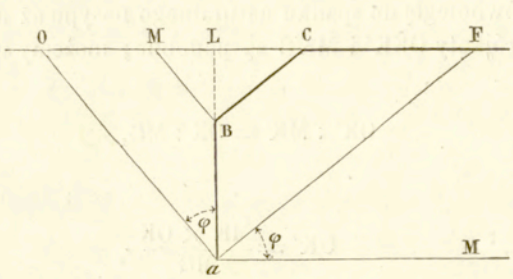


Fig. 6.

Jeżeli na fig. 5éj przypuścimy że ściana wewnętrzna muru oporowego jest pionową i nadto że nachylenie BC jest równoległe do spadku naturalnego nasypu, widoczną jest rzeczą że kąt MBC będzie kątem prostym i że punkt x przypadnie w punkcie B.

Żeby więc otrzymać wartość największego parcia w tych warunkach dostatecznem będzie nakreślić aO tak, żeby ta prosta tworzyła z pionową kąt φ, w tym bowiem razie mamy zawsze

$$Ox = OB \text{ i } ax = aO - OB.$$

Oto są główniejsze przypadki szczególne na które w praktyce natrafić możemy, nie podajemy tu wielu innych jedynie z téj przyczyny, że czytelnik który z uwagą odczytał wszystko cośmy podali powyżéj, bez żadnéj trudności potrafi sam się wywiązać z zadania i usunąć wszelkie trudności które przedstawić by się mogły.

Rozkład całkowitego parcia na wysokości muru oporowego; praktyczny sposób oznaczania momentu parcia. — Wszystko cośmy dotąd powiedzieli posłużyć nam może do oznaczenia wartości parcia i jego kierunku w jakimkolwiek dowolnie określonym przypadku. — Znajomość tych dwóch elementów, t. j. wartości parcia i jego kierunku — który zawsze jest prostopadłym do pewnéj prostéj fikcyjnéj tworzącéj ze ścianą wewnętrzną muru oporowego kąt φ', lub $\varphi' + V$ z pionową przechodzącą przez podnóże muru – nie jest jeszcze dostateczną do wyznaczenia wymiarów przecięcia poprzecznego danego do zbudowania muru oporowego.— W saméj rzeczy, żeby można było znaleźć wymiary muru oporowego niezbędném jest wiedzieć w jaki sposób parcie rozkłada się na całéj jego wysokości i umieć oznaczyć z dokładnością punkt jego przyczepienia na murze.

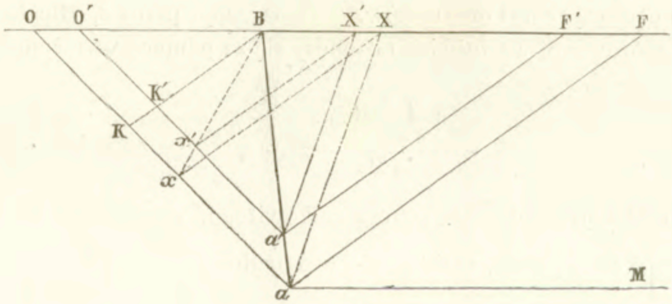


Fig. 7.

Zajmiemy się najprzód znalezieniem prawa podług którego odbywa się rozkład parcia na całéj wysokości ściany wewnętrznéj muru oporowego. Uważmy nasyp ograniczony z wierzchu jakąkolwiek płaszczyzną (fig. 7). Wiemy już z powyższego że wyrażenie parcia nasypu na mur oporowy którego wysokością jest aB zmienia się wraz z wielkością ax, i że wartość je o jest proporcyonalna do kwadratu z ax, mamy zatém

$$Ox'^2 : \overline{Ox}^2 = Ba'^2 : aB^2.$$

Wiemy z powyżéj już podanego dowodzenia że wartości ax zmieniają się proporcyonalnie do aB, wypada więc ztąd że i samo parcie zmienia się proporcyonalnie do kwadratów z téj wysokości aB, a zatém : 1° wszystkie parcia cząstkowe są względem siebie równoległe, 2° wartość parć cząstkowych zmniejsza się proporcyonalnie do kwadratów z wysokości ściany wewnętrznéj muru oporowego na którą one działają.

Dla oznaczenia obecnie punktu przyczepienia wypadkowéj wszystkich parć cząstkowych, działających na wewnętrzną ścianę muru oporowego, uważmy najprzód parcie wywarte na wysokości równéj aB. Nazwijmy wysokość aB np. z; wartość parcia będzie równa

$$P = \frac{1}{2} p \text{ wst } OaF \times \overline{ax}^2;$$

dzieląc to wyrażenie przez $\overline{aB}^2$ iloraz otrzymany będzie ilością stałą; nazwijmy tę ilość stałą np. M, otrzymamy

$$M = \frac{1}{2} p \text{ wst } OaF \times \frac{\overline{ax}^2}{\overline{aB}^2},$$

a zatém wartość parcia P przedstawi się pod postacią.

$$P = \overline{Mz}^2$$

i wyrównywać będzie całkowitemu parciu wywartemu na wysokości aB ściany wewnętrznéj muru oporowego. — Znając wartość całkowitego parcia, z łatwością otrzymamy parcie cząstkowe to jest parcie wywarte na wysokości równéj dz, która jest nieskończenie małą cząsteczką wysokości z. W saméj rzeczy : wartość parcia cząstkowego wyrazi się przez równanie następujące.

$$dP = 2Mzdz.$$

Znając obecnie wartość parcia cząstkowego i pamiętając że wszystkie te parcia są względem siebie równoległe, z całą łatwością znajdziemy punkt przyczepienia wypadkowéj, to jest punkt przyczepienia parcia całkowitego, za pomocą teoryi momentów. — Oznaczając przez z_1 odległość punktu szukanego od wierzchołka muru oporowego, wartość jego oznaczy się za pomocą wyrażenia

$$z_1 = \frac{\int_0^z 2Mz^2 dz}{Mz^2} = \frac{1}{3} z,$$

to jest że odległość punktu przyczepienia parcia całkowitego, wywartego na wewnętrznéj stronie muru oporowego, czyli *środek parcia*, znajduje się w odległości równéj $\frac{2}{3}$ całéj wysokości muru licząc od wierzchołka, lub w odległości równéj $\frac{1}{3}$ téj wysokości licząc od podstawy.

Bywają przypadki iż powyżéj znaleziona odległość środka parcia nie jest ściśle dokładną i tak np : Jeżeli obmurowanie pokryte jest wałem mającym wysokość 2,50 razy większą od wysokości samego obmurowania (*demi revêtement*), zastosowanie teoryi momentów do tego przypadku daje na odległość środka parcia od podstawy, $z_1 = 0{,}364\, z$. a nie $0{,}333z$. Odległość znaleziona w przypadku o którym mowa była sprawdzoną przez p. Poncelet'a. — W każdym razie pod względem praktycznym można przyjąć raz na zawsze dla podobnego rodzaju obmurowań, że środek parcia przypada w odległości równéj $0{,}35z$, licząc zawsze od podstawy; tu jak poprzednio z zachowuje swe znaczenie, t. j. wyraża wysokość całkowitą muru lub obmurowania.

Powyżéj podane wartości praktyczne na odległość punktu przyczepienia całkowitego parcia pozwolą całą łatwością oznaczyć moment parcia, którego znajomość staje się niezbędną gdy idzie o sprawdzenie czy dany mur oporowy nie będzie przewrócony w skutek ruchu obrotowego na około krawędzi zewnętrznéj jego podstawy.

W saméj rzeczy, jeżeli chcemy sprawdzić stałość muru oporowego pod względem ruchu obrotowego na około krawędzi zewnętrznéj jego podstawy, dostatecznémm będzie, znając wartość parcia jego, kierunek i jego punkt przyczepienia na wewnętrznéj ścianie muru, pomnożyć wartość parcia przez ramię drążka, które będzie zawsze przedstawione przez prostę prostopadłą do kierunku parcia, przechodzącą przez punkt na około którego ruch obrotowy może mieć miejsce.

§ 3. CIĘŻARY PRZYPADKOWE.

Uwagi ogólne. — W praktycznych zostosowaniach nader często się zdarza, że mury oporowe winny podtrzymywać oprócz właściwego nasypu, domy lub inne budowle nad brzegiem nich zbudowane, lub téż koléj żelazną, jeżeli mur oporowy został zbudowany dla podtrzymania nasypu drogi żelaznéj.

W przypadkach o których mowa, mur oporowy winień utrzymać w równowadze, oprócz właściwego nasypu, ciężary przypadkowe powstałe z różnych budowli na nim leżących i z przechodzących po nasypie pociągów kolei żelaznéj.

Ciężary przypadkowe napotykane w praktyce dają się rozdzielić na dwa wielkie działy:

1° Na ciężary przypadkowe jednostajnie rozłożone na całéj długości muru oporowego i zupełnie niezależne od ciężaru stałego.

2° Na ciężary przypadkowe działające w pewnych tylko oznaczonych punktach muru oporowego.

Parcie wywarte na mur oporowy pod wpływem jakiegokolwiek z tych ciężarów przypadkowych zawsze zostaje nań przelane podług pewnego naprzód oznaczonego prawa przez sam nasyp na którym uważany ciężar przypadkowy spoczywa.

W niniejszym ustępie mamy zamiar podać szczegółowy rozbiór wpływu wywartego na mur oporowy przez każdy z powyżéj podanych działów ciężarów przypadkowych i nadto podać wzory praktyczne, za pomocą których z całą łatwością ocenić będziemy mogli wartość każdego wpływu, a tém samém i znaleźć wymiary przecięcia poprzecznego danego do zbudowania muru oporowego.

1° Ciężar przypadkowy jednostajnie rozłożony na całéj długości muru oporowego niezależny od ciężaru stałego (fig. 8). — Uważmy jakikolwiek nasyp mający bardzo słabe nachylenie, którego by powierzchnia górna BX była ciśniona przez ciężar przypadkowy jednostajnie rozłożony, mający wartość stałą i zamknięty z wierzchu płaszczyzną równoległą do BX; oznaczmy w jaki sposób działają tak nasyp jako też i ciężar przypadkowy na mur AB, którego zadaniem jest utrzymać je w równowadze.

W przypadku którym się zajmujemy, ciężar przypadkowy będąc jednostajnie rozłożonym, możemy go uważać jako złożony z pewnéj liczby warstewek pionowych mających ten sam ciężar gatunkowy co i nasyp na którym on spoczywa, gdyby bowiem ten ostatni warunek nie był dopełnionym otrzymalibyśmy go z całą łatwością powiększając lub zmniejszając wysokość przedstawionego na rysunku ciężaru przypadkowego, w stosunku odpowiadającym ciężarowi gatunkowemu każdego z tych ciał.

Niech będzie BB'X'X graniastosłup przedstawiający ciężar przypadkowy; nazwijmy h jego wysokość i δ kąt zawarty pomiędzy nachyleniem nasypu i pionową przechodzącą przez punkt B, to jest kąt B'BX, i szukajmy parcia maximum wywartego na pewnéj wysokości muru oporowego AB, np. na wysokości aB przez nasyp i przez ciężar przypadkowy działające jednocześnie.

Dla rozwiązania tego zadania przypomnijmy najprzód, cośmy powiedzieli i czegośmy dowiedli w paragrafie pierwszym części pierwszéj niniejszéj pracy « Sposób wykreślny etc. », że w danym nasypie jakimkolwiek położenie linii oderwania może być jakiekolwiek, nie zmieniając bynajmniéj wyrażenia parcia największego, wywartego na mur oporowy przez nasyp o którym mowa, t. j. że parcie największe jest zawsze wyrażone przez wzór następujący,

$$\text{(17)} \qquad \mathrm{R} = \mathrm{Q}\frac{ab}{bc} = \mathrm{Q}\frac{ax'}{xx'}.$$

Stosując równanie (17) do przypadku którym się w téj chwili zajmujemy i przypuszczając że ślad płaszczyzny oderwania prawdopodobnie odpowiada linii $a\mathrm{XX}'$, zważając nadto że ax' i xx' zależą jedynie od nachylenia płaszczyzny $a\mathrm{X}$, wyrażenie (17), podstawiając w niém za Q, ax' i xx', wartości odpowiednie naszemu przypadkowi, przyjmie kształt następujący :

$$\text{(18)} \qquad \mathrm{R} = \frac{1}{2}p \times a\mathrm{K}\left\{1 + \frac{2h\,\mathrm{wst}\,\delta}{a\mathrm{K}}\right\}\frac{\mathrm{BX}}{\mathrm{X}x'}.\,ax'.$$

Szukajmy kiedy wyrażenie (18) stanie się największém. Widzimy najprzód że wyrażenie (18) składa się z dwóch wyrazów, z których pierwszy jest zupełnie równy równaniu (6') a zatém gdyby ciężar przypadkowy nie istniał, mielibyśmy do znalezienia największość wyrażenia (6'), którą już znamy; widzimy nadto że część zmienna drugiego wyrazu równania (18) jest tąż samą co w wyrazie pierwszym, a zatém ślad płaszczyzny oderwania aX jest tenże sam w obydwóch razach.

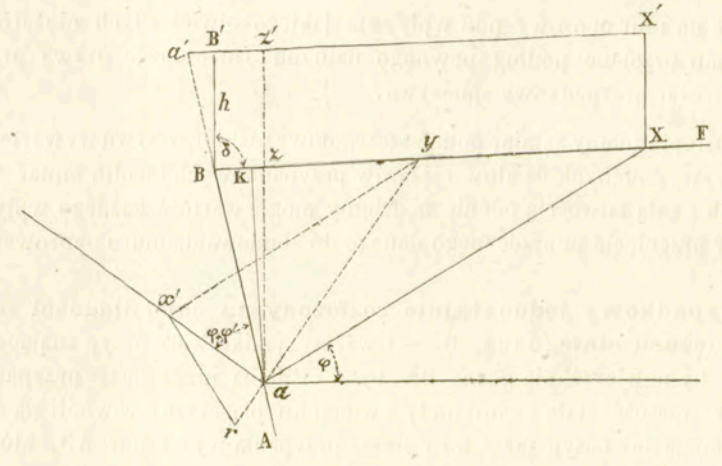


Fig. 8.

Możemy więc napisać ostatecznie wartość największego parcia w kształcie następującym :

$$\text{(19)} \qquad \mathrm{P} = \frac{1}{2}p\,\mathrm{wst}\,\mathrm{O}a\mathrm{F}.\overline{ax'}^{2}\left\{1 + \frac{2h\,\mathrm{wst}\,\delta}{a\mathrm{K}}\right\},$$

i wysłowić ten wypadek jak następuje :

W jakimkolwiek nasypie na który działają ciężary przypadkowe jednostajnie rozłożone, ślad płaszczyzny derwania jest tenże sam jak gdyby ciężary przypadkowe nie istniały.

Znając położenie śladu płaszczyzny oderwania a zatém i wartość parcia postarajmy się oznaczyć kierunek parcia największego i punkt jego przyczepienia na ścianie wewnętrznéj muru oporowego w przypadku ciężarów przypadkowych.

Wiemy już że kierunek parcia jest zawsze prostopadłym do pewnéj linii fikcyjnéj tworzącéj z wewnętrzną ścianą muru kąt równy kątowi tarcia nasypu o mur, t.j. kątowi φ', otóż dodanie ciężarów przypadkowych nie zmieni w niczém tego kierunku, czyli że tu, podobnie jak powyżéj, powiedzieć możemy, że dodanie ciężarów przypadkowych nie wpływa bynajmniéj na kierunek parcia.

Oznaczenie punktu przyczepienia całkowitego parcia wymaga pewnego rozwinięcia, otóż w téj chwili powiemy z p. Michon : «Wyrażenie (19) możemy napisać w sposób następujący :

$$\text{(20)} \qquad P = \frac{1}{2}\, p \,\mathrm{wst}\, \mathrm{O}a\mathrm{F}.\overline{ax'}^2 + p\,\mathrm{wst}\,\mathrm{O}a\mathrm{F} \times h\,\mathrm{wst}\,\delta\, \frac{\overline{ax'}^2}{a\mathrm{K}}.$$

Wyrażenie (20) składa się z dwóch części, pierwsza daje wartość parcia utworzonego przez sam ciężar stały jak gdyby ciężar przypadkowy nie istniał, druga zaś, t.j.

$$p\,\mathrm{wst}\,\mathrm{O}a\mathrm{F} \times h\,\mathrm{wst}\,\delta\, \frac{\overline{ax'}^2}{a\mathrm{K}},$$

wyraża li tylko wpływ samego ciężaru przypadkowego.

Użytecznėm i zajmującém zdaje nam się podanie sposobu geometrycznego oznaczenia tego parcia. Uważmy więc ciężar przypadkowy podany poprzednio (fig. 8) i z punktu a poprowadźmy pionowę az do spotkania się jéj z BX. Trójkąt aKz pozwoli znaleźć natychmiast wartość dla aK i będzie :

$$a\mathrm{K} = az\ \mathrm{wst}\ \delta$$

a zatém

$$h\ \mathrm{wst}\ \delta \frac{\overline{ax'}^2}{a\mathrm{K}} = h\, \frac{\overline{ax'}^2}{az} = \frac{h}{az}\, \overline{ax'}^2.$$

Jeżeli przedłużymy prostę aB aż do spotkania się z B'X' w punkcie np. z', wartość $\frac{h}{az}$ da się zastąpić inną i otrzymamy

$$\frac{h}{az} = \frac{a'\mathrm{B}}{a\mathrm{B}},$$

a podstawiając tak otrzymaną wartość w równaniu (20) będzie

$$\text{(21)} \qquad P = \frac{1}{2}\, p\ \mathrm{wst}\ \mathrm{O}a\mathrm{F}.\overline{ax'}^2 \left\{ 1 + \frac{2a'\mathrm{B}}{a\mathrm{B}} \right\},$$

wyrażenie nader łatwe do wykreślenia, albowiem znalazłszy ax' sposobem znanym, dostatecznėm będzie poprowadzić prostopadłę do ax' i odciąć na niéj długość ar równą $\frac{2a'\mathrm{B}}{p\,\mathrm{wst}\,\mathrm{O}a\mathrm{F}\,(a\mathrm{B}+a'\mathrm{B})}$, a łącząc punkt r z punktem x' i kreśląc przez punkt x' prostopadłę do rx' aż do przecięcia się jéj z przedłużeniem prostéj ar w punkcie y, długość ay będzie właśnie wartością geometryczną parcia.

Moment całkowitego parcia oznaczy się obecnie w sposób bardzo prosty; w saméj rzeczy, weźmy pod uwagę równanie (21) i zobaczmy czemu się równa iloraz $\frac{ax'}{a\mathrm{B}}$; iloraz ten jest ilością stałą którą nazwać możemy np. C, albowiem dla nassypów podobnych do naszego, wszystkie punkta takie jak x', leżą zawsze na jednéj linii prostéj przechodzącéj przez punkt B, wypada więc:

$$ax' = a\mathrm{B} \times \mathrm{C}, \text{ czyli } \overline{ax'}^2 = \mathrm{C}^2 \times \overline{a\mathrm{B}}^2.$$

Jożeli więc w równaniu (21) za $\overline{ax'}^2$ podstawimy tak znalezioną wartość otrzymamy:

$$\text{(22)} \qquad \mathrm{P} = \frac{1}{2} p \text{ wst } \mathrm{O}a\mathrm{F} \times \overline{\mathrm{C}}^2 \times \overline{a\mathrm{B}}^2 + p \text{ wst } \mathrm{O}a\mathrm{F} \times a'\mathrm{B} \times \overline{\mathrm{C}}^2 \times a\mathrm{B}.$$

W równaniu (22) dostrzegamy natychmiast że pierwszy wyraz odpowiadający parciu wywartemu na mur oporowy pod wpływem samego ciężaru stałego, zmienia się proporcyonalnie do kwadratu z wysokości aB, jakeśmy to już poprzednio widzieli i wiemy nadto że w tym przypadku punkt przyczepienia parcia znajduje się w $\frac{1}{3}$ wysokości muru oporowego licząc od podstawy. — Widzimy podobnie, że wyraz drugi równania (22), odpowiadający działaniu samego ciężaru przypadkowego zmienia się proporcyonalnie do AB, widocznóm więc jest, że punkt przyczepienia parcia wywartego przez ciężar przypadkowy znajdzie się w połowie wysokości muru, to jest w połowie AB; żeby więc znaleźć punkt przyczepienia parcia całkowitego, to jest parcia wywartego pod wpływem tych dwóch ciężarów działających jednocześnie, należy wziąć moment względem punktu a każdego z powyżéj podanych parć i następnie zrobić ich summę, moment tak otrzymany będzie momentem całkowitym, a dzieląc go przez wartość całkowitego parcia, znajdziemy ramię drążka prostopadłego, przez który należy pomnożyć parcie całkowite, żeby otrzymać wartość siły usiłującéj przewrócić mur oporowy ruchem obrotowym na około jego krawędzi dolnéj.

W skutek powyższego rozumowania, moment całkowity parcia będzie dany przez wzór następujący:

$$\mathrm{MP} = \frac{1}{3} \overline{a\mathrm{B}}^2 \operatorname{dos} \varphi' \times \overline{\mathrm{C}}^2 \frac{p \text{ wst } \mathrm{O}a\mathrm{F}}{2} + p\overline{\mathrm{C}}^2 \frac{\text{wst } \mathrm{O}a\mathrm{F}}{2} \overline{a\mathrm{B}}^2 \times \operatorname{dos} \varphi' a'\mathrm{B},$$

w którym

MP oznacza moment całkowity parcia;

φ' .... kąt tarcia nasypu z murem.

Ramię drążka czyli linia prostopadła do kierunku parcia będzie

$$\text{(23)} \qquad al + \frac{1}{3} a\mathrm{B} \operatorname{dos} \varphi' \left[\frac{a\mathrm{B} + 3a'\mathrm{B}}{a\mathrm{B} + 2a'\mathrm{B}}\right];$$

al wyznaczy się łatwo jako czwarta proporcyonalna do trzech prostych danych.

Jeżeli w równaniu (23) założymy raz $a'\mathrm{B} = 0$, a drugi raz $a'\mathrm{B} = \infty$, to jest: że raz ciężar przypadkowy jest zerem a drugi raz że on jest nieskończenie wielkim, otrzymamy

$$a'\mathrm{B} = 0 \;\ldots\ldots\ldots\ldots\;\; al = \frac{1}{3} a\mathrm{B} \operatorname{dos} \varphi,$$

$$a'\mathrm{B} = \infty \;\ldots\ldots\ldots\ldots\;\; al = \frac{1}{2} a\mathrm{B} \operatorname{dos} \varphi',$$

to jest że gdyby nawet ciężar przypadkowy był nieskończenie wielkim, długość ramienia drążka nigdy by się nie powiększyła o więcéj jak $\frac{1}{6}$ pierwotnéj jego długości, czyli długości odpowiadającéj parciu wywartemu przez sam ciężar stały.

2° **Ciężary przypadkowe działające tylko w pewnych oznaczonych punktach muru oporowego** (fig 9). — Sposób oznaczenia największego parcia w warunkach objętych niniejszym numerem, polega na dokładnéj znajomości wszystkich sił zewnętrznych działających na mur oporowy za pośrednictwem nasypu z którym siły te są w bezpośrednim związku.* Siły o których w téj chwili mówimy czyli ciężary przypadkowe, powstają z ciężarów budowli, wystawionych w pobliżu muru oporowego i pokrywających pewną oznaczoną przestrzeń na nasypie przez mur oporowy podtrzymywanym. Dokładna znajomość rozkładu ciężarów przypadkowych jest bardzo pożądaną, albowiem wpływają one w sposób nadzwyczajnie ważny na oznaczenie wymiarów przecięcia poprzecznego muru oporowego.

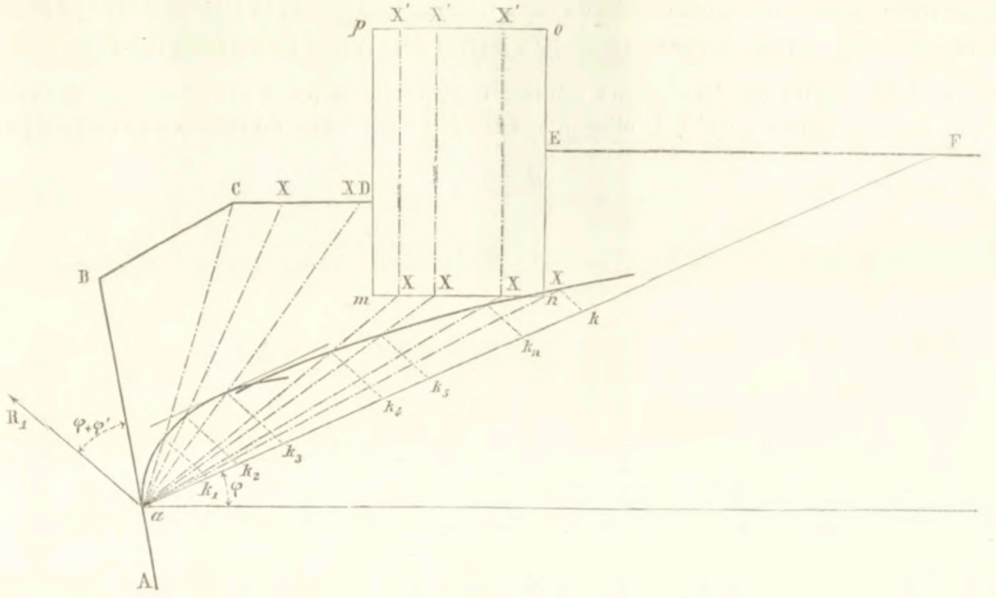


Fig. 9.

Dla ułatwienia badań, któremi tutaj zająć się zamierzamy, zrobimy natychmiast kilka przypuszczeń, które nie usuwając bynajmniéj ścisłości wypadków ułatwią o wiele dojście do zamierzonego celu. Przypuszczenia o których mowa są następujące :

1° Wypadkowa sił zewnętrznych, działających na mur oporowy, za pośrednictwem nasypu przechodzi zawsze przez środek podstawy.

2° Składowa pozioma zostaje w zupełności zniszczona przez tarcie.

3° Składowa pionowa wywierająca rzeczywiste ciśnienie, jest albo przyczepiona w jednym punkcie nasypu albo rozłożona w sposób jednostajny na całéj powierzchni swéj podstawy.

Powyższe przypuszczenia będąc odtąd stale przyjęte, możemy z łatwością zastąpić każdy ciężar przypadkowy graniastosłupem utworzonym z nasypu i mającym za podstawę podstawę właściwego ciężaru przypadkowego a za wysokość, wysokość stosownie obliczoną przyjmując, że jego ciężar gatunkowy jest taki sam jak ciężar gatunkowy nasypu, na którym on spoczywa. Przyjmiemy nadto jak poprzednio, że płaszczyzny oderwania w ciężarze przypadkowym są wszystkie płaszczyznami pionowemi. To ostatnie przypuszczenie, które przyjęliśmy już w numerze 1ym niniejszego paragrafu; zgadza się zupełnie z rzeczywistością.

Niech będzie nasyp, którego przecięcie poprzeczne ma kształt ABCDEF (fig. 9); niech będzie graniastosłup *mnop*, którego podstawą jest *mn*, zastępujący działanie ciężaru przypadkowego na nasyp ABCDEF, podtrzymywany w równowadze przez ścianę AB muru oporowego. Parcie wywarte na jakąkolwiek cząstkę ściany muru oporowego nie otrzyma się w tym przypadku wprost jak zazwyczaj, lecz za pomocą kolejnych prób (tâtonnement), przyjmując rozmaite proste takie jak *a*X, *a*XX' etc., za ślady płaszczyzn oderwania i szukając która z tych prostych odpowiada największemu parciu wywartemu na ścianę muru oporowego. Sposób najprostszy otrzymania pożądanego wypadku polega na przedstawieniu ciśnień odpowiadających każdemu graniastosłupowi oderwania przez linię prostą proporcyonalną i łącząc końce tak otrzymanych prostych linią krzywą; styczna do krzywéj o któréj mowa, równoległa do osi odciętych, da nam szukane maximum, to jest oznaczy płaszczyznę oderwania, odgraniczającą graniastosłup wywierający parcie największe na mur oporowy.

Ażeby znaleźć rzędnę proporcyonalną ciśnieniu wywartemu przez graniastosłup oderwania np. ABCX (fig. 10), uważmy najprzód że ciśnienie R tworzy z normalną do ściany wewnętrznéj *a*B muru

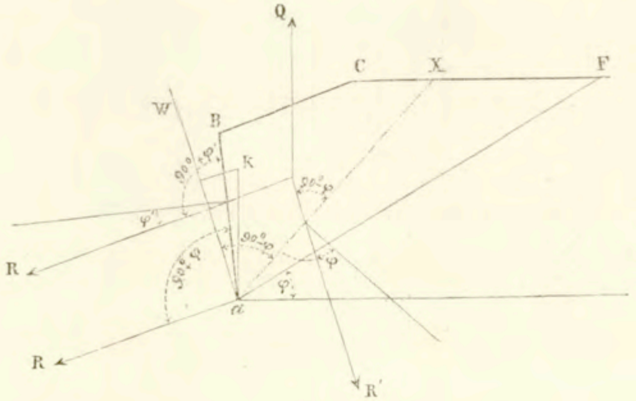


Fig. 10.

oporowego, kąt równy kątowi tarcia nasypu o mur to jest kątowi φ', lub 90° + φ' z samą ścianą muru; następnie, że siła R' tworzy z normalną do śladu płaszczyzny oderwania *a*X kąt równy φ to jest kątowi tarcia nasypu o grunt, lub kąt 90° + φ z samém *a*X i nadto że ciężar graniastosłupa jest siłą pionową. Ponieważ te trzy siły R, R' i Q powinny zostawać w równowadze, wypadkowa więc sił R i Q powinna być równą i wprost przeciwną sile R', czyli że ta wypadkowa utworzy ze ścianą muru oporowego kąt równy 90° — φ. Znamy już w téj chwili kierunek dwóch sił Q i R i kierunek ich wypadkowéj, pozostaje więc tylko wyznaczyć wartość siły R; w tym celu dostateczném będzie wykreślić równoległobok sił przyjmując dla wartości Q linię proporcyonalną do powierzchni *a*BCX. W saméj rzeczy; przenieśmy cały układ uważanych sił do początku *a* i z tego punktu poprowadźmy pionowę *ak* (fig. 10) na któréj odetniemy długość *ak* proporcyonalną do ciężaru Q; prostę *aw* tworzącą kąt 90° — φ ze śladem płaszczyzny oderwania *a*X; prostę *a*R tworzącą kąt 90° + φ' ze ścianą muru oporowego; mając te dane z całą łatwością otrzymamy wielkość siły R, prowadząc przez punkt *k* prostę równoległą do siły R do przecięcia się jéj z prostą *aw*.

Zanim jednakże zrobimy to wykreślenie i dla otrzymania linij proporcyonalnych graniastosłupom oderwania po sobie następującym, podobnych ak, licząc od jednéj i téjże saméj osi odciętych, obróćmy cały układ sił na około punktu a na $90^\circ - \varphi$ w stronę spadku naturalnego nasypu. Po tym obrocie ak przyjmie położenie linii aF i z nią się zleje; av przypadnie na śladzie płaszczyzny oderwania aX i aR przyjmie położenie aR_1 (fig. 9) tworząc ze ścianą muru oporowego kąt równy $\varphi + \varphi'$, a zatém jedyny kierunek który może się zmieniać jest kierunek linii aw proporcyonalnéj do wypadkowéj R', która zawsze zlewać się będzie z prawdopodobnemi śladami płaszczyzn oderwania, to jest z liniami aX, aXX', etc. *Widzimy więc że: żeby oznaczyć wartość prostych proporcyonalnych do siły R i rzędne proporcyonalne których szukamy, dostateczném będzie odciąć na prostéj aF spadku naturalnego nasypu, długości równe* ak_1, ak_2, ak_3,...,ak_n, *i proporcyonalne do ciężarów* Q *i z punktów* k_1, k_2, k_3... *poprowadzić równoległe do* aR_1 *aż do ich przecięcia się z odpowiedniemi prostemi oderwania* aX, aXX'... *etc. Tak otrzymane punkta przecięcia oznaczą krzywę ciśnień, do któréj prowadząc styczne równoległą do osi odciętych otrzymamy punkt przez który przechodzić powinien ślad płaszczyzny oderwania, a zatém graniastosłup maximum i wartość największego parcia.*

Znalezienie prostych proporcyonalnych do ciężarów Q nie przedstawia żadnéj trudności, albowiem dla otrzymania ich dostateczném jest zamienić każdy wielobok na trójkąt z nim równoważny, którego podstawą będzie bezzmiennie wysokość aB ściany muru oporowego. W ten sposób utworzone trójkąty będą miały podstawę wspólną aB a ich wysokości będą właśnie proporcyonalne ciężarom graniastosłupów oderwania; przenosząc tak otrzymane wysokości na oś odciętych, która w naszym przypadku jest linią naturalnego spadku nasypu i przez ostateczne punkta tych prostych kreśląc równoległe do linii aR_1 (fig. 9), tworzącéj kąt $\varphi + \varphi'$ ze ścianą wewnętrzną muru oporowego, aż do przecięcia się z odpowiedniemi śladami płaszczyzn oderwania, otrzymamy szereg rzędnych, które połączone linią krzywą utworzą tak zwaną *krzywę ciśnień*, do której styczna równoległa do osi odciętych oznaczy punkt przez który ślad płaszczyzny odgraniczającéj graniastosłup największego parcia przechodzić będzie.

Zwrócić tu natychmiast należy uwagę na wyrażenie największego parcia. Ciężar graniastosłupa największego parcia będzie zawsze wyrażony w naszym przypadku przez $Q = \frac{1}{2} p.h \times aB$, otóż żeby mieć wartość samego parcia należy linię proporcyonalną pomnożyć przez czynnik $\frac{1}{2} p.aB$ a wówczas otrzymamy parcie w kilogramach.

Moment parcia względem jakiegokolwiek punktu otrzyma się biorąc parcia odpowiadające rozmaitym wysokościom muru oporowego i szukając powierzchni momentu całkowitego za pomocą wzoru Sympsona.

Na tém kończymy część 1ą naszéj pracy zajmującą się wyłącznie sposobami praktycznemi oznaczenia parcia maximum w jakimkolwiek nasypie i przechodzimy do badań zajmujących się oznaczeniem wymiarów poprzecznych danego do zbudowania muru oporowego, które w części 2éj niniejszéj pracy zamknąć się postaramy.

CZĘŚĆ II

OZNACZENIE WYMIARÓW PRZECIĘCIA POPRZECZNEGO MURU OPOROWEGO.

Wstęp. — Pierwsza część niniejszéj pracy wyczerpała prawie w zupełności przedmiot dotyczący oznaczenia parcia na mury oporowe, został on wyczerpany tylko o tyle o ile w praktycznych zastosowaniach wiadomości tam podane użytecznemi być mogą.

Sposób rozwiązania. przypadku ogólnego, jako téż i przypadków szczególnych rozwinięty w pierwszéj części winien, naszém zdaniem, usunąć wszelkie trudności napotykane przy budowie murów oporowych.

Oznaczenie parcia stanowi niejako najpierwszy krok przy budowie murów oporowych; poszukiwania po dziś dzień robione nie są jeszcze w stanie zadowolnić w zupełności uczonych którzy się zajmują tą częścią nauk stosowanych i w saméj rzeczy, cóż możemy odpowiedzieć w znaczeniu ścisłém, na pytanie w ten sposób podane: *Jeżeli na powierzchni danego nasypu umieścimy jakikolwiek ciężar, którego podstawa ma pewne wymiary i na którą ciężar uważany wywiera całkowite ciśnienie, w jaki sposób oddziaływanie podstawy odbywa się w saméj masie nasypu na którym ona spoczywa* ?

Różne teorye pojawiły się przynosząc zawsze wypadki niedostateczne, jedne utrzymują że w przypadku którym się w téj chwili zajmujemy ciśnienia rozkładają się w sposób podobny do promieni światła, to jest że się rozchodzą wewnątrz nasypu postępując po liniach prostych i we wszystkich kierunkach. Czy przypuszczenie to jest prawdziwe, trudno z całą ścisłością odpowiedzieć, jednakże doświadczenia robione przez p. Morin'a w ostatnich czasach zdają się niejako potwierdzać go, albowiem ciężar przypadkowy umieszczony na nasypie mającym spadki dość łagodne i pozostawionym zupełnie swobodnym, pokazał że ciśnienie przezeń wywarte na nasyp było największe na całéj powierzchni odpowiadającéj podstawie samego ciężaru, zmniejszało się ono tém więcéj im się więcéj oddala od krawędzi podstawy i nareszcie w pewnym oznaczonym punkcie w zupełności nikło; doświadczenia te robione przez pewien przeciąg czasu nie doprowadziły jednakże tego uczonego do sformułowania swych spostrzeżeń.

Inni utrzymują, że ciężar dany wywiera ciśnienie na nasyp w kierunku tylko pionowym, to jest, że część nasypu wyrównywająca dokładnie wymiarom podstawy, jest jedynie ciśnioną i że części nasypu ją otaczające są zupełnie swobodne.

Nie zagłębiając się więcéj w różne przypuszczenia, które nastręczyć się mogą przy rozbiorze téj kwestyi, coby nareszcie odprowadziło nas za bardzo daleko od zamierzonego celu, to jest od podania praktycznych zasad, służących do obliczania wymiarów poprzecznych murów oporowych, powiedzieć możemy, że teorye podane w pierwszéj części niniejszéj pracy są już wystarczające w zupełności do rozwiązania zadania w sposób zawsze zadawalniający i mający przedewszystkiém na względzie oszczędność, która w tego rodzaju pracach jest bardzo ważną.

W téj chwili zająć się zamierzamy oznaczeniem wymiarów przecięcia poprzecznego muru oporowego i sprawdzeniem jego stałości, pod wpływem jużto ześlizgiwania się, już też ruchu obrotowego na około krawędzi dolnéj zewnętrznéj jego ściany nie zapominając ani na chwilę, że stałość muru oporowego i wymiary mu nadane powinny odpowiadać prawidłom podanym w sztuce inżynierskiéj pociągając za sobą najmniejsze koszta.

Mur oporowy, którego zadaniem jest utrzymać w równowadze jakikolwiek nasyp, lub opierać się ciśnieniu wody, może być zniszczony rozmaitemi sposobami i tak: może on być przewrócony w skutek ruchu obrotowego na około krawędzi dolnéj, zewnętrznéj jego ściany; może on się zsunąć po swéj podstawie i w końcu może on się zapaść w skutek niedostatecznéj tęgości gruntu, na którym jest zbudowany.

W dalszym ciągu niniejszéj pracy, podamy najprzód prawidła służące do zapobieżenia tym trzem głównym wypadkom, następnie postaramy się podać prawie wszystkie typy murów oporowych, użyte po dziś dzień w praktycznych zastosowaniach; dołączając do każdego z nich szczegółowy rozbiór każdego, a w końcu postaramy się wskazać typ, którego budowa przy tychże samych warunkach zewnętrznych jest najoszczędniejszą.

Porządek przyjęty w niniejszéj pracy, zaczynając od podstawy i dążąc ku wierzchołkowi, wydał nam się najracyonalniejszym. Wreszcie zakończymy niniejszą rozprawę maleńkim przykładem, którego głównym celem jest wskazanie czytelnikom naszym najprostszego sposobu postępowania dla dojścia do pożądanych wypadków.

§ 1. — OZNACZENIE WYMIARÓW PRZECIĘCIA POPRZECZNEGO MURU OPOROWEGO.

1° **Stałość fundamentów murów oporowych.**—Fundamenta wszelkich budowli a w szczególności fundamenta murów oporowych, winny o ile możności spoczywać zawsze na gruncie stałym, zupełnie nieściśliwym jak np. na żwirze krzemionkowym zbitym (gravier siliceux compacte), lub na skale. Bywają przypadki nawet dość częste, że grunt, na którym fundamenta mają być założone składa się z ziemi nieściśliwéj lecz ruchoméj, w skutek niedostatecznego zamknięcia jéj pod podstawą całéj masy na niéj spoczywającéj, jeżeli podobny wypadek ma miejsce, wówczas ruch boczny podziemny warstwy ruchoméj staje się przyczyną zapadnięcia się muru oporowego, a tém samém przyczyną zniszczenia zupełnego wszelkich robót, które już dokonane zostały.

Zdarzają się wypadki że mury oporowe zapadają się w ziemię pionowo; jako przyczynę podobnych zapadnięć podają ludzie fachowi ściśliwość gruntu, na którym budowle spoczywają. Zjawisko tego rodzaju jest nadzwyczajnie niebezpieczne i dla zapobieżenia mu, to jest dla usunięcia szkód jakie ono sprawić może, ogromne summy bywają łożone na roboty, których jedynym celem jest zapobieżenie szkodliwym i niebezpiecznym wypadkom, na które podobnego rodzaju grunt wystawić może.

Zważając na powyżéj opowiedziane szkodliwe skutki, zdaje nam się rzeczą użyteczną rozebrać szczegółowo tego rodzaju wypadki i podać sposoby najprostsze i najtańsze, służące do ich zupełnego usunięcia.

Tylko bardzo mała liczba piasków może się ściskać w całém znaczeniu tego wyrazu, to jest, których objętość pod wpływem ciężarów na nie działających, zmniejsza się. Wypadki podobne mogą mieć miejsce tylko w takich gruntach, w których istnieją próżnie, to jest w ziemi torfowéj czyli w torfie lub w piasku świeżo poruszonym; we wszystkich innych gruntach, opadnięcie warstwy znajdującéj się pod fundamentami muru sprawia wydęcie w otaczających ją pasach, to jest zmienienie miejsca w kierunku poprzecznym budowli. Przesunięcie to powstaje w skutek parcia samego muru i niedostatecznego oporu otaczających warstw ziemi.

Dla wskazania w jaki sposób można oznaczyć głębokość fundamentów, żeby w skutek ciężarów działających na grunt nie było żadnego wydęcia, podamy tu wzór następujący :

Jeżeli nazwiemy h wysokość muru,

h' wysokość fundamentów,

α kąt zawarty pomiędzy nachyleniem spadku naturalnego ziemi i pionową przechodzącą przez dolny punkt muru, otrzymany :

$$h' = h \,\mathrm{sty}^4 \frac{1}{2}\alpha .$$

Zawsze więc kiedy h' będzie mniejsze od $h \,\mathrm{sty}^4 \frac{1}{2} \alpha$, zapadnięcie się przynajmniéj częściowe może mieć miejsce, a w skutek tego wydęcie w warstwach ziemi otaczających musi nastąpić.

Wzór który powyżéj podajemy został otrzymanym, porównywając parcia wywarte ua podmurowaniu z jednéj i z drugiéj strony muru oporowego.

Jeżeli bowiem weźmiemy pod uwagę jakikolwiek mur oporowy aBCD (fig. 11) i jeżeli nazwiemy jak powyżéj

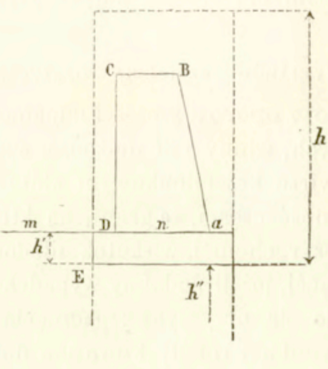


Fig. 11.

h wysokość warstwy wyrównywającéj ciężarowi muru aBCD i mającéj tenże sam ciężar gatunkowy co i warstwy ziemi na których mur spoczywa ;

h' głębokość do jakiéj fundamenta powinny być zakopane w ziemię, żeby uniknąć wydęcia ziemi otaczającéj i

α kąt spadku naturalnego ziemi z pionową ;

jeżeli nadto przypuścimy że linia mn jest śladem powierzchni górnéj ziemi leżącéj na zewnątrz muru oporowego; parcie z lewéj strony muru to jest *odpieranie* (butée), wyrazi się w sposób następujący :

$$O = \frac{1}{2} p \,\mathrm{doty}^2 \frac{1}{2}\alpha \,(h''^{\,}+ 2h'h''),$$

albowiem w przypadku którym się zajmujemy

$$\varphi' = 0 \quad \text{i} \quad \mathrm{dos}(\varphi' \pm V) = 1.$$

Parcie zaś z prawéj strony to jest rzeczywiste parcie będzie dane przy tychże samych warunkach pozostałych przez wzór następujący:

$$P=\frac{1}{2}p\,\mathrm{sty}^2\,\frac{1}{2}\alpha(\overline{h''}^2+2h'h'').$$

Porównywając te dwa ostatnie wzory, otrzymamy

$$h'=h\,\mathrm{sty}^4\,\frac{1}{2}\alpha. \tag{24}$$

Nie należy zapominać że h' powinno być zawsze większe od $h\,\mathrm{sty}^4\,\frac{1}{2}\alpha$.

Jakkolwiek wzór (24) jest prawdziwy, zdaje on się jednakże być niesłusznym, albowiem napotykamy mury zbudowane prawie na powierzchni ziemi, a wszakże nie ulegają one nawet częściowemu zapadnięciu się.

Fakt, który tu podajemy da się wytłomaczyć tylko opierając się na sile spójności, której zazwyczaj nie wprowadzamy do rachunków, a której wartość w pewnych przypadkach może się stać bardzo wielką, albowiem wiemy, że ona się zwiększa w stosunku ciężaru działającego na grunt.

Siła spójności w takich warunkach przeciwstawić może daleko większy opór niż sam ciężar ziemi. Fakt o którym tutaj mówimy, to jest że mury zbudowane na powierzchni gruntu nie zapadają się, może jeszcze być wytłomaczonym zwracając uwagę, że przypuszczenie jednostajnego rozkładu ciężaru muru na całéj powierzchni podstawy nie jest ściśle dokładném.

Wszystko cośmy podali w niniejszym numerze dostateczném jest do oznaczenia głębokości dostatecznéj fundamentów dla zapobieżenia zapadaniu się muru oporowego, przejdziemy więc do rozpoznania obecnie warunków obsuwania się muru po gruncie na którym on spoczywa.

2° **Slizganie się fundamentów po gruncie.** — Przypadek którym się w téj chwili zająć zamierzamy, przedstawia się zazwyczaj wówczas, gdy fundamenta muru oporowego spoczywają bezpośrednio na glinie. W saméj rzeczy, grunt gliniasty przedstawia zawsze bardzo mały opór przeciwko ślizganiu się budowli na nim wystawionéj, szczególniéj wówczas gdy grunt ten jest zwilżony. W warunkach zwyczajnych opór przeciwko ześlizgiwaniu się, wyrównywa najwyżéj jednéj trzeciéj ciężaru muru, żeby więc sprawdzić, czy mur oporowy nie ześlizgnie się po gruncie, trzeba porównać z sobą z jednéj strony parcie, a z drugiéj odpieranie zwiększone siłą tarcia ziemi o mur. Nie jest dostateczném, żeby opór w ten sposób otrzymany wyrównywał dokładnie parciu, którego zadaniem jest zesunąć mur oporowy z miejsca na którém on się znajduje, wypada więc pomnożyć ten opór przez pewien spółczynnik większy od jedności, którego wyznaczeniem tutaj się zajmiemy.

Powiadamy, że spółczynnik o którym mowa, jest zawsze równy jedności i jest wystarczający. W saméj rzeczy, weźmy pod uwagę jakikolwiek nasyp działający na mur oporowy i oznaczmy parcie jego na mur; widzimy, że przy oznaczeniu parcia nasypu, usuwamy w zupełności tak tarcie ziemi o mur, jako też i siłę spójności gruntu w którym zrobionym został wykop zupełnie pionowo i podtrzymując go podwalinami i podporami dla założenia w nim fundamentów. Siła spójności, o któréj mowa, w gruncie na zewnątrz muru leżącym, może być bardzo wielką, a zatem summa sił wpływających korzystnie na stałość muru, czyli działających przeciw ześlizgiwaniu się, będzie także bardzo wielką, a w skutek tego wszelka obawa co do stałości muru w zupełności usuniętą. Na zasadzie tego rozumowania przyjąć możemy, że spółczynnik, którym się w tym numerze zajmujemy jest zawsze równym jedności.

3° **Ruch obrotowy muru oporowego na około krawędzi zewnętrznéj fundamentów.** — Ruch obrotowy na około krawędzi zewnętrznéj fundamentów muru oporowego, czyli niejednostajne zagłębianie się w ziemię wszystkich krawędzi fundamentów, może być tylko usuniętém za pomocą jednostajnego rozkładu ciśnienia całéj budowli na jéj podstawie, to jest rozkładając na podstawie wszystkie ciężary w taki sposób, żeby ich wypadkowa przechodziła zawsze przez sam środek lub znajdowała się bardzo blisko niego pomiędzy środkiem fundamentów i krawędzią wewnętrzną muru to jest krawędzią leżącą od strony nasypu który ten mur oporowy podtrzymuje w równowadze.

Siły które należy uważać dla sprawdzenia, że mur oporowy nie porusza się na około jego zewnętrznéj krawędzi dolnéj są następujące :

Ciężar samego muru oporowego; ciężar przypadkowy i parcie wywarte na całéj wysokości muru licząc od spodka fundamentów do wierzchołka, żeby więc równowaga nie była naruszoną trzeba, żeby wypadkowa tych sił przechodziła przez środek podstawy.

Uważmy jakikolwiek mur ABCD (fig. 12), którego fundamenta są przedstawione przez ABA'B' ; żeby uniknąć obrotu tego muru na około krawędzi zewnętrznéj A' niezbędném jest, żeby wypad-

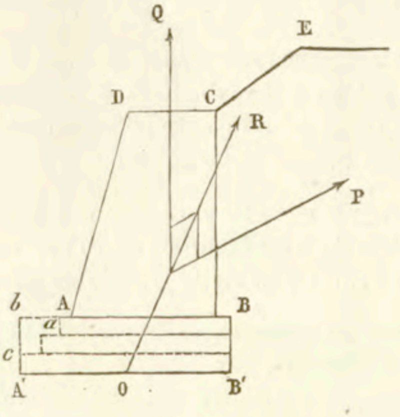


Fig. 12.

kowa R ciężaru Q samego muru, ciężaru przypadkowego S i parcia P nasypu, którego przecięcie poprzeczne jest CEF na całéj wysokości CB', przechodziła przez środek podstawy A'B'. Znalazłszy zatém wartość wypadkowéj i jéj kierunek, trzeba przedłużyć ją do punktu O i odciąć z obu stron wielkości równe OA' = OB', albowiem jeżeli wypadkowa wszystkich sił przechodzi przez punkt O, ciężar całego muru A'B'BA musi także przechodzić przez ten punkt albo bardzo blisko. Czasami punkta A i A' są połączone pomiędzy sobą rodzajem schodów, jak przedstawia figura 12, lecz to urządzenie jest tylko wypływem czystéj oszczędności.

Sposób postępowania który tu podajemy pociąga za sobą następujące niedogodności : może on tak dalece rozszerzyć podstawę muru, że schody mogą mieć szerokość nadzwyczaj wielką, gdy tymczasem w murach budowanych przez starożytnych a nadewszystko przez Vauban'a, wyskok ten nie przechodzi nigdy $0^{m},65$ centymetrów ; powodem tego jest, że starożytni zakładali zawsze fundamenta na gruncie zupełnie stałym, a w miejscach gdzie grunt stały znajdował się bardzo głęboko, stawiali oni wielkie podpory z pali, robili pomosty drewniane i t. p. Sposób budowania o którym mówimy pociąga za sobą nadzwyczaj duże koszta, lecz starożytni używając go otrzymywali podstawy stałe i silne, na których nie trzeba było rozszerzać schodów w fundamentach.

Zdarzają się czasem przypadki szczególne, w których dla uniknienia zawsze nadzwyczaj kosztownych robót przy zakładaniu fundamentów, używać należy sposobu, który powyżéj opisaliśmy, lecz w tym przypadku niezbędném jest sprawdzić, czy podstawa projektowana ma wymiary dostateczne, żeby ciśnienie wywarte przez nią na grunt było zawsze mniejsze od ciśnienia, które ten grunt wytrzymać może na metr kwadratowy powierzchni.

Przypadek, o którym mowa, może mieć miejsce tylko wtenczas kiedy dany do zbudowania mur oporowy spoczywa na gruncie ściśliwym.

Dodać tu winniśmy natychmiast, że przy sprawdzaniu stałości budowli pod względem ruchu obrotowego na około zewnętrznéj krawędzi podstawy, nie należy zwracać uwagi na odpieranie wywarte na mur przez nasyp znajdujący się na stronie jego zewnętrznéj, wreszcie wartość tego odpierania jest bardzo mało znaczącą.

Na tém zakończymy poszukiwania dotyczące warunków odnoszących się do stałości fundamentów i przejdziemy do rozbioru stałości samego muru oporowego, leżącego na swéj podstawie i oznaczymy w sposób praktyczny, jakim sposobem wymiary poprzeczne takiego muru mogą być znalezione.

§ 2. OZNACZENIE WYMIARÓW POPRZECZNYCH MURU OPOROWEGO.

Ziemia lub nasyp znajdujący się po za murem oporowym, wywiera na ten ostatni, jakeśmy to powiedzieli już w pierwszéj części niniejszéj pracy, parcie; wpływy wywarte przez to parcie na mur, o których także jużeśmy wspominali poprzednio są następujące. Parcie, sprawić może, działając na dany mur oporowy, jużto ześlizgnięcie się jego po podstawie na któréj spoczywają fundamenta, już też wprawić go może w ruch obrotowy na około krawędzi zewnętrznéj fundamentów. Dla zapobieżenia pierwszemu z tych wypadków znać należy z dokładnością składowę poziomą wypadkowéj wszystkich sił usiłujących zesunąć mur i przekonać się czy rzeczywiście ta składowa pozioma jest mniejszą od tarcia (frottement) wywartego na podstawie muru przez wszystkie siły pionowe nań działające któremi są ciężar samego muru i nasypu nad nim leżącego i składowa pionowa parcia. Dla zapobieżenia drugiemu wypadkowi, t. j. dla uniknienia ruchu obrotowego na około zewnętrznéj krawędzi podstawy, poznać należy z dokładnością : natężenie, kierunek i punkt przyczepienia całkowitego parcia; z tak otrzymanych danych obliczyć moment całkowitego parcia względem punktu oznaczonego i przekonać się w końcu, czy tak otrzymany moment jest mniejszym od momentu względem tegoż punktu ciężaru samego muru i ciężaru nasypu, który na nim spoczywać może.

Zadanie którego rozwiązaniem zająć się zamierzamy w niniejszym paragrafie, jest już po większéj części w zupełności rozwiązane w poprzedzających ustępach niniejszéj pracy. W saméj rzeczy, umiemy już znaleźć wartość parcia, jego kierunek i punkt jego przyczepienia, a zatém z całą łatwością znajdziemy wartość jego momentu. Proste rozłożenie sił za pomocą równoległoboku i składanie, takowych w należytych warunkach, doprowadzić nas może do znalezienia potrzebnych pozostałych wielkości, a tém samém do zupełnego rozwiązania zadania.

Przykład podany na końcu niniejszéj pracy, wskaże drogę którą postępować należy przy rozwiązywaniu tego rodzaju zadań, posłużyć on nadto może za model do łatwego znalezienia szukanych wymiarów przecięcia poprzecznego muru oporowego.

Pomiędzy innemi ma on jeszcze tę *zaletę*, że podaje sposób analityczny oznaczenia, bez wielkiéj trudności, grubości muru w pewnych oznaczonych warunkach.

1° **Obsuwanie się muru oporowego na podstawie.** — Jakikolwiek mur oporowy przedstawia zawsze opór parciu wywartemu nań przez nasyp. Opór ten składa się z ciężaru samego muru i z ciężaru nasypu, który na nim leży; wartość jego wyrównywa summie tych ciężarów pomnożonéj przez spółczynnik tarcia muru o mur. Chcąc więc otrzymać równowagę statyczną nasypu, należy zrównać pomiędzy sobą ilości o których mowa, a które w téj chwili umiemy w zupełności wyznaczyć. Nie jest jednakże wystarczającém w tego rodzaju budowlach poprzestawać na równowadze statycznéj i trzeba koniecznie, żeby równowaga stała istnieć mogła, porównywać między sobą iloczyn utworzony z pomnożenia parcia przez pewien spółczynnik stałości większy od jedności, z iloczynem otrzymanym z pomnożenia ciężaru samego muru i ciężaru nasypu na nim leżącego przez spółczynnik tarcia muru o mur.

Oznaczenie wartości spółczynnika stałości, o którym mowa, przedstawia duże trudności, w téj chwili więc powiemy z p. Poncelet'em, który tego dowiódł z całą ścisłością, że spółczynnik stałości jest ściśle związany ze spółczynnikiem tarcia muru o mur przy podstawie (*). Zasadzając się na teoryi obmurowań (révètement) Vauban'a i przyjmując za minimum spółczynnika tarcia muru o mur 0,70, otrzymalibyśmy wypadki *zawielkie*. Dodać tu możemy, pomijając wszelkie roztrząsanie téj kwestyi, któreby nas odprowadziło za daleko od zamierzonego celu, że spółczynik odpowiadający obsuwaniu się muru, jest zawsze mniejszy od spółczynnika odpowiadającego ruchowi obrotowemu muru o którym w téj chwili mówić będziemy, a zatém wydaje nam się rzeczywiście zbyteczném zajmować się nim tutaj.

Zauważymy także, że skarpa, która silnie wpływa na stałość muru, w przypadku obsuwania się jego po podstawie powinna być o ile możności jak największą, szczególniéj jeżeli ciężary przypadkowe, działające na mur, są bardzo wielkie w porównaniu z wysokością muru. W każdym razie przed zaczęciem nasypu leżącego powyżéj szczytu muru oporowego niezbędną jest rzeczą pozostawić górne części muru zupełnie swobodnemi do chwili, w któréj zaprawa mularska w zupełności ztwardnieje, szczególniéj jeżeli ten nasyp jest bardzo znaczny, albowiem w przeciwnym razie dążność do obsunięcia się górnych warstewek muru będąc daleko silniejszą od téj dążności w pozostałych jego częściach; ruch pierwszych po ostatnich może mieć miejsce; gdyby tymczasem zaprawa mularska była twardą przed wykonaniem nasypu, przyleganie jednych warstw muru do drugich sprzeciwiłoby mu się niezawodnie.

Przyjmowaliśmy dotąd, że mur oporowy spoczywa na podmurowaniu, jeżeli tak jest w rzeczywistości, możemy w zupełności pominąć sprawdzanie jego stałości przeciwko obsuwaniu się, lecz jeżeli mur oporowy spoczywa na samym gruncie, jak to ma miejsce dla fundamentów, wówczas kwestya sprawdzenia stałości winna być wziętą pod uwagę, albowiem w podobnym przypadku dążność ku obsunięciu się może przewyższyć dążność muru do przyjęcia ruchu obrotowego na około krawędzi zewnętrznéj jego podstawy.

2° **Ruch obrotowy muru oporowego na około dolnéj jego krawędzi zewnętrznéj.** — Dla uniknienia ruchu obrotowego muru na około dolnéj jego krawędzi zewnętrznéj, niezbędném jest, żeby moment ciężaru samego muru, zwiększony momentem ciężaru ziemi na nim leżącéj, wzięte względem krawędzi powyżéj wspomnianéj, był równy momentowi parcia nasypu względem téjże krawędzi, pomnożonemu przez spółczynnik stałości.

(*) *Mémorial des officiers du génie*, n° 13.

Spółczynnik stałości o którym mowa, oznaczonym został sposobem czysto praktycznym, jak następuje : Zgodzono się jednomyślnie przyjąć za punkt wyjścia do obliczenia tego spółczynnika stałości, mur mający dziesięć metrów wysokości, wystawiony przez Vauban'a i przeznaczony do podtrzymywania nasypu z ziemi średniéj, któréj spadek naturalny tworzy z poziomem kąt równy 45°. Znaleziono, że mury wystawione w tych warunkach, przedstawiają wszelkie warunki doskonałéj stałości. Obliczenie analityczne podobnego muru doprowadziło do wypadku następującego. Spółczynnik stałości powinien być równy ilości m, któréj wartość liczebna jest równa 1,9116,

Uwaga. — Mówiąc o oporze przedstawionym przez jakikolwiek mur przeciwko obsuwaniu się jego warstewek jednych po drugich, lub przeciwko ruchowi obrotowemu na około krawędzi zewnętrznéj jego podstawy pod wpływem parcia i ciężarów przypadkowych, nie braliśmy pod uwagę siły spójności, która istnieje tak pomiędzy cząsteczkami samego muru, którego warstwy są połączone z solbą za pomocą zaprawy mularskiéj, jako téż w samym nasypie. Pominięcie to siły spójności, jest uzasadnione na praktycznych danych; w saméj rzeczy, jeżeli weźmiemy pod uwagę jakikolwiek mur oporowy podczas jego budowy dostrzegamy, że siła spójności istnieć w nim zaczyna dopiero po zupełném stwardnieniu zaprawy mularskiéj, a w nasypie, siła ta przybiera pewną wartość dopiero po jego opadnięciu (tassement). Widzimy więc, że w chwili kiedy parcie jest największém, t. j. podczas saméj budowy, byłoby zupełnie nieuzasadnioném, obliczając wymiary muru, wprowadzić siłę spójności do rachunku. Przypomnieć tu możemy, że przy budowie murów oporowych nasyp po za murem robi się prawie zawsze odpowiednio do wznoszenia się samego muru, t. j. że o tyle o ile wysokość muru się zwiększa, dodając coraz to nowe warstwy kamieni, o tyleż się wznosi nasyp po za nim leżący, największe więc parcie jakie wywartém być może, ma miejsce w pierwszéj chwili po ukończeniu całego nasypu.

Przyjęliśmy i przyjmujemy, że rozdzielenie się muru, ma zawsze miejsce poziomo, podług stosugi pewnéj warstwy, doświadczenie uświęciło najzupełniéj to przypuszczenie.

Dodamy tu nadto, że tak obsuwanie się muru, jako téż jego ruch obrotowy, winny zawsze mieć miejsce na jego podstawie a nie gdzieindziéj, albowiem zaczynając od téj podstawy opór muru zmniejsza się proporcyonalnie do wysokości, tymczasem parcie nań wywarte, zmniejsza się w stosunku kwadratów z téjże wysokości, a moment parcia w stosunku jéj sześcianów.

3° **Wzory praktyczne służące do oznaczenia grubości murów oporowych pionowych w przypadku ruchu obrotowego.** — Wzory analityczne, służące do oznaczenia grubości muru są zazwyczaj bardzo trudne, najprzód do ich otrzymania ścisłego, a następnie w ich zastosowaniu, zdaje nam się więc użytecznem podać tu kilka wzorów praktycznych, które bardzo korzystnie dadzą się zastosować przy rozwiązywaniu kwestyi tego rodzaju.

Wzory praktyczne o których mowa i które prawie zawsze są używane przy oznaczaniu wymiarów poprzecznych muru oporowego są następujące :

a) Jeżeli ciężar przypadkowy jest mały, można bez niedogodności nie zwracać zupełnie uwagi na ziemię spoczywającą na samym murze i w tym przypadku wzór dający odrazu grubość muru ma kształt następujący :

$$e = (h + h') \operatorname{sty} \frac{1}{2}\alpha \sqrt{\frac{1.91}{3} \times \frac{p}{p'}\left(\frac{h + h'}{h}\right)}. \tag{25}$$

we wzorze (25)

e przedstawia szukaną grubość muru oporowego ;

h « wysokość całkowitą muru-oporowego ;

h' « wysokość ciężaru przypadkowego ;

α « kąt spadku naturalnego ziemi;

p « ciężar metra sześciennego ziemi ;

p' « ciężar metra sześciennego muru.

Wzór (25) może być użytecznym tylko wtenczas kiedy wysokość h' ciężaru przypadkowego jest bardzo małą, w porównaniu z wysokością samego muru i gdy wysokość h jest bardzo wielką, gdyby bowiem h zbliżało się do zera wyraz $\frac{h+h'}{h}$ a zatém e byłoby nadzwyczajnie wielkie.

Jeżeli ciężar przypadkowy jest zerem, lub tak małym, że można opuścić stosunek $\frac{h'}{h}$, wzór (25) przyjmuje kształt prostszy, to jest zamienia się na następujący :

$$e = 0{,}80 \operatorname{sty} \frac{1}{2}\alpha \sqrt{\frac{p}{p'}}(h+h'). \tag{26}$$

Jeżeli nasyp którym się zajmujemy należy do kategoryi ziemi średnich, to jest takich dla których mamy

$$\frac{p}{p'} = \frac{2}{3} \quad \text{i} \quad \alpha = 45^\circ.$$

wówczas

$$e = 0{,}27(h+h'). \tag{27}$$

Wzory (25), (26) i (27) mogą być użyte, jak to już powiedzieliśmy, tylko wtenczas gdy ciężar przypadkowy jest bardzo mały w porównaniu z ciężarem samego muru.

W téj chwili zdaje nam się stosowném podanie tablicy, obejmującéj wymiary grubości muru w rozmaitych przypadkach, tablica ta została obliczoną przez p. Poncelet'a i ogłoszoną drukiem *w Mémorial des officiers du genie*, tom XIII, str. 28.

Tablica zawierająca grubości murów oporowych w funkcyi ich wysokości, kiedy berna ma rozmaite szerokości, kiedy ciężar przypadkowy jest jakikolwiek i kiedy tak nasyp jako téż i mur mają wartości średnie t. j. *kiedy* doty $\varphi = 1$ *i* $\frac{p}{p'} = \frac{2}{3}$.

STOSUNEK ŚREDNIÉJ WYSOKOŚCI CIĘŻARU PRZYPADKOWEGO DO WYSOKOŚCI MURU. 1	PRZECIĘCIE POPRZECZNE VAUBAN'A PRZEKSZTAŁCONE. 2	ZASTOSOWANIE SPOSOBU P. FRANÇAIS. 3	ZASTOSOWANIE WZORU PRAKTYCZNEGO. 4	ZASTOSOWANIE WZORU ŚCISŁEGO KIEDY BERMA JEST		
				ZEREM. 5	RÓWNĄ 0,2 GRUBOŚCI MURU. 6	RÓWNĄ CAŁÉJ GRUBOŚCI MURU. 7
0,0	0,180 h + 1,24	0,260 h	0,285 h	0,270 h	**0,270** h	0,270 h
0,2	0,222 h + 1,24	0,345 h	0,342 h	0,336 h	0,342 h	0,326 h
0,4	0,261 h + 1,24	0,434 h	0,399 h	**0,399** h	0,405 h	0,358 h
0,6	0,301 h + 1,24	0,530 h	0,456 h	0,477 h	0,457 h	0,377 h
0,8	0,341 h + 1,24	0,633 h	0,513 h	0,544 h	0,504 h	0,391 h
1,0	0,382 h + 1,24	0,751 h	0,570 h	0,605 h	0,540 h	0,405 h
2,0	0,584 h + 1,24	1,361 h	0,855 h	0,795 h	0,655 h	0,425 h
3,0	0,786 h + 1,24	2,096 h	1,140 h	0,892 h	0,717 h	0,435 h
4,0	0,988 h + 1,24	2,929 h	1,425 h	0,957 h	0,755 h	0,442 h
10,0	2,200 h + 1,24	8,568 h	3,135 h	1,109 h	0,839 h	0,452 h
20,0	4,220 h + 1,24	25,213 h	0,985 h	1,171 h	0,872 h	0,456 h
nieskończenie wielkie.	nieskończenie wielkie.	nieskończenie wielkie.	nieskończenie wielkie	0,243 h	0,921 h	0,461 h

W powyższéj tablicy *h* przedstawia zawsze całkowitą wysokość muru oporowego.

Wnioski. — Powyższa tablica prowadzi do wniosków nadzwyczaj ważnych, które są podane w rozprawie p. Poncelet'a, a które podajemy tu dosłownie.

« Rozpatrując trzy ostatnie kolumny powyższéj tablicy dostrzedz można, powiada p. Poncelet, 1° « że grubości muru rosną proporcyonalnie do jego wysokości, jeżeli stosunek odwrócony tych wyso- « kości do wysokości ciężaru przypadkowego pozostaje niezmiennym; 2° ostatnie cyfry na dole kolumn « umieszczone wskazują, że grubości murów oporowych dążą bezustannie ku pewnéj oznaczonéj gra- « nicy, małéj stosunkowo, kiedy wysokość ciężaru przypadkowego dąży przeciwnie do ilości nie- « skończenie wielkiéj w porównaniu z wysokością samego muru. Wypadek ten zasługuje na szczególną « uwagę i jest zupełnie podobny temu, który znalazł i ogłosił p. Petit dla grubości filarów podtrzy- « mujących sklepienia. »

Daléj p. Poncelet, mówiąc o grubościach murów oporowych, przyjętych przez Vauban'a wyraża się następującemi słowy :

« Prawidło przyjęte przez Vauban'a do oznaczania grubości murów, czyni je tém więcéj oddalo- « nemi od grubości prawdziwych i niezbędnych dla uniknienia ruchu obrotowego, im mniejszą jest « wysokość *h* muru, odpowiednio do wysokości ciężaru przypadkowego nad nim spoczywającego; pra- « widło to doprowadzić nawet może do wysokości za małych, jeżeli mury są bardzo wysokie. »

Z powyższych rozumowań i szczegółowego rozbioru wzorów służących do obliczania powyższéj tablicy, można wyprowadzić wniosek następujący : Wzór empiryczny, któryśmy podali w ciągu niniejszéj pracy

$$e = 0{,}285(h + h')$$

jest najlepszym do oznaczania grubości przybliżonéj murów oporowych, wypadki otrzymane z jego zastosowania są najbardziéj zadawalniające, jeżeli on jest stosownie użytym i w granicach ściśle oznaczonych podanych powyżéj.

Tablica zawierająca grubości murów oporowych w funkcyi ich wysokości, kiedy tak nasyp jako też i mur są jakiekolwiek, kiedy działa ciężar przypadkowy i kiedy się przypuszcza ruch obrotowy.

Stosunek wysokości ciężaru przypadkowego do wysokości muru.	Stosunek grubości muru do jego wysokości kiedy $p'=p$				Stosunek grubości muru do jego wysokości kiedy $p'=1/3p$ $f=1$, i berma jest			Stosunek grubości muru do jego wysokości kiedy			
	$f=0{,}06$ i berma jest		$f=1{,}4$ i berma jest.					$p'=5/3\,p$; $f=0{,}6$ i berma jest		$p'=5/3\,p'$; $f=1{,}4$ i berma jest	
	zerem	0,02 *e*	zerem	0,02 *e*	zerem	0,02 *e*	równa grubości	zerem	0,02 *e*	zerem	0,02 *e*
0,0	0,452	0,452	0,258	0,258	0,270	0,270	0,270	0,350	0,350	0,198	0,198
0,1	0,498	0,507	0,282	**0,290**	0,303	**0,306**	0,303	0,393	**0,398**	0,222	0,229
0,2	0,548	**0,563**	0,309	0,326	0,336	0,342	0,326	**0,439**	0,445	0,249	**0,262**
0,3	0,604	0,618	0,338	0,361	0,368	0,375	0,343	0,485	0,489	0,274	0,283
0,4	**0,665**	0,670	0,369	0,394	**0,399**	0,405	0,357	0,532	0,522	**0,303**	0,299
0,5	0,726	0,717	0,402	0,423	0,436	0,411	0,368	0,579	0,549	0,332	0,314
0,6	0,778	0,754	0,436	0,450	0,477	0,416	0,377	0,617	0,572	0,360	0,328
0,7	0,824	0,790	0,472	0,476	0,512	0,420	0,385	0,645	0,593	0,387	0,343
0,8	0,867	0,820	0,510	0,501	0,544	0,423	0,391	0,668	0,610	0,413	0,357
0,9	0,903	0,848	0,541	0,524	0,575	0,425	0,398	0,690	0,624	0,437	0,371
1,0	0,930	0,873	0,571	0,546	0,605	0,431	0,405	0,707	0,636	0,457	0,384
1,2	0,983	0,916	0,632	0,586	0,654	0,435	0,411	0,737	0,655	0,498	0,410
1,4	1,023	0,945	0,684	0,624	0,696	0,438	0,416	0,762	0,672	0,537	0,428
1,6	1,056	0,970	0,730	0,650	0,734	0,442	0,420	0,780	0,685	0,566	0,445
1,8	1,084	0,990	0,772	0,690	0,769	0,444	0,423	0,797	0,697	0,594	0,464
2,0	1,107	1,004	0,812	0,714	0,795	0,445	0,425	0,811	0,705	0,622	0,475
2,5	1,151	1,037	0,902	0,778	0,848	0,447	0,431	0,833	0,722	0,680	0,506
3,0	1,180	1,060	0,981	0,835	0,892	0,448	0,435	0,852	0,731	0,726	0,531
3,5	1,203	1,074	1,047	0,883	0,928	0,449	0,438	0,862	0,737	0,765	0,551
4,0	1,222	1,084	1,105	0,9[illegible]6	0,957	0,451	0,442	0,878	0,742	0,800	0,568
4,5	1,237	1,093	1,158	0,962	0,981	0,452	0,444	0,878	0,747	0,833	0,583
5,0	1,247	1,101	1,206	0,994	1,002	0,452	0,445	0,883	0,751	0,862	0,596
5,5	1,254	1,109	1,250	1,021	1,019	0,788	0,447	0,886	0,756	0,885	0,607
6,0	1,259	1,116	1,290	1,047	1,034	0,796	0,448	0,891	0,759	0,903	0,617
7,0	1,269	1,122	1,357	1,087	1,059	0,811	0,449	0,898	0,764	0,941	0,633
8,0	1,276	1,128	1,415	1,121	1,079	0,822	0,451	0,903	0,768	0,968	0,646
9,0	1,280	1,133	1,465	1,153	1,095	0,830	0,452	0,906	0,770	0,992	0,657
10,0	1,283	1,137	1,508	1,182	1,109	0,839	0,452	0,909	0,771	1,013	0,667
15,0	1,298	1,150	1,662	1,271	1,149	0,864	0,455	0,917	0,777	1,088	0,696
20,0	1,309	1,156	1,757	1,327	1,171	0,878	0,456	0,922	0,780	1,129	0,712
25,0	1,312	1,160	1,821	1,363	1,185	0,887	0,457	0,924	0,782	1,146	0,723
30,0	1,316	1,162	1,866	1,389	1,194	0,894	0,458	0,926	0,783	1,174	0,730
niesk.	1,337	1,175	2,144	1,541	1,243	0,927	0,461	0,936	0,789	1,279	5,769

Wnioski. — Przeglądając z uwagą powyższą tablicę spostrzegamy, że stałość w warstwach poziomych murów oporowych, ciągle się zmniejsza, postępując od wierzchołka ku podstawie przy nie zmiennym ciężarze przypadkowym. Własność ta także ma miejsce dla murów oporowych o ścianach pochyłych, jeżeli nachylenie tych ścian nie przekracza 1/5.

Powyższa tablica wskazuje także od razu jak ogromny wpływ wywiera nasyp na grubość muru oporowego, z téj to przyczyny zachęcamy Inżynierów, aby przed zaczęciem każdéj tego rodzaju budowli, starali się przedewszystkiém oznaczyć z całą ścisłością: 1° spadek naturalny nasypu w stanie suchym i 2° ciężar gatunkowy tegoż nasypu w stanie wykopu, to jest po zwilżeniu go dostatecznem wodą. Dopełnienie tych dwóch warunków, może wpłynąć nadzwyczaj silnie na zmniejszenie grubości muru a tém samém i na zmniejszenie kosztów, na które budowa jego wystawić może.

Jedną z ważniejszych zalet tablicy tu podanéj, jest natychmiastowe oznaczenie przybliżone grubości muru, który mamy zamiar zbudować i to dla jakichkolwiek spółczynników tarcia, których liczba, jak nam wiadomo, jest prawie nieograniczoną i dla wszelkich ciężarów gatunkowych nieistniejących w téj tablicy, przez prostą interpolacyę, pomiędzy dwoma najbliższemi wartościami, odpowiadającemi spółczynnikom zawartym w tablicy. Przybliżenie w ten sposób otrzymane, wpłynąć może na zmniejszenie przybliżeń kolejnych, którychby potrzeba było używać do ostatecznego i dokładnego oznaczenia grubości szukanéj.

§ 3. KSZTAŁTY MURÓW OPOROWYCH PO DZIŚDZIEŃ UŻYWANYCH.

Wybór najkorzystniejszego przecięcia poprzecznego muru oporowego. — Od najdawniejszych czasów kwestya dotycząca oznaczenia najkorzystniejszego przecięcia poprzecznego muru, zajmowała bezustannie Inżynierów. Zajęcie to miało swą uzasadnioną cechę, pochodziło ono z ogromnych kosztów, na jakie wystawia budowa jakiegokolwiek muru oporowego znacznéj długości i wielkich wymiarów. Szukano sposobu w jaki, modyfikując zwyczajne przecięcie poprzeczne przedstawione na figurze 1éj a które, nawiasem mówiąc, jest najkosztowniejsze, dojść by można było, przy tychże samych warunkach wytrzymałości i stałości, do zmniejszenia tych kosztów. Wówczas to pojawiły się rozmaite formy i kształty murów oporowych, których opis w niniejszym numerze, a kształty na tablicy przy końcu téj pracy umieszczonéj, podajemy.

Mur oporowy o ścianach pionowych, został najprzód zamieniony na mur o ścianach jużto wewnętrznéj, jużto zewnętrznéj, już też obydwóch razem, pochyłych. Ta ostatnia forma została zamienioną na mur z murami poprzecznemi, *wzmocnieniami* (contrefort), jużto wewnętrznemi, już też zewnętrznemi. Następnie przyszły mury mające od strony wewnętrznéj wzmocnienia połączone pomiędzy sobą sklepieniami więcéj lub mniéj wystającemi, a których ściany zewnętrzne były pionowe. Od tych ostatnich szukając ciągle doszliśmy do murów, których ściany wewnętrzne składają się ze wzmocnień połączonych sklepieniami, a ściany zewnętrzne są pochyłe i mają nachylenie zawarte pomiędzy 1/5 i 1/10.

Kształty dotąd opisane doprowadziły w końcu do następujących, w których ściany wewnętrzne i zewnętrzne mają formę krzywych, podobnych do krzywéj ciśnień, którą w danym murze nakreślić można; od tych ostatnich doszliśmy w końcu do murów o ścianach krzywych, których ściany wewnętrzne mają rodzaj schodów (redau).

Przecięcie poprzeczne najkorzystniejsze znaleźliśmy porównywając jak następuje różne kształty murów oporowych z murem przedstawionym na figurze 1éj, którego ściany są pionowe i którego grubość jest równa 0,30 wysokości.

Niech będzie mur oporowy którego ściany są pionowe i który ma grubość równą 0,30 swéj wysokości. Dla ułatwienia porównania innych kształtów murów oporowych z powyżéj określonym przypuśćmy :

1° Że wszelkie ciężary przypadkowe nie istnieją ;

2° Że mur oporowy spoczywa na fundamentach doskonale zbudowanych nie wzruszonych.

Weźmy jakikolwiek grunt którego kąt obsuwania się, to jest kąt zawarty pomiędzy spadkiem naturalnym ziemi i pionową przechodzącą przez podnóże muru, równa się 46°, 50′, t. j. jeżeli nazwiemy kąt ten przez α jak poprzednio, będzie

$$\alpha = 46°,50', \text{ a zatém } \mathrm{sty}^2 \frac{1}{2}\alpha = 0{,}1875;$$

przyjmijmy nadto dla łatwiejszego oznaczenia bryłowatości materyałów budowlanych w metrach sześciennych na metr bieżący muru że

$p = 1600^{\text{kg}}$ ciężar metra sześciennego ziemi ;

$p' = 2200^{\text{kg}}$ « « materyałów budowlanych ;

H oznacza wysokość muru równą dokładnie wysokości nasypu za nim się znajdującego ;

R^h « parcie poziome nasypu ;

MR^h « moment parcia poziomego nasypu ;

$M(R^v + P)$ « moment wytrzymałości muru oporowego względem jego zewnętrznéj krawędzi dolnéj.

Znając z powyżéj podanych prawideł dotyczących oznaczania parcia, że punkt jego przyczepienia w warunkach tu podanych znajduje się w odległości równéj $\frac{1}{3}$ H licząc od podstawy, znajdziemy moment parcia z całą łatwością pamiętając że parcie samo równe jest

$$R^h = \frac{1}{2} p H^2 \mathrm{sty}^2 \frac{1}{2}\alpha.$$

Jeżeli w tém równaniu za ilości podstawimy ich wartości liczebne podane powyżéj otrzymamy

$$R^h = \frac{1}{2}\, 1600 \times H^2 \times 0{,}1875 = 150\, H^2,$$

a zatém moment tego parcia względem punktu B (fig. 1), będzie równy

$$MR^h = \frac{1}{3} \times 150\, \overline{H}^3 = 50\, H^3.$$

Znając w ten sposób dane ogólne odnoszące się do murów oporowych zostających w warunkach ścisle określonych powyżéj, przejdziemy do badania porównawczego rozmaitych ich kształtów używanych po dziś dzień odnosząc je zawsze do muru oporowego przyjętego za typ i przedstawionego na fig. 1ej tablicy umieszczonéj przy końcu, t. j. do muru którego ściany są pionowe i którego grubość równa się z dokładnością 0,30 jego wysokości.

1° *Mury oporowe pełne i pionowe.* — Zajmijmy się najprzód znalezieniem wymiarów poprzecznych to jest grubości muru pionowego pełnego, który czyni zadość warunkom równowagi ścisłéj w przypadku samego tylko parcia ziemi, nazwijmy przez

x grubość szukaną muru oporowego.

Dla zupełnego rozwiązania niniejszego zadania wystarczającém będzie zrównać pomiędzy sobą momenta parcia i wytrzymałości uważanego muru, wzięte obydwa względem zewnętrznéj krawędzi dolnéj jego podstawy t. j. względem punktu B; otrzymamy więc podstawiając dane przez nas przyjęte

$$2200 \times \frac{Hx^2}{2} = 50\,H^3$$

zkąd

$$x = 0{,}213\,H.$$

Zwrócić należy tutaj natychmiast uwagę, że ostatni wzór podany powyżéj odpowiada ścisłéj równowadze. W praktyczném jednakże zastosowaniu równowaga ścisła nie jest dostateczną i niezbędną jest rzeczą żeby *stałość* budowli lub muru była zapewnioną; żeby więc wymiary poprzeczne muru odpowiadały temu ostatniemu warunkowi należy wartość powyżéj znalezioną pomnożyć przez pewien spółczynnik wytrzymałości, o którym już była mowa w poprzedzających paragrafach, gdyśmy mówili o ruchu obrotowym muru na około dolnéj jego krawędzi zewnętrznéj i kiedy była mowa także o ślizganiu się muru na jego podstawie, do tych więc miejsc odsyłamy czytelników naszych, znajdą bowiem oni tam tę kwestyę w zupełności rozwiązaną. Dodamy tu tylko że zasadzając się na pracach Rondelet'a, społczynnik wytrzymałości muru dla ruchu obrotowego zbliża się bardzo do 2(*); i że wytrzymałość muru przeciwko ślizganiu się jest zawsze zabezpieczoną i jest prawie zawsze trzy razy większą od siły działającéj na jego obsunięcie.

2° *Mury pełne o ścieńczeniu zewnętrznem.* — Mury tego kształtu są bardzo często używane w praktyce z powodu wielkiéj oszczędności materyałów budowlanych stosunkowo do muru typ o którym w téj chwili mówiliśmy. Oszczędność o któréj mowa pochodzi ztąd, że środek ciężkości muru oporowego którym się zajmujemy w skutek ścieńczenia zewnętrznego oddala się od dolnéj krawędzi zewnętrznéj podstawy muru, a zatém ramię drążka powiększa się, a tém samém i moment wytrzymałości, żeby więc moment wytrzymałości muru oporowego, pozostał taki sam jak dla muru oporowego o ścianach pionowych, należy zmniejszyć jego ciężar, t. j. jego przecięcie poprzeczne. Zasadzając się na tém rozumowaniu możemy postawić pytanie w sposób następujący : Jakie winno być przecięcie poprzeczne muru oporowego, którego ściana zewnętrzna jest pochyłą, żeby wytrzymałość jego przeciwko ruchowi obrotowemu była taż sama co wytrzymałość muru typ przeciwko temuż ruchowi?

Dla uogólnienia wzorów przyjmijmy, że nachylenie na metr wysokości muru rowne jest $\frac{1}{b}$ i że x, t. j. grubość szukana muru jest braną w jego wierzchołku.

Jeżeli porównamy moment takiego muru z momentem muru typ, otrzymamy równanie

$$Hx\left(\frac{x}{2} + \frac{H}{b}\right) + \left(\frac{H^2}{2b} \times \frac{2H}{3b}\right) = \frac{1}{2}\,0{,}\overline{30}^2\,H^3$$

(*) *Traité de l'art de bâtir.*

z którego oznaczymy wartość dla x i będzie

$$(a) \qquad x = \frac{H}{b}\left(-1 \pm \sqrt{\frac{0,276b^2+1}{3}}\right).$$

Stosując powyższy wzór do oznaczenia wymiarów poprzecznych murów oporowych najwięcéj używanych w praktyce, będziemy mogli ułożyć następującą tabliczkę w któréj, odpowiednio do zmiany ścieńczenia zewnętrznego, znajdziemy wartość dla x i powierzchnię S przecięcia poprzecznego a tém samém i bryłowatość w metrach sześciennych materyałów budowlanych.

Tablica I *zawierająca wymiary poprzeczne i bryłowatość w funkcyi wysokości murów oporowych pełnych, ze ścieńczeniem zewnętrznem.*

ŚCIEŃCZENIE ZEWNĘTRZNE MURU $1/b$	GRUBOŚĆ MURU W WIERZCHOŁKU x	BRYŁOWATOŚĆ MURU NA METR BIEŻĄCY S
1/4	0,0831 H	0,2080 H^2
1/5	0,1214 H	0,2214 H^2
1/6	0,1483 H	0,2316 H^2
1/7	0,1683 H	0,2397 H^2
1/8	0,1835 H	0,2460 H^2
1/9	0,1957 H	0,2511 H^2
1/10	0,2055 H	0,2555 H^2
1/12	0,2205 H	0,2622 H^2
1/15	0,2358 H	0,2691 H^2
1/20	0,2513 H	0,2764 H^2
Mur pionowy.	0,3000 H	0,3000 H^2

Znając obecnie za pomocą powyższéj tablicy w jaki sposób zmienia się bryłowatość muru oporowego, gdy przy tejże saméj wytrzymałości zmieniamy jego ścieńczenie zewnętrzne, zajmiemy się obecnie oznaczeniem téj bryłowatości dla murów mających wysokości różne i jednakowe ścieńczenia zewnętrzne np. ścieńczenie $\frac{1}{10}$ pospolicie używane. Wzór powyżéj podany (a) wraz z tablicą I-szą posłużą nam do osiągnięcia zamierzonego celu i w naszém porównaniu zajmiemy się murami mającemi wysokości równe, 3, 6, 9, 12 i 15 metrom.

Tablica II *obejmująca wymiary poprzeczne i bryłowatość murów oporowych ze ścieńczeniem zewnętrznėm stałém i równém* 1/10

WYSOKOŚĆ MURU OPOROWEGO	GRUBOŚĆ W WIERZCHOŁKU	BRYŁOWATOŚĆ NA METR BIEŻĄCY
5,00	1,0275	6,3875
6,00	1,2330	9,1980
9,00	1,8495	20,6955
12,00	2,4660	36,7920
15,00	3,0825	57,4875

Zwrocić tu należy uwagę że nachylenia nadawane ścianie zewnętrznéj muru oporowego nie mogą przechodzić pewnéj granicy, która zależną jest wprost od grubości muru w wierzchołku, niezbędném jest bowiem żeby ta grubość nigdy nie była mniejszą od 0^m35, a nawet lepiéj, od 40 centymetrów.

3° *Mury pełne o ścieńczeniu wewnętrzném.* — Często się zdarza w praktycznych zastosowaniach że ściana zewnętrzna muru oporowego nie może być nachyloną, w tych więc przypadkach zastąpić ją można ścianą nachyloną wewnętrzną, lub murem którego ściana wewnętrzna przedstawia rodzaj schodów. Dla takich murow, podobnie jak dla poprzedzających możemy wyprowadzić wzór ogólny, za pomocą którego wyznaczymy tak wymiary poprzeczne jako też ich bryłowatość, pamiętając zawsze że ich wytrzymałość powinna wyrównywać z dokładnością wytrzymałości muru typ o ścianach pionowych.

Przyjmując znakowanie powyżéj przyjęte, otrzymamy równanie momentow następujące :

$$\frac{1}{2}\mathrm{H}x^2 + \frac{1}{2b}\mathrm{H}^2\left(x + \frac{1}{3b}\mathrm{H}\right) = \frac{1}{2}\overline{0,30}^2\,\mathrm{H}^3,$$

z którego znajdziemy wartość dla x, będzie więc

$$(b)\qquad x = \frac{\mathrm{H}}{b}\left(-0,50 \pm \sqrt{0,25 + \frac{0,276b^2 - 1}{3}}\right).$$

Stosując powyższy wzór do murów oporowych mających ścieńczenie najczęściéj używane w praktyce, potrafimy ułożyć tabliczkę następującą w której znajdziemy odpowiednio do ścieńczenia przyjętego i grubość x muru w wierzchołku i jego bryłowatość w metrach sześciennych.

Tablica III *zawierająca wymiary poprzeczne i bryłowatość w funkcyi wysokości murów oporowych pełnych o ścieńczeniu wewnętrznem.*

ŚCIEŃCZENIE WEWNĘTRZNE MURU $1/b$	GRUBOŚĆ MURU W WIERZCHOŁKU x	BRYŁOWATOŚĆ MURU NA METR BIEŻĄCY S
1/4	0,1663 H	0,2913 H^2
1/5	0,1944 H	0,2944 H^2
1/6	0,2127 H	0,2960 H^2
1/7	0,2257 H	0,2971 H^2
1/8	0,2352 H	0,2977 H^2
1/9	0,2427 H	0,2982 H^2
1/10	0,2486 H	0,2986 H^2
Mur pionowy.	0,3000 H	0,3000 H^2

Wzór (b) podany powyżéj wraz z tablicą 3ią posłużą nam do uformowania tablicy 4ej zawierającéj wymiary poprzeczne i bryłowatości murów oporowych o ścieńczeniu wewnętrznem równem $\frac{1}{10}$.

Zwrócić tu należy natychmiast uwagę na kolumnę ostatnią tablicy 3ej wskazuje ona bardzo jasno, że bryłowatość murów któremi się w téj chwili zajmujemy, t. j. takich, których ściana wewnętrzna jest pochyloną, różni się bardzo mało od bryłowatości muru typ, wypadku tego można było się spodziewać zważając że cała masa muru jest zbliżoną do krawędzi zewnętrznéj, a zatém że środek ciężkości takiego muru zbliża się także do krawędzi zewnętrznéj podstawy i że moment wytrzymałości w skutek zmniejszenia ramienia drążka zmniejszając się, ciężar muru musi się koniecznie powiększać i zbliżać do ciężaru muru typ.

Tablica IV *zawierająca wymiary poprzeczne i bryłowatość murów oporowych o ścieńczeniu wewnętrzném stałém i równém* 1/10.

WYSOKOŚĆ MURU OPOROWEGO	GRUBOŚĆ W WIERZCHOŁKU	BRYŁOWATOŚĆ MURU NA METR BIEŻĄCY
5,00	1,2430	7,4560
6,00	1,4916	10,7496
9,00	2,2374	24,1866
12,00	2,9832	42,9984
15,00	3,7330	67,1850

Zbytecznem byłoby dłużéj zajmować się murami oporowemi mającemi kształt o którym mowa, nie przedstawiają one bowiem prawie żadnéj oszczędności w porównaniu z murem typ, t. j. z murem o ścianach pionowych.

4° *Mury pełne ze schodami wewnętrznemi.* — Kształt murów oporowych o którym mowa bywa używanym tylko wtenczas kiedy w skutek przeszkód czysto miejscowych nie podobna przyjąć ścieńczenia zewnętrznego. Kształt ten jest prawie tyleż bezkorzystny w użyciu ile kształt poprzednio opisany w którym ściana wewnętrzna jest nachyloną, różnica pomiędzy kształtem poprzedzającym i tym o którym mowa ma tylko wtenczas miejsce, jeżeli zwrócimy uwagę na nasyp znajdujący się po za murem i wprowadzimy do rachunku ciężar ziemi spoczywającéj na każdym schodzie, w tym przypadku mur ze schodami wewnętrznemi pod względem oszczędności, stosunkowo do muru typ zbliża się bardzo do muru o ścieńczeniu zewnętrzném; w saméj rzeczy, weźmy pod uwagę mur oporowy ze schodami wewnętrznemi i przypuśćmy że szerokość każdego schodu zmienia się od 15 do 30 centymetrów, ułóżmy wzór służący do obliczania jego grubości i wprowadźmy do niego ciężar ziemi spoczywającéj na każdym schodzie, otrzymamy

$$2200^{kg}\left\{\frac{1}{2}Hx^2+\frac{1}{2b}H^2\left(x+\frac{1}{3b}H\right)\right\}+1600^{kg}\frac{1}{2b}H^2\left(x+\frac{2}{3b}H\right)=99H^3$$

równanie z którego wyciągając wartość dla x będzie

$$(c) \qquad x=\frac{1}{b}H\left(-0{,}864\pm\sqrt{0{,}096^2-0{,}073}\right).$$

Jeżeli wzór (c) zastosujemy do przypadków ogólnie używanych otrzymamy tablicę następującą.

Tablica V *zawierająca wymiary poprzeczne i bryłowatość murów pełnych ze schodami wewnętrznemi.*

ŚCIEŃCZENIE RÓWNOWAŻNE SCHODOM	GRUBOŚĆ MURU W WIERZCHOŁKU	BRYŁOWATOŚĆ MURU NA METR BIEŻĄCY
1/4	0,0763 H	0,2013 H²
1/5	0,1222 H	0,2222 H²
1/6	0,1527 H	0,2360 H²
1/7	0,1740 H	0,2454 H²
1/8	0,1901 H	0,2526 H²
1/9	0,2024 H	0,2579 H²
1/10	0,2148 H	0,2648 H²
Mur pionowy.	0,3000 H	0,3000 H²

Obecnie postępując jak wyżéj ułożymy tablicę porównawczą dla murów różnych wysokości.

Tablica VI *zawierająca wymiary poprzeczne i bryłowatość murów oporowych ze schodami wewnętrznemi odpowiadającemi ścieńczeniu* 1/10.

WYSOKOŚĆ MURU OPOROWEGO	GRUBOŚĆ MURU W WIERZCHOŁKU	BRYŁOWATOŚĆ NA METR BIEŻĄCY
5,00	1,0740	6,6200
6,00	1,2888	9,5328
9,00	1,9332	21,4488
12,00	2,5778	38,1312
15,00	3,2228	59,5800

Możemy w téj chwili porównać mur typ o ścianach pionowych z trzema kształtami murów dotąd rozebranemi, pamiętając zawsze że dla muru ze schodami wewnętrznemi ciężar ziemi spoczywającéj nad każdym schodem wchodzi do rachunku. Wypadki wynikające z tego porównania, ścieńczenie będąc zawsze równe $\frac{1}{10}$, są następujące:

Oszczędność wynikająca z użycia muru oporowego o ścieńczeniu zewnętrznem w porównaniu z murem typ równa się

$$\frac{1}{6,74};$$

Oszczędność wynikająca z użycia muru o ścieńczeniu wewnętrznem równa się

$$\frac{1}{214,28};$$

Oszczędność kiedy mur ma schody wewnętrzne przyjmując do rachunku ciężar ziemi leżącéj nad schodami równa się

$$\frac{1}{8,52}.$$

Tablice podane powyżéj wskazują odrazu że im większe będzie nachylenie ścian tém oszczędność w porównaniu z murem typ będzie większą i przeciwnie.

5° *Mury oporowe ze wzmocnieniami.* — Bardzo często się zdarza że mury oporowe dla powiększenia ich wytrzymałości przybierają ze strony zewnętrznéj wzmocnienia. Urządzenie to ma tę szczególniéj zaletę, że oś obrotu około któréj mur oporowy pod wpływem parcia może się obalić będąc bardzo oddaloną od środka ciężkości muru, moment jego silnie się zwiększa a zatém bryłowatość, dla tejże saméj wytrzymałości, musi być zawsze mniejszą od bryłowatości muru typ. Gdyby urządzenie, t. j. kształt o którym w téj chwili mowa mógł być pospolicie użytym, byłby on bez wątpienia najkorzystniejszym; niestety rzadkie są tylko wypadki w których zastosowanie kształtu podanego tutaj może mieć miejsce. Wzmocnienia zewnętrzne mają nadto tę zaletę że one nigdy nie usiłują oddzielić się od właściwego muru oporowego, owszém parcie wywarte na ten ostatni usiłuje silniéj złączyć je z nim, a wówczas mury oporowe odpowiadają w zupełności zadaniu. W murach oporowych podpartych murami poprzecznemi (wzmocnieniami) lękać się tylko należy wygięcia się poziomego części zawartych pomiędzy dwoma wzmocnieniami, które to części zwać będziemy odtąd *zasłoną*; otóż dla uniknienia tego rodzaju niedogodności należy oznaczyć granicę po za którą odległość dwóch po sobie następujących wzmocnień przechodzić nie powinna, granicą tą, która już została uświęconą praktyką, jest odległość trzech metrów pomiędzy osiami wzmocnień mających blizko jednego metra długości.

Wzmocnienia podpierające mur oporowy, mają zazwyczaj w płaszczyźnie formę prostokątów, czasami dla ściślejszego ich połączenia z samym murem oporowym używane bywają ćwiartki koła, ponieważ jednak, jak to powiedzieliśmy powyżéj, w warunkach tu podanych, wzmocnienia nie usiłują nigdy oddzielić się od samego muru, zatém to ostatnie połączenie może być pominiętém albowiem pociąga ono za sobą większe koszta nie przynosząc żadnéj korzyści.

Wychodząc zawsze z punktu widzenia przyjętego od samego początku niniejszego rozbioru, t. j. że wytrzymałość murów oporowych mających jakikolwiek kształt powinna wyrównywać z dokładnością wytrzymałości muru typ postaramy się wyprowadzić wzór jak można najprostszy do oznaczenia wymiarów poprzecznych muru oporowego mającego kształt o którym mowa, t. j. podpieranego wzmocnieniami zewnętrznemi.

W tym celu przyjmiemy następujące hypotezy : 1° Każda część muru zawarta pomiędzy dwoma płaszczyznami pionowemi przechodzącemi przez środek przestrzeni zawartéj pomiędzy dwoma po sobie następującemi wzmocnieniami, t. j. każda część muru oporowego odpowiadająca jednemu wzmocnieniu składa się z części doskonale jednorodnych; hypoteza ta może być przyjętą, albowiem cała masa do któréj ona się odnosi jest stosunkowo mała. — 2° Każda tak określona część muru będąc wystawioną na przewrócenie się ruchem obrotowym spowodowanym przez parcie ziemi, na około dolnéj krawędzi zewnętrznéj wzmocnienia, wszystkie momenty liczyć będziemy względem téj osi.

Zadanie nasze przedstawia się więc w następującéj postaci :

Odległości pomiędzy osiami murów poprzecznych mają trzy metry.

Długość murów poprzecznych (liczymy ją w tym samym kierunku co i długość samego muru oporowego) równa jednemu metrowi.

Grubość części muru, którą przyjmujemy za pionową t. j. części zawartéj pomiędzy wzmocnieniami, równa $\frac{H}{c}$.

Pozostaje więc tylko jedna niewiadoma, którą jest właśnie wyskok wzmocnienia na murze oporowym, t. j. wystawanie lub szerokość muru poprzecznego, którą nazwiemy x.

Z powyższych danych otrzymamy równanie momentów wytrzymałości następujące :

$$\frac{H^2}{c}\left(x+\frac{H}{2C}\right)+\frac{Hx^2}{8}=\frac{1}{2}\overline{0,30}^{\,2}H^3$$

z którego znajdziemy wartość dla x i będzie

$$x=\frac{H}{c}\left(-4\pm\sqrt{12+0,36c^2}\right) \tag{d}$$

Jeżeli w równaniu (*d*) będziemy zwiększali wartość ilości c, zmniejszymy w ten sposób grubość ściany muru zawartéj pomiędzy dwoma wzmocnieniami, lecz za to szerokość tych wzmocnień powiększy się, a bryłowatość całéj budowli się zmniejszy. Zwrócć tu jednakże należy uwagę na ten wypadek, że grubość ściany muru oporowego nie może przejść pewnéj granicy albowiem wpływ parcia nasypu mógłby ją zgiąć, otóż dla oznaczenia téj granicy możemy tylko opierać się na doświadczeniu; zależy ona przedewszystkiém od dobroci samego materyału budowlanego a następnie od dobroci zaprawy mularskiéj łączącéj kamienie pomędzy sobą. Doświadczenie wskazuje, że dla dobréj konstrukcyi ściana muru zawarta pomiędzy wzmocneniami powinna mieć grubość, równą $\frac{1}{5}$ lub $\frac{1}{6}$ wysokości muru oporowego.

Jeżeli we wzorze (d) założymy c równe 6 otrzymamy

$$x=\frac{H}{6}\left(-4\pm\sqrt{12+0,36\times 6^2}\right)=\frac{H}{6},$$

to jest, że wyskok wzmocnienia powinien być równym $\frac{1}{6}$ wysokości, t. j. równym grubości ściany muru oporowego.

Zastosujmy powyższy wzór do pięciu murów któremi zajmowaliśmy się powyżéj, ułożymy wówczas tablicę następującą :

Tablica VII[a] *zawierająca grubość ściany i wyskok murów oporowych ze wzmocnieniami zewnętrznemi.*

WYSOKOŚĆ MURU OPOROWEGO	GRUBOŚĆ ZASŁONY (masque)	WYSKOK WZMOCNIENIA	BRYŁOWATOŚĆ MURU NA METR BIEŻĄCY
5,00	0,833	0,833	5,206
6,00	1,000	1,000	7,500
9,00	1,500	1,500	16,875
12,00	2,000	2,000	30,000
15,00	2,500	2,500	46,875

Widzimy, że bryłowatość murów wystawionych w powyższych warunkach jest równą w ogólności

$$B=\frac{5}{24}H^2=0,20833H^2,$$

porównywając ją z bryłowatością muru typ, która się równa 0,30h^2, widzimy, że oszczędność otrzymana z ich użycia wyrównywa $\frac{1}{3,27}$. Oszczędność ta jest tak znaczną, że mury oporowe wystawione w tych warunkach zajmują najpierwsze miejsce w konstrukcyi murów oporowych, potrzebując jednakże na zewnątrz dużo miejsca, użycie ich jest bardzo rzadkie.

6° *Mury oporowe ze wzmocnieniami wewnętrznemi.* — Mury oporowe podtrzymywane wzmocnieniami od strony nasypu daleko częściéj bywają używane w praktyce niż poprzedzające, albowiem nie niszczą one regularności muru oporowego od strony widzialnéj i nie zajmują niepotrzebnie miejsca przeznaczonego na drogę. Chociaż kształt o którym mówimy nie jest tyle korzystnym pod względem oszczędności jak poprzedzający, wpływa on jednakże na oddalenie środka ciężkości masy całowitéj od osi obrotu, a zatém zwiększa ramię drążka i moment wytrzymałości a tém samém ilość materyałów budowlanych potrzebna na wystawienie takiego muru oporowego jest zawsze nieco mniejsza od potrzebnéj do zbudowania muru typ w tychże samych warunkach wytrzymałości.

Wzmocnienia od strony nasypu budowane, mogą być albo zupełnie *niezależne* od reszty muru oporowego i wówczas służą jedynie na przełamanie parcia ziemi wywieranego na mur oporowy, lub też *ściśle połączone* z murem oporowym w którym to przypadku służą nie tylko jak pierwsze lecz nadto oddalają położenie środka ciężkości całéj masy od krawędzi obrotu. Pierwsze z tych murów poprzecznych to jest mury *niezależne* bywają robione tylko wtenczas gdy się ma pod ręką znaczną ilość kamieni nie mogących być użytemi do budowy i ulegających zmarznięciu, przypadek ten miał właśnie miejsce przy budowie kolei żelaznéj idącéj od Paryża do Saint-Germain; ogromne masy kamieni pochodzące z wykopu, które mogły być tylko użytemi do robienia nasypu, posłużyły do robienia murów poprzecznych bez zaprawy mularskiéj, t. j. na sucho, jak to zazwyczaj ma miejsce. Dla oznaczenia grubości ściany muru oporowego zbudowanego w warunkach podanych, należy wziąć moment wytrzymałości saméj ściany muru nie zwracając zupełnie uwagi na wzmocnienia względem osi obrotu i przyrównać go do dwa razy wziętego momentu parcia nasypu wywartego pomiędzy dwoma wzmocnieniami. Drugie z tych wzmocnień, t. j. wzmocnienia *ściśle połączone* z murem oporowym, oddając daleko większe usługi praktyczne w skutek ich ścisłego połączenia z tym ostatnim, pobudziły inżynierów do szukania w jaki sposób można by było osięgnąć największą możliwą z nich korzyść. W tym celu szukano najprzód jaka forma wzmocnienia jest najkorzystniejszą, pokazało się że forma prostokątna w planie odpowiada najlepiéj zadaniu, albowiem ona jedynie najwięcéj oddala środek ciężkości całéj budowli od krawędzi obrotu. Pomimo téj korzyści niezaprzeczalnéj nadawano murom poprzecznym inne formy w planie, robiono je naprzykład trapozoidalnemi w planie; Vauban przyjął ten kształt w celu doskonalszego połączenia ich z murem oporowym; następnie p. Talabot (Paulin) przyjął kształt prostokątny i połączył mury poprzeczne prostokątne w planie z murem oporowym za pomocą ćwiartki koła; urządzenie tego rodzaju na zewnątrz zostało przyjęte w drodze żelaznéj wiodącéj z Lyonu do Avignonu; lecz: tak urządzenie trapezoidalne jak i to ostatnie zbliżając zawsze środek ciężkości ku krawędzi obrotu jest mniéj korzystne od czysto prostokątnego.

W końcu Belidor podał projekt budowania wzmocnień które by w ich końcach były szersze od szerokości przyjętéj w płaszczyznie ich dotknięcia z murem oporowym, urządzenie to jakkolwiek wpływa silnie na oddalenie środka ciężkości całéj masy od krawędzi obrotu, przedstawia jednakże tę niedogodność, że przy najmniejszym ruchu lub osiadaniu, mury tego kształtu oddzielają się natychmiast od muru oporowego.

Mary, były inspektor jeneralny dróg i mostów, podał za warunek konieczny doskonałego połączenia wzmocnień, jakiegobykolwiek one były kształtu, z murem oporowym, spajanie ich z sobą za pomocą ściągaczy żelaznych opatrzonych śrubą, których liczba winna wzrastać odpowiednio do wysokości muru.

Pomimo zalet, pod względem oszczędności, które przedstawiają mury oporowe ze wzmocnieniami leżącemi jużto na zewnątrz już téż na wewnątrz względnie do muru oporowego typ, nie możemy pominąć tu kilku bardzo słusznych uwag zrobionych przez p. de Sazilly inżyniera dróg i mostów odnośnie do ich użycia praktycznego.

Pan de Sazilly studyując kwestyę murów oporowych przy budowie ścian dla zbiorników wody, mówiąc o murach oporowych podtrzymywanych wzmocnieniami wyraża się w sposób następujący.

Czy należy używać wzmocnień? Przy budowie murów oporowych *równéj wytrzymałości* w którychby największe ciśnienie na centymetr kwadratowy nie przewyższało 6 kilogramów, dostrzegliśmy że grubość potrzebna dla zadosyć uczynienia ciśnieniu nie jest wystarczającą do usunięcia ślizgania się jednych warstw muru na drugich, jeżeli więc dla zapobieżenia ślizganiu się dodamy wzmocnienia, niezbędném jest teraz, żeby one mogły przynieść pożądany skutek, żeby bryłowatość w ten sposób dodana była równa bryłowatości materyałów budowlanych którą należałoby dodać do samego muru oporowego; postępując w ten sposób nic nie zyskujemy pod względem oszczędności, a powiększamy niedogodności wynikające z powiększenia ścian odkrytych, które przedstawiają większą łatwość do przesiąkania wody, szczególniéj jeżeli zmniejszymy grubość ściany muru pomiędzy wzmocnieniami, która jest niezbędną do otrzymania równéj wytrzymałości.

Uwaga. — Uwaga następująca stosuje się tyleż dobrze do murów oporowych podtrzymujących nasyp, jako też do murów tworzących ściany zbiorników wody; brzmi ona jak następuje :

« Jeżeli nie zmieniając bynajmniéj wymiarów podstawy muru i jeżeli siły zewnętrzne działające na mur pozostają też same tak pod względem kierunku jako téż i wartości, zmienimy cokolwiek ciężar tego muru, krawędź podstawy najwięcéj obciążona będzie, jużto więcéj obciążoną już też ulżoną, stosownie do przypadku w którym się znajdziemy. W saméj rzeczy, przypuśćmy najprzód że przed wprowadzeniem jakiéjkolwiek zmiany o któréj mowa, wypadkowa wszystkich sił przecina podstawę muru w odległości równéj np. b od krawędzi najwięcej obciążonéj; przypuśćmy że odległość b jest mniejszą od $\frac{1}{3}$ podstawy a, najmniejsze powiększenie ciężaru przedstawi w skutkach : jużto ulżenie już też większe obciążenie téj krawędzi, stosownie do tego czy środek ciężkości dodatkowego ciężaru będzie leżał, od téj krawędzi, w odległości większéj lub mniejszéj od $2b$. Skutek wprost przeciwny poprzedzającemu będzie miał miejsce w przypadku zmniejszenia ciężaru.

Przypuśćmy obecnie że odległość b jest większą od $\frac{1}{3}a$; najmniejsze powiększenie ciężaru przedstawi w skutkach jużto ulżenie już też zwiększenie obciążenia krawędzi najwięcéj obciążonéj, stosownie do tego, czy środek ciężkości tego dodatkowego ciężaru będzie leżał w odległości większéj lub mniejszéj od $\frac{2}{3}$ podstawy a muru oporowego.

Skutek wprost przeciwny poprzedzającemu będzie miał miejsce w przypadku zmniejszenia ciężaru. »

Podawszy sposób zapatrywania się p. de Sazilly na użycie wzmocnień, wróćmy do oznaczenia oszczędności wynikającéj z użycia tego rodzaju budowli.

Przedewszystkiém powiemy że dla uniknienia poziomego zgięcia w ścianie samego muru oporowego t. j. zgięcia *zasłony*, znajdującéj się pomiędzy dwoma wzmocnieniami nie należy za bardzo oddalać od siebie te ostatnie. W budowli robionéj przez p. Paulina Talbot na drodze żelaznéj z Lyonu do Avignonu, odległości pomiędzy osiami wzmocnień były równe 4 metrom, długość murów poprzecznych wyrównywała jednemu metrowi, przestrzeń wolna pozostająca pomiędzy wzmocnieniami czyli długość *zasłony*, była więc równa trzem metrom; zdaje nam się że taka odległość winna być uważaną w tego rodzaju budowlach jako maximum, którego nigdy przekraczać nie należy.

Podamy w téj chwili wzory służące do oznaczenia wymiarów murów oporowych ze wzmocnieniami w dwóch przypadkach: 1° gdy te wzmocnienia są prostokątne w planie i 2° gdy te wzmocnienia będąc prostokątne w planie są połączone ze ścianą muru oporowego za pomocą ćwiartki koła.

Dla pierwszego rodzaju znajdziemy co następuje: zważając że

Odległość pomiędzy ścianami wzmocnień jest równa	$4^m,00$
Długość wzmocnień jest równa	$1^m,00$
Długość wolna zasłony	$3^m,00$
Wysokość muru oporowego równa jak poprzednio	H
Grubość zasłony (masque) uważanéj za pionową	$\frac{H}{c}$
Wyskok wzmocnienia do oznaczenia	x.

Tutaj jak to już przypuściliśmy, mówiąc o wzmocnieniach podtrzymujących mur oporowy od strony zewnętrznéj, przypuścimy że część muru którą się zajmujemy i która jest zawartą pomiędzy dwoma płaszczyznami pionowemi przechodzącemi przez środek odległości pomiędzy osiami następujących po sobie wzmocnień, przedstawia jedną całość zupełnie jednorodną i tworzącą jeden odłam którego wszystkie części pracują zależnie jedne od drugich i sprzeciwiają się ruchowi obrotowemu muru na około dolnéj krawędzi zewnętrznéj jego podstawy.

W tych warunkach otrzymamy równanie momentów następujące

$$\frac{H^3}{2c^2} + \frac{Hx}{4}\left(\frac{H}{c} + \frac{1}{2}x\right) = \frac{1}{2}\,\overline{0,30}^2 H^3,$$

z którego wyciągniemy wartość dla x i będzie

$$(e) \qquad x = \frac{H}{c}\left(-1 \pm \sqrt{0,36c^2 - 3}\right).$$

Roztrząsając wzór (e) dostrzegamy natychmiast, że jeżeli wartość ilości c powiększa się a zatém grubość zasłony (masque) $\frac{H}{c}$ się zmniejsza, wyskok x wzmocnień zwiększa się, lecz zawsze bryłowatość muru się zmniejsza. — Wypadałoby więc dla otrzymania jak największéj oszczędności zmniejszyć o ile można grubość zasłony (masque). Jednakże zmniejszenie to grubości nie może przejść pewnéj granicy, albowiem wówczas mur oporowy mógłby się zgiąć pod wpływem parcia.

Pan Talabot, budując z doskonałego kamienia, oznaczył téj grubości wartość równą 1/4 wysokości, zdaje nam się jednakże, że w podobnych warunkach można śmiało przyjąć dla $\frac{H}{c}$ wartość 1/5 a nawet 1/6 wysokości muru oporowego.

Jeżeli we wzorze (e) dla c przyjmiemy wartość 4, znajdziemy

$$x = \frac{H}{c}\left(-1 \pm \sqrt{0,36 \times \overline{4}^2 - 3}\right) = 0,165H,$$

a nadto bryłowatość średnia muru oporowego na metr bieżący będzie równą.

$$(f) \qquad B = 0,291\overline{H}^2.$$

Stosując wzory (e) i (f) do murów oporowych mających wysokości 5, 6, 9, 12 i 15 metrów, przyjęte powyżéj, utworzymy tablicę następującą podobną do podanych poprzednio.

Tablica VIII[a] *zawierająca grubość zasłony (masque), szerokość wyskoku wzmocnień i bryłowatość całego muru na metr bieżący w przypadku kiedy zasłona (masque) ma grubość równą* $\frac{H}{4}$.

WYSOKOŚĆ MURU OPOROWEGO	GRUBOŚĆ ZASŁONY (masque)	WYSKOK WZMOCNIENIA	BRYŁOWATOŚĆ MURU NA METR BIEŻĄCY
5,00	1,25	0,825	7,275
6,00	1,50	0,990	10,476
9,00	2,25	1,485	23,571
12,00	3,00	1,980	41,904
15,00	3,75	2,475	65,475

Jeżeli porównamy mury podane w powyższéj tablicy z murem typ, znajdziemy że oszczędność wynikająca z ich użycia jest prawie nic nieznaczącą, jest ona równą 1/33.

Zakładając grubość ściany muru oporowego równą 1/5 i wprowadzając tę wartość do wzoru (e) otrzymamy dla x wartość następującą :

$$x = 0{,}29\text{H},$$

a zatém

$$\text{B} = 0{,}273\text{H}^2,$$

i oszczędność takiego muru w porównaniu z murem typ stanie się równą $\frac{1}{11}$.

Gdyby nareszcie grubość ściany muru oporowego była równa $\frac{1}{6}$, to wprowadzając tę wartość do wzoru (e) otrzymalibyśmy dla x wartość następującą

$$x = 0{,}359\text{H},$$

a zatém

$$\text{B} = 0{,}257\text{H}^2,$$

a oszczędność takiego muru w porównaniu z murem typ byłaby równą

$$\frac{0{,}300 - 0{,}257}{0{,}30} = \frac{1}{7}.$$

Stosując teraz wzory powyżéj podane do obliczenia bryłowatości murów oporowych mających wysokości przyjęte powyżéj, utworzymy tablicę następującą :

Tablica IX.

WYSOKOŚĆ MURU OPOROWEGO	GRUBOŚĆ ZASŁONY (masque)	WYSKOK WZMOCNIENIA	BRYŁOWATOŚĆ ŚREDNIA MURU NA METR BIEŻĄCY
5,00	0,833	1,795	6,425
6,00	1,000	2,154	9,252
9,00	1,500	3,231	20,817
12,00	2,000	4,308	37,008
15,00	2,500	5,385	57,825

b) *Mury oporowe ze wzmocnieniami połączonemi ściśle z zasłoną muru* (*masque*) *za pomocą ćwiartki koła.* —Dla murów któremi w téj chwili zająć się zamierzamy warunki budowy są zupełnie też same co dla murów podanych powyżéj, są one wreszcie zupełnie zgodne z murem wystawionym przez p. Talabot'a na linii kolei żelaznéj nazwanéj powyżéj. —Cała różnica zachodząca pomiędzy temi murami a poprzedzającemi jest ćwiartka koła promienia jednego metra, któréj powierzchnia równa się $0^{m^2},215$; środek ciężkości téj cząstki muru znajduje się w odległości 40 centymetrów od linii porównania, a zatém moment wytrzymałości względem dolnéj krawędzi zewnętrznéj podstawy ma wartość następującą:

$$\frac{H^2}{2c^2}+\frac{0,43H}{4}\left(\frac{H}{c}+0,40\right)+\frac{Hx}{4}\left(\frac{H}{c}+\frac{x}{2}\right)=\frac{1}{2}\overline{0,30}^2H^3,$$

z którego znajdziemy wartość dla x i będzie

$$(g)\qquad x=-\frac{H}{c}\pm\sqrt{H^2\left(0,36-\frac{3}{c^2}\right)-0,86\frac{H}{c}-0,344}.$$

Tutaj jak poprzednio grubość zasłony (*masque*) może być równą $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ lub $\frac{1}{6}$ wysokości muru oporowego; zakładając więc najprzód

$$c=4$$

otrzymamy

$$x=-\frac{H}{4}\pm\sqrt{0,1725H^2-0,215H-0,344},$$

a stosując ten wzór do murów już poprzednio uważanych utworzymy tablicę następującą:

Tablica X[a] *zawierająca grubość zasłony* (*masque*), *wyskok wzmocnienia i bryłowatość średnią muru na metr bieżący.*

WYSOKOŚĆ MURU OPOROWEGO	GRUBOŚĆ ZASŁONY (masque)	WYSKOK WZMOCNIENIA	BRYŁOWATOŚĆ ŚREDNIA MURU NA METR BIEŻĄCY
5,00	1,250	0,451	7,351
6,00	1,500	0,640	10,005
9,00	2,250	1,170	23,850
12,00	3,000	1,450	41,640
15,00	3,750	2,190	66,075

Jeżeli obecnie we wzorze (g) za c podstawimy wartość 6 i zastosujemy do powyżéj przyjętych murów, ułożymy następującą tablicę.

Tablica XI[ta] *zawierająca grubość zasłony (masque), wyskok wzmocnienia i bryłowatość średnią muru na metr bieżący.*

WYSOKOŚĆ MURU OPOROWEGO	GRUBOŚĆ ZASŁONY (masque)	WYSKOK WZMOCNIENIA	BRYŁOWATOŚĆ ŚREDNIA NA METR BIEŻĄCY
5,00	0,833	1,587	6,550
6,00	1,000	1,960	9,430
9,00	1,500	3,060	21,352
12,00	2,000	4,150	37,740
15,00	2,500	5,230	58,725

Porównywając z sobą cztery ostatnie tablice widzimy, że przy téjże saméj wytrzymałości wzmocnienia połączone ze ścianą muru oporowego (masque) za pomocą ćwiartki koła kosztują więcéj niż mury zwyczajne, t. j. mające kształt prostokąta w planie.

7° *Mury oporowe ze wzmocnieniami i ścieńczeniem (fruit).* — Mury tego kształtu bardzo się rzadko używają, albowiem oszczędność na materyałach budowlanych otrzymana ze ścieńczenia jest zupełnie dostateczną żeby można było odrzucić w zupełności wzmocnienia, których użycie ma tylko wtenczas miejsce gdy ścieńczenia zrobić nie możemy. — Wzory służące do obliczenia tego rodzaju murów, gdyby przypadkiem napotkać je było można, otrzymałyby się z takąż samą łatwością jak i wzory które dla innych kształtów murów oporowych podaliśmy powyżéj i podamy w tém co następuje; nadzwyczajna rzadkość podobnych murów skłania nas do pozostawienia tego zadania do rozwiązania inżynierom, którzy z podobnéj kombinacyi korzystać by sobie życzyli; sami zaś przejdziemy do innéj kategoryi murów oporowych bardzo ważnéj, mającej niemal czy nie największe zastosowanie w konstrukcyi, t. j. do murów oporowych podtrzymywanych przez mury poprzeczne połączone za pomocą sklepień.

8° *Mury oporowe ze wzmocnieniami połączonemi za pomocą sklepień.* — W ostatnich czasach mocno weszły w użycie mury oporowe ze wzmocnieniami (contre-fort) od strony wewnętrznéj, połączonemi za pomocą sklepień. — Sklepienia rozciągające się od jednego wzmocnienia do drugiego mają tę zaletę, że ściśle łączą wzmocnienia (contre-fort) pomiędzy sobą i ze ścianą muru oporowego; służą one także do przerwania parcia i do oddalenia środka ciężkości całéj budowli od dolnéj krawędzi zewnętrznéj muru oporowego, na około któréj ruch obrotowy może mieć miejsce. Otrzymanie jednakże zupełnie ścisłe, korzyści wynikających z niniejszéj konstrukcyi polega nadewszystko na doskonałém wykonaniu mularki i na ścisłém połączeniu zasłony muru oporowego (masque) ze wzmocnieniami i ze sklepieniami łączącemi te ostatnie z sobą.

Gauthey był pierwszym, w zeszłym wieku, który podobnego kształtu muru oporowego użył przy budowie nadbrzeży w Châlons na Saonie. — Mur oporowy o którym mowa ma 5 do 6 metrów wysokości, 65 centymetrów grubości w wierzchołku i $1^{m},15$ grubości przy podstawie; ścieńczenie nadane mu wyrównywa $\frac{1}{12}$ i znajduje się na zewnętrznéj stronie ściany frontowéj muru oporowego. — Wytrzymałość tego muru została powiększona wzmocnieniami wewnętrznemi mającemi metr długości i tyleż wyskoku, oddalonemi od siebie o $5^m,30$ (odległość liczona pomiędzy osiami wzmocnień) i połączonemi za pomocą trzech pięter sklepień mających wysokości pod kluczem $1^m,60$. — Urządzenie to jak powiada Gauthey przyniosło mu $\frac{1}{3}$ oszczędności.

Ostatniemi czasy kształt muru oporowego przyjęty przez p. Gauthey znalazł liczne zastosowania szczególniéj przy budowie nadbrzeży Sekwany w samym Paryżu. Nadbrzeża Sekwany zostały pokryte murami oporowemi do których od strony gruntu dodane zostały wzmocnienia (contre-forts) oddalone jedne od drugich na 6 metrów, mające $1^m,20$ do $1^m,50$ długości licząc w kierunku długości muru z wyskokiem równym $2^m,20$, na tych wzmocnieniach spoczywają sklepienia służące do podtrzymania chodników. Jakkolwiek kosztowniejsze od muru oporowego zbudowanego w Châlons na Saonie o którym mówiliśmy poprzednio, jednakże p. Mary powiada, że niezwracając uwagi na koszta wynikające z mniejszéj lub większéj ilości materyału budowlanego użytego do ich zbudowania; urządzenie to winno być używaném wszędzie gdzie należy po nad murem robić chodniki, albowiem w ten sposób unikamy psucia się tych ostatnich w skutek układania się (tassement) nasypu na którym wprost spoczywa chodnik; wypadki tego rodzaju bardzo często napotykać się dają tam, gdzie wzmocnienia (contre-forts) murów oporowych nie są połączone za pomocą sklepień w górnéj swéj części.

Droga żelazna Zachodnia przyjęła na całéj linii kształt muru oporowego podany na tablicy tu dodanéj i nadto prawie wszystkie przyczółki mostów tam budowanych są w tym samym rodzaju.

Figury (13) wskazują wszystkie wymiary każdéj z części składowych muru o którym mowa.

Podobny system muru oporowego został także przyjętym przy budowie kanału Śgo Marcina.

We Włoszech napotykamy także mury oporowe ze sklepieniami zewnętrznemi, jakeśmy to wskazali na tablicy (fig. 15). W skutek co raz obszerniejszego zastosowania tego systemu murów oporowych, wydaje się rzeczą użyteczną podać tutaj sposób ich obliczania i wskazać w porównaniu z murem typ, jaka rzeczywiście jest korzyść wynikająca z ich użycia.

Mury tego systemu, jak to już powiedzieliśmy, mogą mieć ścieńczenia lub być pionowemi zewnętrznie, w skutek téj różnicy studyum nasze podzielimy na dwie części, w pierwszéj zajmiemy się murami oporowemi ze ścieńczeniem, a w drugiéj pionowemi.

Zadanie, którego rozwiązaniem zająć się zamierzamy, jest nadzwyczajnie złożone, albowiem ilości które uważać będziemy za niewiadome przybierać mogą najrozmaitsze wartości stosownie do danych przyjętych przedewszystkiém. — Żeby uniknąć tego rodzaju niedogodności i uczynić dowodzenie i wzór wynikający ogólnemi, przyjmiemy przedewszystkiém że ilości dane są zgodne z zasadami uświęconemi praktyką.

Ilości wiadome, które przyjmujemy, nie zwracając bynajmniéj uwagi na wysokość muru, są następujące:

Odległość pomiędzy osiami dwóch po sobie następujących wzmocnień równa $5^m,00$; długość wzmocnień równa $1^m,50$.

Grubość jednostajna sklepień równa $0^m,60$ zakreślona w podniebieniu promieniem równym 2^m90 i w grzbiecie promieniem równym $3^m,50$.

Ilości niewiadome pozostałe są więc: ścieńczenie zewnętrzne, grubość zasłony (masque) w wierzchołku muru, wyskok wzmocnienia i odległość pionowa pomiędzy dwoma po sobie następującemi piętrami sklepień.

Dla znalezienia wzoru ogólnego w którymby były zawarte wszystkie ilości nieznane i wszystkie ilości wiadome, zwrócimy przedewszystkiém uwagę na ten punkt bardzo ważny, że cała masa muru zawarta pomiędzy dwoma płaszczyznami pionowemi przechodzącemi przez środek odległości zawartéj pomiędzy dwoma wzmocnieniami będzie uważaną za masę jednolitą i że nadto przyjmujemy, że ciężar gatunkowy materyałów budowlanych i ziemi na nich spoczywającéj jest równy wartości średniéj ciężarów gatunkowych tych dwóch ciał, t. j. 1900 kilogramów.

W téj chwili możemy napisać równanie momentów względem dolnéj krawędzi zewnętrznéj muru oporowego i przyrównać go do momentu wytrzymałości muru typ, oznaczając przez

$\frac{1}{a}$ ścieńczenie zewnętrzne muru oporowego;

y grubość zasłony (masque) muru oporowego w wierzchołku;

b wysokość pionową pomiędzy osiami sklepień;

x wyskok wzmocnień licząc od zasłony muru oporowego;

otrzymamy równanie następujące:

$$(h) \qquad 2200\left[\frac{H^3}{3a}+Hy\left(\frac{H}{a}+\frac{y}{2}\right)\right]+1900.x\,(H-b)\left(\frac{x}{2}+y+\frac{H}{a}\right)=99H^3.$$

Wzór (h) jest właśnie wzorem szukanym i ogólnym obejmującym wszystkie niewiadome; chcąc więc rozwiązać zadanie należy pozostawić w niém jedną niewiadomę nadając pewne oznaczone wartości innym.

Jeżeli wzór (h) zastosujemy do jakiegoś praktycznego zadania i przyjmiemy że $b=2^m,20$, jak to ma zazwyczaj miejsce w praktyce, znajdziemy dla każdego z czterech przypadków na które w praktyce natrafić możemy, t. j. dla muru mającego

1° *Ścieńczenie zewnętrzne równe* $\frac{1}{10}$ *i grubość w wierzchołku równą* $\frac{H}{10}$.

2° *Ścieńczenie zewnętrzne równe* $\frac{1}{10}$ *i wyskok wzmocnienia równy jednemu metrowi.*

3° *Ścieńczenie zewnętrzne jakiekolwiek i grubość w wierzchołku równą* $\frac{H}{5}$.

4° *Ścieńczenie zewnętrzne jakiekolwiek i wyskok wzmocnienia równy jednemu metrowi*; następujące wypadki:

1y PRZYPADEK. *Mur mający ścieńczenie równe* $\frac{1}{10}$ *i grubość w wierzchołku równą* $\frac{H}{10}$. — Jeżeli we wzorze (h) podstawimy $a=10$ $b=2{,}20$ i $y=\frac{H}{10}$ otrzymamy równanie następujące

$$2200\left[\frac{H^3}{100}+\frac{H^2}{10}\left(\frac{H}{10}+\frac{H}{20}\right)\right]+1900\,x\,(H+2{,}20)\left(\frac{x}{2}+\frac{H}{10}+\frac{H}{10}\right)=99H^3$$

zkąd

$$x = \mathrm{H}\left(-0{,}20 \pm \sqrt{0{,}04 + \frac{0{,}0617\mathrm{H}}{\mathrm{H}-2{,}20}}\right),$$

a stosując to równanie do murów oporowych poprzednio uważanych, ułożymy następującą tablicę:

Tablica XII[a] *zawierająca wysokość muru oporowego, grubość zasłony (masque) w wierzchołku, wyskok wzmocnień i bryłowatość na metr bieżący, dla muru ze ścieńczeniem zewnętrzném równém* $\frac{1}{10}$, *ze wzmocnieniami i którego grubość zasłony w wierzchołku jest równa* $\frac{\mathrm{H}}{10}$.

WYSOKOŚĆ MURU	GRUBOŚĆ ZASŁONY (masque) W WIERZCHOŁKU	WYSKOK WZMOCNIEŃ	BRYŁOWATOŚĆ ŚREDNIA MURU NA METR BIEŻĄCY
5,00	0,50	0,93	5,89
6,00	0,60	1,02	8,03
9,00	0,90	1,34	17,33
12,00	1,20	1,68	31,07
15,00	1,50	2,02	47,74

Gdyby ścieńczenie było większe od $\frac{1}{10}$, grubość zasłony (masque) w wierzchołku powinna się zmniejszyć a tém samém i bryłowatość całego muru oporowego. — Pomiędzy ścieńczeniem i grubością zasłony (masque) w wierzchołku istnieje związek bardzo prosty, który wskazuje zarazem ich wzajemną zależność.

Związek ten jest następujący $\frac{a\mathrm{H}}{100}$, w którym a ma też samą wartość co w ułamku $\frac{1}{a}$, który służy nam do oznaczenia ścieńczenia. Gdyby ścieńczenie było równe $\frac{1}{4}$ np. wówczas grubość zasłony (masque) w wierzchołku równałaby się $\frac{4\mathrm{H}}{100} = 0{,}04\mathrm{H}$.—Gdyby ścieńczenie było równe $\frac{1}{10}$, wówczas grubość zasłony (masque) w wierzchołku równałaby się $\frac{10\mathrm{H}}{100} = 0{,}10\mathrm{H}$.

2° *Mury ze ścieńczeniem równém* $\frac{1}{10}$ *których wzmocnienia mają jeden metr wyskoku.*—Jeżeli we wzorze (h) za $\frac{1}{a}$ podstawimy $\frac{1}{10}$, za x jeden metr, wszystkie inne części zostając też same; otrzymamy, na grubość zasłony (masque) w wierzchołku wzór następujący:

$$2200\left[\frac{\mathrm{H}^3}{300} + \mathrm{H}y\left(\frac{\mathrm{H}}{10} + \frac{1}{2}y\right)\right] + 1900(\mathrm{H} - 2{,}20)\left(\frac{1}{2} + y + \frac{\mathrm{H}}{10}\right) = 99\mathrm{H}^3,$$

lub upraszczając, będzie,

$$(i) \qquad 110\mathrm{H}y^2 + (22\mathrm{H}^2 + 190\mathrm{H} - 418)y - 9{,}17\mathrm{H}^3 + 19\mathrm{H}^2 + 53{,}20\mathrm{H} - 209 = 0.$$

stosując tak otrzymamy wzór do pięciu powyżéj podanych murów oporowych ułożymy tablicę trzynastą zawierającą grubość zasłony w wierzchołku i bryłowatość średnią na metr bieżący muru wystawionego w powyżéj oznaczonych warunkach.

Tablica XIII[ta] *zawierająca wysokość murów oporowych, grubość zasłony w wierzchołku, wyskok jednostajny wzmocnień i bryłowatość średnią na metr bieżący.*

WYSOKOŚĆ MURU OPOROWEGO	GRUBOŚĆ ZASŁONY W WIERZCHOŁKU	WYSKOK WZMOCNIENIA	BRYŁOWATOŚĆ ŚREDNIA NA METR BIEŻĄCY
5,00	0,47	1,00	5,90
6,00	0,61	1,00	8,04
9,00	1,15	1,00	18,26
12,00	1,75	1,00	33,84
15,00		1,00	52,98

Porównywając z sobą tablice 12[a] i 13[a] dostrzegamy, że bryłowatość murów oporowych zawartych w tablicy 13[éj] przewyższa o wiele bryłowatość murów odpowiedniéj wysokości zawartych w tablicy 12[éj], różnica ta jest szczególniéj znaczną w murach bardzo wysokich i pochodzi nadewszystko z daleko większéj grubości zasłony w ostatnim systemacie murów oporowych i z wyskoku wzmocnień.

3° *Mury bez ściężenia, grubość w wierzchołku równa* $\frac{H}{5}$. Podstawiając we wzorze (h) za niewiadome, wartości odpowiadające naszemu przypadkowi, t. j. za

$$\frac{1}{a}=0,\ b=2{,}20,\ y=\frac{1}{5}H,$$

otrzymamy wzór następujący :

$$2200\frac{H^3}{50}+1900x(H-2{,}20)\left(\frac{1}{2}x+\frac{1}{5}H\right)=99H^3$$

z którego znajdziemy wartość dla x i będzie :

$$x=H\left(-0{,}20\pm\sqrt{0{,}04\pm\frac{55H}{950\,(H-2{,}20)}}\right) \qquad (k)$$

Stosując wzór (k) do pięciu powyżéj podanych murów oporowych ułożymy tablicę czternastą.

Tablica XIV[a] *zawierająca wysokość muru oporowego, grubość zasłony w wierzchołku, wyskok wzmocnień i bryłowatość średnią na metr bieżący.*

WYSOKOŚĆ MURU OPOROWEGO	GRUBOŚĆ ZASŁONY W WIERZCHOŁKU	WYSKOK WZMOCNIENIA	BRYŁOWATOŚĆ ŚREDNIA NA M. BIEŻĄCY
5,00	1,00	0,90	7,07
6,00	1,20	0,96	9,68
9,00	1,80	1,27	21,11
12,00	2,40	1,60	37,83
15,00	3,00	1,93	58,37

4[ty] Przypadek. — *Mury bez ścieńczenia kiedy wyskok wzmocnienia jest równy jednemu metrowi.* — Podstawiając jak poprzednio we wzorze (*h*) wartości odpowiadające naszemu przypadkowi to jest za

$$\frac{1}{a}=0,\ b=2^{m},20.\quad \text{i}\quad x=1^{m},00$$

otrzymamy na wartość grubości zasłony w wierzchołku

$$2200\,\frac{Hy^2}{2}+1900\,(H-2{,}20)\left(\frac{1}{2}+y\right)=99H^3,$$

zkąd znajdziemy wartość dla y i będzie

$$(l)\qquad y=-0{,}864\left(\frac{H-2{,}20}{H}\right)\pm\sqrt{\left[0{,}864\left(\frac{H-2{,}20}{H}\right)\right]^2-0{,}864\left(\frac{H-2{,}20}{H}\right)+0{,}09H^2}$$

stosując wzór (*l*) do pięciu murów podanych powyżej ułożymy tablicę następującą.

Tablica XV[a] *zawierająca wysokość murów oporowych, grubość zasłony w wierzchołku, wyskok wzmocnień i bryłowatość średnią na metr bieżący.*

WYSOKOŚĆ MURU OPOROWEGO	GRUBOŚĆ ZASŁONY W WIERZCHOŁKU	WYSKOK WZMOCNIENIA	BRYŁOWATOŚĆ ŚREDNIA MURU NA METR BIEŻĄCY
5,00	0,93	1,00	6,95
6,00	1,18	1,00	9,66
9,00	2,01	1,00	21,96
12,00	2,87	1,00	40,07
15,00	3,74	1,00	63,03

Porównywając z sobą cztery poprzedzające tablice dotyczące murów oporowych ze ścieńczeniem i wzmocnieniami wewnętrznemi połączonemi za pomocą sklepień, dostrzegamy że najkorzystniejszy system tych murów odpowiada murowi oporowemu którego ścieńczenie zasłony wyrównywa $\frac{1}{10}$ i grubość jéj w wierzchołku $\frac{1}{10}$ wysokości. Gdyby jednakże nie było możebném zrobić ścieńczenia, to jest gdyby zasłona muru oporowego musiała być pionową, wówczas zastosowanie systematu objętego przypadkiem 3$^{\text{im}}$ stałoby się najkorzystniejszém, albowiem grubość zasłony (masque) pionowéj wyrównywa w tym przypadku $\frac{1}{5}$ wysokości muru. Grubość zosłony o któréj mowa mogłaby być sprowadzoną do $\frac{1}{6}$ wysokości i w takim razie, nie naruszając bynajmniéj wytrzymałości muru oporowego, moglibyśmy otrzymać daleko większą oszczędność. Wszystkie dane przyjęte w rozwiązywaniu niniejszych zadań są uświęcone praktyką i zdają się najlepiéj odpowiadać warunkom dobréj konstrukcyi. Na tém kończemy poszukiwania nasze dotyczące murów oporowych mających wzmocnienia wewnętrzne połączone za pomocą sklepień, obecnie więc zajmiemy się innym kształtem murów oporowych a mianowicie : murami których ściany jużto wewnętrzna, już też zewnętrzna lub obydwie razem mają kształt krzywych zbliżających się do krzywéj ciśnień.

8° *Mury oporowe o ścianach krzywych.* — Mury oporowe o ścianach krzywych wziąły swój początek przy budowie tam (barage) kamiennych. Chcąc otrzymać jednostajne ciśnienie we wszystkich punktach najwięcéj oddalonych od środków ciężkości każdéj warstwy muru, p. de Sazilly inżynier dróg i mostów (*) znalazł że kształt ścian zewnętrznych takiego muru powinien być krzywym. Krzywa która wypada w skutek powyżéj podanego warunku, jednostajności ciśnień, może przyjąć nazwę krzywéj *równéj wytrzymałości* ; poszukiwania analityczne dotyczące téj krzywéj doprowadziły p. de Sazilly do równania, które wyrażone w logarytmach zwyczajnych, ma kształt następujący :

$$y = 2{,}3026\,\lambda \log \frac{x}{\lambda}.$$

Równanie powyższe przedstawia krzywę logarytmiczną, a znaki w niém zawarte mają znaczenie następujące :

λ oznacza największą wysokość którą można dać murowi pionowemu, nie przekraczając granicy wytrzymałości poprzednio naznaczonéj, w żadnym z jego punktów;

x oznacza szerokość przecięcia poprzecznego muru oporowego, czyli mówiąc inaczéj odciętę krzywéj logarytmicznéj.

Dalsze poszukiwania p. de Sazilly, w kwestyi którą się w téj chwili zajmujemy, doprowadziły tego Inżyniera do przekonania, że najkorzystniejsze przecięcie teoretyczne muru służącego do otoczenia jakiegokolwiek zbiornika jest wtenczas, gdy ściana muru nadbrzeżnego od strony wody leżąca jest pionową, a ściana od strony nadbrzeża ma pewne ścieńczenie ; taki kształt muru przedstawia najmniejszą grubość nie przestając odpowiadać w zupełności warunkom wytrzymałości. Pokazało się nadto : 1° że ścieńczenie powinno wzrastać odpowiednio do wysokości muru oporowego, wtenczas tylko bowiem wytrzymałość muru zostanie jednostajną; 2° że mury oporowe zbudowane z tym jedynie zastrzeżeniem, żeby ciśnienie maximum miało miejsce na podstawie, są zawsze za bardzo silne we wszystkich pozostałych częściach, to jest na całéj ich wysokości, a zatém koszta wynikające z użycia niepotrzebnego zbytecznéj części materyałów budowlanych nie mogą być niczém usprawiedliwione.

Widzimy z powyżéj podanych wypadków że przecięcie poprzeczne muru nadbrzeżnego będzie naj-

(*) *Annales des Ponts et Chaussées*. Année 1853, deuxième semestre.

korzystniejszém wtenczas gdy ściana jego będzie pionową od strony wody a ściana leżąca od strony ziemi przedstawi krzywę któréj wklęsłość będzie obróconą na zewnątrz; krzywa o któréj mowa winna być wyznaczoną w ten sposób ażeby ciśnienie największe na które praktyka zezwolić może nie przechodziło granicy wytrzymałości. Zastosowanie rezultatu do którego w téj chwili doszliśmy nie ogranicza się na samych murach nadbrzeżnych zostających pod działaniem wody, winno ono być rozciągnięte do wszystkich przypadków w których mur oporowy ma do podtrzymania nie tylko parcie wywarte pod wpływem swego własnego ciężaru i nasypu po za nim leżącego, lecz nadto ciężary przypadkowe. Podobny kształt muru został przyjęty przez Smeaton'a przy budowie latarni morskiéj w Edystone, jednakże powody które skłoniły tego Inżyniera do przyjęcia kształtu o którym mowa pochodziły nadewszystko z chęci zabezpieczenia muru od działania bałwanów morskich, które rozbijają się o jego podstawę. Z tego samego powodu p. Emy przyjął formę o któréj mowa do budowy murów nadbrzeżnych we Francyi.

Wykonanie praktyczne muru oporowego przedstawiającego formę którą się zajmujemy przedstawia wielkie trudności z powodu ściany krzywéj dla oddania któréj należy osobno ciosać kamienie tworzące zewnętrzną część widzialną muru, nadto dodać tu winniśmy natychmiast, że przyjmując stosugi w murze oporowym, jak to ma zazwyczaj miejsce, za poziome; ostateczne kamienie miały by kąty bardzo ostre i przedstawiały by wielką łatwość do zniszczenia, w celu więc uniknienia tego niedostatku należy zmienić kierunek stosug w ich końcach czyniąc je normalnemi do powierzchni zewnętrznéj muru.

Wykonanie w ten sposób powierzchni widzialnéj (zewnętrznéj) muru pociąga za sobą wielkie koszta, które nie tylko że pochłaniają całą oszczędność zrealizowaną na użyciu mniejszéj ilości materyałów budowlanych, lecz nadto w skutek trudności ich wykonania o wiele ją przewyższają. Dla uniknienia więc podanych tu niedogodności, Inżynierowie zajmujący się podobnego rodzaju robotami zastąpili te trudne do wykonania przecięcia poprzeczne, jakkolwiek zgodne z teoryą, murami mającemi schody tak z jednéj jak z drugiéj strony jeżeli idzie o mur tamy, lub z jednéj tylko strony jeżeli idzie o mur tworzący nadbrzeże jakiegoś zbiornika, lub po prostu jakiegoś nasypu.

Oprócz murów o ścianach krzywych o których dotąd była mowa są jeszcze inne kształty zawsze o ścianach krzywych które znajdzie czytelnik na tablicy w końcu niniejszéj pracy umieszczonéj (fig. 15, 16, 17, 18).

Kształty murów o których mowa w téj chwili mogą być zaliczone do kategoryi murów ze ścieńczeniem zewnętrzném, o których była mowa powyżéj, zajmujemy się niemi tutaj jedynie z téj przyczyny, że nawet w porównaniu z murami o ścieńczeniu zewnętrzném przedstawiają one pewną oszczędność która wynika ztąd, że środek ciężkości takich murów bardziéj się oddala od osi obrotu, która zawsze jest krawędzią dolną i zewnętrzną podstawy, jak dla murów o ścieńczeniu zewnętrzném a zatém moment ich wytrzymałości jest zawsze większy i żeby on ściśle odpowiadał momentowi muru typ, należy zmniejszyć bryłowatość materyałów budowlanych wchodzących w skład muru o ścianach krzywych.

Przy użyciu murów oporowych o ścianach krzywych, napotykamy bardzo ważną niedogodność a mianowicie: Jeżeli wysokość takiego muru jest znaczną zdarzyć się może że linia przechodząca przez środek ciężkości budowli przypada na zewnątrz podstawy od strony nasypu, jeżeli więc grunt na którym mur oporowy został zbudowany, nie przedstawia dostatecznéj wytrzymałości, wówczas mur oporowy może się obsunąć na podstawie i przewrócić w tył łamiąc się w pewnych częściach leżących blizko podstawy.

Bywają przypadki że w skutek obwiśnienia nasypu znajdującego się po za murem oporowym, następuje wsiąkanie wody pomiędzy murem i ziemią a następnie robi się próżnia w skutek któréj mur oporowy nie znajdując dostatecznego punktu oparcia wygina się w rozmaitych miejscach. Dla zapobieżenia niedogodnościom o których mówimy, należy albo raz na zawsze odrzucić ich użycie dla murów znacznéj wysokości, lub też nadać im podstawę stałą taką żeby linia przechodząca przez środek ciężkości przecięcia poprzecznego nie przypadała nigdy na zewnątrz podstawy; dla otrzymania tego ostatniego warunku dodają zazwyczaj od strony wewnętrznéj wzmocnienia dostatecznie duże, zamknięte ścianami pionowemi lub pochylonemi ku stronie zewnętrznéj muru licząc od podstawy i dążąc ku wierzchołkowi; wzmocnienia te nie powinny być oddalone od siebie więcéj jak wzmocnienia używane przy budowie murów ze sklepieniami na wewnątrz o których mówiliśmy powyżéj. Jednakże warunki w jakich w téj chwili przedstawia się nam kwestya murów oporowych o ścianach krzywych dają dużo do myślenia, albowiem mury dodatkowe tworzące wzmocnienia muru głównego lub też, jak to czasem ma miejsce mury z kamienia użytego na sucho, wystawiają częstokroć na znaczne koszta, tak że porównywając cenę muru zwyczajnego z ceną muru c ścianach krzywych, których to ścian wykonanie, kosztuje zawsze daleko drożéj od innych, z dodatkami o których mowa, mur o ścianach krzywych przyjęty niby dla zrealizowania oszczędności, pokaże się być droższym od muru zwyczajnego t. j. o ścianach prostych; zdaje nam się bardzo ważném zwrócenie uwagi Inżynierów na niniejszy punkt, którego bardzo wystrzegać się należy.

Zobaczmy obecnie pomijając wszystkie niedogodności, o których tylko co mówiliśmy, jaką oszczędność przedstawia, w porównaniu z murem typ, przyjęcie muru o ścianach krzywych. Przypuścimy w téj pracy czysto porównawczéj że wszelkie warunki doskonałéj stałości zostały dopełnione i uważać będziemy wyłącznie część muru oporowego o ścianach krzywych, zawartą pomiędzy temi dwoma ścianami.

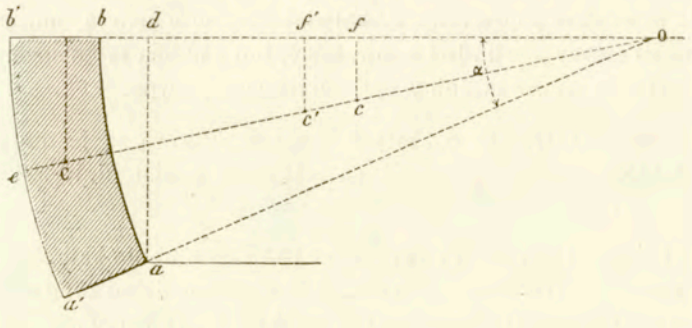


Fig. 15.

Przypuśćmy że ściany krzywe naszego muru są łukami kół, zakreślonemi z punktu O promieniami równemi Ob i Ob'; nazwijmy wysokość daną ad przez H i ścieńczenie dane niech będzie bd. Znając pół cięciwy ad i strzałkę bd z łatwością znajdziemy wartość kąta α, promień Oa i nareszcie długość wyprostowaną łuku ab. Nazwijmy x wielkość promienia Ob' drugiego łuku tworzącego ścianę wewnętrzną muru oporowego, z całą łatwością wyrazimy wszystkie elementa drugiego łuku $a'b'$ w funkcyi tego promienia zważając że kąt α jest znany.

Wiemy, że powierzchnia muru oporowego $abb'a'$ równa się różnicy dwóch wycinków $Oab' - Oab$, chcąc więc znaleźć moment muru oporowego względem jego dolnéj krawędzi zewnętrznéj, któréj rzutem jest punkt a, dostateczném będzie znaleźć moment każdego z wycinków względem tego punktu i wziąć ich różnicę, a zakładając ją równą momentowi muru typ, otrzymamy szukane równanie momentów.

Wiemy że środek ciężkości jakiegokolwiek wycinka kołowego znajduje się w odległości równéj dwóm trzecim długości promienia przechodzącego przez środek łuku, licząc od środka koła; wiemy nadto że powierzchnie wycinków równe są.

$$\text{Powierzchnia wycinka } Oab = \text{łuk } ab \times \frac{r}{2} = \frac{lr}{2},$$

$$\text{„ \quad „ } \quad Oa'b' = \text{łuk } a'b' \times \frac{x}{2} = \frac{l'x}{2},$$

a zatém momenty ich względem punktu a są

$$m = \frac{lr}{2}(Od - Of) = \frac{lr}{2}\left(r \operatorname{dos} \alpha - \frac{2}{3} r \operatorname{dos} \frac{1}{2}\alpha\right),$$

$$m' = \frac{l'x}{2}(Od - Of') = \frac{l'x}{2}\left(x \operatorname{dos} \alpha - \frac{2}{3} x \operatorname{dos} \frac{1}{2}\alpha\right).$$

Równanie więc momentów jest następujące:

$$(m) \qquad -\frac{lr}{2}\left(r \operatorname{dos} \alpha - \frac{2}{3} r \operatorname{dos} \frac{1}{2}\alpha\right) + \frac{l'x}{2}\left(x \operatorname{dos} \alpha - \frac{2}{3} x \operatorname{dos} \frac{1}{2}\alpha\right) = \frac{1}{2}\overline{0{,}30}^2\, H^3.$$

Ponieważ łuk l' możemy wyrazić w funkcyi promienia x zatém równanie (m) jest równaniem stopnia trzeciego względem x, którego rozwiązanie otrzymać możemy za pomocą sposobu Kardan'a.

Zwrócimy tu tylko uwagę czytelników że z pomiędzy pierwiastków rzeczywistych które otrzymać możemy ten tylko będzie odpowiadał zadaniu, który dla x da wartość większą od r. Zostawiając rozwiązanie tego zadania czytelnikom odprowadziłoby ono bowiem za daleko od zamierzonego celu w niniejszéj pracy, przystąpimy do zastosowania wzoru (m) do kilku murów oporowych które w praktyce natrafić się dają.

Mur o ścianach krzywych dla którego kąt α jest równy 30°.

Jeżeli kąt α jest równy 30° wówczas

$$\operatorname{dos} \alpha = 0{,}866;\ \operatorname{dos} \frac{1}{2}\alpha = 0{,}966;\ r = \frac{H}{\operatorname{wst} \alpha} = 2H;\ l = 0{,}5236\, r;\ l' = 0{,}5236\, x.$$

Podstawiając w równaniu (m) za ilości wartości tu podane otrzymamy że powierzchnia jego jest równą 0,1635 H², a grubość, równą 0,15 H.

Mur o ścianach krzywych dla którego kąt α równa się 20°.

Czyniąc $\alpha = 20°$ otrzymamy,

$$\operatorname{dos} \alpha = 0{,}9397;\ \operatorname{dos} \frac{1}{2}\alpha = 0{,}9848;\ r = 2{,}924\, H;\ l = 0{,}349\, r;\ l' = 0{,}349\, x.$$

a zatém

Powierzchnia muru równa 0,1959 H²; a jego grubość 0,186 H.

Mur o ścianach krzywych którego ścieńczenie bd wyrównywa jednéj dziesiątej.

Ażeby można było porównać pomiędzy sobą mury oporowe rozmaitych kształtów, podane powyżéj, i z murem o ścianach krzywych którym się w téj chwili zajmujemy, przyjmiemy że odległość *bd* wyrównywa w zupełności ścieńczeniu jednéj dziesiątéj wysokości całkowitéj H. W skutek tego założenia ilości zawarte we wzorze (*m*) przyjmą wartości następujące.

$$r = 5{,}05\,\mathrm{H}\,;\ \alpha = 11^\circ 26'\,;\ \cos\alpha = 0{,}980\,;\ \cos\frac{1}{2}\alpha = 0{,}995\,;\ l' = 0{,}1995\,x\,;\ l = 0{,}1995\,r.$$

Podstawiając te wartości w równaniu (*m*) otrzymamy :

Grubość muru równą jest 0,23 H;

Powierzchnia « « $0{,}237\,\overline{\mathrm{H}}^2$.

Jeżeli obecnie zastosujemy wzór (*m*) do murów mających wysokości równe 5, 6, 9, 12 i 15 metrom, ułożymy tablicę następującą która odrazu wskaże różnice bryłowatości murów o ścianach krzywych z bryłowatościami murów innych kształtów.

Tablica XVI *zawierająca grubość i bryłowatość murów o ścianach krzywych współśrodkowych odpowiadających ścieńczeniu* $\frac{1}{10}$.

WYSOKOŚĆ MURU OPOROWEGO	GRUBOŚĆ MURU	BRYŁOWATOŚĆ MURU NA METR BIEŻĄCY
5,00	1,15	5,925
6,00	1,38	8,532
9,00	2,07	19,197
12,00	2,76	34,128
15,00	3,45	53,325

Jeżeli porównamy tablicę 16ᵗᵃ z tablicą 2ᵍᵃ obejmującą mur prosty ze ścieńczeniem zewnętrznem wyrównywającém jednéj dziesiątéj, dostrzeżemy, że mur o ścianach krzywych jest mniéj kosztowny od muru prostego. Porównywając mur o ścianach krzywych z murem typ, którego bryłowatość równa się $0{,}30\,\mathrm{H}^2$ dostrzegamy że oszczędność w bryłowatości muru o ścianach krzywych wyrównywa prawie jednéj piątéj bryłowatości muru typ.

Kończąc to studyum porównawcze pomiędzy murami oporowemi najrozmaitszych kształtów, których zastosowanie uświęconém zostało praktyką, musimy dodać słów kilka wyjętych z prac p. Scheffler'a i dotyczących sposobu robienia nasypu znajdującego się po za murem oporowym mającym, już to schody już téż zwyczajne ścieńczenie wewnętrzne.

Pan Scheffler wyraża się jak następuje : « W celu zmniejszenia parcia ziemi na mur oporowy służący do utrzymania nasypu w równowadze, zalecać należy żeby ten nasyp był usypywany warstwami nachylonemi ku murowi i ubijanemi na całéj swéj powierzchni, w miarę ich wznoszenia się, lecz tylko do pewnéj niewielkiéj odległości od samego muru, to jest, żeby pozostawić zawsze pewną małą cząstkę dotykającą muru zupełnie swobodną, w ten bowiem sposób postępując, nasyp ubity przyjmie nachylenie większe od spadku naturalnego ziemi, nie powiększając bynajmniéj, w skutek ubijania, parcia jego na mur oporowy ». Sposób postępowania podany przez p. Scheffler'a zdaje nam się zalecać szczególniéj dla murów oporowych ze ścieńczeniem wewnętrzném, albowiem przyczynia on się wiele do jednostajnego układania się szczególniéj górnych warstw nasypu i zmniejsza w ten sposób ich parcie na odpowiednie części muru.

Dla zupełnego wyczerpania kwestyi, którą się w téj chwili zajmujemy podamy tu tablicę obejmującą ostateczne wypadki podane w całym ciągu tego porównawczego studyum.

Tablica XVII *ułatwiająca porównanie różnych kształtów murów oporowych pod względem bryłowatości materyałów budowlanych do ich budowy użytych.*

OZNACZENIE KSZTAŁTU MURU.	WZÓR służący do oznaczania objętości średniéj na metr bieżący.	WYSOKOŚĆ MURÓW PORÓWNYWANYCH.				
		$5^m,00$	$6^m,00$	$9^m,00$	$12^m,00$	$15^m,00$
Mur ze wzmocnieniami zewnętrznemi..................	$0,208\overline{H}^2$	$5^{m^3},21$	$7^{m^3},5$	$16^{m^3},88$	$30^{m^3},00$	$46^{m^3},88$
Mur ze wmocnieniami wewnętrznemi połączonemi za pomocą sklepień i o ścieńczeniu równém $\frac{1}{10}$; grubość w wierzchołku równa $\frac{H}{10}$...........	$0,220\overline{H}^2$	5,89	8,03	17,33	31,07	47,74
Mur ze wzmocnieniami mającemi metr wyskoku i ze ścieńczeniem równém $\frac{1}{10}$, połączonemi za pomocą sklepień.	$0,231\overline{H}^2$	5,90	8,04	18,26	33,84	52,98
Mur o ścianach krzywych odpowiadający murowi ze ścieńczeniem równém $\frac{1}{10}$..........	$0,237\overline{H}^2$	5,93	8,53	19,20	34,13	53,33
Mur pełny ze ścieńczeniem równém $\frac{1}{10}$................	$0,255\overline{H}^2$	6,39	9,20	20,70	36,79	57,49
Mur ze wzmocnieniami wewnętrznemi prostokątnemi, którego grubość zasłony wyrównywa $\frac{H}{6}$..................	$0,257\overline{H}^2$	6,43	9,25	20,82	37,01	57,83

Tablica XVII (ciąg dalszy i koniec).

OZNACZENIE KSZTAŁTU MURU.	WZÓR służący do oznaczania objętości średniéj na metr bieżący.	WYSOKOŚĆ MURÓW PORÓWNYWANYCH.				
		$5^m,00$	$6^m,00$	$9^m,00$	$12^m,00$	$15^m,00$
Mur ze wzmocnieniami zewnętrznemi okrągłemi, grubość zasłony wyrównywa $\frac{H}{6}$	$0,262\overline{H}^2$	6,55	9,43	21,35	37,74	58,73
Mur pełny ze schodami wewnętrznemi..................	$0,265\overline{H}^2$	6,62	9,53	21,35	38,13	59,58
Mur bez ścieńczenia ze wzmocnieniami wewnętrznemi połączonemi za pomocą sklepień, grubość zasłony wyrównywa $\frac{H}{6}$	$0,267\overline{H}^2$	7,07	9,68	21,61	38,37	59,99
Mur bez ścieńczenia ze wzmocnieniami wewnętrznemi mającemi metr wyskoku i połączonemi za pomocą sklepień.	$0,275\overline{H}^2$	7,12	9,75	21,96	40,07	63,03
Mur pełny ze ścieńczeniem wewnętrzném równém $\frac{1}{10}$......	$0,2986\overline{H}^2$	7,47	10,75	24,19	43,00	67,19
Mur pionowy pełny służący za typ, którego grubość równa się 0,30 wysokości.........	$0,30\overline{H}^2$	7,50	10,80	24,30	43,20	67,50

Dla zupełnego wyczerpania kwestyi należałoby tu dodać tablicę obejmującą koszta na które budowa każdego z wymienionych kształtów wystawia, z uwagi jednakże 1° że obliczenie anszlagu nie przedstawia prawie żadnych trudności; 2° że ceny materyałów budowlanych zmieniają się stosownie do okoliczności i miejsca i 3° że przyjmując pewne ceny, w ten sposób ułożona tablica żadnych bezpośrednich korzyści nie mogłaby przynieść czytelnikowi, ograniczymy się tylko na zwróceniu uwagi na ten punkt, że mury o ścianach krzywych wymagają oprócz nabycia samego materyału, ogromnéj pracy przy ich urządzaniu i szczególnego ciosania za które stosownie do materyału użytego często należy płacić bardzo wysokie ceny.

Rzuciwszy okiem na tablicę 17tą dostrzegamy natychmiast, że mur typ ktorego grubość wyrownywa 0,30 wysokości jest najkosztowniejszy; porównywając więc z nim wszystkie inne kształty dochodzimy do następujących wypadków:

a) W jakimkolwiek przypadku można zawsze zastąpić mur pionowy służący za typ na inny, któryby w tychże samych warunkach wytrzymałości i stałości, przedstawiał oszczędność równą 1/3 kosztów całkowitych muru służącego za typ.

b) Kształt muru najkorzystniejszy ze wszystkich, któreśmy podali powyżéj jest ten, którego ściany są pionowe z murami poprzecznemi wzmocnieniami (contrefort) na zewnątrz, w którym grubość samego muru pomiędzy murami poprzecznemi, zasłony (masque) jest równą 1/6 wysokości (fig. 2). Budowa takiego muru kosztuje blisko 1/3 mniéj niż budowa muru typ, kształt ten ma tylko tę niedogodność, że wszędzie użytym być nie może i w skutek tego bardzo on jest rzadko używanym.

c) Kształt najbardziéj zbliżający się do poprzedniego pod względem kosztów jest ten, którego ściana zewnętrzna ma nachylenie równe 1/10, a ściana wewnętrzna poprzedzielana jest murami poprzecznemi, wzmocnieniami połączonemi z sobą za pomocą sklepień. Grubość tego muru w wierzchołku wyrównywa 1/10 jego wysokości. Oszczędności wynikające z użycia tego kształtu (fig. 3) dochodzą do 1/4 w porównaniu z murem typ. Zastosowanie tego kształtu muru może być wszędzie użyte, z tego więc powodu podamy poniżéj szczegółowy opis jego budowy.

d) Kształt muru najwięcéj zbliżający się do poprzedzającego jest ten, w którym ściana zewnętrzna ma nachylenie równe 1/10, a którego ściana wewnętrzna jest poprzedzielaną murami poprzecznemi, wzmocnieniami, mającemi jeden metr długości i połączonemi z sobą za pomocą sklepień (fig. 4).

e) W dalszym ciągu idzie mur krzywy, którego zastosowanie prowadzi jeszcze do dość znacznéj oszczędności.

f). Wszystkie pozostałe kształty w porównaniu z pierwszym, to jest z typem, prowadzą także do pewnych oszczędności, lecz bardzo już małych, ich szczegółowy rozbiór nie przedstawia nic zajmującego.

Główniejsze zasady dotyczące budowy muru oporowego ze wzmocnieniami zewnętrznemi połączonemi za pomocą sklepień. — Jak to już powiedzieliśmy powyżéj, mur o którym mowa, może być użytym wszędzie; powszechne to jego zastosowanie, skłania nas do podania tu niektórych prawideł, uświęconych praktyką, których odstępować nie należy przy jego budowie.

Vauban dla powiększenia wytrzymałości murów oporowych, uznał za stosowne dodawać do każdego z nich wzmocnienia (contreforts) połączone sklepieniami, przezorność ta dobra w pewnych razach, zdaje nam się zbyteczną w przypadku, gdy wymiary muru oporowego, będąc obliczone za pomocą wzorów ścisłych, w których zwraca się uwagę na wszystko co tylko w praktyce nadarzyć się może, pzzedstawiają dostateczną wytrzymałość przeciwko ruchowi obrotowemu lub obsuwaniu się ich na podstawie.

W tak obliczonych murach oporowych dodawanie wzmocnień wewnętrznych połączonych sklepieniami, prowadzi tylko do powiększenia kosztów nie przynosząc żadnéj korzyści.

Liczba pięter utworzonych przez sklepienia, wiążące wzmocnienia, zmienia się stosownie do wysokości muru oporowego i tak: dla murów oporowych mających wysokość pięciu metrów, dwa piętra sklepień są zupełnie wystarczające, albowiem dzielą one parcie wywarte przez nasyp w sposób prawie doskonały.

Jeżeli wysokość muru oporowego zwiększa się liczba pięter sklepień wewnętrznych powiększa się także, otóż dla murów mających sześć metrów wysokości, dwa piętra sklepień są jeszcze wystarczające, lecz jeżeli wysokość muru dochodzi do dziewięciu metrów, potrzeba umieścić trzy piętra sklepień; dla muru mającego dwanaście metrów wysokości, trzeba cztery piętra sklepień; potrzeba pięć pięter dla muru mającego pietnaście metrów wysokości; sześć dla jeszcze wyższego i t. d., stosownie do wysokości muru dodając jedno piętro co trzy metry.

Odległości liczone pomiędzy osiami wzmocnień, nie powinny pod względem praktycznym przechodzić $2^m,50$, albowiem odległość ta jest dostateczną i w zupełności zadawalniającą w praktyce.

Kończąc tę część drugą, podajemy szczegółowy opis główniejszych typów zawartych w tablicy dołączonéj przy końcu niniejszéj pracy.

Figura 1sza. — Przedstawia mur typ o ścianach pionowych, którego grubość jest równa $0^m,30$ wysokości.

« 2 i 2bis. — Przedstawia mur pionowy z murami poprzecznemi, wzmocnieniami, na zewnątrz, którego grubość jest równa 1/6 wysokości (najkorzystniejszy).

« 3cia. — Przedstawia mur, którego ściana zewnętrzna ma nachylenie równe 1/10 wysokości, a ściana wewnętrzna poprzedzielana jest wzmocnieniami połączonemi za pomocą sklepień; grubość zasłony w wierzchołku równa się się 1/10 wysokości.

« 4ta. — Przedstawia mur podobny do poprzedniego, którego grubość w wierzchołku jest jakakolwiek, a długość wmocnień równa się jednemu metrowi.

« 5ta. — Przedstawia mur pionowy ze schodami wewnętrznemi.

« 6ta. — « « « ze ścieńczeniem wewnętrzném.

« 7ma. — « « « « zewnętrzném.

« 8 i 8bis. — « « pionowy ze wmocnieniami wewnętrznemi.

« 9ta — Przedstawia mur pionowy jednakowéj wytrzymałości.

« 10ta. — Przedstawia mur pionowy ze wmocnieniami wewnętrznemi, które są połączone z zasłoną za pomocą ćwiartki koła o promieniu równym jednemu metrowi, kształt ten był użytym przy budowie muru oporowego na linii kolei żelaznéj z Lyonu do Awinionu przez p. Paulina Talabot.

« 11ta. Przedstawia mur pionowy ze wzmocnieniami wewnętrznemi, którego ściana zewnętrzna jest pochyła.

« 12i 12bis. — Przedstawia mur pionowy ze wzmocnieniami wewnętrznemi połączonemi zapomocą sklepień. Kształt ten znalazł zastosowanie w bardzo wielu miejscach w Paryżu.

« 13ta. — Przedstawia mur ze ścieńczeniem, zewnętrzném, podzielony wzmocnieniami wewnętrznemi połączonemi za pomocą sklepień, który znalazł zastosowanie w wykopie Europejskim (tranchée de l'Europe) przy kolei Zachodniéj; figura 13 daje wszystkie jego wymiary; koszta jego budowy wynoszą 358 franków na metr bieżący.

« 14 i 14bis. — Przedstawia mur pionowy, którego ściana wewnętrzna jest podzielona wzmocnieniami wewnętrznemi, połączonemi za pomocą sklepień ze schodami, był on przyjętym w wykopie kolei żelaznéj z Paryża do Auteuil; figury 14 i 14bis dają wszystkie szczegóły jego budowy, a koszta wynoszą 156 franków na metr bieżący.

« 15ta. — Przedstawia mur o przecięciu poprzeczném krzywém, którego ściana wewnętrzna jest podzielona murami poprzecznemi, był on użytym do zbudowania nadbrzeży w Liwerpolu; figura 15 przedstawia główniejsze szczegóły budowy.

« 16ta. — Przedstawia mur o ścianach krzywych, podzielony wewnętrznie murami poprzecznemi pionowemi.

« 17ta. — Przedstawia mur o ścianach krzywych.

« 18ta. — « « « ze schodami wewnętrznemi.

« 19ta. — Przedstawia mur nadbrzeża portu w Cherburgu.

« 20 i 20bis. — « « « arsenału w Schermess (Anglia).

« 21. — « « « sadzawki handlowéj w Hawrze.

« 22 i 22bis. — « « oporowy w Bolonii.

Mury o ścianach krzywych bywają najczęściéj używane do budowli grobli nadmorskich, leżących przy samym morzu; albowiem zabezpieczają piaski od uniesienia ich przez bałwany morskie i ułatwiają odpływ tych ostatnich bez uszkodzenia muru. Na tém kończymy część drugą niniejszéj pracy i przejdziemy do zastosowań tworzących część trzecią i ostatnią.

CZĘŚĆ III

ZASTOSOWANIA.

Wstęp. — Zanim się zajmiemy właściwym przedmiotem trzeciéj części niniejszéj pracy, winniśmy uprzedzić czytelnika że zadanie którego rozwiązanie podajemy tutaj, powinno być uważane jako czyste zastosowanie teoryj po dziś dzień istniejących do łatwego a zarazem ścisłego obliczania murów oporowych.

Postępując podług reguł podanych tutaj z całą łatwością oznaczymy wymiary muru oporowego znajdującego się w warunkach podobnych do tu rozebranych, lecz tak znalezione wymiary teoretyczne winny być zawsze zmodyfikowane stosownie do wymagań czysto praktycznych.

Zastosowanie prawideł podanych w dwóch pierwszych częściach niniejszéj pracy, jest może cokolwiek trudniejsze aniżeli na pierwszy rzut oka wydać się może, z tego więc właśnie powodu podajemy niniejszy przykład w którym postaramy się wskazać drogę, którą postępować należy dla łatwego zastosowania wzorów powyżéj podanych. Przykład przez nas obrany jest następujący :

Oznaczyć wymiary poprzeczne muru oporowego, podtrzymującego nasyp przedstawiony na figurze 13éj i sprawdzić czy znalezione wymiary są dostateczne pod trzema względami :

1° Pod względem zgniecenia materyjałów budowlanych.

2° Pod względem ruchu obrotowego na około zewnętrznéj krawędzi podstawy.

3° Pod względem obsuwania się warstw muru jednych po drugich.

Przypuśćmy, że kształt nasypu którym się zajmujemy jest następujący : W płaszczyznie górnéj muru oporowego znajduje się berma pozioma mająca metr szerokości licząc od punktu B, poza którą następuje spadek mający 4 metry wysokości na 5 metrów podstawy sięgający do punktu D, od tego ostatniego punktu i na długości nieskończonéj znajduje się płaszczyzna pozioma DF.

Nazwijmy :

H wysokość całkowitą muru oporowego, równą $7^{m},50$;

f spółczynnik tarcia ziemi z nasypem i nasypu z murem równy 0,80 ;

π' ciężar metra sześciennego materyjałów budowlanych równy 2080 kilogramów ;

π « « « nasypu « 1450 «

r ciśnienie największe na centymetr kwadratowy powierzchni muru, które przyjmiemy równém $5^{kg},50$;

i oznaczmy wymiary poprzeczne muru oporowego w dwóch następujących warunkach :

1° Ściana zewnętrzna muru oporowego pionowa ;

2° Ściana zewnętrzna muru oporowego mająca nachylenie równe 1/5.

Ściana wewnętrzna, może być stosownie do woli pionową lub pochyloną na 1/5 w kierunku przeciwnym nachyleniu zewnętrznemu.

Wymiary muru oporowego raz znalezione, wykreślimy krzywę ciśnień odpowiadającą warstwom muru i znajdziemy analitycznie, ciśnienie największe na centymetr kwadratowy powierzchni, które ma miejsce w każdéj stosudze.

Dla rozwiązania naszego zadania potrzeba najprzód znać :

1° Parcie nasypu odpowiadające rozmaitym wysokościom muru i punkt jego przyczepienia na murze;

2° Wymiary poprzeczne muru oporowego w każdym z powyżéj podanych warunków i módz na końcu sprawdzić jego stałość w każdym przypadku.

Notacye. — Notacye przyjęte w niniejszym przykładzie są też same co w całéj pracy, dla zachowania jednostajności i ułatwienia badań.

Dla łatwiejszego poszukiwania, które przyjdzie w dalszym ciągu, podzielmy mur oporowy którym się zajmujemy na dziesięć części równych, z których każda ma $0^{m},75$ wysokości i oznaczmy numerami 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, wszystkie stosugi poziome, licząc od góry do dołu, jak przedstawia figura 13.

Nazwijmy

$R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 \ldots\ldots R_{10}$	Parcia całkowite odpowiadające wysokościom muru po sobie idącym B1, B2, B3, ... B10;
$R^h_1, R^h_2, R^h_3 \ldots\ldots\ldots R^h_{10}$	Składowe poziome parć całkowitych;
$R^v_1, R^v_2, R^v_3 \ldots\ldots\ldots R^v_{10}$	Składowe pionowe parć całkowitych;
$P_1, P_2, P_3 \ldots\ldots\ldots\ldots P_{10}$	Ciężary części muru zawartych pomiędzy płaszczyzną przechodzącą przez wierzchołek muru B i stosugą odpowiadającą;
$h_1, h_2, h_3, \ldots\ldots\ldots\ldots h_{10}$	wysokości B1, B2, B3 .....B10;
$p_1, p_2, p_3, \ldots\ldots\ldots\ldots p_{10}$	ciśnienia największe wywarte w każdéj stosudze.

Zakładamy nadto że ściana wewnętrzna muru oporowego jest w obydwóch przypadkach pionową.

Oznaczenie parć i ich punktów przyczepienia. — Widzieliśmy w pierwszéj części niniejszéj pracy (*Sposób wykreślny oznaczania parcia*), że jeżeli kształt nasypu jest podobny do tego, którym się w tej chwili zajmujemy, płaszczyzna oderwania może przyjąć trzy odmienne położenia.

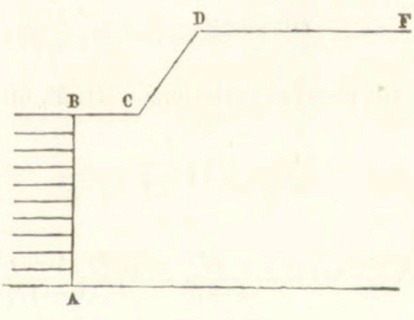


Fig. 13.

1° Może ona spotkać bermę BC,

2° Może przeciąć spadek CD, albowiem spadek ten jest mniejszy od spadku naturalnego nasypu, lub nareszcie :

3° Może przypaść gdzieśkolwiek na płasczyznie poziomej górnéj DF (fig. 13).

Wzory służące do oznaczenia wartości parcia w tych trzech przypadkach będą różne pomiędzy sobą, postaramy się najprzód oznaczyć granicę wyjścia każdéj z nich.

Dla znalezienia wzoru który winien być użytym do obliczenia parcia na całéj przestrzeni odpowiadającéj bermie BC, przypuścimy że płasczyzna oderwania prawdopodobna spotyka bermę; w tym przypuszczeniu parcie odpowiadające wysokości muru B1 wyrazi się przez wzór następujący :

(1) $$R_1 = \frac{1}{2}\pi \operatorname{dos}\varphi \overline{AX}^2$$

Figura 14 wskazuje, że

(2) $$\overline{AX'}^2 = AO - OX',$$

i z trójkąta AOB mamy

$$(3)\qquad AO = AB \frac{1}{\operatorname{dos} 2\varphi}.$$

Jeżeli we wzorze (3) za dos2φ podstawimy jéj wartość w funkcyi stycznéj która jest właśnie spółczynnikiem tarcia, otrzymamy

$$(4)\qquad AO = AB \frac{1+f^2}{1-f^2} = h_1 \frac{1+f^2}{1-f^2}.$$

Widzieliśmy już w części 1éj że

$$(5)\qquad \overline{OX'}^2 = AO \times OB',$$

otóż z trójkąta OBB′ znajdujemy dla OB′ wartość następującą :

$$(6)\qquad OB' = OB \frac{\operatorname{wst}\varphi}{\operatorname{wst}\left\{\omega - \left(\frac{1}{2} - 2\varphi\right) - \varphi\right\}} = OB \operatorname{sty}\varphi.$$

Trójkąt OAB daje nam

$$OB = AB \operatorname{st} 2\varphi = h_1 \frac{2f}{1-f^2}.$$

Podstawiając we wzorze (6) za OB jego tak znalezioną wartość, otrzymymy :

$$OB' = h_1 \frac{2f}{1-f^2},$$

a ztąd

$$(7)\qquad \overline{OX'}^2 = AO \times h_1 \frac{2f}{1-f^2} = h_1^2 \frac{2f^2(1+f^2)}{(1-f^2)^2}.$$

Znając obecnie wartości AO i OX′ w funkcyi wysokości muru i spółczynnika tarcia i podstawiając je w równaniu (2) będzie

$$(8)\qquad AX' = h_1 \frac{1+f^2}{1-f^2} - h_1^2 \frac{2f^2(1+f^2)}{(1-f^2)^2}.$$

Znając AX′, z całą łatwością oznaczyć możemy położenie płaszczyzny oderwania. W saméj rzeczy, poprowadźmy przez punkt x' znaleziony z równauia (8) prostę równoległą do spadku naturalnego nasypu do przecięcia się jej w punkcie x z płaszczyzną BM, a łącząc punkt X z punktem A prosta AX przedstawi właśnie szukany ślad płaszczyzny oderwania. Dla oznaczenia granicy do któréj wzór (1) może być użytym, wyraźmy położenie płaszczyzny oderwania w funkcyi kąta β zawartego pomiędzy ścianą wewnętrzną muru i płaszczyzną o któréj mowa.

Niech będzie β kąt BAX, trójkąt ABF daje (fig. 14)

$$(9)\qquad \operatorname{sty}\beta = \frac{BF - FX}{AB} = \frac{1}{f}\left[1 - \frac{AX'}{h_1}\right];$$

podstawiając za ilości ich wartości liczebne odpowiadające naszemu zadaniu, to jest za

$f = 0{,}80$; $h_1 = 0^m{,}75$; $OX' = 3{,}0184$; $AO = 3{,}4166$; $AX' = 0^m{,}3983$, otrzymamy

$$\mathrm{sty}\beta = 0^{m},58625.$$

Wiemy z części 1ᵉʲ, że jeżeli powierzchnia górna nasypu jest płaszczyzną poziomą przechodzącą przez wierzchołek muru, wszystkie płaszczyzny oderwania są równoległe pomiędzy sobą, trzeba więc, żeby wzór (1) mógł być zastosowanym, żeby

$$AB\,\mathrm{sty}\beta < \text{od bermy} = 1 \text{ metr},$$

otóż waruuek ten jest dopełnionym tylko dla wysokości muru równéj B2, mamy bowiem

$$1^{m},50 \times 0^{m},58625 < 1 \text{ metra}$$

Widzimy więc, że wzór (1) może być tylko zastosowanym do obliczania parcia całkowitego, dla wysokości muru oporowggo B1, B2, t. j. do obliczenia ilości R_1 i R_2. Wypadki liczebne w ten sposób otrzymane podane są w tablicy 1ᵉʲ, umieszczonéj przy końcu niniejszéj pracy.

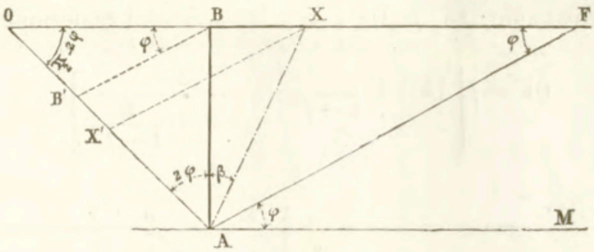


Fig. 14.

Szukajmy obecnie wzorów służących do obliczania parcia w pozostałych częściach muru.

Przypuśćmy najprzód, że płasczyzna oderwania przetnie poziom DF, poczem sprawdzimy czy odległość TX odpowiadająca płasczyznie należącéj do parcia R_3 jest mniejszą od odległości TD (fig. 15), jeżeli długość TX będzie większą, pokaże się, że wzór który otrzymamy powinien być zastosowanym do obliczania parcia wywartego na wszystkich pozostałych warstwach muru oporowego.

Wiemy już z części 1ᵉʲ, że jeżeli ślad płasczyzny oderwania spotyka płasczyznę poziomą nasypu DF, wzór dający wartość parcia ma kształt następujący :

(10) $$R = \frac{1}{2}\pi \,\mathrm{dos}\varphi\, \overline{AX}^{2}.$$

W saméj rzeczy; przedłużmy ścianę muru AB do przecięcia się jéj z poziomą DF w punkcie np. T; odetnijmy na TF długość taką TK, żeby

$$TK \times AT = 2\omega,$$

gdzie ω oznacza powierzchnię trapeza TBCD, przez punkt K poprowadźmy równoległę KK′ do spadku naturalnego nasypu, aż do przecięcia się jéj z prostą AO, która tworzy z pionową AB kąt równy 2φ, jak to wiemy z części 1ᵉʲ.

Trójkąt AOT daje

(11) $$AO = AT\,\frac{1}{\mathrm{dos}2\varphi} = (AB + BT)\,\frac{1+f^{2}}{1-f^{2}} = (h+4)\,\frac{1+f^{2}}{1-f^{2}},$$

i nadto

(12) $$OT = AT\,\mathrm{sty}\,2\varphi = (h+4)\frac{2f}{1-f^2}.$$

Widzimy także z figury 15ej że

(13) $$OK = OT + TK,$$

a że TK jest równe z powyższego $\frac{2\omega}{AT}$, to jest:

(14) $$TK = \frac{2\omega}{AT}$$

trójkąt OKK′ daje nam,

(15) $$OK' = OK\,\mathrm{sty}\,\varphi;$$

a zatém podstawiając w równaniu (15) za OK i styφ ich wartości znalezione powyżéj, otrzymamy

(16) $$OK' = f\left[(h+4)\frac{2f}{1-f^2} + \frac{2\omega}{(h+4)\frac{2f}{1-f^2}}\right].$$

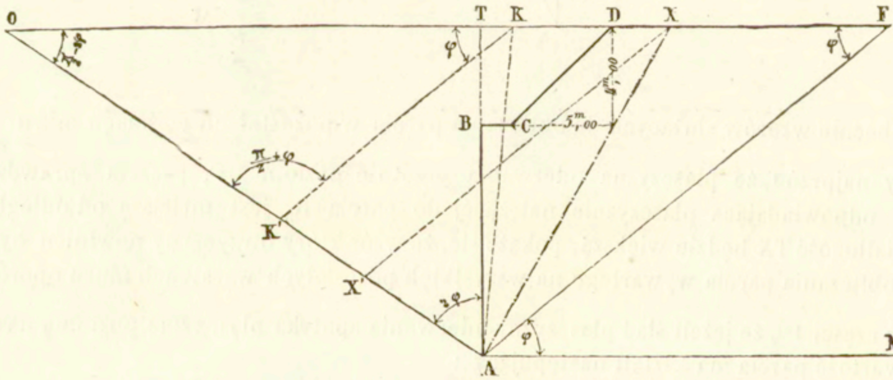


Fig. 15.

Wiemy z poprzedzającego, że

$$\overline{OX'}^2 = OK' \times OA,$$

podstawiając zatém za OK′ i OA ich wartości w funkcyi wysokości muru i spółczynnika tarcia, otrzymamy

(17) $$OX' = \frac{2f(1-f^2)}{(1-f^2)^2}[\overline{AT}^2 \times f - (1-f^2)\omega] = \frac{2f(1+f^2)}{(1-f^2)^2}[(h+4)^2 f - (1-f^2)\omega].$$

a znając obecnie OX′, znajdziemy z łatwością AX′, albowiem

(18) $$AX' = OA - OX' = \frac{AO \times FX}{OF},$$

a zatém

(29) $$TX = \frac{1}{f}[AT - AX'] = \frac{1}{f}[(h+4) - AX''],$$

Od wzorów które tutaj podajemy, z całą łatwością przechodzimy do poprzedzających zakładając że $\omega = 0$ i że wysokość, 4 metry, spadku po nad bermą, nie istnieje; wypadek ten mógł być przewidzianym.

Sprawdźmy obecnie czy wzory tu otrzymane mogą być zastosowane do obliczenia parcia R_3, to jest: czy długość TX odpowiadająca R_3 jest większą od TD które się równa 6 metrom; w tym celu podstawmy we wzorach (11), (17), (18) i (19) za ilości ich wartości liczebne odpowiadające R_3, zważając nadto że:

$$f = 0{,}80 \text{ i } \omega = 14^{m^2},$$

otrzymamy:

$$AO = 28{,}472;\ OX' = 27{,}106;\ AX' = 1{,}366 \text{ i } TX = 6^m{,}105,$$

widzimy więc że ślad płasczyzny oderwania odpowiadający parciu R_3, spotyka powierzchnię gruntu po za spadkiem CD na pozioméj DF albowiem mamy

$$TX = 6^m{,}105 > 6 \text{ metrów},$$

a zatém wzór (10) winien posłużyć bezzmiennie do obliczania wszystkich pozostałych parć całkowitych, sprawionych przez nasyp na ścianę wewnętrzną muru oporowego.

Wypadki otrzymane z zastosowania wzoru (10) są zamknięte w tablicy 1éj, w dalszym ciągu za wypadkami otrzymanemi z zastosowania wzoru (1) do obliczania parć R_1 i R_2 wywartych przez nasyp na dwie pierwsze warstwy muru oporowego.

Dodaliśmy także przy końcu niniejszéj pracy tablicę 2ga obejmującą wartości ilości AX' i TX, które służyły do oznaczenia płasczyzny oderwania i znalezienia odpowiadających parć całkowitych.

Kwestya dotycząca oznaczenia wartości parcia jest w tej chwili w zupełności wyczerpaną, przejdziemy więc obecnie do oznaczenia punktu przyczepienia parć cząstkowych i nareszcie do znalezienia środka całkowitego parcia.

Zanim jednakże zajmiemy się oznaczeniem środka parcia całkowitego, podajmy treściwy opis tablicy 1éj, która o wiele ułatwi rozwiązanie zadania.

Tablica 1sza *obejmująca wartości służące do oznaczenia parcia.*

N° stosugi.	Wysokość muru liczona od wierzchołka.	Parcie całkowite.	Składowa pionowa parcia całkowitego.	Składowa pozioma parcia całkowitego.	Parcie cząstkowe.	Odległość punktu przyczepienia parcia cząstkowego od wierzchołka	Wartość momentu parcia cząstkowego.	Środek parcia całkowitego
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0^m, 75	$R_1 = 90$	$R^v_1 = 56$	$R^h_1 = 70$				0,50
							359	
2	1 ,50	$R_2 = 359$	$R^v_2 = 224$	$R^h_2 = 280$				1,00
					697	1875	1307	
3	2 ,25	$R_3 = 1{,}056$	$R^v_3 = 660$	$R^h_3 = 825$				1,58
					1121	2625	2943	
4	3 ,00	$R_4 = 2{,}177$	$R^v_4 = 1360$	$R^h_4 = 1700$				2,12
					1418	3375	4786	
5	3 ,75	$R_5 = 3{,}595$	$R^v_5 = 2246$	$R^h_5 = 2807$				2,61
					1682	4125	6938	
6	4 ,50	$R_6 = 5{,}277$	$R^v_6 = 3296$	$R^h_6 = 4120$				3,10
					1918	4875	9350	
7	5 ,25	$R_7 = 7{,}195$	$R^v_7 = 4495$	$R^h_7 = 5618$				3,57
					2127	5625	12020	
8	6 ,00	$R_8 = 9{,}332$	$R^v_8 = 5830$	$R^h_8 = 7286$				4,04
					2357	6375	15026	
9	6 ,75	$R_9 = 11{,}689$	$R^v_9 = 7302$	$R^h_9 = 9128$				4,51
					2560	7125	18240	
10	7 ,50	$R_{10} = 14{,}249$	$R^v_{10} = 8902$	$R^h_{10} = 11127$				4,98

W powyższéj tablicy kolumna 1sza obejmuje numera po sobie idących stosug, kolumna druga zawiera wysokości liczone od wierzchołka muru i odpowiadające po sobie następującym warstwom; w kolumnie trzeciéj zamieszczone zostały wartości parcia całkowitego wywartego na każdą cząstkę muru i obliczone za pomocą wzorów (1) i (10) podanych powyżéj; kolumny: czwarta i piąta zamykają składowe pionowe i poziome parć całkowitych zawartych w kolumnie trzeciéj, które otrzymane zostały mnożąc całkowite parcia przez $\sin\varphi$ lub $\cos\varphi$.

Znając wartości podane w kolumnach: trzeciéj, czwartéj i piątéj, z całą łatwością obliczyliśmy kolumnę 6ta obejmującą parcia cząstkowe na każdą cząstkę muru. Wartości o których mowa otrzymane zostały odejmując od siebie kolejno $R_4 - R_3$; $R_5 - R_4, \ldots R_{10} - R_9$ i przedstawiają parcia wywarte na każdą warstwę muru 3.4; 4.5;...9.10; wziętą z osobna.

Kolumna siódma zawiera odległości punktów przyczepienia parć cząstkowych, liczone od wierzchołka muru; odległości te zostały otrzymane bardzo łatwo przypuszczając że każde z parć cząstkowych ma swój punkt przyczepienia w środku warstwy odpowiadającéj, przypuszczenie to sprawdza się w zupełności zważając że różnice dwóch po sobie następujących parć są bardzo małe. Odległości parć R_1 i R_2 nie są podane dla tego, że one zostały otrzymane wprost i każda z nich jest równa 2/3 wysokości odpowiadającéj muru licząc od wierzchołka. Odległości punktów przyczepienia parć R_3, $R_4 \ldots R_{10}$ są objęte kolumną siódmą.

W téj chwili znamy już wartość parcia i punkt jego przyczepienia; mnożąc więc liczby kolumny 6 przez odpowiadające im liczby kolumny 7 ułożymy kolumnę 8, zawierającą momenty parcia.

Znając obecnie momenty parć cząstkowych i uważając że moment parcia całkowitego jest równy summie momentów parć cząstkowych gdy te ostatnie są równoległe, znajdziemy z łatwością środek parcia całkowitego od wierzchołka muru, dodając po sobie następujące wartości kolumny 8 i dzieląc tak otrzymaną summę przez odpowiadającą cyfrę kolumny 3. W ten sposób utworzoną została kolumna 9.

Rzut oka na kolumnę 8 pokazuje natychmiast, że odległości środków parć od wierzchołka muru bardzo mało się różnią od 2/3 odpowiadających wysokości muru.

Pierwsza część zadania którém się w téj chwili zajmujemy, to jest oznaczenie parcia, jego punktu przyczepienia, jego momentu i środka całkowitego parcia będąc w zupełności wyczerpaną, przejdziemy natychmiast do części drugiéj w któréj zajmiemy się oznaczeniem wymiarów poprzecznych muru oporowego w dwóch przypuszczeniach: kiedy ściana zewnętrzna muru jest pionową i kiedy taż ściana ma nachylenie równe 1/5 i sprawdzeniem stałości muru oporowego w powyżéj wskazanych przypuszczeniach.

Tablica 2ga *obejmująca wartości ilości* AX′ *i* TX *służących do oznaczenia położenia płaszczyzn oderwania i obliczania parć całkowitych.*

Nº *stosugi.*	*Wartości ilości AX′.*	*Wartości ilości TX.*
3	1,366	6,105
4	1,961	6,300
5	2,520	6,500
6	3,053	6,820
7	3,565	7,100
8	4,060	7,425
9	4,544	7,780
10	5,017	8,004.

Oznaczenie grubości muru oporowego i sprawdzenie jego wytrzymałości w przypadku ściany zewnętrznéj pionowéj. — Grubość muru oporowego jakiegokolwiek może być oznaczoną za pomocą wzorów empirycznych używanych po większéj części, jednakże, jakeśmy to już powiedzieli w 1éj części niniejszéj pracy, wzory empiryczne nie odpowiadają zadaniu, albowiem nie są one zgodne ani z praktyką ani z teoryą i wystawiają zawsze na nadzwyczaj znaczne koszta, które są w zupełności nieużyteczne.

Zastosowanie wzoru empirycznego do oznaczenia grubości naszego muru, prowadzi nas do wymiarów za wielkich, otóż dla uniknienia niepotrzebnych wydatków oznaczyliśmy szukaną grubość za pomocą przybliżeń kolejnych, zasadzając się na tém, że ciśnienia największe mają zawsze miejsce na podstawie muru i pamiętając żeby ich maximum nie przechodziło granicy wytrzymałości materyałów budowlanych krórąśmy przyjęli, to jest 5kg,50 na centymetr kwadratowy powierzchni.

Grubość muru którą się zajmujemy, znaleziona sposobem przybliżonym, równa się

$$e = 1^{m},94.$$

Zobaczmy w jaki sposób ilość ta została znalezioną.

Niech będą

P ciężar muru;

h wysokość znana muru;

π' ciężar metra sześciennego materyałów budowlanych znany z praktyki.

Ciężar samego muru równa się

$$P = eh\pi',$$

i jest przyczepiony w środku ciężkości.

Znając ciężar muru, parcie znalezione powyżéj i punkt jego przyczepienia, z całą łatwością oznaczyliśmy punkt, w którym wypadkowa tych dwóch sił przecina stosugę, za pomocą równoległoboku sił. Kolumna 9 tablicy 1éj daje natychmiast wartość dla BH a więc bez trudności znajdziemy wartość dla AH, albowiem

$$AH = h - BH.$$

Wartość KL oznaczy się natychmiast z figury tu podanéj (16) i będzie

(20) $$KL = AH - IK,$$

a w trójkącie IKH mamy

$$IK = IH \, \mathrm{sty} \, \varphi,$$

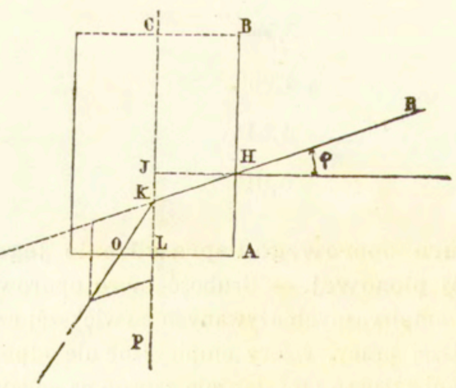


Fig. 16.

podstawiając w równaniu (20) za IK tak otrzymaną wartość wypada

(21) $$KL = AH - IH \, \mathrm{sty} \, \varphi = AH - \frac{1}{2} e \, \mathrm{sty} \, \varphi,$$

a zatém

(22) $$OL = KL \, \mathrm{sty} \, OKL = KL \frac{R^h}{R^v + P},$$

Kolumny 4 i 5 tablicy 1éj zawierają wartości odpowiadające R^h i R^v, a więc wartość dla OL jest znaną, i stosunek jej do połowy grubości muru, a zatem i ciśnienie największe na centymetr kwadratowy powierzchni podstawy. Oznaczając stosunek o którym mowa przez n otrzymamy

$$(23)\qquad n=\frac{OL}{AL}=\frac{OL}{\frac{1}{2}e}.$$

Jeżeli w powyższych wzorach podstawimy za ilości odpowiadające im wartości liczebne, otrzymamy, dla e równego $1^m,94$.

$$IK=0,776 \text{ i } OL=0,495.$$

W tej chwili znamy już wszystkie elementa służące do sprawdzenia, czy ciśnienie największe na podporze nie przechodzi granicy którąśmy założyli. Wzory służące do oznaczenia ciśnienia największego znajdują się w Wytrzymałości materyałów p. Bresse'a na stronnicy 55éj pierwszego wydania i mają kształt następujący.

$$(24)\qquad \begin{cases} \text{Jeżeli } n \text{ jest większe od } \frac{1}{3}, & p=\frac{R^v+P}{e}\times\frac{4}{3(1-n)} \\ \text{Jeżeli } n \text{ jest mniejsze od } \frac{1}{3}, & p=\frac{R^v+P}{e}(1+3n), \end{cases}$$

Zważywszy, że dla naszego przypadku

$$n>\frac{1}{3}.$$

i podstawiając w tym ze wzorów (24) który odpowiada $n>1/3$ za ilości ich wartości liczebne, otrzymamy ostatecznie na wartość największego ciśnienia

$$p=\frac{R^v+P}{e}\times\frac{4}{3(1-n)}=5^{kg},502,$$

wartość tyle zbliżoną do wartości założonéj, ile można życzyć.

Znając obecnie wszystkie elementa potrzebne do oznaczenia wymiarów poprzecznych muru oporowego, ułożyliśmy tablicę n° 3, w któréj kolumna pierwsza obejmuje numera stosug; kolumna druga ciężary każdéj z części muru oporowego licząc od wierzchołka; w kolumnie trzeciéj zamieszczone są odległości środków ciśnień licząc od pionowéj przechodzącéj przez środek muru. Znaki mniéj poprzedzające trzy pierwsze wartości tej kolumny wskazują że środki ciśnień, które najprzód znajdują się po lewéj stronie pionowéj przechochodzącéj przez środek muru, dla części dolnych muru oporowego aż do stosugi n° 4, zacząwszy od tej ostatniéj i aż do wierzchołka, przechodzą na jej stronę prawą; kolumna czwarta zawiera największe ciśnienia wywarte na każdéj stosudze; wartości te zostały obliczone za pomocą wzoru (24) odpowiadającego naszemu przypadkowi, to jest kiedy $n>\frac{1}{3}$. Rzut oka na kolumnę 4ta wskazuje natychmiast że największe ciśnienia zmniejszają się bezustannie postępując od podstawy ku wierzchołkowi, i to właśnie ta okoliczność pozwala nam odrazu rozwiązać zadanie; w kolumnie 5éj znajdują się wartości równoważne ciężarom każdéj części muru zwiększonym składową pionową parcia całkowitego wywartego na tęż cząstkę muru oporowego przez nasyp, licząc zawsze od wierzchołka.

Tablica 3a. *służąca do obliczania wymiarów i sprawdzenia stałości muru oporowego którego ściana zewnętrzna jest pionowa.*

Numer stosugi. 1	Ciężar części muru odpowiadającéj. 2	Odległości środków ciśnień od pionowéj przechodzącéj przez środek muru. 3	Wartość największych ciśnień. 4	Summy ilości R^v+P. 5
1	3026,4	−0 ,01194	$p_1=0,1617$	3082,4
2	6052.8	−0,01231	$p_2=0,34$	6276,8
3	9079,2	−0,009	$p_3=0,52$	9739,2
4	12105.6	+0,0135	$p_4=0,72$	13465,6
5	15132,0	0,058	$p_5=1,10$	17378
6	18158,4	0,121	$p_6=1,52$	21454,4
7	21184,8	0,198	$p_7=2,13$	25679,8
8	24211,2	0,287	$p_8=2,92$	30041,2
9	27237,6	0,387	$p_9=3,95$	34539,6
10	30264,0	0,495	$p_{10}=5,502$	39166

Mając w ten sposób ułożoną tablicę 3ia z całą łatwością przystąpić możemy do sprawdzenia wytrzymałości muru oporowego i przekonać się, czy największe ciśnienie wywarte na materyały budowlane, nie przewyższa granicy, którąśmy sobie zaznaczyli, to jest 5,50 na centymetr kwadratowy powierzchni.

Rzut oka na kolumnę czwartą tablicy trzeciéj, pokazuje najwidoczniéj, że największe ciśnienia nie przewyższają granicy z góry oznaczonéj, a zatém zgniecenie materyałów budowlanych jest niemożebne.

Wytrzymałość muru przeciwko ruchowi obrotowemu, jest także zapewnioną, albowiem wypadkowa ciężaru muru P i parcia odpowiadającego, przecina zawsze stosugę wziętą pod uwagę; o tém przekonać się możemy z kolumny 3éj tablicy trzeciéj.

Cyfry zawarte w kolumnie 5éj tablicy trzeciéj i w kolumnie 5éj tablicy pierwszéj dają możność przekonania się, że wytrzymałość muru przeciwko obsuwaniu się jest w zupełności otrzymaną, albowiem wiemy z doświadczeń robionych po dziś dzień, że spółczynnik tarcia muru o mur jest zawsze zawarty w granicach 0,50 i 0,76, jak to już podaliśmy w części pierwszéj niniejszéj pracy, mówiąc o tarciu; zasadzając sią na tych danych natychmiast możemy się przekonać, że dla wszystkich wartości spółczynników parcia zawartych pomiędzy podanemi powyżéj, siła usiłująca obsunąć mur jest zawsze mniejszą od ciśnienia pionowego wywartego na każdéj stosudze. W saméj rzeczy, przyjmując, że wartość spółczynnika tarcia jest najmniejszą t. j. równą 0,50 otrzymamy zawsze.

$$0,50(R^v + P) > R^h.$$

Sprawdziwszy w ten sposób analitycznie wytrzymałość muru, zajmiemy się sprawdzeniem jéj w sposób geometryczny, który posłuży zarazem za sprawdzenie rachunków któreśmy podali powyżéj.

Wartości parcia i odpowiadających ciężarów muru są zawarte w drugiéj kolumnie tablicy pierwszéj i w drugiéj kolumnie tablicy trzeciéj; punkta przyczepienia parć są podane w kolumnie dziewiątéj tablicy pierwszéj, a ciężarów muru, leżą wszystkie na pionowéj przechodzącéj przez środek muru, na któréj leżą także wszystkie środki ciężkości. Znając w téj chwili składowe i ich punkta przyczepienia, z całą łatwością za pomocą równoległoboku sił znaleźliśmy wypadkowe i ich punkta przyczepienia, które to punkta są właśnie środkami ciśnień szukanemi; łącząc tak znalezione punkta linią krzywą otrzymamy krzywę ciśnień przedstawioną na figurze 17éj.

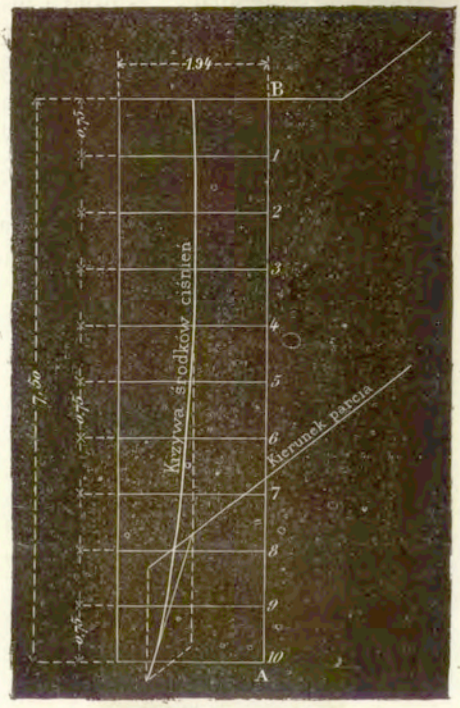


Fig. 17.

Łatwo jest spostrzedz, że krzywa ciśnień szczególniéj w górnych częściach muru zlewa się prawie zupełnie z pionową, przechodzącą przez środek muru, lecz wypadek ten był do przewidzenia, albowiem wiemy, że ciężar muru jest funkcyą jego wysokości, gdy tymczasem parcie jest funkcyą kwadratów z téjże wysokości, a zatém im bardziéj wysokość muru się zmniejsza, tém bardziéj siły będąca powodem zboczenia krzywéj ciśnień od pionowéj także się zmniejsza, w skutek tego krzywa ciśnień coraz więcéj się zbliża do pionowéj i w końcu zlewa się z nią w zupełności

Pierwsza część naszego zadania jest w téj chwili w zupełności wyczerpaną, otóż obecnie zajmiemy się drugą jego częścią, to jest murem oporowym, którego ściana zewnętrzna ma nachylenie równe 1/5; wyznaczymy jak poprzednio wymiary poprzeczne takiego muru i sprawdzimy jego wytrzymałość.

Oznaczenie grubości muru i sprawdzenie jego wytrzymałości w przypadku ściany zewnętrznéj mającéj nachylenie równe 1/5. — W tym przypadku podobnie jak w poprzedzającym grubość muru została oznaczoną za pomocą przybliżeń kolejnych.

Jeżeli przyjmiemy za szerokość podstawy 1^m80 znajdziemy, że ciśnienie maximum na centymetr kwadratowy powierzchni równa się $5^{kg},46$, to jest ilości nadzwyczajnie bliskiéj $5^{kg},50$, którąśmy z góry przyjęli. Wysokość muru będąc równą $7^m,50$ i nachylenie ściany zewnętrznéj mając $0^m,20$ na metr, grubość muru w wierzchołku jest równą

$$1,80 - 1,50 = 0^{m},30.$$

Znając te wymiary możemy narysować nasz mur i zająć się natychmiast sprawdzeniem jego wytrzymałości, w którém to badaniu postępować będziemy w ten sam sposób, jakeśmy postępowali z murem poprzedzającym, którego ściany były pionowe.

Najprzód oznaczymy szerokości po sobie następujących stosug i znajdziemy środki ciężkości każdéj warstwy muru licząc od wierzchołka albowiem przez te ostatnie punkta przechodzić będą wypadkowe ciężaru muru. Znając w ten sposób punkta przyczepienia ciężarów cząstkowych muru i punkta przyczepienia parć odpowiadających, które zawarte są w kolumnie 9éj tablicy pierwszéj, znając nadto kierunek parć, który jest oznaczony przez styczną kąta tarcia, z całą łatwością potrafiliśmy znaleźć punkta przecięcia wypadkowych z odpowiedniemi stosugami.

Znając powyżéj podane wartości przystąpiliśmy do oznaczenia wartości stosunku n biorąc go na skalę z saméj figury 18éj; wartości stosunku n są zamieszczone w kolumnie 4éj tablicy 4éj.

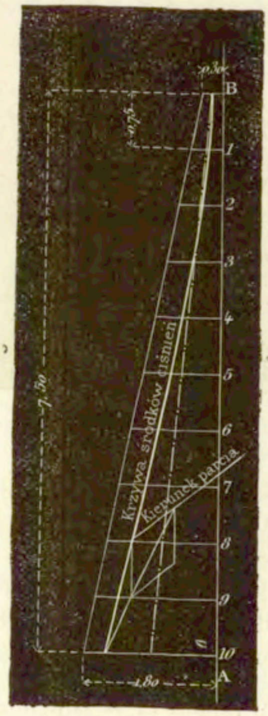


Fig. 18.

Odległości środków ciśnień od prostéj przechodzącéj przez środek muru, zostały zamieszczone w kolumnie piątéj tablicy czwartéj. Do wyznaczenia największego ciśnienia użyte zostały wzory (24), a wartości w ten sposób otrzymane uformowały kolumnę szóstą tablicy czwartéj. W końcu dla ułatwienia sprawdzania wytrzymałości muru przeciwko obsuwaniu się, uformowaną została kolumna siódma tablicy czwartéj, w któréj są wpisane wartości ciężaru muru zwiększone składową pionową parcia.

Znając w téj chwili wszystkie elementa potrzebne do sprawdzenia wytrzymałości muru oporowego, wykreśloną została krzywa ciśnień przedstawiona na fig. 18éj.

Z powyżéj podanego rozbioru detalicznego wyprowadzić możemy następujące wnioski : Wytrzymałość muru oporowego, którym się zajmujemy, jest zapewnioną przeciwko zgnieceniu materyałów budowlanych, albowiem największe ciśnienie nie przewyższa nigdzie 5^{kg},50, jak wskazuje kolumna szósta tablicy czwartéj.

Wytrzymałość muru jest zapewnioną przeciwko ruchowi obrotowemu na około krawędzi zewnętrznéj, albowiem wypadkowe ciśnień przecinają wszędzie odpowiadające im stosugi.

Wytrzymałość muru oporowego jest zapewnioną przeciw obsuwaniu się warstw jednych po drugich, albowiem cyfry objęte kolumną 7^{ma} tablicy czwartéj pomnożone przez najmniejszą wartość spółczynnika tarcia, dają zawsze iloczyn większy od składowéj pozioméj parcia.

Tablica 4ta *służąca do obliczenia wymiarów i sprawdzenia wytrzymałości muru oporowego, którego ściana zewnętrzna ma nachylenie równe* 1/5.

Numer stosugi	Ciężar części odpowiadających muru.	Szerokość stosug.	Wartości ilośc n.	Odległość środków ciśnień od prostéj przechodzącéj przez środek muru.	Wartości największych ciśnień.	Summy ilości R^v+P.
1	2	3	4	5	6	7
1	585	0,45	15/135	—0,025	$p_1=0,19$	641
2	1404	0,60	1/18	—0,017	$p_2=0,32$	1628
3	2457	0,75	0	0	$p_3=0,42$	3117
4	3744	0,90	5/27	0,083	$p_4=0,88$	5104
5	5265	1,05	95/315	0,158	$p_5=1,36$	7511
6	7020	1,20	15/36	0,25	$p_6=1,97$	10316
7	9009	1,35	205/405	0,342	$p_7=2,70$	13504
8	11232	1,50	26/45	0,433	$p_8=3,59$	17062
9	13689	1,65	310/495	0,517	$p_9=4,54$	20991
10	16380	1,80	355/550	0,592	$p_{10}=5,46$	25282

Kilka uwag praktycznych.— Mamy nadzieję, że czytelnik, który z uwagą odczytał niniejszą pracę, nie znajdzie żadnéj trudności do wywiązania się z zadania, którym praktyka obdarzyć go może.

Jednakże kilka uwag czysto praktycznych, dotyczących budowy murów oporowych, nie zdają nam się zbytecznemi przy zakończeniu téj czysto praktycznéj rozprawy. Dodamy więc natychmiast tablicę wymiarów użytych przy budowie Północnéj drogi żelaznéj Hiszpańskiéj, które to dokumenta zawdzięczamy jednemu z Inżynierów powyżéj wymienionéj kompanii.

Kompania kolei żelaznéj północnéj Hiszpańskiéj, podczas budowy téj linii, przyjęła dla wszystkich murów oporowych następujące wymiary poprzeczne dla rozmaitych wysokości.

Dla wysokości równéj	1 metrowi	grubość średnia była	0^m,60,
«	2 metrom	«	0 ,75,
«	3	«	0 ,00,
«	4	«	1 ,30,
«	5	«	1 ,60.

Dla wysokości równéj	6 metrom	grubość średnia była	1^m,90,
«	7	«	2 ,15
«	8	«	2 ,40
«	9	«	2 ,60
«	10	«	2, 80
«	11	«	3, 00
«	12	«	3 ,25
«	13	«	3 ,40
«	14	«	3 ,60
«	15	«	3 ,80
«	16	«	4 ,00
«	17	«	4 ,25
«	18	«	4 ,50
«	19	«	4 ,60
«	20	«	4 ,85
«	21	«	5 ,00
«	22	«	5 ,20
«	23	«	5 ,30
«	24	«	5 ,40
«	25	«	5 ,50.

Doświadczenie stwierdziło, że mury oporowe mające wymiary podane powyżéj, służą w doskonałych warunkach wytrzymałości do podtrzymywania nasypu kolei żelaznéj, lub innego jakiegoś, byleby ten nasyp nie zawierał w sobie gliny lub jakiejś innéj ziemi wilgotnéj; koszta budowy takich murów oporowych są stosunkowo bardzo małe.

Wszystkie mury, o których mowa, były zbudowane z kamieni nieobrobionych i przedstawiały stosugi w rodzaju mozajki. Nachylenie ścian zewnętrznych oscylowało pomiędzy 1/5 i 1/20 na metr wysokości, ściany wewnętrzne są pionowe i przedstawiają w planie linię łamaną.

Mury oporowe, których ściany wewnętrzne są pionowe bez schodów (redans), są zawsze tańsze od innych, albowiem jeżeli weźmiemy pod uwagę mur ze schodami, dostrzegamy, że jeżeli część muru leżąca ponad schodem, jest dostatecznie wytrzymałą, t. j. przedstawia dostateczny opór parciu ziemi, część znajdująca się natychmiast pod nim jest za grubą, a zatém koszta na które ona wystawia są zupełnie niepotrzebne; przeciwnie jeżeli część dolna muru jest ściśle potrzebną do podtrzymania parcia, część znajdująca się natychmiast nad schodem, będzie bez wątpienia za słabą i przewróconą przez parcie.

Nachylenia nadawane zazwyczaj ścianom zewnętrznym murów oporowych są bardzo użyteczne, albowiem zwiększają ramię drążka przez który należy pomnożyć opór, zwiększają ten ostatni a tym sposobem sprzeciwiają się skuteczniéj ruchowi obrotowemu muru na około krawędzi zewnętrznéj i zmniejszają w pewnym stosunku koszta budowy. O tém wypadku z całą łatwością przekonać się możemy porównywając z sobą dwa przykłady podane tutaj, nie możemy jednakże pominąć maleńkiego dodatku praktycznego, t. j., że w murach oporowych, których wysokość jes stosunkowo małą nie należy nigdy przyjmować grubości w wierzchołku mniejszéj od 0,50, a dla murów których wysokość jest znaczną grubość ta nie powinna być mniejszą od $1^m,00$.

Zbudowanie muru w warunkach przepisanych, nie jest jeszcze dostateczném do zapewnienia mu bytu, należy zwrócić uwagę na odpływ wody która wsiąka w nasyp, zwilża go i w końcu zepsuć go może; dla zapobieżenia tego rodzaju niedogodnościom, szczególniéj dla murów znacznéj wysokości, należy budując mur zostawić w nim otwory, których jedynym zadaniem jest przepuszczenie wody znajdującéj się w nasypie po za murem. Otwory te zowią się rynnami (barbacanes) mają zazwyczaj $0^m,10$ szerokości i $0^m,20$ centymetrów wysokości i są ułożone w szachownicę. Odległość pomiędzy dwoma rynnami, mierząc ją poziomo, jest zazwyczaj cztery metry.

Oto jest sposób ich wykonywania.

W miarę wykonywania nasypu za każdą rynną kładzie się płyta kamienna, któréj się daje małe nachylenie, po takiém umieszczeniu płyty, sypie się na nią kilka taczek żwiru, żwir ten zamykając otwór rynny służy za filtr do oczyszczenia przepływającéj wody z piasu lub ziemi, znajdujących się zazwyczaj w zawieszeniu w wodzie. Piasek lub ziemia dostając się do wnętrza rynny osiadałyby w niéj i w krótkim bardzo czasie szlam w ten sposób nagromadzony zatkałby ją w zupełności; w skutek tu opisanego urządzenia, woda wypływająca z rynien jest zawsze zupełnie czystą.

Oprócz murów budowanych z kamieni połączonych zaprawą mularską, o których dotychczas wyłącznie mówiliśmy, używane bywają także tak zwane mury suche, grubość tych ostatnich powinna być zawsze dwa razy większą od téj, którą mają mury o zaprawie mularskiéj.

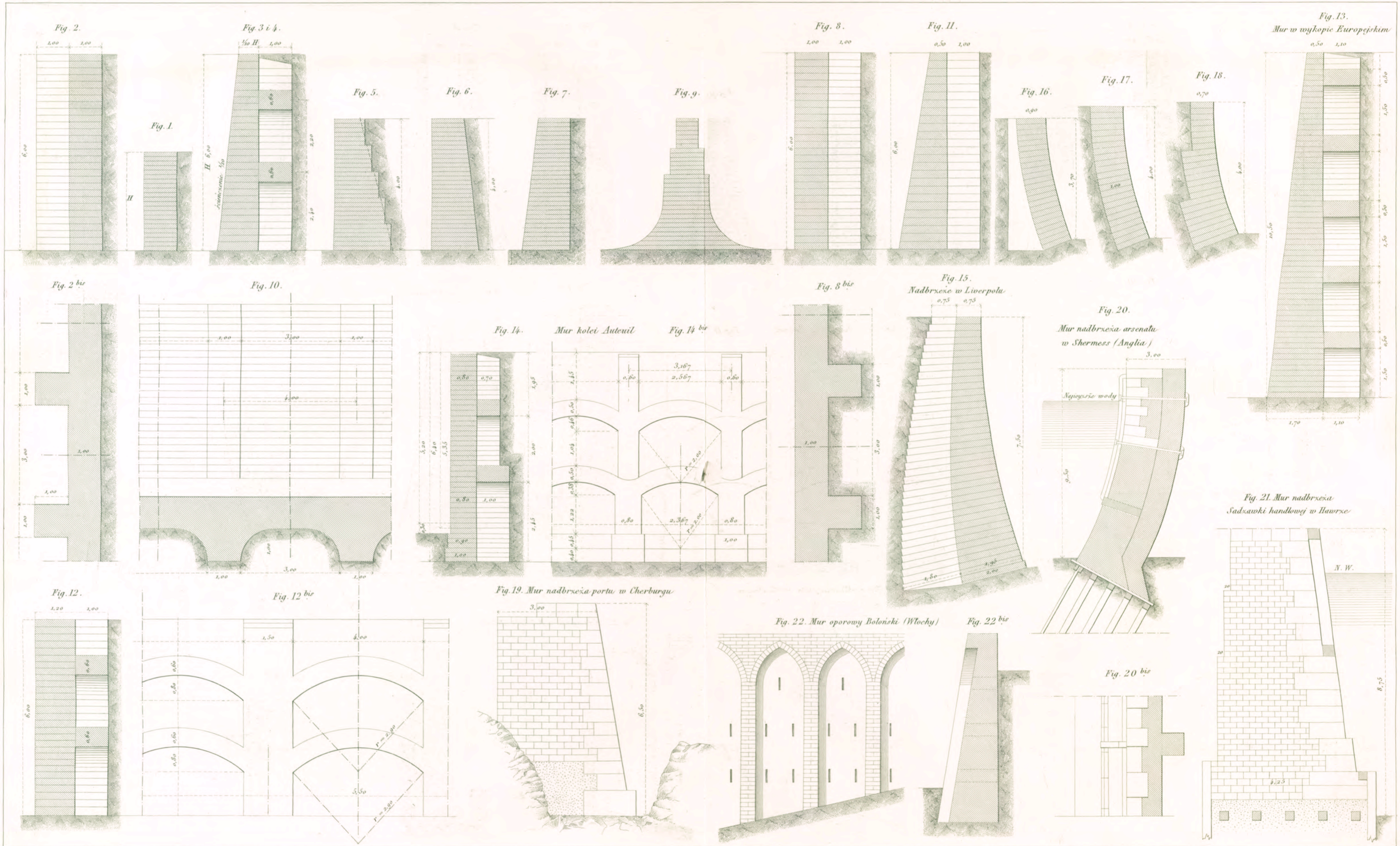
Wszędzie gdzie nasyp może być robionym z kamieni tłuczonych lub żwiru nie zwiększając kosztów, użycie tych ostatnich powinno być zawsze zalecaném.

Przy budowie murów oporowych znacznéj wysokości, nie ma nic szkodliwszego jak łańcuchy robione z kamienia ciosowego, w tych bowiem warunkach zawsze po bardzo krótkim czasie, w skutek niejednakowego opadania (tassement) muru, zaczynają się tworzyć szpary w górnych jego częściach; uniknąć ich jest rzeczą zupełnie niepodobną. W saméj rzeczy, weźmy pod uwagę mur oporowy mający np. 20 metrów wysokości; spółczynnik opadania muru z kamienia ciosowego jest równy $0^m,001$ na metr wysokości, co daje, dla 20 metrów, całkowitego opadnięcia $0^m,02$, tymczasem spółczynnik opadania muru z kamienia zwyczajnego równa się $0^m,005$ na metr wysokości, co daje całkowitego opadnięcia $0^m,10$ dla 20 metrów, różnica więc po całkowitém opadnięciu pomiędzy temi dwoma rodzajami muru $0^m,08$, które przedstawią się natychmiast w murze pod postacią szpary mającéj 0,08 centymetrów wysokości.

Zobaczmy nareszcie co się dzieje z murami zbudowanemi w linii prostéj na znacznéj długości. Mury oporowe zbudowane w tych warunkach, pomimo największych starań przy zakładaniu fundamentów w bardzo krótkim czasie opadają (tassent) symetrycznie i przedstawiają w górnéj swéj części krzywę podobną do linii łańcuszkowéj; dla zapobieżenia temu wypadkowi należy ścianę wewnętrzną murów podeprzeć za pomocą murów poprzecznych *wzmocnień* oddalonych od siebie od czterech do dziesięciu metrów.

Tutaj kończemy niniejszą pracę, uważając przedmiot pod względem praktycznym za zupełnie wyczerpany; spodziewamy się że uwagi praktyczne w niéj podane nabyte długą i mozolną praktyką nie raz będą mogły oddać, szczególniéj młodym Inżynierom, bardzo pożądane usługi.

SPOSÓB PRAKTYCZNY BUDOWY MURÓW OPOROWYCH.



Brandt del. Imp. Eudes Paris E. Hellé sc.