

ROZDZIAŁ VIII

USUWISKA NASYPÓW I WYKOPÓW

1. Uwagi ogólne

Niekiedy przy wykonywaniu, a częściej po wykonaniu robót ziemnych — nasypów i wykopów — na niektórych odcinkach robót powstają większe lub mniejsze odkształcenia i uszkodzenia wykonanych robót z powodu przesunięcia się pewnych mas ziemi.

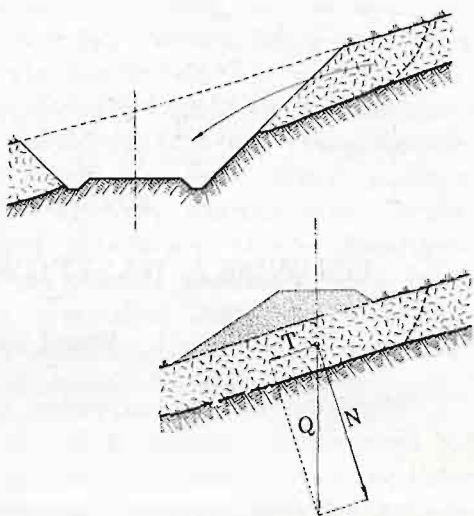
Przyczyną takich niepożądanych zjawisk, zwanych ogólnie usuwiskami, jest naruszenie równowagi mas ziemi bądź z przyczyn niezależnych od wykonywanych lub wykonanych robót ziemnych, bądź z przyczyn, stojących w ścisłym związku z tymi robotami.

Przyczyny niezależne od wykonywanych robót ziemnych mogą być różne, zależne od rzeźby terenu, ukształtowania geologicznego i zmian, które mogą naruszyć równowagę mas ziemi.

Zaliczyć tu można proces wietrzenia, przy którym czynniki atmosferyczne, jak zmiany temperatury i wpływ wody, rozkładają w niektórych wypadkach nawet całe pokłady skażynad zwięzłych skał, zwłaszcza gdy woda zamarza w szczelinach itp.

Można tu zaliczyć mechaniczne oddziaływanie wód powierzchniowych, które po nagłych i silnych ulewach lub przy nagłym topnieniu śniegu mogą spowodować naruszenie równowagi mas ziemi i ich zsunięcie, przy którym budowle ziemne mogą być w mniejszym lub większym stopniu uszkodzone. Mogą być również naniesione duże ilości rumowisk, podmycie brzegów rzek czy potoków, co znowu może spowodować przesuwanie lub runięcie całych pokładów ze znajdującymi się na

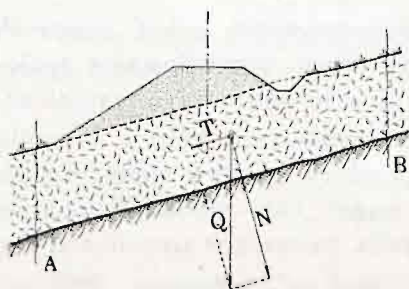
nich budowlami ziemnymi, zwłaszcza gdy pokłady są pochylone do poziomu, jak na rys 203. Do przyczyn usuwisk niezależnych od wykonywanych robót można zaliczyć działanie wód, tworzących podziemne potoki: naruszenie równowagi nastąpić może wtedy, gdy potoki takie płynąc po nieprzepuszczalnej warstwie i zwilżając jej powierzchnię zmniejszają znacznie współczynnik tarcia pomiędzy pokładami gruntu, dzięki czemu może pewna masa ziemi (rys. 204) stracić równowagę przez to, że składowa T wagi tej masy Q , równoległa do powierzchni warstwy nieprzepuszczalnej będzie



Rys. 203.

większa, niż tarcie wywołane siłą normalną N do tej powierzchni. Jeżeli współczynnik tarcia posuwistego warstwy górnej po warstwie dolnej oznaczyć przez f , usuwisko może nastąpić, gdy:

$$T < f \cdot N.$$

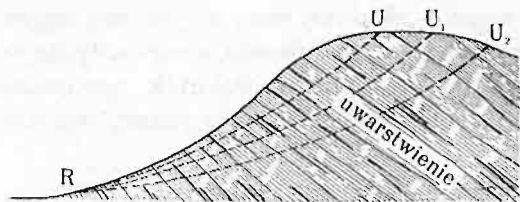


Rys. 204.

Na zmniejszenie współczynnika f może wpłynąć większe zwilżenie powierzchni AB , np. po ulewnych deszczach; wtedy warstwa górna może stracić równowagę i zsunąć się po warstwie dolnej.

Nawet, gdy uwarstwienie pokładów jest takie, jak na rys. 205, ale same pokłady (np. łupki) podlegają szybkiemu wietrzeniu, może powstać nagle usuwisko podług UR , U_1R , U_2R , gdy w tym kierunku powstaną szczeliny wskutek procesu wietrzenia.

Poza tym przyczynami usuwisk mogą być takie zjawiska, jak trzęsienie ziemi, wulkany, a nawet ulewne i długotrwałe deszcze, które spowodować mogą zmiany w więźłości nieraz wielkich mas ziemi i wywołać ich spełzanie.



Rys. 205.

Lawiny śnieżne mogą również być przyczyną naruszenia równowagi mas ziemi.

Powstanie usuwisk, z przyczyn wymienionych wyżej, niekiedy można przewidzieć i wtedy można uniknąć usuwisk przez

przeniesienie budowli ziemnych na miejsca bezpieczniejsze (np. przez zmianę trasy drogi czy kolei), niekiedy jednak trudno je przewidzieć i wtedy usuwiska są przykrą niespodzianką, wywołującą katastrofy oraz koszty — nieraz poważne — napraw uszkodzonych budowli inżynierskich.

Z powyższych względów inżynierowie, wykonywujący roboty ziemne, winni posiadać dokładną znajomość zjawisk geologicznych z działu tak zwanej „geologii inżynierskiej”, tym bardziej, że istnieją specjalne dzieła, opisujące różne zjawiska geologiczne pod kątem zainteresowań inżynierii¹⁾.

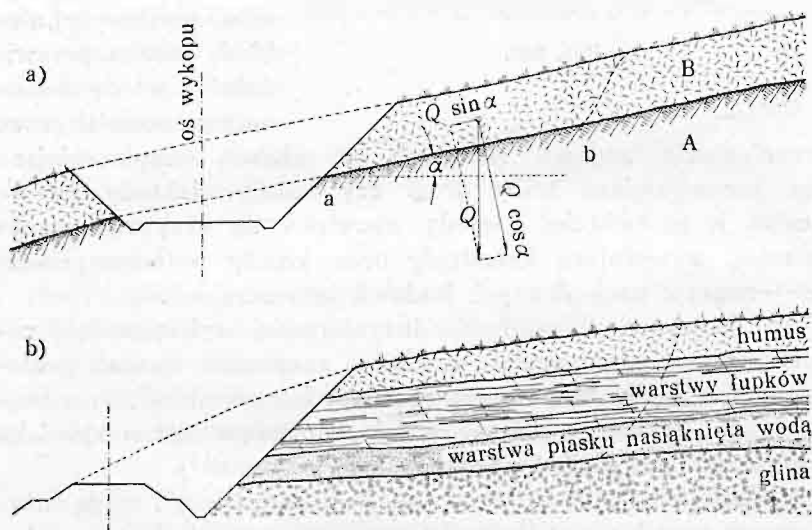
Posiadając znajomość „Geologii inżynierskiej”, mogą inżynierowie, projektujący budowle inżynierskie (nie tylko ziemne) — przeprowadzać racjonalne badania geologiczne przed przystąpieniem do projektowania budowli, aby uniknąć przykrych niespodzianek w postaci usuwisk itp.

Poprzestając na ogólnikowym wyliczeniu przyczyn powstawania usuwisk, niezależnych od wykonywania robót ziemnych, gdyż szczegółowe opisy tych zjawisk interesujący się tą sprawą znajdą w podręcznikach geologii inżynierskiej, szczegółowiej zatrzymamy się nad przyczynami usuwisk nasypów i wykopów, wywołanych przez wykonywane lub wykonane roboty ziemne oraz nad sposobami zapobiegania powstawania usuwisk.

¹⁾ Np. Zbiorowa praca K. Redlicha, L. Terzaghiego i R. Kampea p. t. *Ingenieur-Geologie*. Wiedeń 1929, przetłumaczona na kilka języków.

2. Przyczyny usuwisk w wykopach

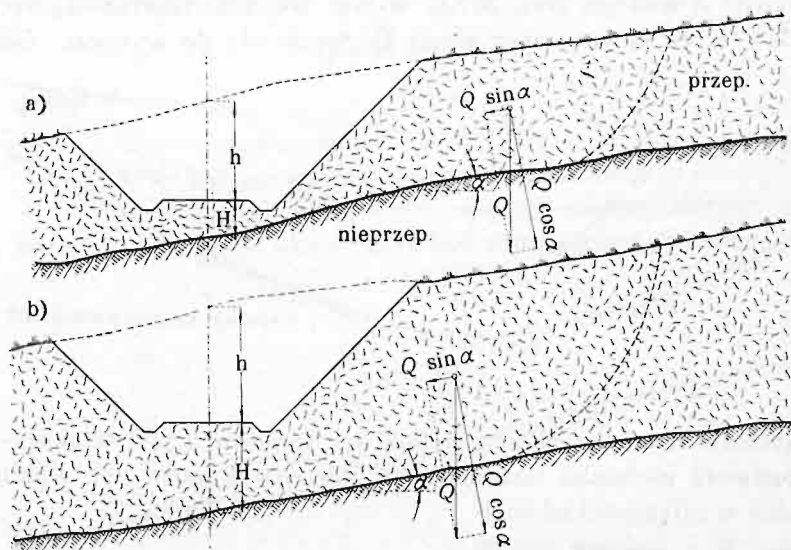
Gdy grunt, w którym wykonywane są roboty, składa się z dwóch lub więcej warstw pochylonych pod pewnymi kątami do poziomu i gdy warstwy są słabo związane między sobą (np. gdy współczynnik tarcia między nimi jest mały z tych lub innych przyczyn), wtedy niekiedy przy wykonywaniu, a niekiedy nawet w dłuższy czas po wykonaniu wykopu wskutek naruszenia równowagi mas ziemi może nastąpić zsuniecie jednej warstwy ziemi po drugiej.



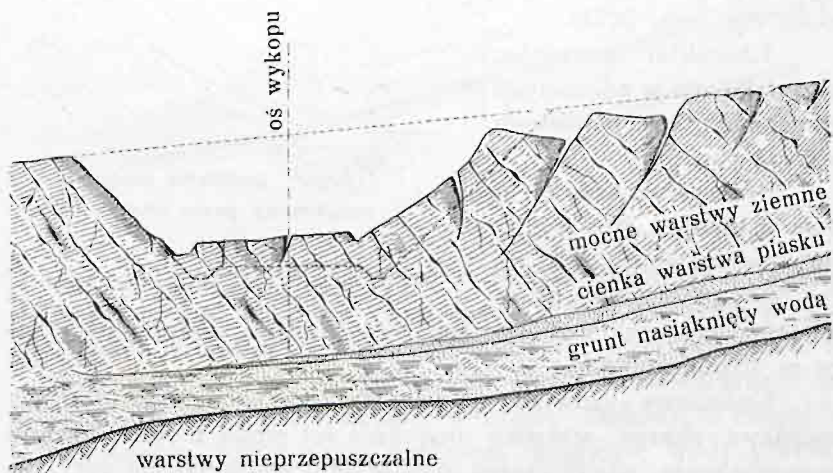
Rys. 206.

Może tu być kilka wypadków charakterystycznych. Gdy, np. warstwy pochylone do poziomu są przecięte przez wykop, może mieć miejsce usuwisko (rys. 206), jeżeli dolna warstwa A jest nieprzepuszczalną (np. pokład gliny), a górna warstwa — przepuszczalna (np. pokład piasku); wtedy powierzchnia usuwowa ab zwykle bywa zwilżona, przez co współczynnik tarcia f pomiędzy warstwami gliny i piasku znacznie się zmniejsza i pewna masa ziemi przy małej zwięzłości wierzchniej warstwy B może zsunąć się do wykopu; czasami wystarczy nawet niewielkie pochylenie warstw do poziomu ($\alpha = 4^\circ - 6^\circ$). Nastąpi to wtedy, gdy składowa ciężaru masy ziemi usuwającej się

równoległa do powierzchni usuwowej $Q \sin \alpha \geq f Q \cos \alpha$, gdzie $Q \cos \alpha$ — składowa prostopadła do powierzchni usuwowej.



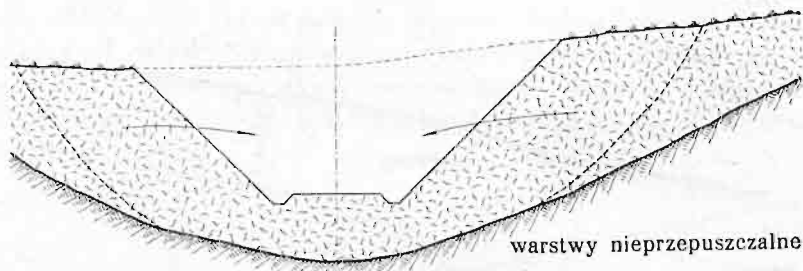
Rys. 207.



Rys. 208.

Z tych samych powodów może nastąpić usuwisko przy usytuowaniu pokładów, wskazanym na rys. 206b. Również usuwisko może mieć miejsce, gdy wykop nie przecina powierzchni,

ograniczającej poszczególne warstwy, a głębokość H tej powierzchni pod koroną wykopu jest mała w stosunku do głębokości h wykopu (rys. 207a); w tym wypadku można się spodziewać, że pewna masa ziemi Q zsunie się do wykopu. Gdy



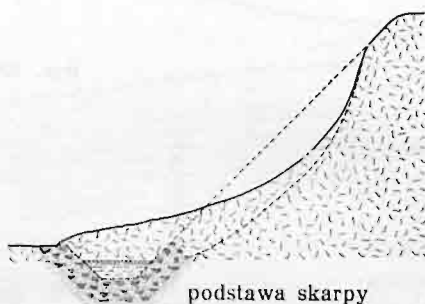
Rys. 209.

głębokość H w stosunku do głębokości wykopu h jest większa—możliwość usuwiska jest mniejsza lub nawet może być wykluczona w zależności od wielkości H i rodzaju gruntu w warstwie górnej, jego zwięzłości, stopnia wilgotności itp. (rys. 207b).

Charakter usuwiska, powstającego w podobnych warunkach, przedstawiony jest na rys. 208.

Jeszcze większy efekt daje usuwisko, gdy wykop jest usytuowany, jak na rys. 209, gdy warstwy gruntu nieprzepuszczalnego są z obydwóch stron wykopu pochyłone w stronę wykopu.

Częściowe usuwisko skarpy wykopu może nastąpić, gdy podstawa skarpy wskutek nasycenia jej wodą z rowu ulegnie rozmiękczeniu, wtedy skarpa ulegnie deformacji, jak na rys. 210.



podstawa skarpy
zmięczona przez wodę z rowu

Rys. 210.

3. Przyczyny usuwisk nasypów

Całkowite usuwiska nasypów mogą powstać wskutek zbudowania nasypu na zboczu (rys. 211). Gdy warstwa, na

której budowany jest nasyp, na powierzchni pokryta jest darnią lub składa się z gruntu nieprzepuszczalnego, mogą powstać warunki, przy których:

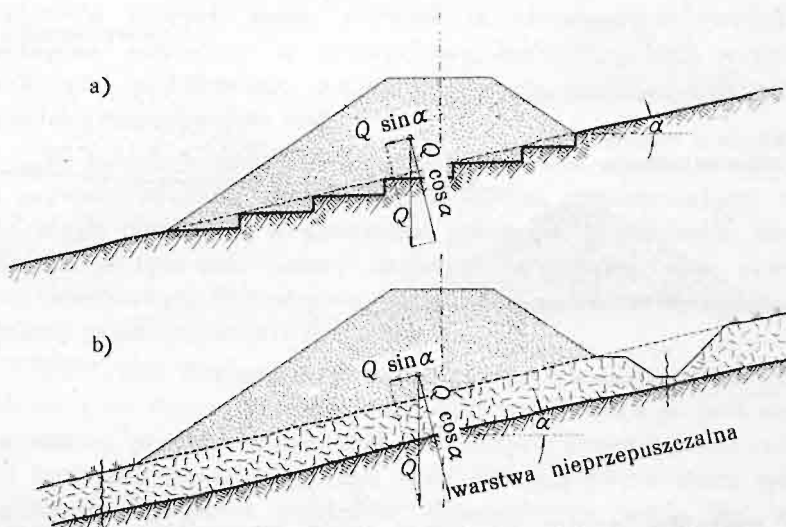
$$Q \sin \alpha > f Q \cos \alpha,$$

gdzie:

Q — ciężar nasypu,

α° — kąt pochylenia terenu do poziomu,

f — współczynnik tarcia między ciałem nasypu i powierzchnią terenu, który może być zmniejszony znacznie wsku-



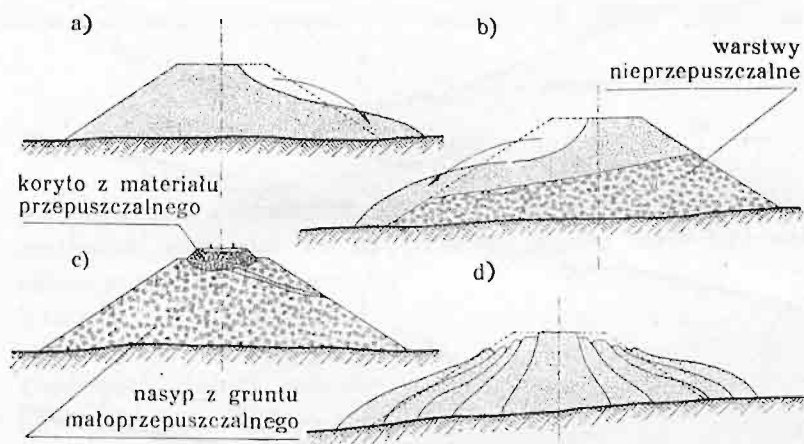
Rys. 211.

tek zwilżenia tej powierzchni wodą deszczową, przenikającą od górnej strony lub przez nasyp (rys. 211a). Również przy niewielkiej grubości wierzchniej warstwy przepuszczalnej (rys. 211b) całkowite usuwisko nasypu wraz z warstwą gruntu przepuszczalnego może nastąpić w czasie budowy, a często i po ukończeniu robót przy większym dopływie wody gruntowej, np. po długotrwałych deszczach.

Nieraz zjawisko takie można widzieć na nie fachowo budowanych drogach lub kolejach na całych kilometrach, a poziom zsuniętego i zdeformowanego nasypu obniżyć się może znacznie — o kilka lub kilkadziesiąt metrów. Nie trzeba doda-

wać, jakie straty bezpośrednie i pośrednie wywołuje taka nieopatrna budowa.

Częściowe usuwisko nasypów może być wywołane nieracjonalną budową nasypów: np. materiał, z którego budowany jest nasyp, może być nieodpowiedni na nasyp; kurawka użyta w nasypie pod wpływem opadów atmosferycznych, zwłaszcza gdy skarpy nie są należycie zabezpieczone, może „rozlać się”, jak na rys. 212a. Również nieracjonalne użycie kil-



Rys. 212.

ku rodzajów gruntu na nasyp może spowodować częściowe usuwisko nasypu: np. gdy w dolnej części nasypu użyty jest grunt nieprzepuszczalny, a w górnej przepuszczalny; pod wpływem wody atmosferycznej, przedostającej się w głąb nasypu, może nastąpić usuwisko częściowe o charakterze, jak na rys. 212b.

Gdy na nasypach kolejowych zaraz po ich zbudowaniu bez należytego ubijania układane są tory kolejowe na podsypce z balastu (piasku lub tłucznia), wtedy łatwo tworzą się tzw. koryta balastowe, bywające w czasie ulew przyczyną tworzenia się częściowych usuwisk (rys. 212c), zwłaszcza gdy nasyp zbudowany jest z różnych gruntów: woda z koryta może znaleźć ujście, żłobiąc z początku małe kanaliki, będące później przyczyną częściowych usuwisk nasypu.

Może być również przyczyną częściowych usuwisk nasy-

pu pod wpływem wód atmosferycznych wykonywanie nasypów warstwami pochyłymi (dosypywanie nasypów); w tym wypadku charakter usuwiska będzie, jak na rys. 212d.

4. Zapobieganie tworzeniu się usuwisk

Przed przystąpieniem do opracowania projektu urządzeń, zabezpieczających przed powstawaniem usuwisk, należy przeprowadzić szczegółowe badania pokładów gruntu w pobliżu miejsc, w których mogą powstać te niepożądane zjawiska; zwłaszcza potrzebne są szczegółowe badania w tych wypadkach, gdy podejrzewać możemy, że mogą powstać całkowite usuwiska nasypów lub wykopów.

W takich wypadkach nie należy żałować czasu i środków na przeprowadzenie szczegółowych badań, czasem nawet na większych obszarach, aby określić położenie powierzchni usuwowej. W tym celu należy oznaczyć za pomocą sieci otworów wiertniczych lub szybów pionowych górniczych grubość i jakość poszczególnych pokładów.

Ponieważ stwierdzenie w pokładach obecności wody zaskórnej i jej ilości dla określenia możliwości usuwisk jest rzeczą ważną, przeto zastosowanie górniczych szybów pionowych jest racjonalniejsze, gdyż daje dokładniejszy obraz stanu wód zaskórnych, grubości pokładów nasiąkniętych wodą itp., niż zastosowanie wierceń.

Na podstawie badań pokładów gruntu powinniśmy mieć możność wykreślenia — przy większych obszarach, które mogą podlegać usuwiskom, — planu warstwicowego powierzchni usuwowej.

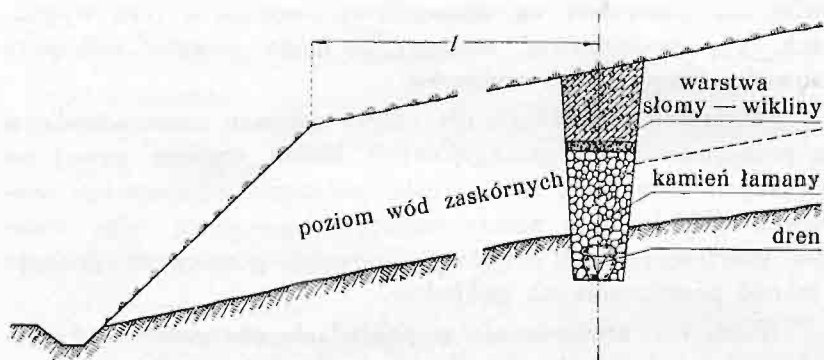
Do urządzeń zabezpieczających przed usuwiskami należą przede wszystkim urządzenia usuwające wodę zaskórną z powierzchni usuwowej, przez co zwiększa się współczynnik tarcia między warstwami gruntu na powierzchni usuwowej.

Stosunkowo rzadko dla uprzedzenia usuwisk lub zabezpieczenia przeciwko powtórzeniu się ich stosuje się urządzenia zabezpieczające innego rodzaju, jak np. zabijanie szeregu pali drewnianych, żelaznych lub żelbetowych w pewnych odstępach,

które miałyby na celu utrzymanie wierzchniej warstwy na dolnej.

Najwięcej celowym urządzeniem jest ujęcie i odprowadzenie wody z powierzchni usuwowej i jej osuszenie; można je wykonać przy pomocy sztolni otwartych lub górniczych.

Sztolnie otwarte. Są one wykonywane na zasadzie przeprowadzonych badań układu warstw gruntu w pewnej odległości od wykopu równoległe, bądź nierównoległe do osi drogi — w zależności od układu warstwic powierzchni usuwowej. Są to wąskie rowy szerokości na dnie 1,0—1,20 m, aby robotnik swobodnie mógł pracować.

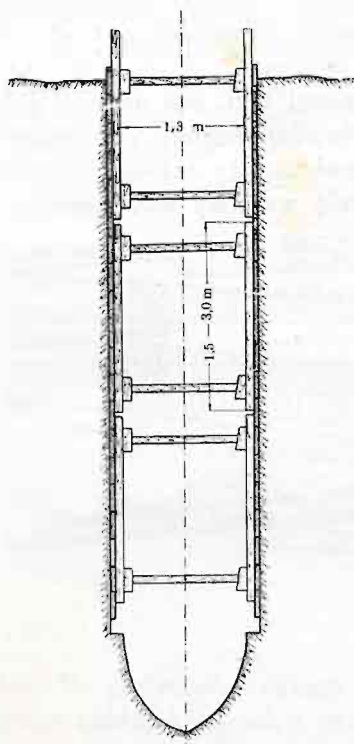


Rys. 213.

W sztolniach otwartych (rys. 213) ściany boczne są prostopadłe, najwyżej nieco rozszerzające się ku górze. Jeżeli głębokość sztolni otwartych nie przekracza 1,5 m, można ścian bocznych nie zabezpieczać przy pomocy odeskowania, rozpartego w sposób praktykowany przy wykopach wodociągowo-kanalizacyjnych, o ile grunt jest dość zwięzły; w tym wypadku należy ściany wykopu dać nieco pochyłe, aby zmniejszyć niebezpieczeństwo zasypania robotników, pracujących na dnie sztolni.

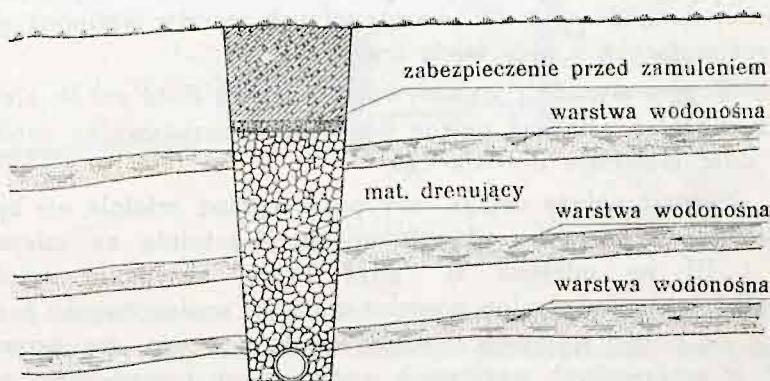
Przy większych głębokościach — głębokość sztolni otwartych dochodzi do 12—15 m — należy obowiązkowo dawać odeskowanie, rozparte poziomymi rozpórkami, rozmieszczonymi co 1,5—2,0 m; sztolnie w tym wypadku zabezpieczać można w sposób wskazany na rys. 14 przy szybach górniczych pionowych

lub w sposób wskazany na rys. 214. Odeskowanie zakłada się stopniowo w miarę wykonywania sztolni. Można zresztą wykonywać odeskowanie sztolni otwartych innymi sposobami.



Rys. 214.

Ze sztolnią zagłębiany się w warstwę nieprzepuszczalną, w której wykonywany jest dren o wymiarach wystarczających dla ujęcia i odprowadzenia wody zaskórnej; dren winien mieć spadek przynajmniej 0,01, może być wykonany z łupanego kamienia, z którego układa się kanalik, bądź też układa się z rur ceglanych; betonowe rury możemy stosować, gdy mamy pewność, że w wodzie zaskórnej nie ma składników oddziałujących niszcząco na beton. Ułożony na dnie sztolni dren obsypuje się materiałem drenującym (tłuczniem, żwirem lub czystym gruboziarnistym piaskiem) do wysokości powyżej poziomu wód zaskórnych; warstwa materiału drenującego z wierzchu pokrywa się warstwą słomy, wi-

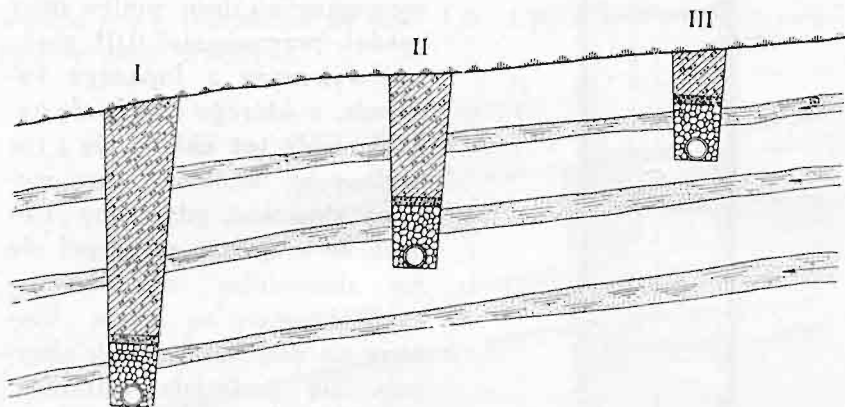


Rys. 215.

kliny, igliwia lub tp., aby dren się nie zamulał, i z wierzchu zasypuje się ziemią wyjętą ze sztolni; ziemię tę silnie się ubija.

Odeskowanie w miarę zasypywania sztolni można stopniowo wyjmować bądź też zostawiać, licząc się z tym, że z czasem zgnije.

Jeżeli mamy układ pokładów ziemi taki, jak na rys. 215, tj. kilka warstw przepuszczalnych (wodonośnych), poprzedzielanych warstwami nieprzepuszczalnymi, należy sztolnię założyć materiałem drenującym powyżej górnej warstwy wodonośnej.



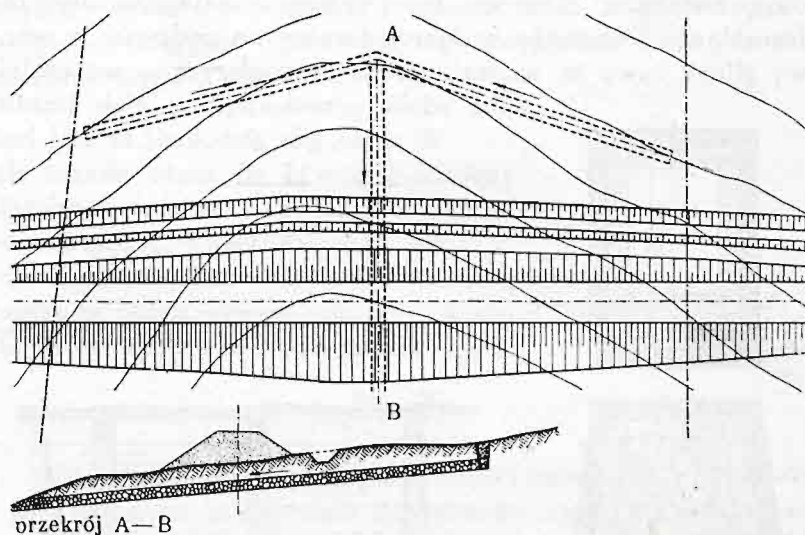
Rys. 216.

Jeżeli o materiał drenujący jest trudno i jest on drogi, po przeprowadzeniu kalkulacji, przy sytuacji pokładów takiej, jak na rys. 215, może okazać się tańszym urządzenie trzech sztolni, dochodzących do poszczególnych warstw wodonośnych i przejmujących z nich wodę (rys. 216).

W tym wypadku wykonywując większą ilość robót ziemnych możemy osiągnąć pewną oszczędność, zużywając mniejszą ilość materiału drenującego.

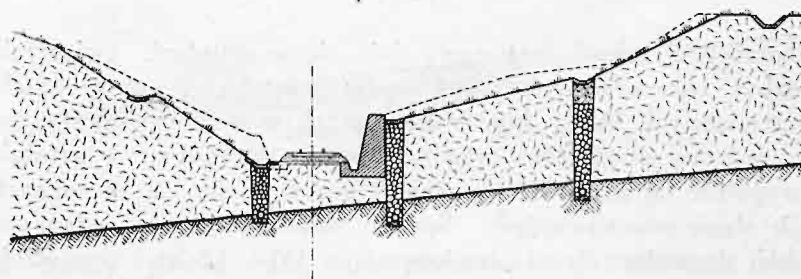
Zwrócić należy uwagę, aby poszczególne sztolnie nie były wykonane w porządku odwrotnym (np. I sztolnia na miejscu III i III na miejscu I), gdyż przez zasypanie sztolni ziemią nieprzepuszczalną powyżej warstw wodonośnych przerwa się potoki spływającej wody; woda zaczyna się gromadzić w przerwanych warstwach wodonośnych i powiększa możliwość powstania usuwiska.

Długość sztolni, kierunek spadku ich dna określa się na zasadzie badań gruntu i planu warstwicowego powierzchni usuwowej.



Rys. 217.

Na podstawie takiego planu (rys. 217) możemy zaprojektować układ, kierunek i przekrój podłużny sztolni.



Rys. 218.

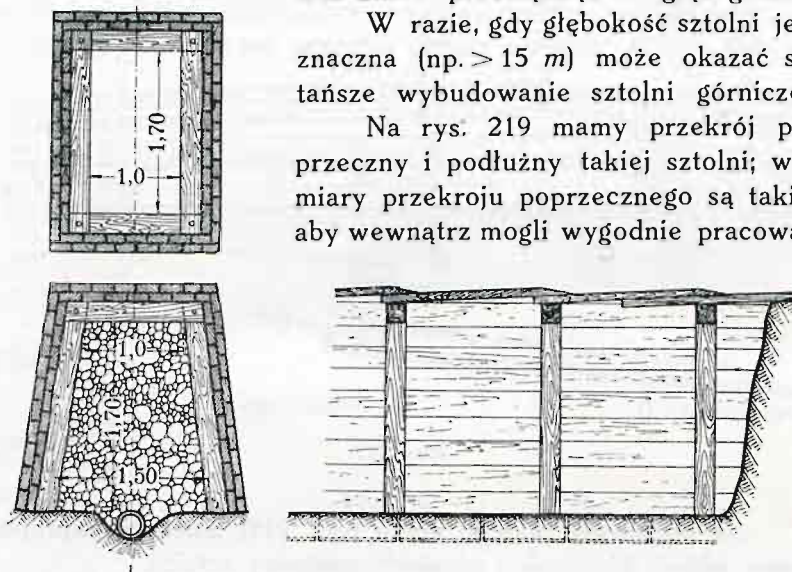
Czasami może zająć potrzeba wykonania kilku sztolni równoległych, aby dokładnie osuszyć powierzchnię usuwową i zapobiec powstaniu usuwisk.

Np. na rys. 218 mamy zbudowane aż trzy sztolnie otwar-

te, usuwając wodę z poszczególnych pasów powierzchni usuwowej. Aby zmniejszyć ilość wody, która by tą drogą mogła się przedostać do powierzchni usuwowej, urządzamy kilka rowów ochronnych, dając im dno i skarpy z materiału nieprzepuszczalnego (choćby z dobrej darniny na podsypce z warstwy gliny); rowy te usuwają wodę atmosferyczną wcześniej, nim zdola przesiąknąć w głąb gruntu.

W razie, gdy głębokość sztolni jest znaczna (np. $> 15\text{ m}$) może okazać się tańsze wybudowanie sztolni górniczej.

Na rys. 219 mamy przekrój poprzeczny i podłużny takiej sztolni; wymiary przekroju poprzecznego są takie, aby wewnątrz mogli wygodnie pracować



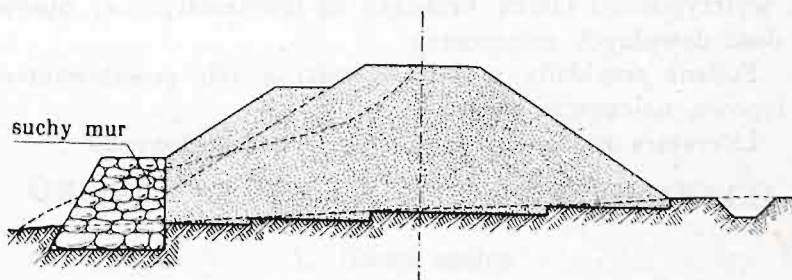
Rys. 219.

robotnicy. Przekrój trapezowy daje się w gruntach zwięzłych, niezbyt rozrzedzonych przez wodę; prostokątny—w gruntach, rozrzedzonych wodą (np. w kurzawce); w tym wypadku grunt rozrzedzony wodą łatwo mógłby od spodu przeniknąć w sztolnię i wypełnić ją; zapobiegamy temu, uszczelniając ją ze wszystkich stron odeskowaniem. Sposób odeskowania za wieńcami z bali drewnianych rozstawionymi co 1,0—1,5 m i posuwania się naprzód według z góry opracowanego projektu, widoczny jest z przekroju podłużnego sztolni.

Po przebicciu sztolni i ułożeniu na dnie drenu, wypełnia się ją całkowicie materiałem drenującym, aby z czasem, gdy odeskowanie i wieńce zgniją, sztolnia nie zawaliła się i nie przestała działać; przy wypełnianiu materiałem drenującym zwykle wieńce i odeskowanie nie są rozbierane.

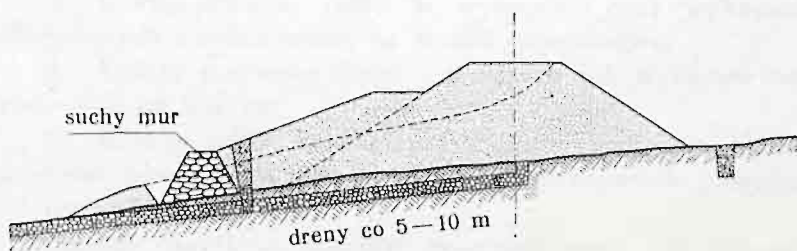
Przy częściowych usuwiskach nasypów należy zbadać ich przyczynę.

Po zdeformowaniu wskutek częściowego usuwiska skarp nasypu, zwykle rezygnujemy z umieszczenia zsuniętej części nasypu z powrotem i staramy się dosypywać je w sposób wskazany na rys. 220 i 221.



Rys. 220.

W celu osuszania dosypanej części nasypu daje się ławkę z suchego muru lub narzutu kamiennego, które nie zatrzymują wody zaskórnej. Poza tym w celu usunięcia wody, jaka mogłaby się przedostać poprzez warstwę przepuszczalną, urządza się



Rys. 221.

od strony górnej bądź rów otwarty (rys. 220), bądź dren w sztolni położony poniżej warstwy nieprzepuszczalnej (rys. 221).

W celu usunięcia wody, jaka poprzez ciało nasypu mogłaby się przedostać do powierzchni usuwowej, dobrze jest urządzać (rys. 221) sączi poprzeczne z tłucznia lub żwiru w odległości 5—10 m jedna od drugiej.

Niekiedy oprócz urządzeń, odprowadzających wodę z powierzchni usuwowej, w celu przeciwdziałania zsuwaniu się jed-

ných warstw gruntu po drugich, wbijane są w pewnych odstępach pale, rury żelazne, pale żelbetowe, budowane są mury oporowe suche.

Powyższe środki, zabezpieczające przeciw usuwiskom, stosuje się wtedy, gdy się obawiamy, że urządzenie drenów w sztolniach otwartych lub górniczych nie wystarczy. Obliczenia wytrzymałości takich urządzeń są problematyczne, oparte na dość dowolnych założeniach.

Podane przykłady usuwisk i walki z ich powstawaniem są typowe, najczęściej spotykane.

Literatura zna wiele wypadków więcej złożonych.