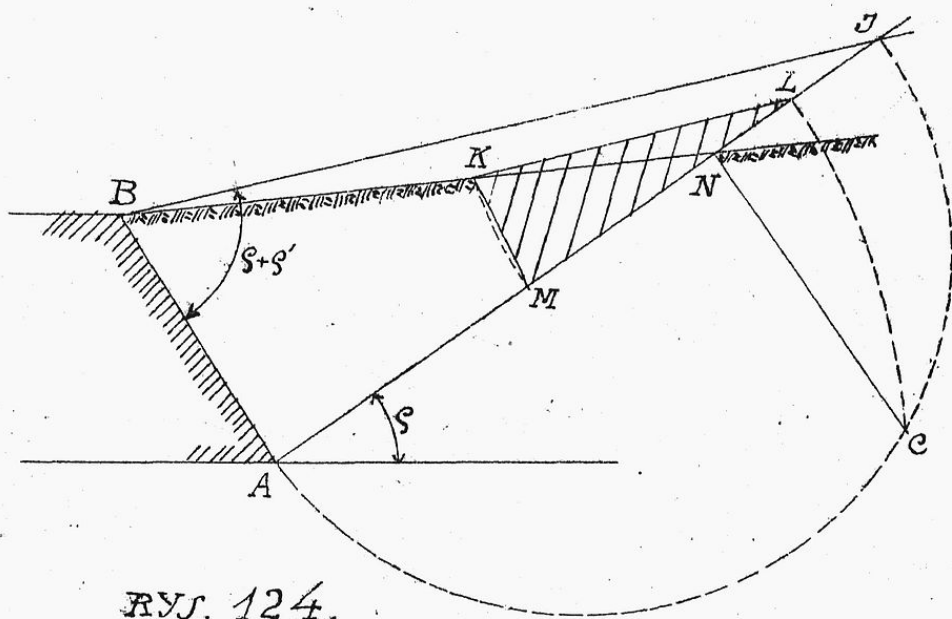


linję działania naporu ziemi.

W podobny sposób znaleźlibyśmy punkt przyłożenia naporu ziemi, naprz. na część ściany $A_1 A_2$. Punkt ten znajdzie się na AB na tej wysokości, na której znajdzie się środek ciężkości pola ciśnień $CDEF$. Co do wyznaczenia linii działania naporu, należy powtórzyć te same uwagi, co i dla ściany AB .

143. JEDEN ZE SZCZEGÓLNYCH PRZYPADKÓW. Korzystając z podanego w poprzednich paragrafach ogólnego sposobu znajdowania naporu ziemi na ścianę płaską, i zachowując podobne do poprzedniego oznaczenia, łatwo damy sobie radę w każdym innym przypadku.



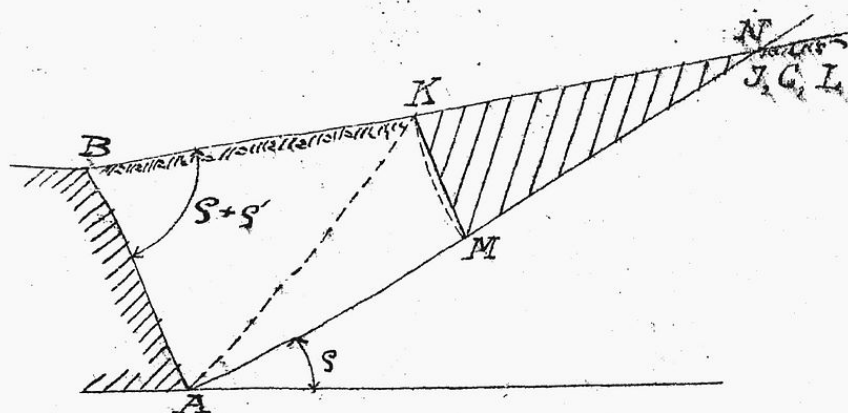
Jako jeden z przykładów niech będzie taki: znaleźć

napór ziemi na ścianę, jeśli "kierunkowa" wychodzi PONAD naziom, jak to widzimy na rys. 124, gdzie prosta BN wskazuje naziom, zaś kierunkowa BJ , tworząc kąt $(S+S')$ z płaszczyzną ściany AB , wychodzi ponad naziom. Zauważmy, że odcinek $AJ=a$ i odcinek $AN=c$ są analogiczne do podobnych odcinków na fig. 122.

W końcu paragr. 137 otrzymaliśmy, że aby wyznaczyć punkt L , przy pomocy którego odnajdziemy na naziomie punkt K , należy określić odcinek $b=\sqrt{ac}$. W tym celu, podobnie jak w par. 134 na odcinku a , jak na średnicy, zataczamy półkole; z punktu N /koniec odcinka c / wystawiamy do a prostopadłą aż do przecięcia się w C z półkolem; wreszcie, promieniem AC zataczamy łuk CL , który na prostej AJ odcina długość $AL=b$. Kiedy znaleźliśmy punkt L , prowadzimy przezeń prostą LK równoległą do kierunkowej AJ . Odłożywszy następnie odcinek $LK=LM$ znajdujemy trójkąt naporu KLM . Pole tego trójkąta pomnożone przez q da nam wartość naporu ziemi na ścianę AB .

144. DRUGI SZCZEGÓLNY PRZYPADEK. Kiedy "kierunkowa" ułoży się wzdłuż naziomu, jak to widzimy na rys. 125. Postępujemy podług ogólnej reguły: pod kątem S prowadzimy prostą zesypu AN . Kierunkowa poprowadzona z B przecina prostą AN w punkcie J , który upadnie na punkt N . Jeśli na AN jak na średnicy zataczymy

łuk i z punktu J wystawimy prostopadłą, otrzymamy punkt C /i ten znajdzie się też w punkcie N /. Odcinek AC na prostej AN wyznaczy punkt L /i ten punkt będzie w N /. Przez znaleziony punkt L prowadzimy pro-



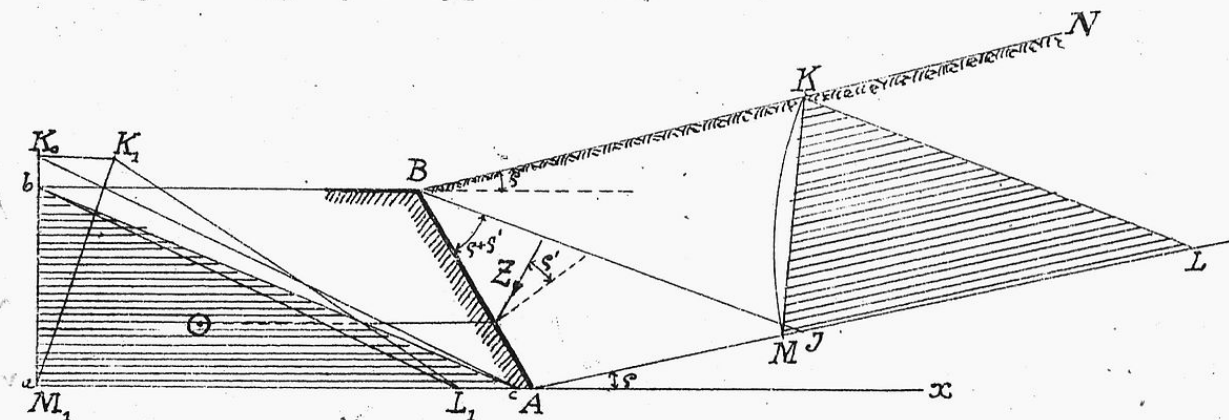
RYŚ. 125.

stą równoległą do kierunkowej do przecięcia się z nazi-
mem w punkcie K . Punkt ten w danym przypadku jest nie-
określony, gdyż prosta JK idzie wzdłuż prostej naziomu
 AN . Wobec tego zmuszeni jesteśmy zwrócić się do innej
właściwości punktu K , wynikającej z twierdzenia, przy-
toczonego w par. 137; szukana prosta osuwowa AK połowi
pole $ABKLA$.

Na zasadzie tego znajdziemy, że K znajduje się w
połowie odcinka BN , inaczej BL . Kiedy punkt K
znaleźliśmy, odkładamy $KL=ML$, i otrzymamy wówczas trój-

kąt naporu KLM .

145. JESZCZE JEDEN PRZYPADEK SZCZEGÓLNY. Gdy na ścianę AB prze ziemia, której naziom BN jest równoległy do płaszczyzny zesypu AL /rys. 126/.



RYS. 126.

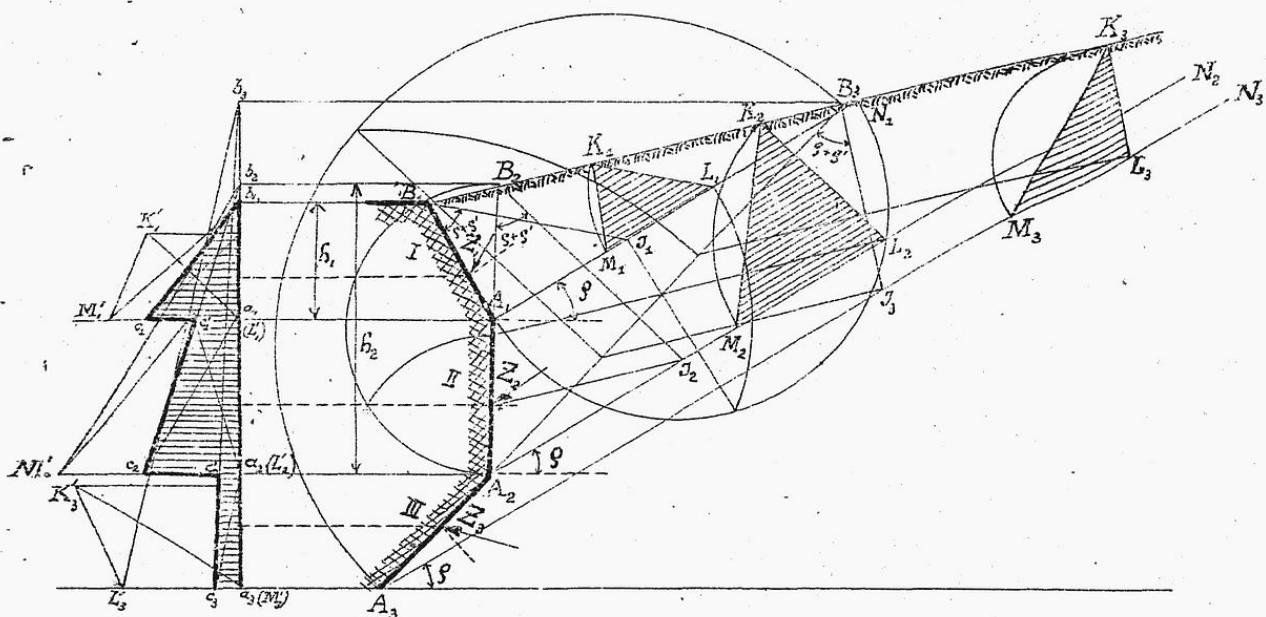
W tym razie punkt przecięcia się BN z AL jest nieskończenie odległy, a zatem i cały trójkąt parcia KLM leży w nieskończoności, mając jednak wymiary skończone.

Możemy sobie łatwo wyobrazić ów trójkąt w granicach rysunku: należy tylko przez dowolny punkt L prostej zesypu poprowadzić KL równoległą do kierunkowej BJ , a następnie odłożyć odcinek $LM = LK$ i połączyć punkty K i M . Otrzymamy wtedy trójkąt KLM . Oczywiście jest, że taki sam trójkąt otrzymalibyśmy i w tym razie, gdyby powyższą budowę wykonać w nieskończoności.

Przekształcenie tego trójkąta naporu na równoważny mu trójkąt abc , o wysokości = wysokości ściany wykonywa się tak samo, jak w przypadku ogólnym /par. 141/.

Całkowity napór Z , mierzony polem trójkąta abc , jest przyłożony w tym punkcie ściany AB , który przypada na jednej wysokości ze środkiem ciężkości trójkąta ciśnien abc i tworzy z normalną do ściany kąt \mathcal{S}' .

146. NAPÓR ZIEMI NA ŚCIANĘ O PROFILU ŁAMANYM. Gdy ściana oporowa od strony ziemi ograniczona jest kilkoma płaszczyznami, pochyłonemi do poziomu pod różnemi kątami, wówczas w celu wyznaczenia rozkładu ciśnień, należy postąpić



RYŚ. 127.

w sposób, który wyłożymy na przykładzie /rys. 127/. Przypuścimy, że ściana od strony ziemi jest ograniczona trzema dowolnemi płaszczyznami: B_1A_1 , A_1A_2 i A_2A_3 .

Rozpatrzmy naprzód płaszczyznę BA_1 ściany, nie zwracając wcale uwagi na dwie pozostałe dolne płaszczyzny.

Wykreślamy więc, tak samo jak w przypadku ogólnym,

prostą zesypu $A_1 N_1$, prostą kierunkową $B J_2$ i t.d.,
 aż wreszcie otrzymamy trójkąt naporu $K_1 L_1 M_1$, który
 następnie przekształcamy na trójkąt ciśnień $a_1 b_1 c_1$ o wy-
 sokości $= h_1$. Trójkąt ten daje rozkład ciśnień na ścia-
 nę $B_1 A_1$.

Przechodzimy następnie do płaszczyzny $A_1 A_2$. Prze-
 dłużamy ją w myśli, aż do przecięcia się z naziemem
 $B_1 N_1$ w punkcie B_2 i rozpatrujemy działanie ziemi, jak
 gdyby na płaszczyznę $A_2 B_2$. Prostą zesypu jest w da-
 nym razie prosta $A_2 N_2$, tworząca z poziomem kąt ϑ ;
 kierunkową - prosta $B_2 J_2$, a trójkątem naporu-trójkąt
 $K_2 L_2 M_2^x$. Trójkąt ten należy przekształcić na prostokąt-
 ny, o wysokości $= h_2$, co może być wykonane znanym
 już sposobem. Aby mieć wykres ciśnień na ścianę $A_1 A_2$,
 należy od otrzymanego trójkąta $a_2 b_2 c_2$ odrzucić tę część,
 która odpowiada ciśnieniu na wyobrażalną ścianę $A_1 B_2$,
 czyli trójkąt $a_2 b_2 c_2'$. Pozostanie wówczas trapez
 $a_2 c_2' c_2 a_2$, który przedstawia szukany rozkład ciśnień
 na ścianę $A_1 A_2$.

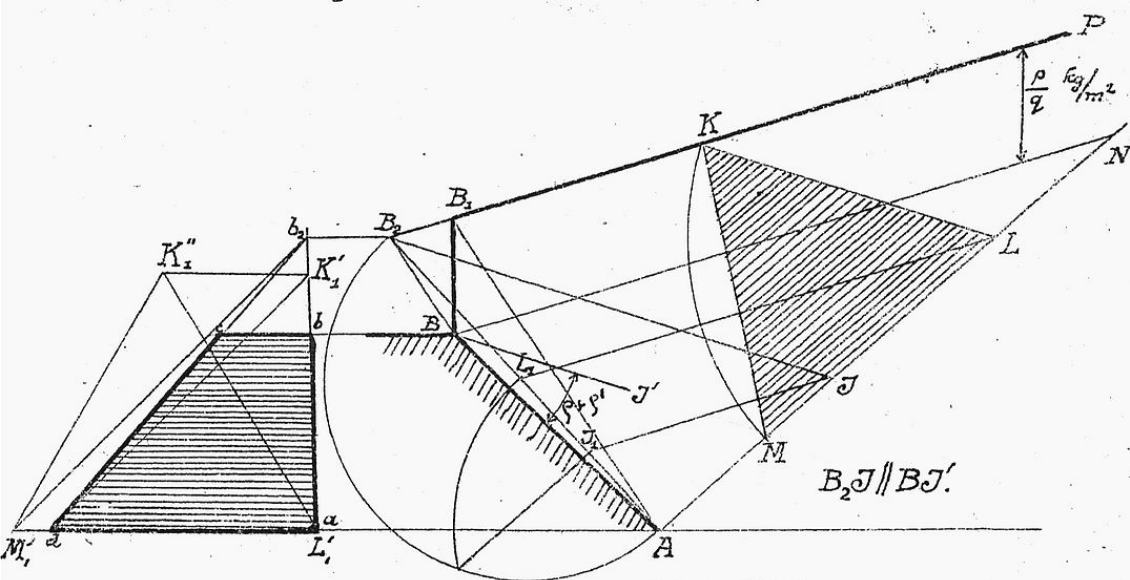
Zupełnie tak samo postępujemy z płaszczyzną $A_2 A_3$
 ściany. W trójkącie ciśnień $a_3 b_3 c_3$, który otrzymamy,
 nie posiada dla nas znaczenia część $a_2 b_3 c_2'$; pozosta-
 je więc jedynie trapez $a_2 c_2' c_3 a_3$. Środki ciężkości:
 trójkąta $a_1 b_1 c_1$, trapezu $a_1 c_1' c_2 a_2$ i trapezu $a_2 c_2' c_3 a_3$
 wskażą punkty przyłożenia naporu ziemi Z_1, Z_2, Z_3 w płasz-

x/ Trójkąt ten jest wyznaczony na rys. 127 sposobem,
 wyłożonym w par. 140.

duje się powyżej ściany rzeczywistej. Pozostanie wobec tego trapez ab_2c , który przedstawia rozkład ciśnienia na ścianę AB . Punkt przyłożenia naporu ziemi znajdziemy na wysokości środka ciężkości trapezu ab_2c , lub też, co będzie mniej dokładnie, w taki sposób: szukamy środka ciężkości czworoboku ABB_1KA , który dąży do osunięcia się; niech to będzie punkt S . Przez ten punkt prowadzimy prostą, równoległą do KA , prostej osuwu, do przecięcia się ze ścianą AB . Punkt przecięcia się tych prostych możemy przyjmować za punkt przyłożenia naporu ziemi.

148. DODATKOWE OBCIĄŻENIE NAZIOMU. Przypuśćmy, że prócz ciężaru ziemi N_0BAx /rys. 129/ na ścianę AB działa jeszcze dodatkowe obciążenie równomiernie rozłożone na naziomie i wynoszące ρ kg/m^2 . W takim przypadku możemy dodatkowe obciążenie zastąpić warstwą ziemi takiej grubości, aby ciężar tej warstwy ziemi wyniósł ρ kg/m^2 . A dalej postępujemy podobnie, jak w par. poprzedzającym: zastępujemy trójkąt ABB_1 przez AB_1B_2 , przyjmujemy AB_2 za domniemaną ścianę i wykreślamy dla niej trójkąt naporu i trójkąt ciśnień, uważając B_2P jako naziom. Od trójkąta ciśnień ab_2d należy odrzucić część b_2c . Pozostała część - trapez $abcd$ wskaże nam rozkład ciśnienia na ścian AB . O Punkcie przyłożenia

naporu ziemi na ścianę AB sędzić będziemy ze środka ciężkości trapezu $abcd$.



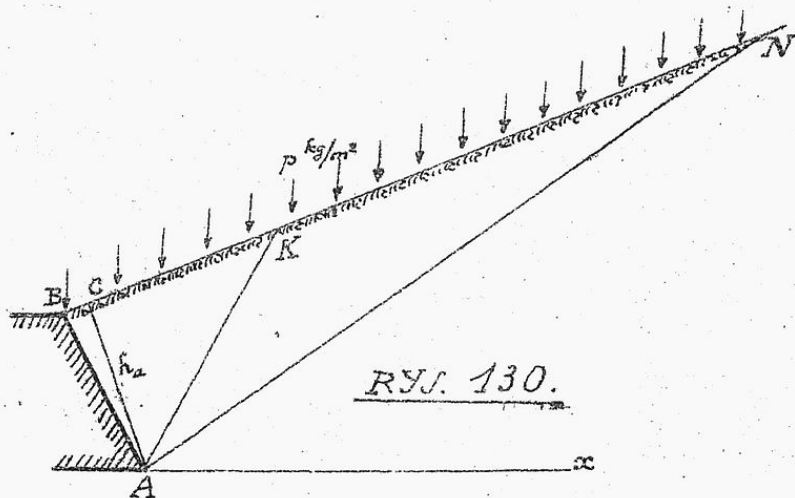
RYS. 129.

149. Często też jest stosowany inny sposób rozwiązywania powyższego zadania, mianowicie, nie uwzględniamy dodatkowego obciążenia naziomu, natomiast przyjmujemy stosownie zwiększony ciężar właściwy ziemi.

Obliczmy, jaki należy przyjąć ciężar właściwy ziemi, jeśli dodatkowe obciążenie naziomu wynosi $\rho \text{ kg/m}^2$ rys. 130/. Przypuśćmy, że należy uwzględnić dodatkowe obciążenie na dowolnej części naziomu \overline{BK} . Ciężar odpowiedniej bryły ziemi ABK znajdziemy: $\frac{1}{2} \cdot \overline{BK} \cdot h_a \cdot q$; dodatkowe obciążenie naziomu wyniesie $\overline{BK} \cdot 1 \cdot \rho$; razem otrzymamy siły, działające na bryłę: $\frac{1}{2} \cdot \overline{BK} \cdot h_a \cdot q + \overline{BK} \cdot 1 \cdot \rho$. Jeśli tę siłę mamy przedstawić jedynie jako ciężar tej bryły, wówczas, oznaczając zastępczy ciężar właściwy

przez q' , otrzymamy:

$$\frac{1}{2} \overline{BK} \cdot h_a \cdot q + \overline{BK} \cdot 1 \cdot p = \frac{1}{2} \overline{BK} \cdot h_a \cdot q';$$



$$q' = q + \frac{2p}{h_a};$$

h_a oznacza tu odległość A od płaszczyzny naziomu.

Otóż, przyjmując ciężar właściwy ziemi nie q lecz q' , możemy dodatkowego obciążenia naziomu już nie uwzględniać i traktować zadanie z ostatniego paragrafu w sposób typowy, jak to było wskazane w par. 139 i 140.

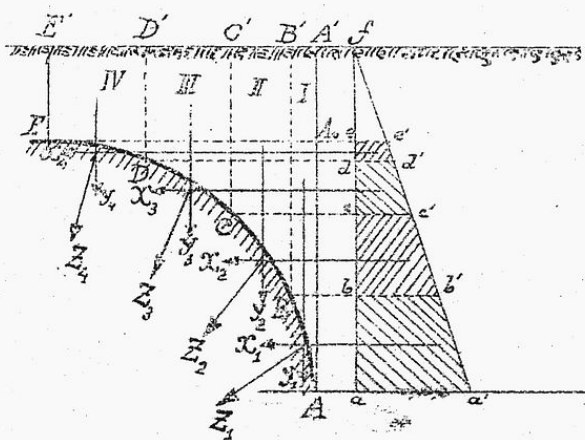
Zwrócić tu należy uwagę, że wyłożona metoda nie jest w zupełności szkusna. Dostrzeżemy to, rozważając rozkład ciśnień na ścianę AB . Przy pierwszym sposobie, wykazanym w par. 148, o rozkładzie ciśnień poucza nas trapez $abcd$ [rys. 129], zaś przy sposobie drugim, podanym w obecnym paragrafie, rozkład ciśnień będzie wskazany przy pomocy trójkąta, abc jak na rys. 129.

Pierwszy rozkład należy uznać za logiczniejszy, niż drugi.

Również punkt przyłożenia naporu ziemi na ścianę otrzymany przy pierwszym sposobie wyżej, niż przy drugim sposobie. Więcej zaufania wzbudza, oczywiście, pierwsze rozwiązanie i tembardziej zasługuje na stosowanie, że, jak z późniejszego wykładu będzie to wynikało, taki rozkład sił będzie dla muru oporowego pod względem stateczności i wytrzymałości więcej niebezpieczny, a więc bardziej godny bliźszego rozważania.

150. NAPÓR ZIEMI NA ŚCIANĘ O POWIERZCHNI KRZYWEJ.

Przypuśćmy, że należy znaleźć napór ziemi na powierzch-



RYS. 131.

nię grzbietową sklepienia $ABCDE$ /rys. 131/.

Naziom niech będzie poziomy AE' . Długość sklepienia /wzdłuż tworzącej/ przyjmujemy, jak zwykle = 1 m.

Wskażemy tu na PRZYBLIŻONY, praktycznie dostatecznie

dokładny sposób.

Dzielimy linię grzbietową na kilka części niekoniecznie równych: AB, BC, CD, DE Przez punkty A, B, C, D, E — prowa-

dzimy proste pionowe, AA', BB', CC', DD', EE' , które dzielą bryłę ziemi, opierającą się na sklepieniu, na części I, II, III, IV. Znajdujemy ciężary i środki ciężkości tych części. Przyjmujemy, że ciężary znalezione będą PIONOWEMI składowemi naporu ziemi na odpowiednie części powierzchni grzbietowej. Niech te składowe będą X_1, X_2, X_3, X_4 . Następnie zakładamy, że składowe POZIOME naporu ziemi będą takie jakiebyśmy otrzymali, obliczając napór ziemi na rzuty pionowe części powierzchni grzbietowej, to jest tak, jakgdyby to były części ściany pionowej AA_0 . Przypuścimy, że postępując w sposób, podany w poprzednich paragrafach, znaleźlibyśmy trójkąt ciśnień $aa'f$. Trapezy ciśnień na poszczególne części rzutu sklepienia będą: $abb'a', bcc'b', cdd'c', dee'd'$. Jeżeli obliczymy pola tych trapezów, pomnożymy je przez ciężar właściwy ziemi, otrzymamy napór ziemi na części płaszczyzny AA_0 . Będą to składowe POZIOME X_1, X_2, X_3, X_4 całkowitego naporu ziemi na powierzchnię AB, BC, CD, DE . Linje działania tych składowych przejdą przez środki ciężkości właściwych trapezów ciśnień.

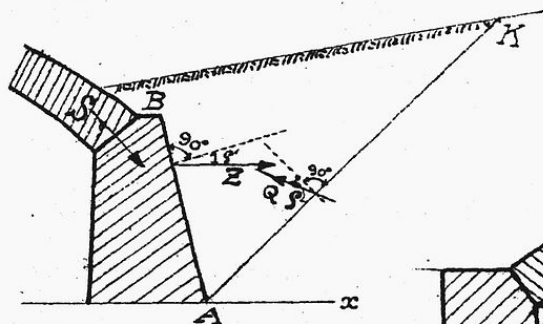
Kiedy już znaleźliśmy siły X_1, X_2 , określimy przy pomocy trójkąta sił wypadkową ich Z_1 , która będzie całkowitym naporem ziemi na powierzchnię AB . Toż samo dodanie sił X_2 i X_1 da nam wypadkową Z_2 - napór ziemi na powierzchnię BC i t.d.; wreszcie otrzymamy

Z_3 i

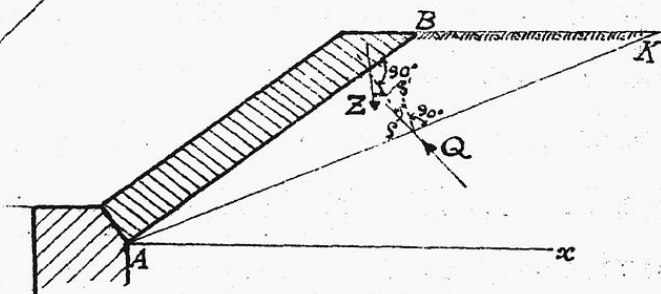


Dla zaoszczędzenia miejsca i dla większej wyrazistości rysunku wiele pomocniczych czynności nie zostały wcale pokazane; zaznaczono tylko ostateczne wyniki: trójkąt adf środka ciężkości pól, wypadkowe Z_1, Z_2, \dots i t.p.

151. ODPÓR ZIEMI. W paragr. 135 rozróżniliśmy działanie muru bierne od czynnego; w pierwszym przypadku ziemia wywiera na ścianę NAPIER, w drugim przypadku ODPÓR. O naporze była mowa w paragr. 136 do 150. Obecnie rozważmy odpór ziemi. Z samego charakteru odporu wynika, że, jeśli ziemia pod naciskiem muru może być wysunięta zza niego, kierunek oddziaływania muru na ziemię i odwrotnie oraz ziemi na ziemię w płaszczyźnie /nazwijmy tak/ wysuwu powinny ze stosownemi



RYS. 132.



RYS. 133.

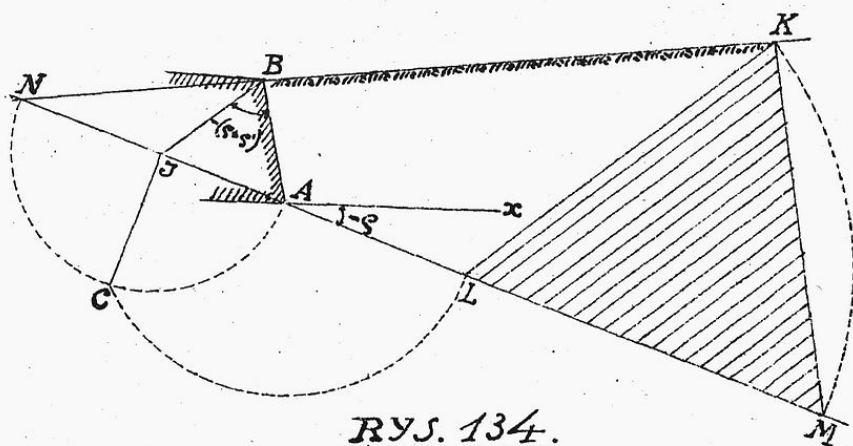
normalnemi do AB i AK tworzyć kąty P i P' , odłożone w stronę przeciwną niż to było przy naporze ziemi /por. rys.

119/. Kierunek oddziaływania muru i ziemi w płaszczyźnie wysuwu wskazany jest na rys.132, gdzie ściana B, parta się S od strony, dajmy na to, sklepienia, dąży do wysunięcia zza siebie ziemi; ziemia w tym razie wywiera odpór. Na rys.133 wskazany jest drugi przykład oporu ziemi - w przypadku muru okładzinowego. W obydwóch tych przykładach wskazany jest kierunek sił Z i Q względem normali do płaszczyzn AB i AK.

Całe zagadnienie, dotyczące ODPORU ziemi, różni się, zatem, od zagadnienia na temat NAPORU tylko znakiem kątów \mathcal{S} i \mathcal{S}' .

Nieć i rozwiązanie odpowiednich zadań należy uskutecznić przy uwzględnieniu tej różnicy.

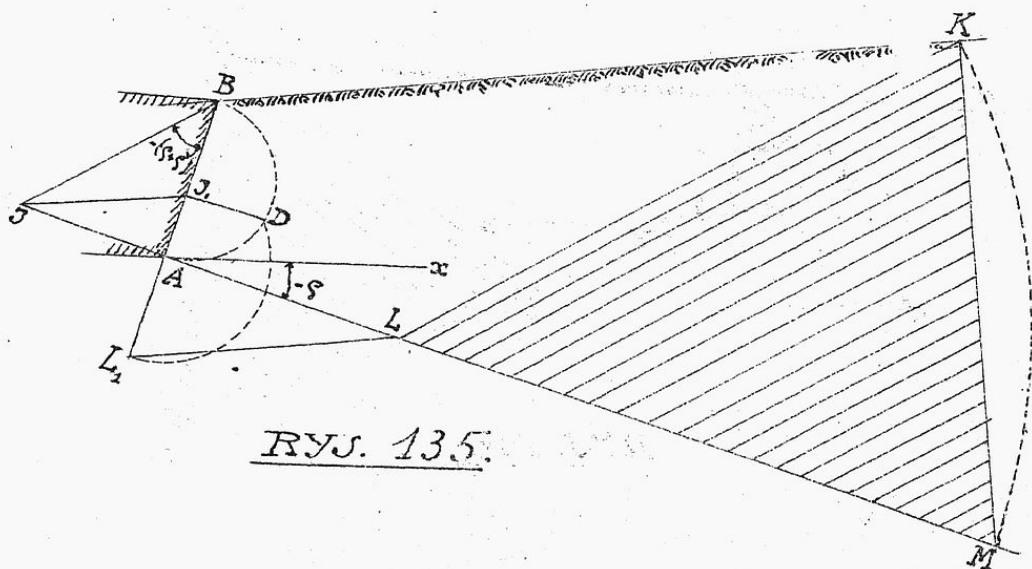
Na rys.134 pokazane jest rozwiązanie zadania, w którym szukany jest ODPÓR ziemi na ścianę AB. W celu ułatwienia wprowadzone jest znakowanie takie samo, jak na rys.122, 123 i następnych. Postępujemy tu w taki sposób: z punktu A prowadzimy prostą "zesypu" - pod kątem $(-\mathcal{S})$ do poziomu Am . Prostą zesypu przedłużamy do przecięcia się z poziomem BN w punkcie N. Oczywiście, punkt N znajdzie się z lewej strony AB, odwrotnie niż to było w przypadku NAPORU. Z punktu B prowadzimy "kierunkową" BJ, która utworzy z AB kąt $[-(\mathcal{S} + \mathcal{S}')] /$. Na AN zataczamy koło jak na średnicy i z punktu J prowadzimy prostopadłą JC. Na prostej zesypu



RYS. 134.

odkładamy odcinek $AL =$ cięciwie AC . Przez punkt L prowadzimy prostą LK równoległą do "kierunkowej", wreszcie odkładamy odcinek $LM = LK$. Otrzymujemy w ten sposób "trójkąt odporu". Wykreślenie trójkąta ciśnień i następnie znalezienie punktu przyłożenia odporu na ścianę AB - już nie będzie stanowić trudności; pamiętać tylko należy, że kąty φ i φ' są ujemne.

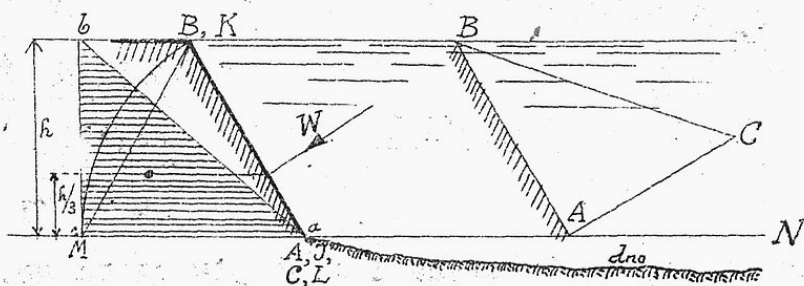
Gdybyśmy punkt N otrzymali POZA granicami rysunku, należy zastosować wówczas budowę podobną do tej, jaką poznaliśmy w paragr. 140 /rys. 122/. Jak w tym razie można sobie poradzić, uwidoczniło się na rys. 135.



RYS. 135.

152. PARCIE WODY NA ŚCIANĘ PŁASKĄ. Działanie wody na ścianę oporową daje się wyznaczyć o wiele prościej, niż działanie ziemi. W danym, bowiem, razie zarówno kąt tarcia wody o ścianę, jak i kąt "zesypu" dla wody=zeru, a zatem linja AN będzie poziomą, prosta "kierunkowa" ułoży się wzdłuż ściany AB /rys. 136/. Łatwo, dalej, zrozumieć, że wobec tego punkty J, C oraz L przypadają w A i że wierzchołek K trójkąta parcia znajduje się w punkcie B. Dwa inne boki tego trójkąta wyznaczymy, odmierzając $LM = LK$ i łącząc punkt M z K. Zatem otrzymaliśmy trójkąt parcia KLM. Równoważnym trójkątem ciśnienia jest trójkąt abc. Parcie cał-

ciężar wody W jest prostopadły do ściany, równa się polu

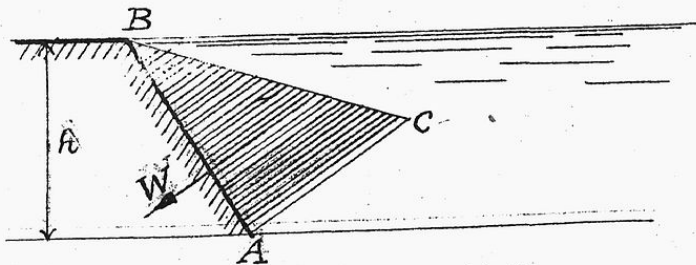


RYS. 136.

trójkąta abc i jest przyłożone do ściany w punkcie, znajdującym się na wysokości $\frac{h}{3}$ od poziomu AN . Trójkąt abc daje obraz rozkładu ciśnień na rzut płaszczyzny AB na płaszczyznę pionową. Dogodniej będzie jednak mieć wykres rozkładu ciśnień wody na właściwą ścianę. W tym celu należy przekształcić trójkąt ABM na równoważny mu trójkąt prostokątny, którego jedna z przyprostokątnych $= AB$. Aby to uczynić, odmierzamy na prostopadłej w punkcie A do AB /prawa strona rys.136/ odcinek $AC = h$ i łączymy punkty C z B . Dowiedzimy, że $\triangle ABC$ przedstawia szukany wykres.

Pole $\triangle ABC = \frac{1}{2} \overline{AB} \cdot \overline{AC} = \frac{1}{2} \overline{AB} \cdot h$; następnie pole $\triangle ABM = \frac{1}{2} \overline{AM} \cdot h$, ponieważ $AM = AB$, więc $\triangle ABM = \frac{1}{2} \overline{AB} \cdot h$. Zatem pole $\triangle ABC =$ polu $\triangle ABM$. c.b.d.d.

Widzimy stąd, że W CELU WYKREŚLENIA TRÓJKĄTA PARCIA DLA WODY, NA PROSTEJ AC , PROSTOPADŁEJ W A DO ŚCIANY AB /rys.137/ ODMIERZYĆ ODCINEK $AC =$ GŁĘBOKOŚCI h PUNKTU A

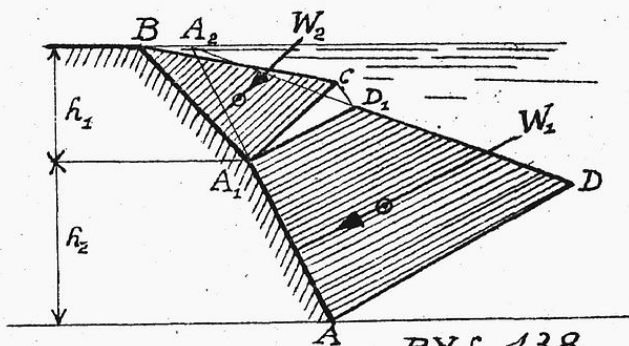


RYS. 137.

POD ZWIERCIADŁEM
WODY I POŁĄCZYĆ
PUNKTY B I C.

153. PARCIE
WODY NA ŚCIANĘ
ŁAMANĄ. Ściana,
na którą ciśnie

woda, dajmy na to, jest łamana i jest utworzona np. z dwóch płaszczyzn /rys.138/ A_1B i AA_1 . Zastosujemy do każdej z tych płaszczyzn wyniki, otrzymane w par. poprzednim. Przede wszystkim względem płaszczyzny A_1B :



RYS. 138.

Wystawiamy
prostopadłą do
 A_1B w punkcie A_1 ;
na tej prostopad-
łej odkładamy od-
cinek A_1C = głębo-
kości punktu A_1
pod zwierciadłem
= h_1 , wreszcie

łączymy punkt B z C. Otrzymamy w ten sposób trójkąt parcia wody na ścianę A_1B . Zwracamy się do płaszczyzny AA_1 : przedłużamy w myśli ścianę AA_1 , aż do przecięcia się jej ze zwierciadłem wody i kreślimy trójkąt parcia dla wyobrażalnej ściany AA_2 . Uczynimy to odmierzając na prostej

AD, prostopadłej do AA_2 odcinek $AD = h_1 + h_2$ i łącząc punkt D z A_2 . Od trójkąta AA_2D , otrzymanego powyżej, należy odrzucić część $A_1A_2D_1$ /odpowiadającą parciu na nieistniejącą część ściany A_1A_2 /, reszta zaś, t.j. trapez AA_1D_2D przedstawi wykres ciśnienia na ścianę AA_1 .

Kierunek ciśnienia w punkcie A_1 jest zależny od tego, do jakiej płaszczyzny go zaliczamy, czy do A_1B , czy też do AA_1 ; ciśnienie zawsze będzie do odpowiedniej płaszczyzny normalne i posiadać będzie ściśle określoną wartość, gdyż odcinki A_1C i A_1D_1 są sobie równe /każdy z nich jest, bowiem, równy wysokości h_1 /.

Całkowite parcie wody na płaszczyznę A_1B /przy długości ściany w kierunku prostopadłym do rysunku = 1 m. / obliczymy z wzoru: $W_2 = \text{polu} \triangle A_1BC \cdot 1000 \text{ kg.}$, gdzie 1000 kg. jest to ciężar właściwy wody. Wypadkowe parcie W_2 jest normalne do A_1B i przechodzi przez środek ciężkości trójkąta A_1BC . W podobny sposób znajdziemy: całkowite parcie wody na płaszczyznę AA_1 obliczymy z wzoru: $W_1 = \text{polu trapezu } AA_1D_2D \cdot 1000 \text{ kg.}$ Parcie W_1 jest normalne do AA_1 i przechodzi przez środek ciężkości trapezu AA_1D_2D . Wymiary pól A_1BC i AA_1D_2D powinny być wzięte w metrach.

154. BADANIE RÓWNOWAGI ŚCIAN OPOROWYCH, ŚRODKI I LINJA ŚRODKÓW CIŚNIEŃ. Dotychczas mówiliśmy o tem, jak się wyznacza siły, które wywiera ziemia lub woda na ścianę opo-