CZĘŚĆ PIERWSZA.

ROBOTY ZIEMNE. DROGI I ULICE.

TREŚĆ.

	Strona
Geologja inżynierska. Napisał dr. Tadeusz Wiśniowski, profesor politechniki (Lwów)	1
Kamienie naturalne. Napisali inż. Władysław Jabłoński, prezydent miasta (Warszawa) i dr. Tadeusz Wiśniowski, profesor politechniki (Lwów)	16
I. Wybuchowe skały głębinowe	16
II. Wybuchowo skały wylewne	17
III. Łupki krystaliczne	19
IV. Skały osadowe	19
V. Techniczne własności ogólne kamieni rodzimych	22
Roboty ziemne. Napisali inż. Jan Popielecki, profesor szkoły technicznej (Poznań), inż. Bolesław Walkiewicz (Warszawa) i inż. Zygmunt Balicki (Warszawa)	23
I. Prace przygotowawcze (Popielecki, Walkiewicz)	23
II. Dobywanie ziemi (Walkiewicz, Balicki)	28
III. Przewozy przy robotach gruntowych (Walkiewicz, Balicki)	37
IV. Obliczenie mas i ich rozdział (Popielecki)	50
V. Wykonanie robót (Popielecki)	59
VI. Ochrona budowli ziemnych (Popielecki)	66
Tunele. Napisał inż. Artur Kühnel, profesor politechniki (Lwów)	72
Drogi. Napisał inż. Melchior Wł. Nestorowicz, dyrektor departamentu drogowego Ministerstwa Robót Publicznych (Warszawa)	80
I. Ruch na drogach	80
II. Trasowanie	88
III. Nawierzchnia dróg	92
IV. Zadrzewianie dróg	105
V. Ochrona od zasp śnieżnych	106
VI. Prawodawstwo i administracja	107
Ulice. Napisał inż. Artur Kühnel, profesor politechniki (Lwów)	108
I. Układ ulic	108
II. Części składowe ulicy	115
III. Utrzymanie i oczyszczanie	125

Geologja inżynierska.

Geologja jest nauką o dziejach ziemi i o zjawiskach, które te dzieje stanowiąc, zostawiają po sobie ślady w budowie skorupy ziemskiej czyli litosfery. Część geologji, która mówi o skorupie ziemi i o tych właśnie zjawiskach, jest wstępem do właściwej geologji historycznej i nosi nazwę geologji ogólnej. Zajmuje się ona przedewszystkiem materjałem litosfery (petrografja, por. dział następny: „Kamienie naturalne"), sposobem jego ułożenia (tektonika) i siłami, które, kształtując litosferę, powodują w ten sposób najrozmaitsze zjawiska geologiczne (geologja dynamiczna).

Skały. Skały osadowe, które powstały, osadzając się najczęściej w wodzie, okazują zw. mniej lub więcej wyraźne uwarstwienie (pod tym względem pozornie zbliżają się do nich t. zw. łupki krystaliczne); skały wybuchowe czyli magmatyczne tworzą pnie lub żyły, przebijając skały inne. Grubość warstwy nazywamy jej miąższością. Warstwy, które leżą nad warstwą daną, tworzą jej strop; znajdujące się pod nią — spąg. Warstwy skał pożytecznych nazywamy zw. „pokładami", (np. pokłady węgla); na pokładach soli kamiennej widzimy niekiedy olbrzymie nabrzmienia, t. zw. „pnie solne" (u nas na Kujawach, np. Inowrocław). Przy normalnem ułożeniu — warstwy w stropie są zawsze młodsze, a w spągu starsze od warstwy danej.

Ułożenie warstw. Na t. zw. obszarach płytowych (np. na Podolu) warstwy leżą mniej więcej poziomo, tak, jak się osadziły; w Karpatach, górach Świętokrzyskich itd., są rozmaicie dyzlokowane — pofałdowane, nasunięte jedne na drugie, popękane, nieraz wzdłuż pęknięć przesunięte. Najlepiej poucza o dyzlokacjach i wogóle tektonice danego obszaru t. zw. przekrój czyli profil geologiczny (por. np. fig. 5, 6). Na fałdach (geologicznych) rozróżniamy część wypukłą, tj. siodło (antyklina) i część wklęsłą czyli łęk (synklina). Fałdy mogą być proste, pochyłe, leżące itp. (fig. 1; w fałdzie leżącym (*D*) lub przewalonym (*C*) warstwy

Fig. 1. Fałdy: *A* — prosty, *B* — pochyły, *C* — przewalony, *D* — leżący.

starsze nad młodszemi). Olbrzymie siodła leżące, drugorzędnie pofałdowane i nasunięte nieraz na odległość kilkudziesięciu lub więcej kilometrów, nazywają się płaszczowinami (por. fig. 2). Fałdom lub płaszczowinom zawdzięczają powstanie góry łańcuchowe (Karpaty, Alpy itp.). Siodła i łęki ulegają z czasem rozmyciu na wierzchu („siodła otwarte"), a ciągną się nieraz na bardzo znacznej przestrzeni. W wypadku, w którym na rozmytych fałdach leżą młodsze warstwy mniej lub więcej poziomo, mówimy o ułożeniu niezgodnem (fig. 5).

Jeżeli w siodle (w łęku) znajdujemy jakąś warstwę pożyteczną, to prawdopodobnie odnajdziemy ją wszędzie wzdłuż biegu tego siodła, a więc warstw jego, względnie warstwy danej. Bieg oznacza się przy pomocy kompasu górniczego t. zw. godzinami górniczemi. Na kompasie górniczym obwód podzielony jest zwykle na dwa razy po 12 godzin (*h* = hora), w porządku odwrotnym, jak na tarczy zegarowej i z przestawionym wschodem (*E*) i zachodem (*W*). Przy biegu warstw północno-południowym oba końce igły wskazują godzinę 12 (h. 12), przy biegu wschodnio-zachodnim godzinę 6 (h. 6) itd. (por. fig. 3 i 4). Dla dokładniejszych pomiarów uwzględnia się zboczenie magnetyczne. Warstwy pochylone

Fig. 2. *a*, *b* — Fałdy miejscowe; *c*, *d* — płaszczowiny.

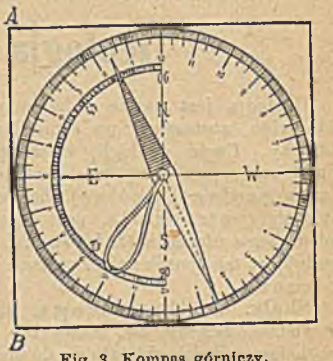


Fig. 3. Kompas górniczy.

zapadają w kierunku prostopadłym do biegu w głąb. Jeżeli w danem miejscu odsłaniają się na wierzchu, łatwo obliczymy głębokość, w której znajdą się w określonem oddaleniu od tego punktu, znając wielkość ich upadu. Do oznaczenia tego kąta służy pionik, zawieszony na osi igły kompasu (fig. 3).

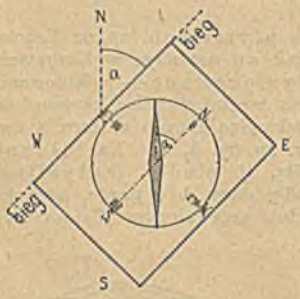


Fig. 4. Użycie kompasu górniczego. *N*, *E*, *S*, *W* — strony świata; N_1, W_1, S_1, E_1 — strony świata na kompasie; $\sphericalangle \alpha$ — wielkość odchylenia „biegu" warstw ku *E* od rzeczywistej linji *NS*, $\sphericalangle \alpha'$ — toż samo odchylenie na kompasie, przyłożonym odpowiednio do linji biegu.

Uskoki są to pęknięcia w litosferze, wzdłuż których płaty skorupy ziemi obsunęły się z jednej strony; biegną nieraz kilkadziesiąt i więcej kilometrów (fig. 5). Znika w takim razie ciągłość

Fig. 5. Niezgodne ułożenie warstw (*b* na *a*); uskok (*x x*).

warstw w pewnym kierunku. Szczeliny uskokowe są często naturalnemi drogami dla wód podziemnych, któremi mogą dostać się na powierzchnię nawet z bardzo znacznej głębokości (źródła gorące, mineralne) itp. Z uskokami wiąże się powstawanie t. zw. gór bryłowych (Szwarcwald, Wogezy) lub zapadlisk (morze Czerwone, dolina Jordanu, niziny Podkarpackie).

Zjawiska geofizyczne. Ważnem zjawiskiem, które pozostaje w związku z budową litosfery, są t. zw. anomalje ciężkości; pokazuje je waga

skręceń Eötvösa, a odpowiadają one ubytkom względnie przybytkom masy w głębi skorupy ziemi. Stwierdzono je np. nad Maroszem, dopływem Cisy, wzdłuż siodeł, zawierających kopuły soli kamiennej, stosunkowo znacznie lżejszej od skał, które je przykrywają. To też i u nas, np. na Kujawach, gdzie nieraz w znacznej głębokości obok soli zwykłej znajdują się także cenne sole potasowe, a złoża solne tworzą tak samo pnie potężne, w badaniu ich rozmieszczenia ta metoda może oddać duże usługi. Inny przykład — nieprawidłowe zachowanie się pionu na górze Brocken w związku z znajdującemi się tam masami diabazu, bogatego w żelazo i stosunkowo bardzo ciężkiego.

Anomalje magnetyczne, zależne również od materjału skorupy ziemskiej, niemniej jej tektoniki itp., zaznaczają się przy badaniu zjawisk zboczenia i nachylenia magnetycznego (np. góra Brocken j. w., Himalaje).

Co się tyczy stosunków termicznych litosfery, to wahania temperatury powietrza sięgają u nas około 25 *m* w głąb (pas neutralny z średnią temperaturą roczną); dalej jest temperatura stała, rosnąca ku wnętrzu ziemi mniej więcej co 33 *m* o 1° C (33 *m* = stopień albo gradjent geotermiczny). Linje łączące w głębi ziemi punkty o równej temperaturze stałej — geoizotermy. Zbliżają się one do siebie w skałach gorzej przewodzących ciepło, w okolicach wulkanicznych, w sąsiedztwie źródeł gorących, w kopalniach węgla, zwł. brunatnego (procesy chem. — w kop. węgla brun. w Osieku, w Czechach, stop. geoterm. = 5,2 *m*), w warstwach naftowych (Baku — stop. geoterm. = 28,4), w sąsiedztwie żył kruszcowych (przemiany chem. — w kop. złota Comstock w Newadzie stop. geoterm. = 17 *m*). Przeciwnie — oddalają się w warstwach, będących lepszymi przewodnikami ciepła, dalej w związku z otwartemi szczelinami, próżniami itp. w litosferze, tak samo skutkiem pionowego ułożenia warstw (ułatwione promieniowanie ciepła przez ziemię i dopływ wód z powierzchni), wreszcie wszędzie we wnętrzu większych mas górskich (większa powierzchnia promieniowania, śniegi wieczne itp. — w tunelu Św. Gottharda stop. geoterm. średnio 45 *m*). Geoizotermy stosują się jednak zawsze przebiegiem swoim do rzeźby powierzchni i podnoszą się wewnątrz mas górskich, więc w środku wielkich tunelów, mimo zwiększonego stopnia geotermicznego, spotyka się zwykle temperatury wysokie (w tunelu Symplońskim pod najwyższym szczytem aż 55° C).

Wietrzenie. Szczególnie ważne czynniki geologiczne — to powietrze i woda. Ich wspólna praca powoduje proces wietrzenia, którego rezultatem kruszenie się i rozpadanie skał, zmiana ich barwy i przeobrażanie się chemiczne. Inżynier musi poważnie liczyć się z wietrzeniem, zarówno używając rozmaitych kamieni, jako materjału budowlanego, ozdobnego itp., jako też w naturze, gdzie spotyka się tak często, jako z produktem wietrzenia, ze złomiskami (góry Świętokrzyskie, Gorgany), z piargami, olbrzymiemi stożkami nasypowemi (np. Tatry), wreszcie przy rozpatrywaniu gleb rozmaitego rodzaju. Wietrzenie jest dwojakie: mechaniczne i chemiczne. Dla pierwszego w naszym klimacie ma duże znaczenie zamarzanie w szczelinach skał wody, która, powiększając swoją objętość, zwolna rozsadza i kruszy skałę. Podobnie działają powtarzające się szybkie i znaczne zmiany temperatury, które powodują ciągłe kurczenie się i rozszerzanie materjału skalnego (pustynie!), zwłaszcza przy złożeniu skały z rozmaitych minerałów o różnym spółczynniku rozszerzalności. Wietrzenie chemiczne polega na przeobrażaniu się chemicznem skał, względnie minerałów, które je tworzą. Dużą rolę odgrywa tu CO_2 w wodzie opadów atmosferycznych, dalej SO_2 w powietrzu dzisiejszych miast i osad fabrycznych, używających węgla kamiennego — zwłaszcza w sąsiedztwie kominów. Jednem z pierwszych następstw wietrzenia chemicznego jest odbarwianie się skały, a ostatecznym rezultatem także kruszenie się i niekiedy częściowe lub nawet całkowite rozpuszczanie materjału skalnego. Świat organiczny bierze udział

w wietrzeniu skał wprost lub pośrednio (bakterje azotowe w glebie, porosty, mchy itp. na powierzchni rozmaitych skał działają chemicznie, korzenie drzew rozsadzają skały mechanicznie; działanie chemiczne kwasów humusowych, powstających z rozkładu resztek roślinnych itd.). Wietrzenie mechaniczne ułatwia rozkład chemiczny.

Skały, wystawione bezpośrednio na działanie promieni słonecznych, wietrzeją prędzej, aniżeli znajdujące się w cieniu; o powierzchni gładkiej i płaskiej trudniej, aniżeli o powierzchni nierównej, popękane i nasiąkające wodą (spływanie wody, utrudnione czepianie się roślin itp.; obelisk, sprowadzony z Egiptu, gdzie trzymał się znakomicie dzięki suchości powietrza, do Nowego Jorku o klimacie dosyć wilgotnym, musiano napuścić parafiną z kreozotem, aby utrudnić wsiąkanie wody i przeszkodzić sadowieniu się organizmów roślinnych); skały uwarstwione są mniej odporne w porównaniu z niewarstwowemi. Nachylenie warstw sprzyja zwykle szybszemu wietrzeniu (ułatwione wnikanie wody między warstwy), niemniej złożenie z grubych ziarn o rozmaitej barwie i różnym spółczynniku rozszerzalności itd.

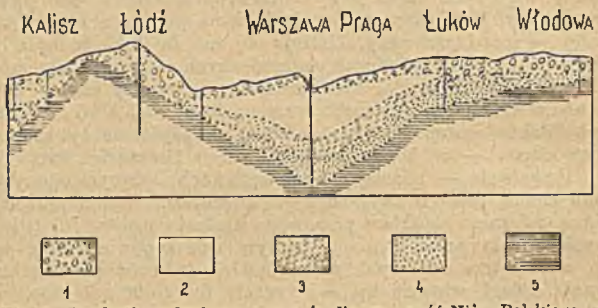


Fig. 6. Przekrój geologiczny przez środkową część Niżu Polskiego ze studniam arteczyjskiemi na Pradze w Warszawie. (Wedł. prof. Lewińskiego.) *2* i *5* — utwory dla wody nieprzepuszczalne (*2* — pstre iły neogeńskie, *5* — margle górnokredowe), *4*, a po części także *3* — warstwy z wodą artezyjską, (*4* — zielone piaski oligoceńskie, *3* — drobnoziarniste piaski z węglem brunatnym i wtrąceniami ilastemi wieku neogeńskiego).

Woda podziemna, z którą zwykle spotykamy się, jest to t. zw. woda krążąca, która znajduje się w ciągłym ruchu obiegowym między morzem, atmosferą i litosferą. Świeży nabytek dla powierzchni ziemi przedstawiają tylko wody wielu źródeł gorących, wydzielane wprost przez wnętrze ziemi, t. zw. pirosferę, jako t. zw. woda juwenilna.

Woda, przesiąkająca w głąb i powstrzymywana przez warstwę nieprzepuszczalną, jak iły, margle (które raz napojone wodą, nie przepuszczają jej zupełnie) itp., gromadzi się w skale przesiąkliwej (przewodniku) np. piaski, piaskowce; niekiedy zbiera się w szczelinach itp. Jest to t. zw. woda gruntowa albo denna w szerokiem znaczeniu tego słowa (zupełnie płytkie wody podziemne wyróżnia się jako t. zw. wodę zaskórną). Ilość wody, którą może pomieścić przewodnik, zależy od sumy objętości najdrobniejszych próżni w skale; oznaczamy ją w setnych objętości przewodnika. Dla delikatnego piasku (średn. ziarn $^1/_3$ *mm*) wynosi ona 42%, dla piasku grubego (średn. 2 *mm*) 36%, dla grubego piasku rzecznego 14—25%; piaskowiec fliszowy z Lasu Wiedeńskiego — 10,24%, zbity wapień z Hallenstein w Salzburgu — 0,72%, wapień z Rudersdorfu — 21,86%, marmur z Laas — około 2%, granit z Mauthausen w Górnej Austrji — 1,63%. (Piaski czyste, pozbawione domieszek ilastych i przepojone do granicy swojej pojemności wodą, tworzą t. zw. kurzawkę. Przy robotach górniczych, wiertniczych itp. powoduje ona nieraz poważne trudności, gdyż

zachowuje się jak ciecz gęsta. W kurzawce takiej na powierzchni topią się czasem ludzie, wozy z końmi itd.). Woda gruntowa może tworzyć większe zbiorniki podziemne, a przy nachyleniu przewodnika spływa w kierunku pochyłości. Szybkość strumienia wody gruntowej zależy od nachylenia i od tarcia; np. dla delikatnego piasku (Stralsund) przy nachyleniu 20‰ wynosi 3,5—4 *m* w 24 godzinach, dla żwirów (Limatal) przy pochyłości 5‰ zaś 4—6 *m* w tym samym czasie. Szczelinami płyną wody podziemne znacznie szybciej. Zwierciadło wód gruntowych podnosi się, względnie obniża, zależnie od rozmaitych czynników (np. w klimacie suchym obniża się pod lasami, przeciwnie na obszarach z opadami obfitemi), a działy wodne w głębi litosfery nie zawsze odpowiadają działom wód powierzchownych. Pokazują to mapy wód dennych z poziomicami dla ich zwierciadła.

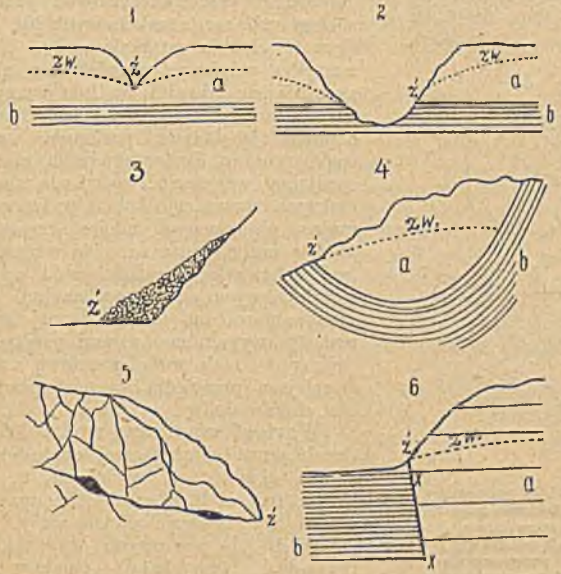


Fig. 7. Źródła spływające. *1* — źródło dolinowe, *2* — źr. warstwowe, *3* — źr. stokowo-rumowiskowe, *4* — źr. przewałowe, *5* — źr. spływająco-szczelinowe, *6* — źr. zatorowo-uskokowe; *a* — warstwy, przepuszczające wodę, *b* — warstwy nieprzepuszczalne, *x* — szczelina uskokowa, *zw* — zwierciadło wody gruntowej, *z* — źródło.

Wody artezyjskie gromadzą się w nieckowato wygiętym przewodniku między dwiema warstwami nieprzepuszczalnemi (fig. 6); obszar nasiąkania dla wód tego rodzaju (gdzie ich przewodnik wychodzi na wierzch) leży nieraz w znacznem oddaleniu (np. dla wody artezyjskiej na pustyniach Algieru w Atlasie). Z powodu ciśnienia hydrostatycznego, pod którem znajdują się w głębi, przy dowierceniu się do nich (studnie artezyjskie) lub nieraz szczeliną uskokową mogą same tryskać nawet ze znacznej głębokości.

Źródła. Wody gruntowe, w przewodnikach tak warstwowych, jak szczelinowych, z chwilą, kiedy przetną się z powierzchnią litosfery, tworzą źródła. W źródłach spływających woda wypływa skutkiem ciężkości, w podnoszących się z powodu ciśnienia hydrostatycznego. W pierwszej grupie najczęściej spotykamy: 1. źródła dolinowe, 2. war-

stwowe, 3. stokowo-rumowiskowe, 4. przewałowe, 5. spływająco-szczelinowe i 6. zatorowo-uskokowe (por. fig. 7); druga obejmuje przedewszystkiem: 1. źródła fałdowe, 2. podnoszącо się szczelinowe i 3. podnoszącо się uskokowe (por. fig. 8); szczególny rodzaj źródeł — to źródła krasowe, np. jaskiniowe (źr. Czarnego Dunajca w Kościelisku), kotłowe (źr. Bugu w Werchobużu), odznaczające się zawsze nadzwyczajną obfitością wody. W źródłach fałdowych i uskokowych, podnoszących się przewodnik wody dennej jest zamknięty między dwiema warstwami nieprzepuszczającemi wody i tworzy sam, albo z szczeliną uskokową, jakby dwa naczynia połączone; podobnie w podnoszących się źródłach szczelinowych (fig. 8).

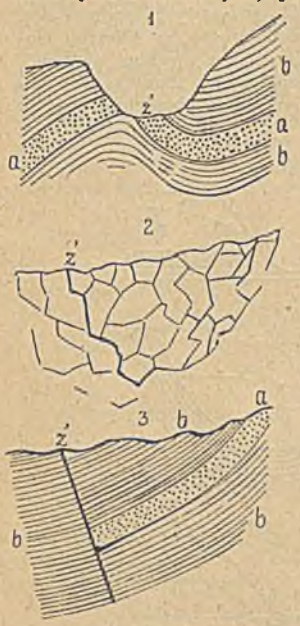


Fig. 8. Źródła podnoszące się. *1* — źródło fałdowe, *2* — źr. podnoszącо się szczelinowe, *3* — źr. podnoszącо się uskokowe; *a* — warstwy wodę przepuszczające, *b* — warstwy nieprzepuszczalne, *z* — źródło.

Wyraźne linje źródeł tworzą się wzdłuż „wychodni“ przewodnika wód gruntowych, z biegiem szczelin uskokowych itp. Ta okoliczność ułatwia szukanie wody. Tak samo martwice wapienne, usuwiska itp. nieraz zaznaczają się również wzdłuż pewnych linij na zboczach dolin, dowodząc, że warstwy, które odpowiadają danemu poziomowi, zawierają wodę gruntową. Torfowiska i mchy im właściwe specjalna wegetacja, spotykana na łąkach mokrych, nawet roje komarów i much, trzymające się pewnych miejsc, częste tworzenie się mgły i oparów — to wszystko może być wskazówką obecności wód wgłębnych, podchodzących aż do powierzchni. Naturalnemi zbiornikami wody dennej są doliny rzek itp., wypełnione żwirami, piaskami. Znajdziemy w nich wodę gruntową najpewniej w miejscu przecięcia się pod powierzchnią obu stoków doliny.

Wartość użytkowa wody. Dla stwierdzenia wartości użytkowej znalezionej wody trzeba zbadać: 1. wydajność, 2. trwałość źródła, tudzież 3. własności chemiczne, 4. termiczne i 5. bakterjologiczne wody.

W dwóch pierwszych wypadkach (wydajność, trwałość) pomiary robione przez dłuższy czas co do wydajności źródła, względnie wahań poziomu zwierciadła wody podziemnej, dalej obserwacje stacyj meteorologicznych, tyczące się opadów atmosferycznych i wilgoci względnej w ciągu roku na obszarze nasiąkania, wreszcie — rzecz dużej wagi — dane geologiczne, potrzebne dla określenia rodzaju źródła, zasięgu obszaru nasiąkania, a także wegetacja, obecność, niemniej stan lasów itp. — są to momenty decydujące, które składają się na opinję. (Przy określaniu obszaru nasiąkania nieraz pomocna fluoresceina, która nawet w rozcieńczeniu miljardowem daje się stwierdzić w wodzie przy pomocy fluoroskopu Marboutina). Wydajność źródeł ulega nieraz bardzo znacznym wahaniom, ale w związku z tem o używalności źródła decyduje nie wydajność maksymalna, ani średnia roczna, ale zmniejszona, w czasie największego zapotrzebowania, a więc w lecie.

Własności chemiczne wód źródlanych, względnie dennych, określa dokładna analiza. Zw. ilość rozpuszczonych ciał stałych [przedewszystkiem $CaH_2(CO_3)_2$, $MgH_2(CO_3)_2$, $CaSO_4$] między 100 *mg* a 400 *mg* w 1 *l*, czasem więcej. Wody zawierające więcej niż 600 *mg* nazywamy „twardemi“ w przeciwstawieniu do „miękkich“. 10 *mg* CO_2 lub 7 *mg* MgO_2 odpowiada 1° tward. niem.;

1° franc. tward. = 0,56° niem. tward. — Wody twarde odznaczają się tem, że dopiero po dodaniu większej ilości wyskokowego roczynu mydła dają z niem wybitną i twardą pianę. Posiadające więcej niż 44° franc. = 25° niemieckiej twardości są zw. uważane za nieodpowiedne do picia (tak samo chociażby z nieznaczną zawartością związków, będących produktami gnicia, jak azotyny, amonjak, siarkowodór); do kotłów parowych nieodpowiednie nawet mające 35° franc. = 20° niem. (kamień kotłowy). Oddzielny typ stanowią źródła mineralne.

Temperatura zwykłej wody gruntowej jest mniej więcej stała i równa średniej rocznej danego miejsca (wody artezyjskie z reguły cieplejsze); najodpowiedniejsza dla wody do picia 8—12° C. Woda zaskórna różni się znacznie od dennej i własnościami chemicznemi (obecność związków będących produktami gnicia — por. wyżej) i pod względem temperatury (bardzo znaczne wahania). Oprócz źródeł zwykłych są gorące czyli termy.

Dla źródeł i wód podziemnych o publicznej wartości użytkowej wyznacza się obszary ochronne na podstawie dokładnej znajomości geologicznej budowy okolicy.

Zjawiska krasowe powstają, gdy wody podziemne, rozpuszczając skały, wśród których przepływają szczelinami, tworzą wielkie groty, rozległe sieci korytarzy podziemnych itp.; w nich gubią się nieraz całe rzeki, wypływając potem niżej w znacznem oddaleniu. Powierzchowne wody łączą się często z sobą na obszarach krasowych arterjami podziemnemi (do stwierdzenia tego między innemi fluoresceina, por. str. 6). Niesłychanie obfite źródła, o bardzo dużych wahaniach wydatności i nieraz wysychające zupełnie, są również właściwością okolic tego rodzaju, a w związku z tem wszystkiem lejki zapadliskowe, doliny ślepo zamknięte, okresowe jeziora, powierzchnia skalista i sucha, brak gleby, ubóstwo wegetacji (u nas po części np. w niektórych okolicach wapiennego pasma Krakowsko-wieluńskiego, w Stopnickiem i na Pokuciu na tamtejszych gipsach).

Temu działaniu niszczącemu wód krążących w głębi odpowiada, jako praca twórcza wody podziemnej, wypełnianie się grot i jaskiń wapieniem naciekowym, tworzenie się wielu złoży mineralnych (żyły mineralne, gniazda), osadzanie przez źródła martwic wapiennych itd.

Zwały górskie. Nachylenie silne stoku góry, względnie zbocza doliny, własności skały (gruz stokowy, iły, łatwo pękające skutkiem wysychania i po nasiąknięciu wodą nie przepuszczające jej dalej), przepojenie skały wodą w dużej ilości lub zebranie się jej pod warstwami nawet zupełnie zwięzłemi, ale z silnym upadem ku dolinie i w spągu z iłami — zwłaszcza, jeżeli stracą te warstwy u spodu naturalną podstawę skutkiem podmycia przez wody płynące albo z powodu robót inżynierskich, nieostrożnie prowadzonych — są to momenty, które tworzą „predyspozycję“ w danem miejscu do powstania t. zw. zwału górskiego. I potrzeba wtedy tylko jakiejś bezpośredniej „podniety“, jak szczególnie obfite opady, czasem trzęsienia ziemi itp., aby cała masa skalna obsunęła się, względnie oberwała ku dolinie (usuwisko, oberwanie się), czemu towarzyszy często niezmiernie gwałtowny prąd powietrza, który wszystko porywa z sobą i nieraz daleko przerzuca. Iły, napojone wodą, tworzą szczególnie łatwo usuwiska, spływając i zgniatając wszystko przed sobą, względnie unosząc całe partje nasypów, torów kolejowych itp.; np. przy budowie kolei żelaznych w Sycylji (linja Palermo—Porto Empedocle, Catania—Licata) i w południowych Włoszech (Neapol—Foggia). W Karpatach można się także spotkać z tem zjawiskiem. Ważne to również przy zakładaniu fundamentów itp. robotach.

Praca mechaniczna wód płynących polega na unoszeniu skalnego materjału okruchowego, który wcześniej czy później ulega „osadzeniu“

(„akumulacja"), tudzież na „wymywaniu" przy jego pomocy drogi dla siebie („erozja"). Materjał, który rzeki transportują, jest trojaki: 1. okruchowy, jak żwir i piasek, posuwany dnem, 2. t. zw. męty, tj. delikatny muł w stanie zawieszenia i 3. części rozpuszczone. Ilość ich zmienia się znacznie w rozmaitych porach. Naogół rzeki posiadają wodę miękką (w Wiśle koło Chełmna 201 *mg* w 1 *l*), ale mimo to dostarczają morzom w ciągu roku na całej ziemi przeszło 4 biljonów kilogramów związków rozpuszczonych; twardość wody rzecznej w suchej porze znaczniejsza (woda przeważnie źródlana). Wody płynące unoszą w okresie całorocznym mętów dużo więcej, niż materjału grubszego, wahania są jednak ogromne (w suchej porze męty znikają prawie zupełnie). Wielkość materjału okruchowego zależy przedewszystkiem od szybkości prądu (piasek 0,2—0,3 *m*/sek., drobny żwir 0,7, grubszy 0,9, gruby żwir 1,6, otoczaki ważące $1^1/_2$ *kg* — 1,7 *m*/sek.). To też z biegiem rzeki materjał ten ulega z powodu zmniejszającej się szybkości rozsortowaniu (w górnym biegu złomy, gruby żwir, — w dolnym przewaga piasków itp.).

Materjał, unoszony przez wody płynące, podlega akumulacji wzdłuż całego koryta (t. zw. „aluwja", „warstwy napływowe") skutkiem zmniejszania się szybkości prądu, oczywiście przedewszystkiem w dolnej części biegu (w górnym biegu, z znaczną szybkością, głównie transportowanie materjału okruchowego i erozja) i u ujścia. Cząstki zawieszone opadają przeważnie dopiero u ujścia do jezior lub do morza. W ten sposób powstają rozległe „stożki napływowe", osadzane, gdzie rzeki wypływają z gór na równiny, a czasem nawet podnosi się dno koryta na znacznej przestrzeni (Pad na nizinie Lombardzkiej, Hoangho w Chinach itp.), co może powodować olbrzymie zalewy, połączone z daleko posuniętemi zmianami w biegu rzeki (jedne z najgroźniejszych katastrof geologicznych, np. Hoangho). Szybkie i gwałtowne podniesienie się, a potem obniżenie stanu wody w dzikich potokach powoduje znane zjawisko murów alpejskich — lawin gruzu itp., które spływają z wodą nagle wezbranych strumieni górskich. Materjał, osadzający się w morzu (osady terrigeniczne), daje początek deltom, wypełnia całe zatoki (w ten sposób powstała nizina Lombardzka), powoduje zrastanie się wysp z lądem stałym (półwysep Indyj Przedgangesowych itp.).

Fig. 9. Krzywa erozyjna. (*Z* — podstawa erozyjna; krzywe od *AZ* do *DZ* — różne fazy erozji wgłębnej, wyrównywania dna doliny i spłaszczania się krzywej erozyjnej; cofanie się od *A* do *D* — erozja wsteczna.)

Działanie erozyjne wód płynących, tworząc doliny, niszcząc powierzchnię lądów itd., przedstawia jeden z głównych czynników, którym kontynenty zawdzięczają swą rzeźbę. Rozróżniamy erozję 1. w głąb, 2. boczną i 3. wsteczną. Pierwsza działa przedewszystkiem w górnym biegu i spłaszcza t. zw. krzywą erozyjną (por. fig. 9), wyrównywa dno doliny, a pogłębiając ją, daje dolinie w górnym biegu rzek kształt V w przekroju poprzecznym; druga, powodując podmywanie brzegów, rozszerza dolinę; trzecia, wywołując cofanie się źródeł, prowadzi do przecinania całych grzbietów górskich i jest przyczyną zjawiska przeciągania rzeki przez rzekę, a w związku z tem walki między rzekami o ich działy wodne. W kształtowaniu się dolin rzecznych bierze duży udział meandrowanie czyli tworzenie się zakrętów (zakola), w których widzimy, jak nurt (linja największej szybkości prądu) zbliżając się do brzegu wypukłego, podmywa go (brzeg stromy), podczas gdy na przeciwnym działa przedewszystkiem akumulacja (brzeg płaski). To powoduje zmniejszanie się promienia krzywizny i powstawanie coraz węższej szyi, która wreszcie ulega przerwaniu, skutkiem czego

powstają t. zw. starorzecza. Wody o małym spadku mają właściwą im tendencję do meandrowania (kanały, kopane przed 50 laty na Polesiu, celem osuszenia tamtejszych bagien, mają już dzisiaj bieg kręty), stąd widzimy zjawisko to przedewszystkiem w dolnym biegu rzek, gdzie powstanie już małej ławicy piasku po środku koryta jest przyczyną zboczenia nurtu i początków tworzenia się „meandru“; w górnym biegu może powodować to samo materjał osadzany u ujścia dopływów. W miarę postępu erozji wgłębnej i spłaszczania się krzywej erozyjnej słabnie zdolność wymywania w głąb, a rośnie erozja boczna, względnie akumulacja. Podniesienie się lądu na tej przestrzeni lub obniżenie się poziomu ujścia czyli podstawy erozyjnej, a także zmiany w klimacie (zwiększenie się opadów), mogą jednak znowu spotęgować tę zdolność, a następujące po sobie fazy słabnącej i wzmożonej erozji zaznaczają się t. zw. terasami rzecznemi; odpowiadają one poziomowi dna każdoczesnego, w które rzeka wcinała się później (por. fig. 10).

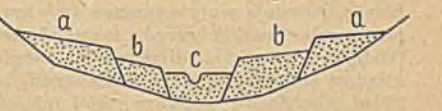


Fig. 10. Terasy rzeczne, utworzone przez aluwja rzeki; *a* — terasa starsza, *b* — młodsza.

Praca erozyjna i transportowa wód płynących powoduje oczywiście ciągłe obniżanie się lądu i odsłanianie warstw coraz starszych; współdziałają powietrze i lodowce. Nazywamy to denudacją. Ostatecznym rezultatem pracy czynników denudacyjnych jest powstanie prawie płaskiej powierzchni, t. zw. penepleny.

Lodowce działają podobnie, z jednej strony akumulując, z drugiej erodując. W Europie z lodowcami spotykamy się tylko w górach odpowiednio wysokich (gł. w Alpach). Inżynier ma jednak często do czynienia w Europie środkowej, np. na Niżu Polskim z tem, co pozostawił po sobie olbrzymi lodowiec północny czasów dyluwialnej epoki lodowej lub co pozostało po lodowcach ówczesnych w górach, dzisiaj nie posiadających lodowej pokrywy np. Tatry. Są to gł. osady, utworzone na dnie lodowca, jako t. zw. morena denna, dalej powstające u czoła lodowca moreny czołowe, w postaci wzgórz, zrastających się w długie wały itp., pozatem utwory fluwjoglacjalne, np. rozległe obszary piasków osadzanych przez wody, wypływające z pod lodowców (sandry) itp. Wypłukane przez wodę z moreny dennej t. zw. głazy erratyczne (przybłędy — granity, porfiry itp. z dalekiej północy) dostarczają u nas materjału kamieniarskiego na bruk itd. Gleby nasze są w dużej części pochodzenia morenowego; większa lub mniejsza przepuszczalność dla wody warstw, tworzących morenę i z niemi związanych wpływa np. na sposób gromadzenia się wód podziemnych; przy budowie przegród, tamujących odpływ wody, i zbiorników można korzystać z istniejących moren czołowych dopiero stwierdziwszy ich budowę, a w związku z tem nieprzepuszczalność wobec wody (materjał, tworzący morenę).

Śniegi i lawiny śnieżne mogą być bardzo niebezpieczne dla robót inżynierskich, dróg, torów kolejowych itp. Znaczna pochyłość stoków, zgodna z upadem warstw, obecność wody, np. źródeł pod gromadzącym się śniegiem (zmniejszenie tarcia!), brak przeszkód na przestrzeni, po której śniegi mogą się zsunąć itp. — to naturalne czynniki „predyspozycji“. Ocieplenie się powietrza skutkiem pory roku lub np. foenu, obfitsze opady itd. mogą stać się bezpośrednią „podnietą“ katastrofy, którą powoduje zarówno obsunięcie się olbrzymiej masy śniegu, jak i huraganowy prąd powietrza, towarzyszący zjawisku. Trzeba tu unikać wszystkiego, co zwiększa w danem miejscu predyspozycję, jak np. wycinanie i karczowanie lasów, stanowiących zawsze naturalną przeszkodę dla powstawania lawin; czasem tworzy się nawet sztuczne przeszkody w postaci potężnych progów, pali wbijanych w ziemię itp.

W morzach dla inżyniera są ważne przedewszystkiem te procesy, które rozgrywają się u wybrzeży, powodowane mechanicznem działaniem fali. Widzimy na stromych „brzegach klifowych“, jak kipiel w czasie przypływu, wiatrów itp. podmywa i niszczy brzeg, tworząc t. zw. terasę nadbrzeżną. Jeżeli ląd stale obniża się, to brzeg klifowy cofa się coraz dalej, a w ten sposób morza nieraz zalewały całe kontynenty (abrazja morska i transgresje mórz). W morzach zamkniętych, jak Bałtyk, przypływy i odpływy ledwie dają się zauważyć nawet w czasie nowiu i pełni. Morze pracuje także i twórczo. Z piasków, wyrzucanych na wybrzeża, powstają wały wydmowe (wybrzeża wydmowe), a fale i prądy, przesuwając wzdłuż brzegów materjał piaszczysty, dają początek mierzejom (Hel), peresypom (limany) itp., względnie powodują zrastanie się wysp z lądem stałym (półwysep Gibraltarski) lub drobnych wysp z sobą (Rugja). Skład chemiczny wody morskiej różni je bardzo od wód słodkich; posiadają one średnio około 3,5% rozmaitych soli, w tem 2,7% soli kamiennej. Widzimy tu jednak znaczne wahania i np. wody Bałtyku wzdłuż brzegów zatoki Puckiej zbliżają się do słodkich.

Jeziora są ważne technicznie jako obszary tworzenia się pewnych osadów chemicznych, które mogą być przedmiotem eksploatacji (przedewszystkiem sól jezior słonych). Złoża solne w głębi ziemi są w przeważnej części takiego pochodzenia. Przytem jeziora, przez które przepływają rzeki, działają wybitnie oczyszczająco na ich wodę i regulująco na jej stan, gdyż zostaje w nich grubszy materjał okruchowy i męty, a prócz tego w razie wezbrania nadmiar wody, który w okresie obniżenia się jej poziomu w rzece, wyrównywa niedobór w dalszym biegu.

Powietrze jest także czynnikiem zarówno niszczącym, jak i twórczym, a działa jużto chemicznie (O, CO_2, rozpuszczone w wodzie opadowej i wietrzenie), jużto mechanicznie. Prądy powietrza osadziły u nas w czasach dyluwjalnych less, który daje gleby tak cenne, jak „czarnoziem“; — w Azji środkowej tworzy się jeszcze obecnie. Wydmy nadmorskie i śródlądowe powstają z piasku suchego, sypkiego i pozbawionego części ilastych, przytem niezbyt miałkiego i nie nadto grubego (średnica ziarn mniej więcej 0,1 *mm* do 3—4 *mm*; t. zw. piasek lotny), którego ziarna wiatr toczy lub zlekka unosi. Nasze obszary śródlądowe z takiemi piaskami lotnemi lub wydmami są związane genetycznie z utworami lodowcowemi czasów dyluwjalnych, albo z potężnemi dolinami rzek ówczesnych i dzisiejszych. Istnieją „wydmy sierpowe“ („barchany“), zwrócone rogami w stronę, ku której wieją wiatry panujące, „wały wydmowe“, które mogą powstać ze zrośnięcia się wydm tego rodzaju (stok zwrócony pod wiatry panujące jest w tych wypadkach zawsze nachylony łagodnie, 5—10°, przeciwny bardziej stromo, 30—33°), wreszcie „wydmy paraboliczne“, u nas pospolite, z bardzo wydłużonemi dwoma ramionami otwartemi (przeciwnie, jak w barchanach) pod wiatr (por. fig. 11); są to t. zw. „wydmy poprzeczne“ (do kierunku wiatrów). „Wydmy podłużne“ ciągną się z kierunkiem panujących prądów powietrza i mają oba stoki jednakowe. Jeżeli wydmy posuwając się,

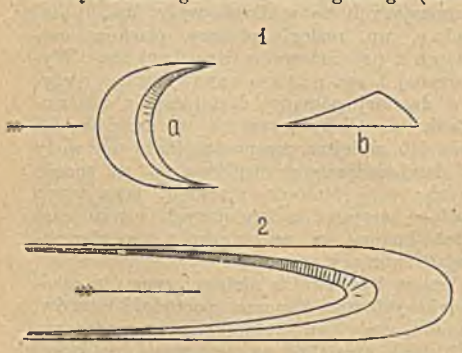


Fig. 11. Wydmy. *1* — wydma sierpowa czyli barchan, *2* — wydma paraboliczna; *a* — widok zgóry; *b* — przekrój poprzeczny, strzałka — kierunek działania wiatrów.

zatamują odpływ wody, dają początek bagnom itp., co u nas nieraz można widzieć. Ruchome wydmy i piaski pod wpływem wiatru poruszają się naprzód (t. zw. wydmy ruchome; szybkość 10—20 *m* w 1 roku), zasypując pola uprawne, lasy i osady ludzkie. Zamienia się je na wydmy ustalone, wbijając w ich powierzchnię gęsto paliki odpowiednio rozmieszczone, potem dając wydmie pokrywę roślin trawiastych, a wreszcie z odpowiednich krzewów i drzew. Jak zalesienie jest ostatecznem ustaleniem wydm, tak zniszczenie lasów na obszarach tego rodzaju stwarza nowe piaszczyska i wydmy ruchome.

Świat organiczny spółdziała nieraz z wodą i powietrzem (np. wietrzenie), ale prócz tego powoduje tworzenie się pewnych skał osadowych, jak rozmaite wapienie, niektóre skały kwarcowe, a przedewszystkiem węgle kopalne, między niemi torf. Torfowiska zasługują na uwagę nietylko jako jedno z źródeł paliwa lub przy robotach meljoracyjnych. T. zw. torfowiska wysokie czyli wypukłe (u nas rzadkie), powstając przedewszystkiem z mchów rodzaju Sphagnum, z wrzosów itp., a właściwe obszarom z obfitszemi opadami i chłodniejszym klimatem (przeciwieństwem ich są pospolite torfowiska niskie na dawnych wodach stojących, zarośniętych trzciną, sitowiem itp.) bywają często nasycone, jak gąbka, wodą. To też zdarza się, że wzniesiona i przepojona masa torfiasta obrywa się i tworzy jakby rzekę mułu torfowego, która spływa wdół, szerząc spustoszenie (np. Irlandja). Nieraz nieostrożne nadcięcie torfowiska stawało się przyczyną katastrofy tego rodzaju. Zdarza się także, że w głębi torfowiska niskiego jest spory zbiornik wody, będący pozostałością jeziora, które zwolna uległo zarośnięciu z boków i wierzchem; czasem osadziły się później na torfie gliny, piaski itp. Woda, która w takim razie znajduje się w głębi pod wielkiem ciśnieniem, przy zbyt silnem obciążaniu powierzchni może rozerwać pokrywę, dobywając się z ogromną siłą (tak samo skutkiem dowiercenia się do niej) i zalewając i niszcząc wszystko. Taki właśnie wypadek zaszedł przy wierceniu za wodą w Pile w r. 1893. Przy budowie dróg, zwłaszcza żelaznych, przez okolice torfiaste niekiedy można było zauważyć, że teren obniżył się w jednem miejscu, a podniósł w sąsiedztwie, co także daje się wytłumaczyć przedewszystkiem obecnością „poduszek wodnych“ tego rodzaju. Stąd wogóle wszelkie budowy, niemniej prowadzenie dróg, linij kolejowych itp. na obszarach takich nie są wskazane.

Czynniki wewnętrzne. Czynnikami, powodującemi ruchy litosfery i zjawiska wulkaniczne, są siły, dla których początku trzeba szukać we wnętrzu samej ziemi.

Ruchy litosfery mogą być: orogeniczne, związane z procesami tektonicznemi, które powodują tworzenie się gór rozmaitego rodzaju i kontynentalne (epeirogeniczne), polegające na powolnem podnoszeniu się lub obniżaniu całych płatów skorupy ziemskiej. Te ostatnie są przyczyną wielkich transgresyj morskich, zjawisk abrazji (por. str. 10) itp.

Obszary z młodemi górami łańcuchowemi nieraz odznaczają się bardzo częstemi i ogromnie gwałtowemi trzęsieniami ziemi, które obejmują duże przestrzenie, rozchodząc się bardzo daleko (np. Japonja). Obszary takie nazywamy seismicznemi (południowe Włochy, Japonja itd.), a trzęsienia ziemi, związane ze świeżemi, względnie jeszcze odbywającemi się procesami tektonicznemi, noszą nazwę trzęsień tektonicznych (w odróżnieniu od lokalnych trzęsień zapadliskowych — Kras — lub wulkanicznych). Fale seismiczne wewnętrzne, rozchodzące się z t. zw. „ogniska“ („hipocentrum“) w głębi ziemi — zwykle kilka lub kilkanaście kilometrów pod powierzchnią, oraz powierzchowne, które rozchodzą się dokoła „środka“ („epicentrum“) trzęsienia, bezpośrednio nad ogniskiem i poza środkiem, są główną przyczyną wstrząśnień, tworzących zjawisko (por. fig. 12). Przy dużej seismiczności jakiegoś obszaru buduje się — o ile to możliwe — tylko na podłożu z skały zwięzłej, zaś naj-

odpowiedniejszym materjałem jest drzewo (konstrukcje, używane od dawna w Japonji). Przy użyciu cegły lub kamienia, poszczególne kawałki muszą mieć powierzchnie przylegania dokładnie przystosowane; zaprawa jak najlepsza. Budynki odpowiednie — co najwyżej jednopiętrowe; jeżeli wyższe — to beton i żelazo; przytem oś długości gmachu powinna odpowiadać kierunkowi uderzeń fal seismicznych, powtarzającemu się najczęściej. Mosty jedynie żelazne.

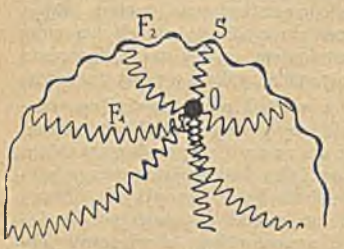


Fig. 12. Fale seismiczne. *O* — ognisko trzęsienia, *S* — środek, F_1 — fale seismiczne, idące z ogniska, F_2 — seismiczne fale powierzchowne.

Podział historyczny. Wszystkie zjawiska, o których była dotychczas mowa, wraz ze zmianami klimatycznemi, w świecie roślin tudzież zwierząt itp., składają się na obraz dziejów ziemi czyli geologję historyczną. Dzielimy te dzieje na ery, perjody, epoki itd. Skały, budujące litosferę, z któremi inżynier ma tak często do czynienia, powstawały w rozmaitych czasach, tworzą zatem odpowiadające erom — grupy, a perjodom — systemy, które dzielą się na serje, piętra. Podział ten przedstawia tablica na str. 13.

Wiek geologiczny warstw określa się na podstawie znajdowanych w nich skamieniałości dawnych roślin i zwierząt.

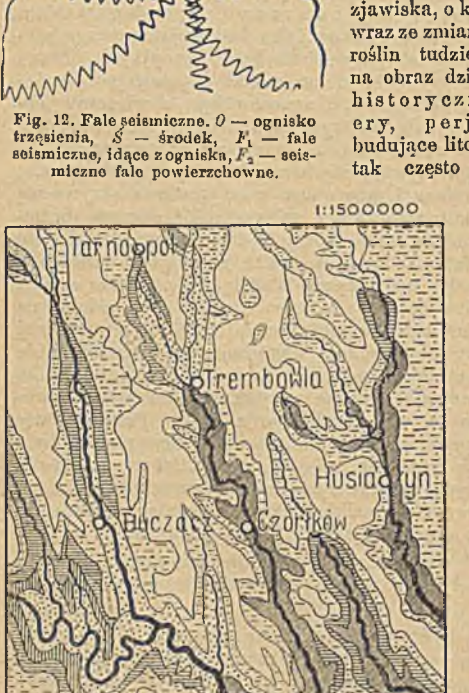


Fig. 13. Szkic mapki geologicznej części Podola. *1* — warstwy sylurskie, *2* — w. dewońskie, *3* — w. jurajskie, *4* — w. kredowe, *5* — w. trzeciorzędne (miocen), *6* — w. dyluwjalne i aluwjalne.

Mapy geologiczne. Najlepszem, synoptycznem zobrazowaniem budowy geologicznej danego obszaru jest mapa geologiczna (przyczem pożądane uzupełnienie jej przedstawia tekst objaśniający, który jest mniej lub więcej szczegółowem opisaniem geologicznem danej okolicy, ważniejszych punktów itp.). Mapy geologiczne, okazując rozmieszczenie skał na danym obszarze, uwzględniają ich podział przedewszystkiem na wybuchowe i osadowe, a dla tych ostatnich według wieku czyli, jak mówimy „stratygraficzny“ (stratygrafja = część geologji, zajmująca się wiekiem geologicznym skał osadowych litosfery). Pouczają one przytem nie tylko, jakie skały znajdują się w pewnej okolicy, ale także wprost i bezpośrednio o jej tektonice (pod tym względem w szczegółach często uzupełniają mapę dołączone do niej profile; por. str. 1).

Podział historyczny:

Grupy	Systemy	Serje i piętra[1])
Kenozoiczna	Czwartorzędny	Aluwjum Dyluwjum albo plejstocen
	Trzeciorzędny	Neogen { Pliocen Miocen
		Paleogen { Oligocen Eocen
Mezozoiczna	Kredowy	Górna kreda { Senon Turon Cenoman
		Dolna kreda { Gault (Albien) Neokom[2])
	Jurajski	Górna czyli biała jura albo malm Średnia czyli brunatna jura albo dogger Dolna czyli czarna jura albo lias
	Triasowy	Kajper z retem Wapień muszlowy Pstry piaskowiec
Paleozoiczna	Permski (dias)	Górny perm Dolny perm
	Karboński albo węglowy	Górny karbon Dolny karbon
	Dewoński	Górny dewon Średni dewon Dolny dewon
	Sylurski	Górny sylur Dolny sylur
	Kambryjski	Górny kambr Średni kambr Dolny kambr
Eozoiczna albo algonkiańska		
Archaiczna		

[1]) Podział na piętra podany tu tylko dla najmłodszych systemów.
[2]) Zamiast jednego piętra neokomskiego przyjmują dzisiaj zazwyczaj kilka pięter.

Wiek skał oznacza się zw. barwami, odmiennemi dla skał wybuchowych i dla poszczególnych systemów skał osadowych (zazwyczaj skały wybuchowe — kolor czerwony, trias — fioletowy, jura — niebieski, kreda — zielony, trzeciorzęd — żółty, aluwjum — biały itd.), których rozmaite odcienia odpowiadają poszczególnym serjom, piętrom itp., jaśniejsze młodszym, ciemniejsze starszym. Dla uniknięcia pomyłek stosuje się obok barw litery, cyfry itp.

Na mapach w większej skali oznacza się za pomocą osobnych znaków nachylenie i bieg warstw (+ — warstwy ułożone poziomo, $\overset{25}{\leftarrow}|$ — linijka określa bieg warstw, strzałka do niej prostopadła kierunek nachylenia, liczba nad strzałką wielkość nachylenia w stopniach; ↕ — bieg warstw ułożonych pionowo,

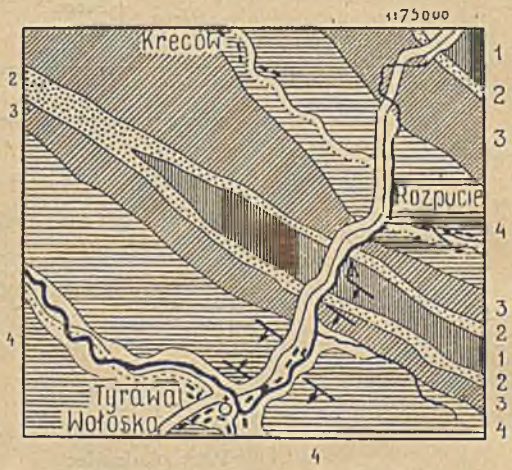


Fig. 14. Szkic mapki geologicznej okolicy Karpat na wsch. od Sanoka. *1* — warstwy kredowe (t. zw. inoceramowe), *2* — eocen (pstre iły i t. zw. warstwy górno-hieroglifowe), *3—4* — oligocen (*3* — t. zw. łupki menilitowe i piaskowce ciężkowickie, *4* — t. zw. piaskowce skorupowe, leżące na warstwach *3*). ⋀ kopalnia nafty.

por. fig. 14), zaś zapomocą ostro wyróżniających się linij — uskoki (por. fig. 15) itp. Tektonikę w ogólnych zarysach można jednak z każdej mapy geologicznej wprost odczytać ze sposobu rozmieszczenia warstw geologicznych. Jeżeli na większym obszarze starsze warstwy odsłaniają się tylko w dolinach rzek, z ich biegiem w dół coraz dawniejsze, to w tem mamy wskazówkę że warstwy leżą poziomo, a więc prawdopodobnie jest to obszar płytowy (np. Podole, fig. 13). Fałdy zwracają na siebie uwagę jako długie smugi barwne, niezależne od biegu rzek, w pewnym porządku po sobie następujące i powtarzające się, przyczem warstwy starsze odpowiadają siodłom (tworząc rdzeń siodeł otwartych, por. str. 1), warstwy młodsze łękom (fig. 14). Uskoki przy ułożeniu warstw poziomem powodują stykanie się wzdłuż pewnej linji ostro zaznaczonej warstw nieraz znacznie różniących się wiekiem; jeżeli warstwy są nachylone, pofałdowane itp., to uskok, ciągnąc się z ich biegiem, zaznacza się, jak poprzednio (uskok podłużny), zaś przecinając się z kierunkiem biegu (uskok poprzeczny), powoduje przesunięcie się wzdłuż odpowiedniej linji wszystkich warstw, a więc smug barwnych (fig. 15).

Mapy geologiczne mogą być trojakie: odkryte, na których nie uwzględnia się warstw najmłodszych — dyluwjalnych i aluwjalnych, za-

kryte, które przedstawiają także najmłodszą pokrywę, a warstwy starsze tylko tam, gdzie się z pod niej istotnie odsłaniają, i współodkryte, uwzględniające aluwjum i dyluwjum wyłącznie, gdzie te najmłodsze warstwy są dobrze rozwinięte na większych przestrzeniach. Oczywiście karty zakryte — to są mapy szczegółowe, w odpowiednio dużej skali. Najczęściej używane mapy geologiczne są współodkryte.

Praktyczne znaczenie geologji. Wiadomości tak szczupłe, jak te, które tutaj podano, a nawet znacznie obszerniejsze, mogą być dla inżyniera tylko punktem wyjścia do zorjentowania się ogólnego; w ogromnej większości wypadków potrzebna jest opinja geologa fachowca, oparta na metodycznem zbadaniu, wiedzy dokładnej i odpowiedniej praktyce. Jak jednak w każdym razie widać, że geologja oddaje nieraz duże usługi inżynierji praktycznej,

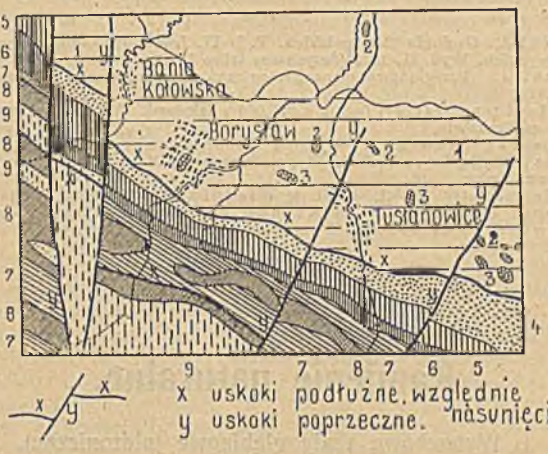


Fig. 15. Mapka geologiczna Borysławia i okolicy. (Wedł. Kropaczka z podr. Friedberga.) Od *1—9* warstwy coraz starsze. *1* — dyluwjum, *2* — miocen, *3—5* — oligocen, *6—7* — eocen, *8—9* — kreda (*3* — zlepieniec truskawiecki, *4* — warstwy dobrotowskie, *5* — łupki menilitowe, *6* — warstwy z Popiel, *7* — warstwy górno-hieroglifowe, *8* — piaskowiec jamneński czyli bryłowy, *9* — warstwy inoceramowe.)

tak z drugiej strony trzeba zaznaczyć, że i naodwrót — wiedza geologiczna zawdzięcza wiele praktyce technicznej i inżynierom. Kopalnie, tak samo przekopy, tunele, nawet zwykłe łomy kamienia, wiercenia itp. dostarczają mnóstwa cennych danych, z których korzysta geolog. To też inżynier powinien pilnie baczyć na wszelkie zjawiska, pozostające w związku z geologją, a spotykane na drodze praktyki technicznej. Gromadząc przy sposobności robót swoich okazy skał, skamieniałości, prowadząc sumiennie notatki, szkicując profile odkrywek naturalnych, które znajduje w przyrodzie, czy też sztucznych, które sam robi, prowadząc zawsze dziennik i zestawiając systematycznie próbki dla każdego wiercenia, mierząc — o ile możliwa — temperatury, spotykane w głębi itd., a o każdym wypadku ciekawszym podając wiadomość geologom, utrwala związek między nauką inżynierji i geologją ku pożytkowi zarówno jednej, jak i drugiej. Państwowy Instytut geologiczny w Warszawie chętnie gromadzi materjał geologiczny, zdobywany pracą inżynierów, a obok niego mogą spełniać tę rolę także zakłady geologiczne naszych Szkół Wyższych.

* * *

LITERATURA.

Friedberg W.: Zasady geologji. Warszawa, Arct 1923.
Neumayr M.—Morozewicz J. etc.: Dzieje ziemi. T. I—II. Warszawa 1906—1908. Wyd. 2. T. I. 1912.
Niedźwiedzki J.: O sposobie występowania i jakości wody w podziemiu, w źródłach, rzekach i jeziorach. Wiedeń 1915.
Haug E.: Traité de géologie. T. I—III. Paryż 1907.
Lapparent de A.: Traité de géologie. T. I—III. Wyd. 5. Paryż 1906.
Höfer-Heimhalt: Grundwasser und Quellen. Braunschweig 1920.
Kayser E.: Lehrbuch der Geologie. T. I—IV. Wyd. najnowsze (dotychczas 3 tomy). Stuttgart 1923.
Keilhack K.: Grundwasser und Quellenkunde. Berlin 1912.
Keilhack K.: Lehrbuch der praktischen Geologie. T. I—II. Stuttgart 1921—1922.
Stiny J.: Technische Geologie. Stuttgart 1922.
Tornquist A.: Geologie. I. Teil. Allgemeine Geologie. Leipzig 1916.
Wilser J.: Grundriß der angewandten Geologie. Berlin 1921.

* * *

Siemiradzki J.: Geologja ziem polskich. T. I—II. Lwów 1903—1909. Wyd. Muz. im. Dzieduszyckich. Wyd. II. 1922 (dotychczas tylko T. I).
Grzybowski J.: Przeglądowa mapa geologiczna ziem polskich z tekstem etc. Warszawa 1912.
Atlas geologiczny Galicji (mapy 1 : 75.000 z tekstem). Wydawn. Akademji Umiejętności w Krakowie.
Publikacje Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie. (Sprawozdania P. I. G., Prace P. I. G., Mapy, Posiedzenia Naukowe P. I. G., Bibljografja geologiczna Polski.)
Publikacje państw. Zakł. geol. w Wiedniu, Berlinie i Piotrogrodzie. Akademji Umiejętności w Krakowie, Warszawskiego Towarzystwa naukowego, Warszawski Pamiętnik Fizjograficzny, Kosmos itd.

Kamienie naturalne.

I. Wybuchowe skały głębinowe (plutoniczne).

Granit. Gł. skł. min.[1]): Ortoklaz, kwarzec i łyszczyk (muskowit — jasny, biotyt — ciemny); bud.[2]) krystalicznie-ziarnista; barwa zależnie od ortoklazu i łyszczyku — szara lub czerwonawa, jaśniejsza lub ciemniejsza; T.[3]) znaczna (6—6,5 według skali Mohsa); c. w.[4]) 2,6—2,7; wytrz. na ciśn.[5]) średnio 1500 *kg/cm*^{2}, przekracza jednak czasem 2000 *kg/cm*^{2} lub spada niżej 600 *kg/cm*^{2}; wytrz. na zg.[6]) średnio około 130 *kg/cm*; wytrz. na rozciąg.[7]) średnio 30 *kg*; ścieraln.[8]) przeciętnie około 20 *g*; porow.[9]) w % objęt. 2,5. Różne odmiany.

Najważniejsza z skał wybuchowych, używanych technicznie. Zawdzięcza to znacznej wytrzymałości zarówno na czynniki mechaniczne, jak i atmosferyczne, dalej temu, że daje się dokładnie obrabiać i polerować, barwie często przyjemnej dla oka, wreszcie okoliczności, iż należy do skał nierzadkich i nieraz znajduje się w masach potężnych. W budownictwie używany na fundamenty i mury cokołowe, na kolumny, schody, płyty do licowania murów itp. Przy budowie dróg na mury oporowe, jako materjał szutrowy itd.; na kostki uliczne i płyty chodnikowe. W budowlach wodnych używany na filary mostowe, mury nadbrzeżne. Z powodu małej porowatości nie nadaje się na mury nadziemne; za to bardzo ceniony na pomniki itp.

W Polsce poza granitem, znajdującym się jako materjał erratyczny, używany nieraz na tłuczeń i bruk nie kostkowy, mamy granity na Wo-

[1]) Główne składniki mineralne; [2]) budowa; [3]) twardość; [4]) ciężar właściwy; [5]) wytrzymałość na ciśnienie; [6]) wytrzymałość na zginanie; [7]) wytrzymałość na rozciąganie; [8]) ścieralność; [9]) porowatość.

łynia i przedewszystkiem w Tatrach. Granit tatrzański, barwy szarej, z ogromną przewagą oligoklazu nad ortoklazem, przy wytrz. na ciśn. dochodzącej, a nawet przekraczającej 1500 *kg/cm*², posiada ścieralność do 22,9 *g*, porowatość 2—2,4, przewyższa zatem pod względem swych własności niejeden granit obcy, używany do celów technicznych, a nawet ceniony. Na cios, na materjał brukowy i szuter na drogi nadaje się bardzo dobrze. Nieznaczna wsiąkliwość jest u niego poniekąd gwarancją odporności na wietrzenie.

Sienit. Gł. skł. min.: ortoklaz i amfibol (hornblenda); bud. krystalicznie-ziarnista; c. w. 2,7—2,9; wogóle co do swych własności zbliża się do granitu i jest tak samo używany, ale spotyka się go rzadziej i nigdy w tak wielkich masach, jak granit.

Dioryt. Gł. skł. min.: plagioklaz, amfibol (czasem kwarzec); bud. krystalicznie-ziarnista; barwa czarno-biała; T. 5—6; zresztą mniej lub więcej zbliżony do granitu. Użytek także podobny, zwłaszcza na pomniki i do budownictwa ozdobnego.

II. Wybuchowe skały wylewne (wulkaniczne).

Porfiry. Gł. skł. min. i bud.: jednostajna, ortoklazowo-kwarcowa masa zbita (ciasto skalne) i w niej rozrzucone większe kryształki ortoklazu i kwarcu (porfir kwarcowy), albo w masie zbitej, przeważnie ortoklazowej, kryształki ortoklazu, amfibolu, czasem biotytu (porfir sienitowy); barwa skały często mniej lub więcej czerwona, czasem ciemno-szara itp.; T. znaczna; c. w. 2,6 (średnio). Wytrz. na ciśn. często przekracza 2000 *kg/cm*², ścieralność średnio niżej 20 *g*. Porfiry kwarcowe zwykle pod jednym i pod drugim względem przewyższają sienitowe. Zastosowanie, jak granitu, zwłaszcza na kostki brukowe, tłuczeń (szuter) itp.

W Polsce mamy porfiry w ziemi Krakowskiej — w Miękini koło Krzeszowic i na południu w Zalasiu, Frywałdzie, Sankach; znane zdawna i cenione jako materjał na kostki (Kraków itd.) i na drogowy tłuczeń. Barwa porfiru miękińskiego brudno-czerwona, w Zalasiu, Sankach itd. ciemno-szara z odcieniem zielonkawym, czerwonawym itp. Wytrz. na ciśn. skały miękińskiej około 2000 *kg/cm*², ścieralność dochodzi 20 *g* i więcej, porowatość w % objęt. przeszło 2.

Trachit. Gł. skł. min. i bud. podobne, jak w porfirze sienitowym (w cieście skalnem nieco szkliwa), jednak większa porowatość, skutkiem tego skała zazwyczaj szorstka w dotknięciu i o mniejszym c. o.[1]) (lżejsza). Barwa jasno-szara. Wytrz. na ciśn. najcz. ok. 1000 *kg/cm*², ścieralność zwykle dosyć znaczna, większa niż granitów i porfiru. Niekiedy bardzo dobry materjał ciosowy dzięki wytrzymałości z jednej, porowatości, a więc także i lekkości z drugiej strony (użyto go np. przy budowie tumu w Kolonji).

Andezyt. Gł. skł. min. i bud.: Jednostajna masa zbita, zawierająca mikroskopowe kryształki plagioklazu, amfibolu, biotytu, nieco szkliwa; w niej większe kryształy przedewszystkiem plagioklazu, amfibolu; porowatość mniej więcej, jak w skale poprzedniej; barwa szaro-jasna, czasem ciemna. C. o. także, jak w trachitach, zależnie od stopnia porowatości. Wytrz. na ciśn. często znaczna do 2000 *kg/cm*² i wyżej. Ścieralność waha się w szerokich granicach. Skała nierzadka, uż., o ile posiada odpowiednie własności, na kostki brukowe, tłuczeń itp.

Polska ma andezyty bardzo odpowiednie dla celów technicznych w okolicy Pienin (Wżar i okolica, okolice Krościenka, Bryjarka pod Szczawnicą). Ich wytrz. na ciśn. wyjątkowo spada niżej 1000 *kg/cm*², przeważnie przekracza 2000 *kg/cm*² (Bryjarka 2120, czarna odmiana Wżaru 2720 *kg/cm*²), ścieraln. około 30 *g*, spada w czarnej odmianie Wżaru niżej 20 *g*. To też

[1]) Ciężar objętościowy.

andezyt szczawnicki, a zwłaszcza czarny z Wżaru przedstawiają dobry materjał na kamień brukowy i tłuczeń; odmiana wżarska mogłaby dostarczać nawet wybornych kostek, o ile nie stanie temu na przeszkodzie szczelinowatość skały.

Diabaz. Gł. skł. min.: Plagioklaz, augit; bud. krystaliczna, zwykle drobnoziarnista; barwa czarniawa, często z odcieniem zielonawym (t. zw. zieleńce); c. w. 2,8—3. Wytrz. na ciśn. zwykle około 2000 *kg/cm²*. Używany na kostki brukowe itp., niekiedy nawet w kamieniarstwie zdobniczem (t. zw. czarny granit z Kristianstad w Szwecji).

Na ziemiach polskich na Niedźwiedziej Górze pod Krzeszowicami z wytrz. na ciśn. 2350 *kg/cm²*, z ścieraln. około 25 *g*.

Melafir. W jednostajnej masie zbitej, plagioklazowo-augitowej, z szkliwem i zwykle z oliwinem, rozrzucone większe kryształy przedewszystkiem plagioklazu, często augitu; nieraz z licznemi próżniami lub „migdałowcowy“ (próżnie, wypełnione przez pewne minerały). Czarniawy, często z odcieniem brunatnym lub zielonawym. C. w. około 2,7. Wytrz. na ciśn. zwykle znaczna, około 1000 *kg/cm²*. Dostarcza materjału przedewszystkiem do budowy dróg itp.

W Polsce — w ziemi Krakowskiej (Tenczynek, Alwernja, Regulice). Alwernjański ma c. o. 2,62, wytrz. na ciśn. 1260 *kg/cm²*; regulicki wyt. na ciśn. przeszło 1500, ścieraln. dosyć znaczna.

Bazalt. Zw. w jednostajnej masie zbitej, złożonej z plagioklazu, augitu, magnetytu i szkliwa, rozrzucone większe kryształy przedewszystkiem oliwinu i augitu, także plagioklazu itp. Barwa czarna. C. w. znaczny, około 3. Wytrz. na ciśn. bardzo wielka, dochodzi do 3000 *kg/cm²*, ścieralność nieduża, to też w praktyce technicznej bardzo uż. jako ciężki cios oporowy, do tam, obudowy brzegów przed falami, na drobne kostki brukowe, tłuczeń drogowy itp. Skała stosunkowo pospolita (odmiana ziarnista, t. zw. doleryt, z wytrz. na ciśn. mniejszą, około 800 *kg/cm²*).

W granicach Rzeczypospolitej na Wołyniu, w okolicy Równa (Berestowiec), bazalt oddawna dobywany i używany do celów technicznych, z wytrzymałością na ciśnienie znacznie przekraczającą 1000 *kg/cm²*. Służy jako materjał tłuczniowy, do wyrobu drobnych kostek brukowych itp. W ostatnich czasach znaleziono bazalt także w ziemi Kieleckiej, we wsi Widełki i k. Łagowa. Skałą pokrewną bazaltowi jest cieszynit w Zachodnim Beskidzie śląskim i małopolskim.

Pumeks jest odmianą gąbczastą pewnych skał wulkanicznych. Jasno zabarwiony, odznacza się znaczną lekkością, a wiążąc się dobrze z zaprawą, nadaje się znakomicie do budowy sklepień (np. kopuła Św. Zofji w Konstantynopolu) itp.; prócz tego ma zastosowanie jako kamień szlifierski.

Lawy dzisiejszych wulkanów są współczesnemi trachitami, andezytami, bazaltami itp. Wytrz. na ciśn. przekracza u nich nieraz nawet 500 *kg/cm²*; c. o. często nieduży, około 2, z powodu większej lub mniejszej dziurkowatości. Dostarczają materjału do budowy dróg, na zwykły cios itp., a odznaczając się nieraz lekkością — na cios do budowy sklepień i murów wewnętrznych.

Tufy wulkaniczne (trachitowe, andezytowe, bazaltowe itp.). Powstają z popiołów wulkanicznych, których cząstki uległy spojeniu itp. Najczęściej szare, jaśniejsze lub ciemniejsze, odznaczają się silną porowatością, a w związku z tem i c. o. niedużym, około 1,6. Używane — przy odpowiedniej wytrzymałości na ciśnienie, dochodzącej nieraz 150 *kg/cm²* — jako lekki cios (np. „peperino“ okolic Rzymu, także t. zw. „tras“ niemiecki itd.), w innych wypadkach (jako dodatek hydrauliczny) do wyrobu zapraw hydraulicznych (ziemia puzzolanowa, santorynowa, tras) i sztucznego, lekkiego kamienia budowlanego. (T. zw. tufy porfirowe okolicy Krakowa są przedewszystkiem produktem wietrzenia tamtejszych skał wybuchowych).

III. Łupki krystaliczne.

Gnejs. Gł. skł. min. i bud., jak granitu, ale przy mniej lub bardziej wyraźnej łupkowatości. Barwa itd. także jak w granicie. W odmianach z łupkowatością bardzo nieznaczną wytrz. na ciśn. itp. zbliżone do tych własności granitu; w gnejsach wybitnie łupkowych wytrzymałość w kierunku równoległym do łupkowatości znacznie mniejsza, niż w kierunku prostopadłym. To też i zastosowanie techniczne gnejsów ograniczone. Używany często do budowy dróg, odpowiednio łupliwy nawet na płyty chodnikowe itp. Skała pospolita, jak granit. W Polsce nieduże partje gnejsów w Tatrach.

Łupek łyszczykowy, zbliżony do gnejsu, ale składający się tylko z kwarcu tudzież łyszczyku ma i zastosowanie techniczne podobne, zwłaszcza w odmianach bogatych w kwarzec. Z innych łupków krystalicznych, jak

Łupek talkowy, amfibolowy itd. zasługuje na uwagę, ze względu na znaczenie techniczne, przedewszystkiem

Fylit. Gł. skł. min., jak w łupku łyszczykowym, ale mikroskopowo drobne; skutkiem tego skała przedstawia się jednolicie, z bardzo wybitną łupkowatością. Barwa szara, często zielonawa lub wiśniowa, powierzchnia naturalna płytek zawsze mniej lub więcej lśniąca. T. niekiedy znaczna (5. stopnia), waha się w dużych granicach, zależnie od zawartości kwarcu itp. Niektóre fylity dają wyborny łupek dachówkowy, płyty parapetowe itp. (np. w Ardenach francuskich nad Mozą), odmiana w Ardenach belgijskich, tworząca wśród fylitu zwykłego cienką warstewkę białą z bardzo licznemi, mikroskopowemi ziarnami granatu, jest używana jako ceniony „belgijski“ kamień szlifierski.

Wśród łupków krystalicznych znajdują się nieraz kwarcyty i większe masy serpentynu.

Kwarcyt skł. się z kwarcu, często z przymieszką łyszczyku (muskowitu) itp.; bud. krystaliczna; barwy zw. jasne; T. bardzo znaczna (7. stopnia = T. kwarcu); c. w. ok. 2,6. Wytrz. na ciśn. (u kwarcytów nie popękanych) duża, ścieralność — wobec wielkiej twardości — bardzo mała. Dobry materjał drogowy i na cios do budowli wodnych, służy do wyrobu materjałów ogniotrwałych (np. pokruszony i z małą domieszką gliniastą na okładziny pieców Bessemerowskich), a w odmianach czystych do wyrobu szkła, w odmianie t. zw. „łupku kwarcytowego“ na płyty hutnicze itp. Nie łączy się z zaprawami.

Serpentyn skł. się przedewszystkiem z minerału tej nazwy. Barwy ciemnozielonej, zw. w czarne plamy i żyłki. C. w. około 2,6. Wytrz. na ciśn. około 800 *kg/cm*^{2}. Miękki i łatwo obrabialny daje się dobrze polerować. Odmiana z żyłami i wpryśnięciami kalcytu = **ofikalcyt**. Z serpentynu czystego robi się rozmaite przedmioty ozdobne, wazy, świeczniki itp.; ofikalcyt używany w architekturze na okładziny ścian itp., jak marmur, tylko wewnątrz.

IV. Skały osadowe.

Łupek iłowy. Gł. skł. min.: cząstki iłaste, okruchy ortoklazu, kwarcu, łuseczki łyszczyku; łupkowatość. Barwa ciemno-szara, czarna, zielonawa, czerwonawa itp. Naturalna powierzchnia mniej lub więcej matowa (por. fylit). T. nieduża (około 3). C. o. około 2,6. Wytrz. na ciśn. 600—700 *kg/cm*^{2}, na zg. około 350 *kg/cm*^{2}. Używany jako łupek dachówkowy, materjał na płyty do stołów w pracowniach i fabrykach chemicznych, na tabliczki itp.; przy gęstem, równoległem spękaniu dostarcza rysików. Łupek dachówkowy nie powinien nasiąkać wodą, nie może zawierać pirytu, daje się łatwo nawiercać, powinien mieć barwy — o ile możliwe — ciemne.

Piaskowce składają się z okruchów kwarcu, zwykle z łuseczkami łyszczyków itd., tudzież ze spoiwa, które może być wapienne, marglowe, iłaste, kwarcowe itp. (piaskowce wapniste, margliste, iłaste, kwarcytowe). T. rozmaita, u piaskowców kwarcytowych 7. C. o. najczęściej 2,0—2,6,

porowatość nieraz 10—20%, niekiedy nawet 30%; odpowiednia nasiąkliwość. Wytrz. na ciśn. waha się w szerokich granicach, od bardzo znacznej u piaskowców kwarcytowych i znacznej u piaskowców wapnistych ze spoiwem obfitem, do bardzo małej w wielu piaskowcach ilastych; średnio około 500 *kg/cm²*. Piaskowce przedstawiają jeden z najbardziej rozpowszechnionych materjałów budowlanych, stąd i znaczenie ich bardzo duże.

W Polsce mamy piaskowce znane i technicznie używane w ziemi Kieleckiej i Radomskiej (np. piękne, czerwone piaskowce wieku triasowego — Zagnańsk, Suchedniów itd., z wytrz. na ciśn. przekraczającą nieraz 1000 *kg/cm²*, zdawna używany i bardzo ceniony dla celów rzeźby architektonicznej biały piaskowiec szydłowiecki z wytrz. na ciśn. około 700 *kg/cm²*), dalej w Karpatach (piask. godulski w Beskidzie zachodnim, jamneński na wsch. od Sanu — z wytrz. na ciśn. około 1200 *kg/cm²*, ale z ścieralnością przeszło 35 *g* — materjał bardzo dobry na cios, tudzież mniej spójny piaskowiec ciężkowicki, magórski, krośniański, piaskowiec strzałkowy w Świętosławiu k. Skolego — z wytrz. na ciśn. ok. 1900 *kg/cm²*, z ścieralnością około 26 *g* — używany na kostki brukowe), wreszcie na Podolu i Opolu podolskiem (dewoński, mniej lub więcej czerwony piaskowiec trembowelski na płyty chodnikowe, osełki itp.; tego samego wieku szary piaskowiec tarnopolski na cios, z wytrz. na ciśn. wyżej 800 *kg/cm²*, trzeciorzędny, jasno-szary piaskowiec kwarcytowy w Wiszence na płn. i w Suchodole na płd. od Lwowa, używany na krawężniki i kostki).

Zlepieńce (z otoczaków), **druzgot** (z bryłek krawędzistych). Skały, tutaj należące, są złożone ze spojonych z sobą części rozmaitych, nieraz wapieni itp. Spoiwo, tak samo jak w piaskowcach, rozmaite. Barwa, T. i c. w. i o. bardzo zmienne. Przy odpowiedniej wytrz. na ciśn. mogą dostarczać ciosu itp., niekiedy kamieni młyńskich. O ile dają się obrabiać, polerować i okazują ładne zabarwienie, są używane jako t. zw. marmury pod rozmaitemi nazwami, np. znajdujący się w Pirenejach „grand antique“ i włoski „pavonazzo“ lub „brocatello“.

Nasz marmur „zygmuntówka“ w okolicy Kielc jest także zlepieńcem.

Wapień. $CaCO_3$, nieraz z domieszką dolomitu, części ilastych, bitumicznych itd.; bud. ziarnisto-krystaliczna, albo zbita lub wreszcie drobno-okruchowa (w ostatnim wypadku zwykle z cząstkami piaszczystemi; calcaire grossier okolic Paryża). Barwa rozmaita. T. około 3. C. w. 2,6—2,8 zależnie od domieszek; c. o. waha się w dużych granicach, w związku z większą lub mniejszą porowatością lub nawet dziurowatością. Wytrz. na ciśn. u wap. krystalicznych i zbitych często wyżej 1000 *kg/cm²*, u wapieni drobno-okruchowych zwykle znacznie mniejsza, około 300 *kg/cm²*; tak samo ścieralność dla dwóch pierwszych rodzajów około 70 *g*, dla ostatniego około 150 *g*. Użytek bardzo wszechstronny — na cios, kamień ozdobny, materjał rzeźbiarski, do wypalania wapna itd. Marmurami nazywa się przedewszystkiem wapienie krystaliczne, zwykle jednak także zbite, dające się polerować i ładnie zabarwione; pod wap. muszlowym, koralowym, litotamniowym itd., rozumie się wapienie, złożone przeważnie z resztek tych organizmów, pod kredą wapienie łatwo rozcieralne, często złożone przeważnie z mikroskopowych skorupek otwornic. Szczególny gatunek wapieni mniej lub więcej dziurowatych: martwice wapienne i trawertyn, dostarczają wybornego ciosu lekkiego.

Na ziemiach Rzeczypospolitej liczne gatunki tej skały. Znane są zabarwione rozmaicie, ale niezbyt żywo marmury kieleckie, między niemi bardzo ciemno-brunatny „marmur kajetanowski“, dalej w ziemi Krakowskiej piękny, czarny „marmur dębnicki“; „wapień pińczowski“, zdawiendawna używany u nas i bardzo ceniony do celów architektonicznych (wytrz. na ciśn. przeszło 80 *kg/cm²*), może być zaliczony do wapieni drobno-okruchowych, tak samo kamień mikołajowski okolicy Lwowa i inne podobne na Podolu, używane w budownictwie (wytrz. na ciśn. około 100 do 200 i więcej *kg/cm²*); bardzo

dobry materjał przedstawiają wapienie litotamniowe, pospolite w naszym trzeciorzędzie; wreszcie w górnej jurze mamy rozmaite wapienie zbite w Krakowskiem i Kieleckiem; w Tatrach „wapienie numulitowe“; wapienne są skalice pienińskie; na Podolu, obok szarych, koralowych i muszlowych wapieni sylurskich, znajdują się w okolicy Niżniowa zbite wapienie jurajskie, a w systemie kredowym warstwy kredy w okol. Złoczowa, Oleska, także dalej na płn. na Wołyniu itd.

Dolomit, $CaMg(CO_3)_2$. Z wyglądu zupełnie podobny do wapienia, nie burzy się jednak na zimno z kwasami, jest twardszy (T. 3—4) i cięższy (c. w. dochodzi do 2,9). Względem czynników atmosferycznych znacznie oporniejszy od wapienia; wytrzymałość na ciśnienie dochodzi 1200 kg/cm^2 i więcej. Nieraz używany jako dobry cios, zwłaszcza dolomit dziurowaty; także w hutnictwie żelaznem jako dodatek, a po wypaleniu jako wykładzina pieców Thomasa itp.

U nas na wyżynie kielecko-sandomierskiej, w Krakowskiem i na Śląsku, tudzież w Tatrach.

Gips, $CaSO_4 + 2H_2O$. Jako skała zw. krystalicznie ziarnisty albo zbity; czasem włóknisty. Barwy białej itp. lub rozmaicie żyłkowany. Mała twardość (T. około 2) i stosunkowo łatwa rozpuszczalność w wodzie (1 : 420). Wytrz. na ciśn. do 100 kg/cm^2 i wyżej. Służy do otrzymywania gipsu palonego, a w odmianach barwy pięknie białej lub ładnie żyłkowanej itp. (t. zw. alabaster) w architekturze jako kamień dekoracyjny; także do wyrobu waz, urn itd. Skała nierzadka.

W Polsce: w kotlinie nadnidziańskiej, na Podkarpaciu (w formacji solnej), tudzież na Podolu, Opolu podolskiem i Pokuciu; obok gipsu zwykłego także odmiany szlachetne (alabaster).

Margiel. Mechaniczna mieszanina bardzo drobnych cząsteczek iłu i wapienia (margiel wapienny), dolomitu (margiel dolomitowy) lub gipsu (margiel gipsowy). Zwykle spotyka się margle wapienne. Zawierają 20—60% iłu; odpowiednio do zawartości wapienia margle ilaste i wapniste. Przy większej ilości wapienia niż 70—80% mówimy już o wapieniach marglowych. Margle ilaste do wyrobu kafli, garnków itp.; niektóre wapniste wprost do wyrobu cementu, inne dopiero po dodaniu odpowiedniej ilości iłu lub wapienia. Margiel napojony wodą nie przepuszcza jej dalej. Skała pospolita. Pewne margle nasze górno-kredowe nazywają opoką; opoka kazimierzowska służy do robót regulacyjnych wzdłuż Wisły, a nawet użyto jej jako ciosu przy budowie „spichrzów“ i zamku w Kazimierzu.

Iły, gliny, less. Ił skł. się z drobniutkich cząsteczek kaolinu, zw. z domieszką cząstek kwarcu, łuseczek łyszczyku jasnego itp. Barwa rozmaita. Zupełnie czysty tworzy t. zw. „glinkę porcelanową“ i odznacza się ogniotrwałością. Zanieczyszczony przedstawia rozmaite iły i gliny zwyczajne; przy małej domieszce iły ogniotrwałe, przy większej garncarskie, strycharskie (ceglarskie) itp. Suchy ił pochłania do 70% wody; raz napojony nie przepuszcza jej dalej. Iły bez domieszki części piaszczystych nazywają się tłustemi, z piaskiem — chudemi. Zabarwione żółto wodorotlenkiem żelaza naz. zwykle glinami. Less jest iłem, zawierającym 50—70% drobniutkich cząsteczek kwarcu i zw. około 20% wapienia; nie okazuje uwarstwienia, jako osad powietrzny; zwykle zawiera konkrecje wapniste rozmaitego kształtu. Ił jest szczególnie ważnym składnikiem gleby. Przy robotach inżynierskich trzeba się liczyć z tem, że iły, napojone wodą, mogą powodować usuwiska, a pozbawione oparcia same łatwo przechodzą w stan ruchu. To też iłu lub materjału silnie ilastego nie można używać do budowy nasypów kolejowych itp. Skała pospolita.

Iły ogniotrwałe mamy u siebie w wielu miejscach, np. w Krakowskiem (Grojec, Mirów), w Radomskiem (Ćmielów), w Będzińskiem (k. Mierzęcic), w ziemi Czerwieńskiej (Potylicz, Siedliska) itd.

Do skał technicznie ważnych należą wreszcie

Żwiry, gruz itp., używane przy odpowiedniej twardości itd. jako t. zw. szuter, inaczej szaber i

Piasek, który, jeżeli jest odpowiednio czysty, może służyć do fabrykacji szkła, zresztą do zapraw murarskich, do nasypów itp.

V. Techniczne własności ogólne kamieni rodzimych.

Wytrzymałość mechaniczna zależy od składu mineralogicznego i budowy oraz stopnia wilgoci. Obciążenie bezpieczne, dozwolone przez przepisy budowlane Ministerstwa Robót publicznych na ciśnienie (ciosy podporowe), wynosi dla skał plutonicznych i wulkanicznych 65 *kg/cm*^{2}, dla wapieni i dolomitów 30 *kg/cm*^{2}, dla piaskowców 25 *kg/cm*^{2}, odpowiednie liczby dla filarów i sklepień 45—25—20 *kg/cm*^{2}, dla smukłych filarów 30—15—10 *kg/cm*^{2}. (Por. też część V. Podręcznika inż.)

Trwałość skał stanowi o odporności ich na działanie czynników atmosferycznych (wietrzenie). Początek wietrzenia zaznacza się najczęściej odbarwieniem zewnętrznej warstwy, poczem następuje rozpadanie się. Czynnikami, powodującemi wietrzenie, są: woda, mróz, świat organiczny. Najbardziej odporne są skały zawierające krzemionkę. Łyszczyk jasny czyli muskowit jest wogóle odporny na działanie czynników chemicznych, lecz pod wpływem mrozu rozpada się. Piaskowce w stanie wilgotnym ujawniają $^2/_3$ swojej wytrzymałości normalnej.

Twardość skał jest rozmaita i mierzy się skalą Mohsa. Twardość przeciętna niektórych kamieni jest: grafit 1—2; łupek, gips zwykły 1—2; łyszczyk 2,5; serpentyn 2,5; wapień zbity 3; marmur 3; pumeks 4,5; piaskowiec 4—5—7; bazalt 5,5; dioryt 5,5; sienit 5,5—6; granit, gnejs 6—6,5; skała kwarcowa do 7; kwarzec czysty 7.

Ciężar: Kamienie zbite są ciężkie. Jeden metr bazaltu waży 2880 do 3300 *kg*, granitu 2550—2700 *kg*, wapienia 1500—2700 *kg*, gipsu 2200 do 2500 *kg*, dolomitu 2850—2900 *kg*, ziemi świeżej 2060 *kg*, suchej 1650 *kg*, chudej i suchej 1350 *kg*, ogrodowej (tłustej) świeżej 2050 *kg*, kaolinu 2200 *kg*, żwiru 1500—1800 *kg*, lawy 700—2600 *kg*, gliny suchej 1520 *kg*, wilgotnej 1900 *kg*, świeżej 1670—2850 *kg*, piasek suchy 1400—1650 *kg*, wilgotny 1900—2050 *kg*. Piaskowiec 1900—2700 *kg*, gips wypalony 1810 *kg*, gips w odlewie suchy 1700—2000 *kg*, wapno wypalone 2300—3200 *kg*. (Ciężary, przepisane przez M. R. P., por. część V. Podręcznika.)

Porowatość kamienie mają różną. Ocenia się ją zapomocą nasycania wodą. Od niej zależy przewodnictwo ciepła.

Ogniotrwałemi są kamienie, które, wystawione przez czas dłuższy na działanie ognia, nie topią się i nie pękają. Takiemi są: łupek łyszczykowy, wężowiec (serpentyn), gips, piaskowce o spoiwie ilastem, niektóre piaskowce o spoiwie krzemionkowem, pumeks, tras, martwica bazaltowa.

Spółczynniki rozszerzalności objętościowej (powiększenie objętości przy wzroście temperatury o 1° C): kwarzec 0,000030—0,000042, bazalt 0,00003, granit 0,000026, piaskowiec 0,000038, gips zbity 0,000028, marmur 0,000019, wapień 0,000019, dolomit 0,000035.

Spółczynniki rozszerzalności linijnej: granit 0,0000079, marmur 0,0000034, wapień 0,000009—0,000007.

Spółczynniki przewodnictwa ciepła: marmur 3,48—2,78, wapień zwykły 1,70—2,08, gips 0,33, piasek kwarcowy 0,27, cegła 0,139—0,165.

LITERATURA.

Niedźwiedzki J., Dr.: Petrografia (opisowa nauka o skałach) w zakresie ograniczonym do niezbędnych potrzeb techników. Lwów 1905. (Wiele wiadomości, odnoszących się do skał krajowych, zwłaszcza dawnego zaboru austrjackiego.)

Hirschwald J.: Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung. Berlin 1912.

Rinne F., Dr.: Gesteinskunde für Studierende der Naturwissenschaft, Forstkunde und Landwirtschaft, Bauingenieure, Architekten und Bergingenieure. Leipzig 1920.

Roboty ziemne.

I. Prace przygotowawcze. Badanie gruntu.

Wszelkie roboty ziemne wykonywa się celem zmiany naturalnej powierzchni ziemi przez wykopywanie lub nasypywanie, wzgl. zrównywanie gruntu. Są one prawie zawsze związane z transportem ziemi. Celem możliwie taniego ich przeprowadzenia, oraz ograniczenia się do robót niezbędnych, należy wykonać pewne prace przygotowawcze o charakterze technicznym i gospodarczym, które pozwolą racjonalnie i z góry określić koszt robót, czas trwania budowy, kolejność robót, ilość potrzebnych robotników, narzędzi, maszyn i materjałów budowlanych, oraz wybrać najbardziej ekonomiczny sposób wykonania robót, w zależności od warunków miejscowych. Dla zyskania tych wiadomości trzeba poznać grunt, w jakim się ma budować, następnie zdać sobie sprawę z kosztów jego wzruszenia i z kosztów jego przewozu, a wreszcie policzyć jego ilości, zawarte w budowli, odpowiednio je rozmieścić i zrobić zestawienie kosztów całej roboty.

Do prac przygotowawczych należy:

A. **Wykonanie projektu budowy**, co np. dla budowy dróg komunikacyjnych jest związane z robotami mierniczemi, oraz ustaleniem najbardziej celowego położenia osi. O ile ostateczne położenie osi ustalono, wówczas należy wykonać badanie gruntu na miejscu roboty, w zależności od wyników którego w pewnych wypadkach może nawet zajść potrzeba zmiany kierunku osi (np. przy gruntach podlegających osuwiskom i usypiskom i in.).

B. **Badanie gruntu**, w szczególności w miejscach zgrupowania większych mas ziemnych, winno określić:

a) ukształtowanie geologiczne, tj. rodzaj i grubość pokładów, możliwie ich wiek, przedewszystkiem zaś pochylenie ich i położenie względem południka (upad i kierunek warstw);

b) ogólne właściwości gatunków gruntu, tj. twardość, ciężar gatunkowy, spoistość wewnętrzną, spulchnienie (rozluźnienie), wytrzymałość na działanie wody i powietrza;

c) zawartość wody i przepuszczalność, obecność warstw, po których mogłoby nastąpić przy pewnych warunkach spełzanie gruntów (szczególniej przy głębszych przekopach, oraz na zboczach);

d) nośność gruntu (szczególnie pod wysokimi nasypami w dolinach rzek, oraz pod fundamentami budowli).

Sposoby badania gruntu:

1. Na zasadzie map geologicznych i przekrojów pionowych pokładów. Dla orjentacji służyć mogą urwiste brzegi rzek, uwarstwienia gruntu w studniach, kopalniach, kamieniołomach itp., w pobliżu miejsca wykonania roboty.

2. Sondowanie gruntu, przy nieznacznej głębokości badania; sposób ten nie daje jasnego obrazu uwarstwień.

3. Kopanie dołów próbnych, przyczem do głębokości 2—3 *m*, a w pewnych warunkach nawet do 5 *m*, udaje się wykonać je bez umacniania ścian (opierzenia czyli deskowania), a głębiej do 10 *m* i więcej z umocnieniem ścian oprawą lub cembrowaniem; przy większych głębokościach kopanie szybów przy zastosowaniu metod górniczych.

Koszt kopania szybów w porównaniu do zwykłych nawierzchnich robót ziemnych bywa większy w przybliżeniu 1,4 razy przy głębokości 2 *m*, 2,1 razy przy głębokości 4 *m*, zaś razy większy przy głębokości dołu 6 *m*.

Doły próbne dają rzeczywisty obraz uwarstwień, ale przy większych głębokościach są bardzo kosztowne. Nie można ich również stosować przy wysokim poziomie wód gruntowych.

4. Wiercenie zapomocą świdrów różnego rodzaju, zależnie od napotykanych gruntów i wody; przeprowadzanie wierceń wymaga dużej dokładności w wykonaniu. Świdry o małych średnicach (ok. 25—40 *mm*) mniej pożądane, gdyż dają często niedokładne rezultaty; bardziej odpowiednie otwory o 10—15*cm* i tylko w skałach dopuszcza się $d = 3—7$ *cm*.

Wiercenia niezawsze dają dokładny obraz układu wszystkich warstw; przy większej ilości warstw przepojonych wodą można zapomocą wierceń dokładnie ustalić jedynie układ warstw górnych.

Wogóle badania gruntu powinny określić upad i kierunek warstw; należy je ująć w specjalnych zestawieniach, ze wskazaniem rodzaju napotykanych gruntów, oczekiwanych trudności z powodu np. warstw przepojonych wodą lub przepuszczających wodę, obecności powierzchni usuwowych, niedość pewnego gruntu itp.

Szczególnie starannie zbadać zbocza, na których mają być wykonane projektowane roboty; wszelkie zjawiska, wskazujące na ewentualne przesunięcia gruntu, należy dokładnie zbadać. W tym wypadku wyniki badania mogą doprowadzić nawet do zmiany kierunku linji, bądź w celu ominięcia trudności przy budowie, bądź wobec niepewności, czy wykonane roboty ziemne nie naruszą równowagi mas ziemnych i nie pociągną za sobą usuwisk lub spływów.

Twardość gruntu należy ustalić w celu wyjaśnienia trudności przy kopaniu gruntów (tj. odspajaniu), odpowiednio do rodzaju potrzebnych narzędzi. Zależnie od twardości gruntów, czyli od stosowania tych lub innych narzędzi przy odspajaniu, ustalono klasyfikację gruntów, podaną niżej w rozdziale o odspajaniu gruntów.

Najważniejsze w budowlach ziemnych grunta są:

1. Ziemia zwykła, urodzajna. Jest to pospolicie górna część wierzchnich pokładów, w której wytworzyły się pewne ilości humusu. Ziemi tej używamy do okrycia jałowych stoków budowli ziemnych.

2. Iły. (Por. str. 21.) Ze względu na olbrzymie przestrzenie, na jakich występuje, i ze względu na swe własności najważniejszy rodzaj gruntu przy robotach ziemnych. Prawie zawsze zawiera wodę w ilościach, dochodzących czasem do 70% całego materjału. Przyjmuje dużo wody i zatrzymuje ją, ale nasycony nią nie przyjmuje jej więcej i staje się nieprzepuszczalny. Przy wysychaniu pęka, na mrozie kruszy się. Wszystkie te własności iłu zmuszają do wielkiej ostrożności przy wykonywaniu zeń nasypów.

3. Glina. (Por. str. 21.) Odmiana iłu z dużą ilością, powyżej 30%, pyłkowatego kwarcu i tlenków żelaza. Tworzy mniejsze pokłady, przykrycia stoków i wypełnienia wklęsłości. W stanie suchym jest sypka; w wilgotnym urabialna; barwa najczęściej żółtawa. Przyjmuje wodę tak chciwie jak ił, ale jej nie zatrzymuje w tym stopniu, co on; rozmaka, wiele odmian gliny przechodzi nawet łatwo w stan zupełnie płynny. Dlatego materjał również niebezpieczny dla robót ziemnych.

4. Margiel. (Por. str. 21.) Mieszanina iłów z wapniem. Margiel w gruncie leżący, zwyczajnie zbity; na mrozie i powietrzu rozpada się na pył. Roztarty i nasycony wodą tworzy szlam, który bardzo wolno wysycha. Przy robotach ziemnych wymaga znacznej ostrożności.

5. Torf. Powstaje z roślin obumarłych w wodach stojących. Główne jego domieszki: piasek, ił, pyłek wapniowy. Zajmuje nieraz wielkie przestrzenie (nawet wzwyż tysiąca km^2). Występuje w pokładach o grubości nierzadko kilku, wyjątkowo kilkunastometrowych. Zawiera zawsze dużo

wody; spójności brak. Dlatego torf jest niebezpieczny jako podłoże nasypów i jako ich materjał.

6. Piasek. (Por. str. 22.) Składa się głównie z ziarn kwarcu; przymieszki z ziarn wapienia, pyłków iłu itd. Nierozpuszczalny w wodzie, a przepuszczalny. Doskonały materjał do budowli ziemnych, szczególniej, gdy gruboziarnisty.

7. Żwir. Nagromadzone kawałki rozmaitych skał, mniej lub więcej zaokrąglone, o średnicy do 6 *cm*. Dobry materjał do budowli ziemnych.

8. Rumowiska. Nagromadzone kanciaste kawałki skał rozmaitych. Występują jako pokrycie zboczy gór, zwykle u ich podnoża, rzadko w wielkich rozmiarach. Należy unikać przekopów w tym materjale, bo bardzo ruchliwy.

9. Skały. Najczęstsze: piaskowiec, wapień, granit. (Por. dział „Skały", str. 16 i nast.)

Ciężar gatunkowy gruntów wpływa na koszta przewozu, oraz przy kamieniach na ich używalność do różnych celów.

Tablica 1. Ciężar 1 m^3 gruntów.

(Por. też zestawienie wedle przepisów Ministerstwa Robót Publicznych w części piątej Podręcznika.)

Wyszczególnienie rodzajów gruntu	Ciężar 1 m^3 w kg
Ziemia zwierzchnia, roślinna, normalnie wilgotna, spulchniona	1400
Ziemia ubita, lekko wilgotna	1700
Ziemia pulchna, nasiąknięta wodą	1800
Ziemia próchnica, darnina — po odspojeniu	600—900
Grunt gliniasty, nie ubity, suchy lub naturalnie wilgotny	1500
Grunt gliniasty, ubity, suchy lub naturalnie wilgotny	1700
Grunt gliniasty, nasycony wodą	1900
Piasek, żwir, tłuczeń — suche	1500—2000
Glina tłusta	1800—2600
Piaskowiec w zwartej masie	1900—2700
Piaskowiec w bryłach i odłamach po odspojeniu	1400—2000
Wapień w zwartej masie	2200—2800
Wapień w bryłach i odłamach	1750—2000
Granit w zwartej masie	2500—3000
Granit w bryłach po odspojeniu	1800—2250
Granitowy kamień polowy w bryłach	1850—2250

Zależnie od spoistości wewnętrznej grunt przy nasypywaniu układa się według stoku o określonem nachyleniu. Kąt pomiędzy stokiem i linją poziomą nazywa się kątem o stoku naturalnym i stanowi granicę, przy którym dany rodzaj gruntu może się jeszcze sam utrzymać w stałej równowadze; gdy wypada uczynić stok bardziej stromy, należy zastosować umocnienie zewnętrzne powierzchni stoku.

W przekopach, gdzie grunt jest zwarty, możemy przyjąć stoki (skarpy) bardziej strome, niż przy nasypach, a w skałach niekiedy nawet prawie pionowe.

Tablica 2.

Stosunek rzutu poziomego stoku do wysokości stoku dla gruntów $b:h$ (fig. 16).

Rodzaj stoku	Piasek drobny	Żwir lub ziemia roślinna	Grunta gliniasto i glina	Grunta kamieniste	Skały
W przekopach: stok nieumocniony	1,8—1,7	1,6—1,4	1,5—1,4	1,5—1,0	0,5—0,33
W przekopach: stok umocniony	1,5	1,25—1,0	1,0	1,0—0,75	0,15
W nasypach: stok nieumocniony	2,0—1,9	1,7—1,5	1,5	1,5	usypany 0,75
W nasypach: stok umocniony	1,5	1,4—1,25	1,0	do 1,0	układany 0,5

W praktyce kolejowej i drogowej stosują najczęściej jak w nasypach, tak przekopach przy gruntach ziemistych stoki 1,5, niekiedy w przekopach 1,25; w gruntach, wystawionych na działanie wody, stoki dochodzą niekiedy do 4 ($b:h=4$), szczególniej przy gruntach luźnych.

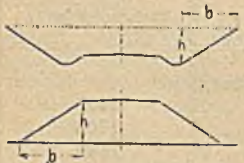


Fig. 16.

Rozluźnienie (spulchnienie) gruntów, wpływające na przewóz i rozmieszczenie mas ziemnych, waha się w bardzo szerokich granicach. Ponieważ spulchnienie po pewnym czasie znacznie się zmniejsza, należy nasypy sypać wyżej, a niekiedy i szerzej, niż tego wymaga projekt.

Nośność gruntu ważną jest zarówno dla nasypów, jak i przy urządzeniu fundamentów budowli. Dopuszczalne obciążenie gruntu (por. też dział V Podręcznika inżynierskiego):

a) Do dobrych gruntów budowlanych należy twarda skała, uwarstwiona prawie poziomo o grubości conajmniej 2,5 *m* (10—30 kg/cm^2); żwir i piasek uleżałe w pokładach 3—4 *m* (2,5—6,0 kg/cm^2), sucha glina, twarda glina piaszczysta w takichże pokładach (2,5—4 kg/cm^2).

b) Do średnich gruntów należą: miękka skała, margiel suchy (1,2—2,0 kg/cm^2); glina niezbyt wilgotna, grunta piaszczysto-gliniaste (1,5—2,5 kg/cm^2); drobne piaski z domieszką gliny (0,8—1,5 kg/cm^2).

c) Złe grunty budowlane: ziemia roślinna, torfowisko, piasek lotny, muł, ziemia nasypana. Nośność takich gruntów nie może być ustalona i zależy w każdym poszczególnym wypadku od miejscowych warunków. Stosowanie mniejszych lub większych norm obciążenia dla każdego rodzaju gruntu zależy od własności pokładu, od formy i wielkości budowli, powodującej obciążenie, oraz od przeznaczenia budowli.

Po ustaleniu rodzajów gruntu i właściwości ich, następną pracą o charakterze przygotowawczym jest:

C. **Obliczenie objętości** mas ziemnych, rozmieszczenie tych mas oraz sporządzenie kosztorysu wykonania robót (por. rozdz. V.).

Bezpośrednio przed rozpoczęciem na miejscu robót ziemnych i po ustaleniu sposobu ich wykonania, czy to przez przedsiębiorców, czy też gospo-

Tabl. 3. Objętość 1 m^3 gruntu w różn. stopniach spulchnienia.

Rodzaj gruntu	Spulchnienie początkowe zaraz po odspojeniu (maximum)	Pozostające spulchnienie po ułożeniu naturalnem	Stan po ubiciu największem ze zwilżaniem	Pozostające spulchnienie po ubiciu i ułożeniu
Piasek, muł, żwir, ziemie lekkie, ziemie ze żwirem lub drobnemi kamieniami	1,05—1,10	1,03—1,08	1,05—1,07	1,01—1,02
Glina piasczysta, piasek gliniasty	1,10—1,15	1,05—1,07	1,07—1,10	1,02—1,04
Glina, margiel — wilgotne, czarnoziem, torf	1,15—1,25	1,07—1,12	1,10—1,20	1,04—1,06
Glina, margiel — suche lub skamieniałe lub zmieszane ze żwirem i kamieniami, ziemia opoczysta	1,25—1,30	1,12—1,15	1,12—1,15	1,06—1,07
Lekkie skały — kredowe, piaskowce łamliwe, skały łatwo wietrzejące, popękane	1,30—1,35	1,15—1,17	1,10—1,12	1,02—1,10
Skały twarde — wapienie, piaskowce łupki, gnejsy, węgiel kopalniany	1,35—1,40	1,17—1,20	1,30—1,35	1,10—1,15
Skały twarde masywne — granity, bazalty, porfiry	1,40—1,65	1,40—1,65	1,35—1,40	1,25
Gruz ceglany z rozbiórki murów...	1,65—2,00	1,60—1,90	1,35—1,40	—

darczo, oraz po załatwieniu potrzebnych formalności z właścicielami gruntów wykonywa się na miejscu robót:

D. **Przygotowawcze prace pomiarowe:** 1. Sprawdzenie osi linji w planie i profilu, odtworzenie zaginionych punktów wytyczenia i wysokości, wprowadzenie ulepszeń kierunku linji, o ile to okaże się możebne przy dokładnych i ostatecznych pomiarach.

2. Ustalenie i zabezpieczenie ważnych punktów wytyczenia i kierunku osi, oraz reperów (stałych punktów wysokości) nazewnątrz szerokości robót ziemnych.

3. Oznaczenie szerokości robót ziemnych, z ustawieniem w trudnych miejscach szablonów stokowych, w odstępach od 50 do 100 *m*, a niekiedy i częściej; według osi zaś linji, oraz niekiedy obok niej żerdzi, wskazujących wysokość nasypów (razem z procentem na uleżenie).

4. Wyznaczenie rowów w celu odwodnienia i zabezpieczenia robót od wody (rowy odwadniające powinny być zwykle wykopywane możliwie przed innemi robotami ziemnemi), wyznaczenie rowów materjałowych (rezerwy).

Jednocześnie z robotami pomiarowemi należy wykonać:

E. **Wyrąb lasów i krzaków** na szerokości, jaka będzie ustalona w każdym poszczególnem miejscu z urządzeniem w razie potrzeby pasów ochronnych i

F. **Urządzenie miejsc budowy,** a mianowicie:

1. Urządzenie dostępu do miejsc robót, składów i innych.

2. Pobudowanie szop, składów narzędzi, warsztatów, baraków na mieszkania, stajnie, parowozownie itd.

3. Dostarczenie na miejsce robót wszelkich instrumentów, narzędzi i materjałów do kopania i przewożenia.

II. Dobywanie ziemi.

Przed rozpoczęciem kopania ziemi należy wierzchnią warstwę gruntu, ziemię roślinną (humus, próchnica) lub darninę, zdjąć łopatami i odgarnąć na bok od miejsca robót, oraz złożyć ją w formie wału lub stosów darniny; materjał ten po wykonaniu robót ziemnych służy do obsypania skarp lub umocnienia ich darniną.

Rodzaje gruntu dzielimy na kategorje, w zależności od mechanicznego oporu, jaki stawiają przy odspajaniu (por. tablicę 5 *b*, str. 30).

Grunta kategorji I, II, III i IV, czyli grunta ziemiste można odspajać zarówno ręcznie, jak i maszynowo, zwłaszcza przy większych ilościach w jednem miejscu.

A. **Przeciętna wydajność pracy** czyli norma pracy przy robotach ręcznych i maszynowych: por. tablice 5, 7, 9, 12.

B. **Koszt odspajania**, łącznie z kosztem ładowania do wozideł lub kosztem jednorazowego rzutu łopatą, składa się naogół z nast. poszczególnych części:

1. Wydatki jednorazowe: na przywiezienie narzędzi i maszyn na miejsce robót i odwiezienie z powrotem, wydatki na zmontowanie maszyn i na rozbiórkę ich po ukończeniu, oraz wydatki na urządzenie miejsc budowy.

2. Wydatki stałe, tj. takie, które trwają przez cały czas roboty: oprocentowanie i amortyzacja (umorzenie) kosztów nabycia narzędzi i maszyn, robocizna łącznie z wkładkami ubezpieczeniowemi, smary, woda, węgiel, oraz wszelkie dodatkowe (administracyjne, handlowe i in.) koszta ogólne przedsiębiorstwa.

Wydatki stałe zależą od rzeczywistego czasu pracy i wydajności pracy. Rzeczywisty czas pracy w ciągu roku w Polsce wynosi na robotach ziemnych (po potrąceniu niedziel, świąt, dni mroźnych, dżdżystych) od 140 (na kresach wschodnich) do 180 dni (na kresach zachodnich); cyfry są zmienne wobec bardzo zmiennych warunków klimatycznych. Przy robotach, wykonywanych zapomocą maszyn, należy ponadto uwzględnić przerwy na naprawę uszkodzeń, rewizje itp., co może wynieść około 20 dni na sezon budowlany.

Oprocentowanie włożonego kapitału przyjmuje się według stanu rynku pieniężnego (przed wojną 6—8%, po wojnie do 20% i więcej);

Zużycie i odpisywanie na umorzenie, przy bardzo silnem wykorzystaniu (obciążeniu) narzędzi do wydobywania i przewozu ziemi, przyjmuje się według tablicy 4.

3. Zysk przedsiębiorcy.

Tablica 4. Amortyzacja bardziej kosztownych maszyn i urządzeń przy robotach ziemnych.

	Umorzenie (amortyzacja) w %% kosztów nabycia wynosi na rok używania										Naprawa i utrzymanie w %% kosztów nabycia, na każdy rok
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Czerparki i inne narzędzia dobywania ziemi	30	20	20	10	10	10	—	—	—	—	3—5
Pompy	30	15	10	10	10	5	5	5	5	5	3—5
Parowozy na budowie	30	15	12,5	10	7,5	5	5	5	5	5	3—5
Wagony do przewozu ziemi	30	15	15	15	15	—	—	—	—	—	5—7
Tory budowlane	30	15	10	10	10	5	5	5	5	5	1,5—2

Tablica 5*a*. Normy zasadnicze dla robót ziemnych przy pracy ręcznej.

Przedmiot	Kategorje gruntów					
	I	II	III	IV	V	VI
	Narzędzia i środki do odspajania					
	szufla	szpadel, wzgl. niekiedy motyka	szpadle, drągi żelazne, pługi	szpadle, oskardy, czekany, drągi	kliny, młoty, kilofy, czekany	materjały, wybuchowe
Waga przeciętna 1 m^3 masy ziemnej w stanie rozluźnionym (w nasypie) *kg*.	1500	1600	1800	2000	2300	2800
próchnica	600					
Spółczynnik rozluźnienia początkowego *kg*.....	1,08	1,15	1,25	1,30	1,35	1,50
Spółczynnik rozluźnienia gruntów zleżałych (rozluźnienie pozostające).....	1,03	1,07	1,12	1,15	1,25	1,50
Odspojenie i naładowanie 1 m^3 gruntu na wozidła lub jeden rzut na odległość do 3 *m* i wysokość do 1,5 *m*..... godzin:	0,75	1,25	2,00	3,20	4,50	8,00
W tem naładowanie 1 m^3 gruntu odspojonego na wozidła różnej wielkości godzin:	0,75	0,75	0,85	0,90	1,10	1,20
Przerzucenie 1 m^3 odspojonej ziemi:						
a) na wysokość do 1,5 *m* i odległość do 3 *m* godzin:	0,75	0,75	0,85	0,90	1,10	1,20
b) na wysokość do 3 *m* i na odległość do 1,5 *m* godzin:	0,75	0,75	0,95	1,05	1,20	1,30
Wzruszenie ziemi zapomocą pługa na 1 m^3 zoranej ziemi:						
robotniczych godzin.....	—	0,020	0,035			
konn. godzin	—	0,04	0,07			
Oprocentowanie, zużycie i odnowienie narzędzi przy robotach ziemnych w procentach od kosztów robocizny	2·5	5	10	10	10	12
Ilość materjałów wybuchowych na 1 m^3 rozsadzanej skały *kg*	—	—	—	—	0,15	0,30

Praca ręczna. Koszty jednorazowe bardzo nieznaczne przy ręcznem wykonaniu robót ziemnych przy lżejszych gruntach, ponieważ robotnik używa zwykle własnej łopaty lub rydla. Koszty stałe oblicza się stosownie do miejscowych opłat za robociznę. Jako normy pracy można przyjmować dane wedle tablicy 5 *a*.

Tablica 5 *b*. Podział gruntów na kategorje.

Kategorja I	Ziemie luźne, niespoiste, niezleżałe, nasypowe, próchnica, piasek bez spoiwa, ziemia ogrodowa, orana, muł, szlam.
Kategorja II	Ziemie o małej i średniej zwartości: piaszczyste, gliniaste i gliniasto-piaszczyste, drobny żwir o słabym spoiwie, piasek wilgotny, torfowisko bez korzeni, piasek o nieznacznej spoistości.
Kategorja III	Ziemie o znacznej zwartości: silnie spoiste z lepką ciastowatą spoistością: gliny, margiel, żwir o dużej spoistości ziaren; ziemie średniej zwartości z domieszką do 20% drobnego żwiru lub drobnego kamienia; luźne kamienie.
Kategorja IV	Ziemie przejściowe do skalistych: średniej miękkości łupki; stwardniałe i suche lub zmieszane z grubym żwirem lub kamieniami gliny, iły i margle; rozkruchowce; miękkie pokłady zwietrzałe.
Kategorja V	Skały średniej twardości, odspajane ręcznie, częściowo rozsadzane, skały o cienkiem uwarstwieniu, wapienie, kreda, szczelinowaty słaby piaskowiec, łupki, dolomit.
Kategorja VI	Skały w zwartych grubych pokładach bardzo twarde, skały w zwartych masach, twarde piaskowce, dolomity, wapienie i łupki, gnejs, granit, kwarc, sienit, porfir.

Obecność wody w gruncie zwiększa koszty o 10—50%; wąskoprzestrzenne wykopywania są droższe o 50%, jamiste o 100%. Podobnie zwiększają się koszta: o 30—75% przy wyrąbywaniu korzeni, o 10—75% przy obecności wzmocnień konstrukcyjnych, o 50—150% przy podkopywaniu się pod budowle istniejące.

Fig. 17.

Do odspajania gruntów skalistych, a niekiedy i kamienistych, używamy zwykle materjałów wybuchowych, przyczem jako roboty przedwstępne w tym wypadku wierci się w masach skały dziury, w celu założenia i wysadzenia materjału wybuchowego.

Wiercenie. Stosowany przy wierceniu świder jest zw. świdrem dłutowym (fig. 17), tj. drągiem zwykle ośmiokanciastym, gr. ok. 20 *mm*, ze stali zlewnej z ostrzem prostem, na rogach nieco zagiętem lub lekko zaokrąglonem; pierwszy rodzaj stosowany bywa w skale bardzo zwartej, drugi w skale mniej twardej; szerokość świdra 20—40 i 50 *mm*, zależnie od głębokości wywiertu, od którego zależy i długość świdra. Wskazane jednak używanie do każdego otworu, w miarę zwiększania się jego głębokości, trzech świdrów

różnej długości, ponieważ przy użyciu od początku zbyt długiego świdra kierowanie nim jest utrudnione, przyczem osłabia się wpływ uderzeń. Pierwszego z tych świdrów uż. do głębokości otworu $^1/_3$ *m*, drugiego do $^2/_3$ *m*, trzeciego do całkowitej długości 1 *m* i więcej, przyczem w każdym wypadku całkowita długość świdra powinna być o 15—20 *cm* większa od głębokości otworu, do której ma być świder użyty.

W świder uderza się pobijakiem wagi 4—12 *kg*; po każdem uderzeniu należy świder nieco obrócić. Pobijaki cięższe używane bywają oburącz.

Świder udarowy (fig. 18) jest świdrem dłutowym, skł. z drąga żelaznego dł. 1,5—2,0 *m*, gr. 25 *mm*, opatrzonego główką ze stali zlewnej. Zastępuje on wyżej wymieniony świder z pobijakiem, przyczem przy użyciu podnosi się go w górę i puszcza, znaczny zaś jego ciężar działa na skałę miażdżąco.

Używane dawniej świdry koronowe (z większą ilością ostrzy) są obecnie przestarzałe, natomiast świder krzyżowy o dwóch krzyżujących się ostrzach (fig. 19) jest jeszcze w użyciu.

Do oczyszczenia otworu z małych odłamków skały lub kurzu (t. zw. „mączka świdrowa“) służy skrobaczka (grempla, fig. 20). Jest to mocny drut żelazny gr. 8 *mm*, którego jeden koniec jest spłaszczony i zagięty pod prostym kątem, drugi zaś koniec posiada uszko, przez które można przetknąć szmatę lub pakuły w celu całkowitego oczyszczenia wywiertu przed włożeniem doń ładunku.

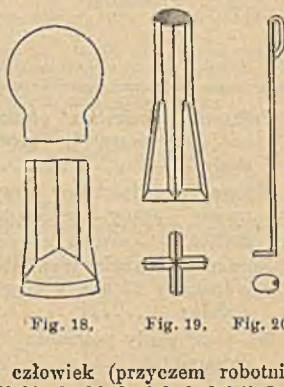


Fig. 18. Fig. 19. Fig. 20.

Przed rozpoczęciem wiercenia skałę wyrównać prostopadle do kierunku wiercenia. Początkowo uderzać zlekka, aby świder rozgrzewał się stopniowo. W bardzo zwartej suchej skale wlewać wodę do otworu, aby zapobiec uciążliwemu dla robotnika tworzeniu się pyłu, aby zmniejszyć rozgrzewanie się świdra i ułatwić pracę wiertniczą. Ił, powstały wskutek zmieszania wody z mączką świdrową (t. zw. „miał wiertniczy“), od czasu do czasu usuwać przy pomocy skrobaczki.

Pracę wiertniczą wykonywa bądź jeden człowiek (przyczem robotnik w jednej ręce trzyma świder, a w drugiej pobijak), bądź dwóch ludzi (jeden robotnik prowadzi świder, drugi zaś pobija). Niekiedy wiercenie wykonywa trzech ludzi, przyczem jeden z robotników prowadzi świder, dwaj zaś na zmianę pobijają.

Przy zastosowaniu wiercenia maszynowego robota posuwa się prędzej, niż przy wierceniu ręcznem, ponieważ wtenczas można uruchomić jednocześnie większą ilość świdrów. Siła napędna: zgęszczone powietrze, woda lub elektryczność.

Wymiary wywiertów. Ze względów gospodarczych wygodniejsze na ogół wykonanie mniejszej ilości wywiertów możliwie głębokich, niż większej ilości płytkich. Koszta wzrastają bowiem zazwyczaj w prostym stosunku do głębokości, podczas gdy działanie wybuchu wzrasta w stosunku objętościowym (kubicznym) do głębokości wywiertu.

Szerokość wywiertu ustala się zwykle tak, aby wymagany ładunek zajmował $^1/_3$ do $^2/_5$ głębokości otworu. Tablica 6 podaje właściwy stosunek szerokości wywiertu przy różnych głębokościach.

Dla robót wiertarskich i rozsadzania w celu odspajania gruntu kategorji V i VI przyjąć można normy według tablicy 7.

Dla prochu górna średnica otworu świdrowego przy wierceniu ręcznem średnio $d = 2{,}3 + 0{,}02\ g$ *cm*, gdzie *g* oznacza głębokość otworu świdrowego i waha się pomiędzy 30 i 120 *cm*, w zależności od rodzaju skały.

Tablica 6.

Głębokość wywiertu w *cm*	Szerokość wywiertu			
	Dla prochu		Dla dynamitu	
	mm	przeciętnie *mm*	*mm*	przeciętnie *mm*
30— 50	27—33	30	20—25	23
50— 80	33—48	40	25—35	30
80—120	48—60	55	35—45	40

Tablica 7. Normy dla robót wiertarskich i strzelniczych.

Przedmiot	Kategorja gruntów		
	V		VI
	Skały o pokładach mniejszej grubości: słabsze wapienie, kreda, piaskowce i in.	Skały w grubych pokładach: zbite wapienie, łupki twarde, piaskowce i in.	Granit, gnejsy, rogowiec, kwarc, sjenit
Całkowita potrzebna głębokość wywiertu dla 1 m^3 skały	0,2—0,8 *m*	0,5—1,5 *m*	1,0—2,0 *m*
Norma wywiercenia (przy ręcznej pracy) w ciągu godziny	160—120 cm^3	100—60 cm^3	50—30 cm^3
Norma wykonania wywiertu o średnicy 25 *mm* w ciągu godziny	32—24 *cm*	20—12 *cm*	10—6 *cm*
Na 1 m^3 skały potrzeba: dynamitu	0,05—0,10 *kg*	0,10—0,20 *kg*	0,20—0,5 *kg*
prochu	0,3—0,4 *kg*	0,4—0,5 *kg*	—
Na 1 *m* b. wywiertu o średnicy $d = 20$ *mm* potrzeba godzin	2—2,6	3—5,3	6—10,5
Na 1 *m* b. wywiertu o średnicy $d = 30$ *mm* potrzeba godzin	4,5—5,9	7—12	14—24
Na 1 *m* b. wywiertu o średnicy $d = 40$ *mm* potrzeba godzin	7,9—10,5	12,5—21	25—42
Przygotowanie i utrzymanie narzędzi i ostrzenie świdra na 1 *m* wywiertu godzin..	około 2	2	4

Przy stosowaniu dynamitu wywierty należy robić węższe o 20—25%.

Materjały wybuchowe: *A.* Używane gatunki prochu:

a) Proch strzelniczy: 65—75% azotanu potasowego (saletry potasowej), 20—15% węgla drzewnego, 15—10% siarki; bardzo wrażliwy na wilgoć.

b) Saletra strzelnicza: 75% saletry sodowej, 15% węgla brunatnego, oraz 10% siarki.

c) Petroklastyt: 69% saletry sodowej, 6% saletry potasowej, 10% siarki, 15% smoły węgla kamiennego, 1% dwuchromianu potasowego.

Saletra strzelnicza i petroklastyt są nieco mniej wrażliwe na uderzenia i bezpośredni płomień, niż łatwo wybuchający proch strzelniczy; natomiast niezbędna jest dobra przybitka otworu.

B. Inne używane materjały wybuchowe o charakterze miażdżącym:

a) Dynamity rozmaite, jako mieszanina nitrogliceryny z nast. materjałami:

1. Wełna strzelnicza (żelatyna strzelnicza): 93% nitrogliceryny; mieszanina o największej sile wybuchowej, mało wrażliwa na wilgoć, uderzenia i tarcie.

2. Wełna strzelnicza, saletra sodowa i mączka drzewna (dynamit żelatynowy): 50—80% nitrogliceryny, mieszanina obecnie najbardziej używana, również przy mokrych otworach wiertniczych.

3. Pył krzemionkowy (ziemia okrzemkowa, dynamit krzemionkowy): przeważnie 70—80% nitrogliceryny; mieszanina wrażliwa na wilgoć.

4. Saletra sodowa (30%), mąka żytnia (40%) i dwuchromian potasowy, karbonit (5%), 25% nitrogliceryny.

Nitrogliceryna tężeje przy $+8°$ C, przyczem niebezpieczeństwo wybuchu wzrasta.

b) T. zw. bezpieczne materjały wybuchowe przeważnie azotan amonowy 40—90% z domieszką bądź łatwo palnych materjałów (żywica, mączka drzewna, węgiel, naftalina, parafina, saletra potasowa, aluminjum w proszku i in.); bądź domieszką składników wybuchowych (bawełna strzelnicza, nitrogliceryna i in.). Mieszanina ta mało wrażliwą na ogień, uderzenie i tarcie, gazy jej (po wybuchu) mniej szkodliwe, mróz na nią nie wpływa szkodliwie, ale bardziej czuła na wilgoć, zapala się tylko zapomocą silnych kapiszonów (N 8). Materjał ten wolno było przed wojną przewozić koleją, jako bagaż lub przesyłki pośpieszne.

1. Dahmenit: 91,3% azotanu amonowego, 6,5% naftaliny, 2,2% dwuchromianu potasowego.

2. Lukatyt (dawniej Roburyt): 87,5% azotanu amonowego, 7% dwunitrobenzolu, 5% siarczanu amonu, 0,5% nadmanganu potasu.

3. Westfalit: 92% azotanu amonowego, 5% żywicy, 3% dwuchromianu potasowego.

4. Sekuryt: 37% azotanu amonowego, 34% saletry potasowej, 29% nitrobenzolu itd.

5. Miedziankit: 90% chloranu potasu i 10% nafty.

Również karbonit bywa zaliczany do bezpiecznych materjałów wybuchowych.

6. Nowe — t. zw. bezpieczne — materjały wybuchowe żelatynowe — np. astralit; donaryt żelatynowy, westfalit żelatynowy — zawierają 4—5% nitrogliceryny.

W tablicy 8 podana jest charakterystyka niektórych materjałów wybuchowych.

Tablica 8. Charakterystyka materjałów wybuchowych.

Przedmiot	Proch strzelniczy	Dynamit żelatynowy	Astralit żelatynowy
Temperatura wybuchu w °C.....	2500	3000	2200
1 *kg* materjału wybuchowego daje gazów o temperaturze wybuchu — litrów:	2840	7230	7390
Gazy wytworzone przez wybuch 1 *kg* materjału wywierają we własnej objętości ciśnienie *kg/cm*^{2}	280	1160	1180
Szybkość detonacji w *m*/sek.....	300	7000	3100

Wielkość naboju, który ma działać na głębokości „*h*“ metrów pod powierzchnią, wynosi $L = kh^3$ *kg*, gdzie „*k*“ przyjmuje się według tablicy 9.

Tablica 9.

Spółczynniki *k* dla określenia wielkości nabojów.

Rodzaj gruntu	Dla prochu	Dla dynamitu
Dla skały spoistej i twardej.....	0,65—0,80	0,15—0,25
Dla skały szczelinowatej.....	0,4 —0,6	0,10—0,15
Dla pozostałych gatunków.....	0,25—0,4	0,08—0,10

Przy przebijaniu tuneli spółczynniki te należy znacznie zwiększyć w celu otrzymania możliwie większego rozdrobnienia skał, przyczem wartości rzeczywiście potrzebne ustala się zwykle na zasadzie prób.

Urządzenie instalacji maszynowej (do wiercenia) jest tylko wtedy uzasadnione z punktu widzenia ekonomji, gdy rozmiar robót pozwala przewidywać, że się opłacą znacznie koszta instalacji maszynowej; gł. chodzi tu o instalację kompresorów dla wiertarek pneumatycznych.

Koszt wiertarki na godzinę wynosił przed wojną w Niemczech przeciętnie 2,50 zł, wydajność zaś wiertarki na godzinę wynosi przeciętnie:

przy kategorji gruntu	V	VI
długość wywiertu *cm*	od 610 *cm* do 410 *cm*	270 *cm*.

Jeżeli roboty wybuchowe mają na celu otrzymanie kamienia do robót kamieniarskich, to stosuje się wtedy o ile możności głębsze wywierty w odpowiednich odległościach, oraz mniejsze ładunki i słabszy dynamit; natomiast przy rozsadzaniu ziemi odległość pomiędzy wywiertami wynosi zwykle najwyżej podwójną głębokość dziury.

Nabijanie otworów świdrowych. Przy zastosowaniu prochu wsypuje się zwykle część ładunku prochu, ubija go ostrożnie drewnianym stemplem i zakłada lont; następnie dosypuje się pozostałą część prochu i ostrożnie ubija. Cały ładunek zajmuje od 0,3 do 0,4 całkowitej głębokości otworu; pozostałą część dziury zakłada się ziemią lub gliną, ubijając zrazu — do połowy głębokości — względnie słabo, później mocno. Czasem używa się naboi gotowych.

Przy zastosowaniu dynamitu nabijanie otworu odbywa się w podobny sposób, przyczem koniec lontu (sznur Bickforda) powinien być zaopatrzony w kapiszon.

Długość lontu należy obliczyć tak, aby po zapaleniu robotnicy mieli czas na schowanie się w miejsca bezpieczne od wybuchu; zwykle szybkość spalania się sznura stanowi ok. 1 *m*/min.

Maszynowe dobywanie ziemi. Praca maszynowa opłaca się tem bardziej, im droższa jest robocizna i im większa ilość robót. Istnieją trzy zasadnicze rodzaje maszyn do robót ziemnych: 1. bagrownica chwytowa, 2. bagrownica łańcuchowa — czerparka i 3. bagrownica łyżkowa — koparka.

1. Bagrownica chwytowa ma zastosowanie przy dobywaniu ziemi z głębokich i wąskich miejsc, np. z dołów fundamentowych, studni opuszczanych i in., oraz przy robotach pod wodą. Zasadniczą jej częścią jest kadź z ruchomemi szczękami, otwartemi w chwili, kiedy kadź opuszcza się ku ziemi, a zamykającemi się z chwilą podnoszenia kadzi ku górze.

Jednym z warunków dobrego zacinania ziemi i całkowitego napełnienia kadzi jest dostateczny ciężar własny; stąd dość znaczny ciężar martwy, bezustannie podnoszony wraz z wykopaliną, co wpływa ujemnie na wydajność maszyny.

Krawędzie łopat (szczęki) są gładkie dla gruntu drobnoziarnistego; dla kamieni zaś, ryniaków itp. krawędzie posiadają rząd zębów, zachodzących w obu szczękach między siebie. Dla materjałów o dużej spójności bagrownica chwytowa nie nadaje się. Bagrownica chwytowa, pracując w studniach, nie przerywa roboty murarskiej. W cegielniach służy do kopania gliny. Przydatna także do zatapiania betonu.

Jednym z najprostszych typów jest bagrownica systemu Morrisa o półwalcowej kadzi.

Wymiary kadzi: od 0,6 × 0,3 *m* do 2,0 × 1,5 *m*, najczęściej 1,2 × 0,8 *m*. Wielkie przyrządy pracują wogóle taniej, niż małe.

Tablica 10 zawiera ważniejsze dane dla różnych wielkości bagrownicy Morrisa, wyrabianej przez firmę Bieuger i Leyrer w Düsseldorfie.

2. Bagrownica łańcuchowa, czerparka. Zastosowanie przeważnie w Niemczech i Francji, przy gruntach lżejszych. Zwykle bywa napęd parowy, w ostatnich czasach często elektryczny, szczególniej, jeżeli prąd jest tani, przez co zyskuje się oszczędność na obsłudze silników. Szybkość ruchu około 6 *m*/min.

Tablica 10. Bagrownica Morrisa.

Gdy ciężar podnoszony w kadzi wynosi *kg*	500	1.000	1.000	2.000
przyrząd bagruje i podnosi do 6 *m* wysokości w 10 godzin pracy				
a) mułu, piasku lub żwiru *t*	50	50	65	80
b) iłu *t*	15	30	40	50
Cena przedwojenna całej bagrownicy wraz z żórawiem, do maks. głębokości bagrowania 7,5 *m*, bądź o krawędziach gładkich, zł[1])	11.700	15.000	18.500	22.500
Cena przedwojenna kadzi z krawędziami zębatemi zł[1])	1.470	2.350	3.100	3.500

Bagrownica może działać, stojąc na górze i kopiąc z dołu lub naodwrót stojąc na dole i kopiąc ziemię z góry.

Przy niedalekim odwozie ziemi może się okazać celowem połączenie bagrownicy z pasami transportowemi (przenośnikami) poziomemi lub nawet nachylonemi pod kątem do 15°; przy takiem przenoszeniu można osięgnąć wysokość podnoszenia ziemi do 20 *m* i odległość do 50 *m*.

Przy pracy pod wodą dla wydobywania ziemi z dna, praktyczny jest sposób transportu wykopanej ziemi na odległość do kilkudziesięciu metrów rurami. Rury o średnicy 30—50 *cm*, umieszczone na drewnianych pływakach, połączone ze sobą skórzanemi kołnierzami, umożliwiającemi ich przegibność, prowadzą na brzeg. Ziemia wyrzucona z kubełków bagrownicy dostaje się za pośrednictwem leja do tych rur, zaś umieszczona obok pompa wtłacza do rury prąd wody, który porywa ze sobą wsypaną ziemię i w stanie ciastowato-płynnym wypycha ją na brzeg. Dane: por. tablicę 11.

3. Bagrownica łyżkowa, koparka. Zastosowanie przeważnie w Ameryce, Anglji i Rosji, przytem o różnych wielkościach, od 0,4 do 4,8 m^3 pojemności łyżki i przy wadze bagrownicy do 100 *t*. Pojemność łyżki najczęściej około 2,0 m^3, wysokości i szerokość zacięcia 4,5—6 *m*, waga ogólna 45—60 *t*; cena przed wojną 50.000—55.000 zł[1]); do tego używa się wagoników o pojemność nie mniejszej niż 3 m^3. Urządzenie to jest najodpowiedniejsze przy gruntach mieszanych, oraz twardych, suchych glinach lub z zawartością kamieni; mniej odpowiednie dla glin lepkich.

Wydajność ogólna zależy mniej od własnej pracy bagrownicy, niż od sprawnego funkcjonowania urządzeń pomocniczych, i głównie od terminowego podstawiania wagonów roboczych do ładowania ziemią. Rzeczywista wydajność na godzinę: iloczyn z pojemności łyżki przez ilość udźwigów (których na minutę może być 2—3, a zatem dla łyżki o pojemności 2 m^3 na godzinę 360 m^3), wynosi:

Dla kategorji gruntu	I	II—III	IV
Przeciętnie dziennie najwyżej	50%	40%	30%
Przeciętnie miesięcznie najwyżej . . .	45%	35%	25%
Przeciętnie na dłuższy przeciąg pracy	40%	30%	20%
Wydajność przy pojemności łyżki 2 m^3 przy pracy trwającej czas dłuższy na godzinę stanowi około	140 m^3	105 m^3	70 m^3

[1]) Ceny przeliczone na złote.

Tablica 11.

Charakterystyka ogólna bagrownic łańcuchowych.

	Bagrownica przejezdna[1])	Bagrownica odsypująca na bok		Uwagi
		większa	mniejsza	
Pojemność czerpaków, każdy m^3	0,60–0,28–0,20	0,18-0,15	0,10 - 0,035	
Przybliżona waga maszyny w opakowaniu do przewozu koleją t	230—120—70	50—40	34—12	
Przybliżona cena bagrownicy (bez torów) w Niemczech w 1914 r. w złotych	?—64—55.000	50-43.000	37—14.000	
Teoretyczna wydajność na godzinę (20 czerpaków na minutę) m^3	600—290—240	220—180	120—40	100%
Przeciętna rzeczywista wydajność na godzinę na miejscu robót				
w gruncie kateg. I ok. q	420—200—170	150—130	80—30	70%
„ „ „ II ok. q	250—120—110	90—80	50—20	42%
„ „ „ III ok. q	170— 80— 70	60—50	35—15	28%
Normalna głębokość chwytu w m	20—12—10	8—7	6—3	
Największa głębokość chwytu w m	27—18—14	10—9	8—5	
Normalna wysokość wykopu:				
a) przy czerpakach działających naprzód m	6,5—5,5	5	4	
b) przy czerpakach działających wstecz m	20—12—10	8—7	6—3	
Do obsługi czerparki potrzeba ludzi	4	3	2—1	
Ilość szyn w torze bagrownicy[2])	3	2	2	
Największe ciśnienie kół w t	13—12	12—10	9—7	
Odpowiedni profil szyn, waga kg/m	45—40	40	33—30	
Przekrój poprz. podkładów cm	20 . 28	20 . 28	16 . 26–15 . 24	
Długość podkładów m	7—6,2	4,2	3,4—2,5	
Najodpowiedniejsza pojemność wagoników przewozowych m^3	5—3	3—2	$1^1/_2$—$^3/_4$	

[1]) Budowa w kształcie portalu, przy której pociąg z wagonikami przechodzi pod bagrownicą. Przy większych wymiarach pod bagrownicą przepuszcza się dwa tory do odwozu gruntu.

[2]) Przy bagrownicach z przenośnikami o dużym wysięgu 4 szyny.

W bardzo zwartych gruntach wydajność na godzinę spada do 30—25 m^3, a działalność koparki musi być uzupełniona wysadzaniem przy pomocy materjałów wybuchowych; ponieważ zarazem rozdrobnienie materjału może być mniejsze, niż przy pracy ręcznej, przeto i wiercenie oraz ilość potrzebnych materjałów wybuchowych jest mniejsza w porównaniu do pracy ręcznej.

Bagrownica łyżkowa wymaga mało robót przygotowawczych, sama wyrównywa dla siebie grunt, może pracować w wąskich wykopach; dzięki swej bardzo mocnej i prostej budowie, nadaje się do robót w gruntach twardych, gdzie usuwać nią możemy przeszkody bezpośrednio, bez uciekania się do robót pomocniczych. W porównaniu z systemem łańcuchowym ma zwykle cokolwiek mniejszą wydajność, zato może pracować w takich gruntach, gdzie system łańcuchowy się nie nadaje.

III. Przewozy przy robotach gruntowych.

A. **Odległość przewozu** przyjmuje się równą odległości pomiędzy środkami ciężkości mas wykopu i nasypu. W celu zmniejszenia kosztów, masy nasypu i wykopu powinny być o ile możności wyrównane (o wyrównaniu mas, patrz niżej).

B. **Rodzaje przewozu.** 1. Przerzucanie łopatą. Jednym rzutem łopaty można odrzucić ziemię na odległość 3—4 *m*, lub na wysokość 1,5—2 *m*. Dla gruntów odspajanych łopatą (kat. I, II i III) odrzucanie ziemi łączy się zwykle z odspojeniem, patrz tabl. 5; za przerzucanie dalsze lub odrzucanie gruntów odspajanych nie łopatami należy się osobna dopłata.

Przeciętnie można liczyć: na przerzucenie 1 m^3 gruntu kat. I i II na odległość do 3 *m*, lub na wysokość do 1,5 *m* potrzeba 0,65—0,75 godzin robotnika; na każdy dalszy metr odległości należy dodawać 0,40—0,50 godzin, a na metr wysokości 0,20—0,25 godzin na 1 m^3 gruntu; przytem pod objętością przerzucanego gruntu należy rozumieć ziemię „poruszoną“ (spulchnioną).

Przerzucanie mas ziemnych stosuje się przeważnie na początku robót ziemnych, przy plantowaniu, przy bliskich transportach poprzecznych z rowów, przy półnasypach i półprzekopach, przy wykonaniu stoków nasypów i in.

2. Specjalne rodzaje przewozu: *a*) Przenoszenie ziemi w koszach, workach, na noszach, stosowane w krajach z bardzo tanią robocizną, w Chinach, krajach podzwrotnikowych, oraz przy pewnych warunkach roboty. *b*) Przewożenie ziemi na sankach stosowane niekiedy przy bardzo znacznych pochyłościach (np. budowa kolei zębatych i linowych). *c*) Przewóz ziemi kolejką linową (por. część II Podręcznika) ma zastosowanie w określonych wypadkach, przy wielkich trudnościach terenowych. Kolejka linowa omija wszystkie trudności terenu, przechodząc wysoko ponad drogami, rzekami, dolinami i zabudowaniami, jest w stanie przezwyciężyć znaczne wzniesienie i potrzebuje małej powierzchni dla ustawienia podpór.

Wydajność przewozu przy zwykle stosowanej pojemności wózka około $^1/_4$ m^3 wynosi 200—300 m^3 dziennie; szybkość poruszania się liny od 1 do 3,5 *m*/sek. Zazwyczaj używane wózki mają pojemność 0,1—0,8 m^3, przyczem przechodzi od 40 do 100 wózków na godzinę; największa możliwa wydajność wynosi do 250 wózków na godzinę.

Koszta urządzenia kolejki linowej są znaczne; ceny przedwojenne niemieckie przeliczone na złote podane są w tablicy 12.

d) Transportowanie ziemi zapomocą pasów gumowych (na tkaninie konopnej lub bawełnianej) bez końca, przechodzących po rolkach ruchomych drewnianych lub żelaznych, poziomo lub z nieznacznem pochyleniem do 27°. Pewne dane co do tego rodzaju transportowania ziemi podane są w tablicy 13.

Tablica 12. Dane o kolejach linowych.

Ilość gruntu, przewożona na godzinę		Potrzebna siła napędowa w KM w przybliżeniu		Potrzebny spadek dla samoczynnego ruchu	Przybliżone koszta urządzenia w zł w warunkach przedwojennych, bez maszyny napędnej	
w tonnach	w m^3	dla toru poziomego	dla wzniesienia 1 : 3		dla toru poziomego	dla wzniesienia 1 : 3
10	6	$3\,L$	$15\,L$	1 : 9	$10900\,L + 3000$	$12300\,L + 5000$
20	12	$4\,L$	$30\,L$	1 : 15	$15000\,L + 4000$	$16300\,L + 7000$
40	24	$6\,L$	$60\,L$	1 : 22	$18800\,L + 5000$	$20800\,L + 9000$
60	35	$9\,L$	$90\,L$	1 : 23	$22700\,L + 6000$	$25000\,L + 14000$

L = długość przewozu w km

Tablica 13.

Szerokość pasa B m/m	Szybkość przesuwania pasa V $m/sek.$	Ilość M, przewożona w ciągu godziny		
		w tonnach	w m^3	
305	1—3	10—35	6—20	$M = 200\,(0{,}9\,B - 0{,}02)^2\,V\,m^3$
460		50—120	30—70	
610		125—250	75—150	
760		200—400	120—250	
915		300—900	180—530	

3. Przewożenie ziemi taczkami stosowane przy niewielkich odległościach przewozu — do 300 m (zwykle od 30 do 120 m), przy nieznacznych ilościach ziemi, oraz w wypadku, gdy jest utrudniony wywóz ziemi z powodu silnego pochylenia drogi; wywóz odbywa się zwykle po torze z desek.

4. Przewożenie ziemi wozami jedno- i dwukonnymi używane przed wojną bardzo szeroko, obecnie ma małe zastosowanie. Ten sposób przewozu spotyka się przeważnie w miastach.

5. Najczęściej stosuje się przewóz ziemi po torze szynowym o szerokości 0,6—1,0 m, a niekiedy i normalnej 1,435 m, wagony przesuwa się ręcznie lub końmi, albo też siłą mechaniczną — zapomocą lokomotyw lub silników parowych, elektrycznych, spalinowych i in.

Praktyczne granice (w przybliżeniu) stosowania różnych środków przewozu podane są w tablicy 14.

Niżej są podane ogólne zestawienia cyfrowe, dotyczące przewozu na taczkach, wozach (tablica 15) i po torze szynowym (tablica 16).

Im większe masy i im dalszy przewóz, tem większe winny być wagoniki, o ile to nie spowoduje trudności przy wyładunku na rusztowaniu, wskutek znacznego obciążenia. Kolejki mają przed innemi sposobami przewozu tę przewagę, że dają się łatwo przystosować do każdorazowych warunków, a przy użyciu lokomotyw, jako siły pociągowej, znacznie przyśpieszają wykonanie roboty.

Przy n pociągach równoległych (tj. kursujących w równych odstępach czasu i odległości przewozu e), otrzymamy odległość l pomiędzy mijankami $l = \frac{1}{n-1} \cdot e$.

Tablica 14.[1])

Środek przewozowy	Praktyczne granice	
	ogólnej odległości przewozowej w metrach	ogólnej ilości ziemi do przewiezienia m^3
Taczki	30—120 nie mniej niż 10—20	—
Wóz jednokonny	100—1000	Powyżej 300
Wóz dwukonny	500—3000	
Kolej żelazna wąskotorowa z wagonikami z pociągiem ręcznym	100—500	od 1000 do 7000
z wagonikami z pociągiem konnym	300—1500	od 7000 do 20.000
z wagonikami z pociągiem parowozowym	500—10.000	od 20.000 do 500.000
Kolej żelazna normalna	nie mniej niż 1000	powyżej 500.000

Ogólna długość torów, łącznie z torami do naładowania i wyładowania oraz torami dodatkowemi na mijankach, wynosi: przy długości e przewozu — 1,20 e przy kolejkach z siłą pociągową ludzką, 1,25 e przy kolejkach z siłą pociągową konną, oraz 1,33 e przy kolejkach z siłą pociągową maszynową. (Naciskowi kół P tonn odpowiada waga szyny $g = 10\sqrt[3]{P^2}$ *kg/m* b., przy całkowitej wadze toru ok. 3 *kg/m* b.).

Szyny w torach kolejowych. Przy prześwicie toru 500 i 600 *mm* i ręcznej lub końskiej sile pociągowej używa się szyn lekkich, o wadze szyny ok. 7 *kg/m* b., wysokości szyny 65 *mm*; przęsło (2 szyny na 5 żelaznych podkładach) jest zwykle całkowicie zmontowane, w celu możliwie szybszego układania toru. Waga podkładu żelaznego ok. 6 *kg/m* b., długość podkładu (dla toru 500 *mm*) ok. 0,90—1,00 *m*; metr bieżący takiego toru waży ok. 19 *kg*, i kosztował (w Niemczech przed wojną) około 3,40 zł, a w Kongresówce dwa razy więcej. Jeszcze lżejszy typ jest przy wysokości szyny 60 *mm*, po 6,4 *kg/m* b.; na przęsło idzie 5 podkładów żelaznych, każdy o wadze 3,6 *kg* i złącz (2,2 *kg*); 1 *m* b. toru waży około 17 *kg*.

W wypadku stosowania lokomotyw używać należy szyn cięższych, a mianowicie:

a) przy prześwicie 600 *mm*, długość szyny 6—7 *m*, wysokość 70 *mm*, waga szyny 10 *kg/m* b.; metr bieżący toru bez podkładów drewnianych waży około 21,3 *kg* i kosztował (w Niemczech przed wojną) około 3 mk;

b) przy prześwicie 750 *mm*, długość szyny 7 *m*, wysokość 80 *mm*, waga 14 *kg/m* b., 1 *m* b. toru bez podkładów drewnianych waży około 29 *kg* i kosztował (przed wojną) ok. 4 mk;

c) przy prześwicie 900 *mm* używane są szyny o wadze od 14 *kg/m* b. i więcej.

Podkłady żelazne mają zazwyczaj zastosowanie tylko przy sile pociągowej ręcznej i końskiej; przy ruchu lokomotyw używa się już podkładów drewnianych o następujących wymiarach:

przy torze 600 *mm*, dług. podkł. 1200—1300 *mm*, grub. 11—12 *cm*, szer. 14 *cm*
„ „ 750 *mm*, „ „ 1500 *mm*, „ 11—12 *cm*, „ 14 *cm*
„ „ 900 *mm*, „ „ 1800 *mm*, „ 11—12 *cm*, „ 14 *cm*

[1]) Podstawy wartościowania dzieł budowniczych, poddział 4 *C*. Wyd. Stow. Techn. w Warszawie.

Tablica 15. Dane o przewozie taczkami i wozami.

Przedmiot	Taczki	Wozy jednokonne	Wozy dwukonne
1. Ilość potrzebnych sił roboczych	1 robotnik	1 robotnik i 1 koń	1 robotnik i 2 konie
2. Pojemność taczki lub wozu (średn.)	0,04—0,15 m^3	0,55 m^3	1 m^3
3. Ciężar wł. taczki, lub wozu	35—55 *kg*	300 *kg*	450 *kg*
4. Ciężar ładunku 1 taczki lub wozu	65—240 *kg*	900 *kg*	1600 *kg*
5. Szybkość przewozu na minutę	50—75 *m*	60—80 *m*	70—80 *m*
6. Maximum odbytej drogi przez robotnika lub konia w ciągu 8 godzin	25 *km*	25—30 *km*	25—30 *km*
7. Spółczynnik oporu w poziomie w = (pochyłość nie wymagająca hamowania)	0,067—0,05	0,04	0,04
8. Najwyższe wzniesienie dopuszczalne	0,10—0,14	0,06	0,06
9. Najodpowiedniejsze wzniesienie	0,05	0,04	0,04
10. Granice odległości przewozu	20—300 *m*	100—1500 *m*	500—3000 *m*
11. Najczęściej spotykane odległości przewozu	30—120 *m*	100—1000 *m*	500—3000 *m*
12. Wzniesienia nie zwiększające kosztów przewozu i min.	0,04	na drogach zwykłych 0,01	0,01
13. Dodaje się do rzeczywistej odległości przewozu za każdy metr wysokości podniesienia się (przy wzniesieniach większych od min. i)	12	50	50
14. Uboczne straty czasu na każdy obrót tam i z powrotem minut	1—1,5	8 (bez naładunku) 25 (z naładunkiem	10 (bez naładunku) 30 (z naładunkiem

Tok dla taczek (czyli deski dla taczek) zwykle ma szerokość 20—25 *cm*, grubość 5—8 *cm* i niekiedy okute końce.

Tablica 16. Dane ogólne o przewozie po szynach.

Przedmiot	Wagoniki popychane ręcznie	Wagoniki o trakcji konnej	Wagoniki o trakcji mechanicznej
1. Siła pociągowa	Siła ludzka (1 wagonik z 1—2 ludźmi; pod górę 1 wag. z 2—3 ludzi)	Siła zwierząt (4-6 wag. po 1,5 m^3 na 1 konia, pod górę 3 wag. na 1 kon.)	Zgęszczone powietrze, elektryczność, siła pary (10—36 wag. na 1 parowóz)
2. Prześwit toru..	50—60 *cm*	60—75 *cm*	60—143,5 *cm*
3. Pojemność wagoników	0,5—1,0 m^3, zależnie od tego czy 1 czy 2 ludzi	1,0—1,5 m^3	1,5—6,0 m^3
4. Ciężar własny wagoników (0,3 ciężaru całkowitego)	0,3—0,6 *t*	0,7—1,1 *t*	0,7—1,1—3,5 *t*
5. Ciężar ładunku (0,7 cięż. całk.) .	0,7—1,6 *t*	1,6—2,5 *t*	1,6—2,5—8,0 *t*
6. Szybkość przewozu na minutę	50—75 *m*	60—90 *m*	120—250 (7—15 *km*/godz.)
7. Maximum odbytej drogi w ciągu 8 godzin (dzień roboczy)	25 *km*	25—30 *km*	40—70 *km*
8. Spółczynnik oporu w poziomie $w =$	0,012	0,001	0,001—0,008
9. Największe dopuszczalne wzniesienie	0,040	0,030	0,033
10. Najodpowiedniejsze wzniesienie .	0,014	0,014	0,014
11. Granice odległości przewozu.	100—1500 *m*	300—2000 *m* przy małych ilościach i więcej	500—10,000 *m* i więcej
12. Najczęściej stosowane odległości przewozu ..	100—500 *m*	300—1500 *m*	$>$ 1000 *m*
13. Ilość mas do przewozu	1000—20.000 m^3	7000—50.000 m^3	$>$ 20,000 m^3
14. Wielkość siły pociągowej	12 *kg* na człowieka	75 *kg* na konia	$Z = L \,.\, f = (Q + L) \,.\, W$[1])
15. Dodatek do długości za 1 metr pionowego podniesienia na wzniesieniach	80 *m*	120 *m*	250 *m*

[1]) L = ciężar osi napędnych parowozu,
f = spółczynnik tarcia ($= \frac{1}{5}$),
Q = całkowity ciężar pociągu bez ciężaru parowozu.

Odległość pomiędzy podkładami przy sile mechanicznej zazwyczaj 1 *m*, dla siły końskiej lub przy pociągu ręcznym może być i więcej (przy małem obciążeniu wagoników).

Podkład powinien być wogóle dłuższy od prześwitu toru conajmniej o 0,6 *m* i może być wyrobiony z połowic (tj. z półokrąglaków) o średnicy od 18 do 20 *cm*.

Wagony do przewożenia ziemi. Dla wąskiego toru używane są zwykłe wagoniki kolebkowe-wywrotki o pojemności od $^1/_2$ do $1^1/_2$ m^3 i więcej, zbudowane zwykle z żelaza; przy większych wymiarach ściany zazwyczaj drewniane, przyczem w tym wypadku wagoniki przechylają się na jedną stronę, lub mają boczne ściany podnoszone.

Wymiary i pojemność wywrotek por. tablicę 17 (typ firmy Artur Koppel).

Tablica 17.

	Prześwit toru *mm*	Pojemność wywrotki m^3	Długość ramy wywrotki L *mm*	Szerokość kolebki B *mm*	Wysokość od szyny do góry kolebki H *mm*	Odległość między osiami kół l *mm*	Średnica kół d *mm*	Wywrotka bez hamulca		Z hamulcem śrubowym dodatkowa	
								Waga *kg*	Cena przed wojną zł	Waga *kg*	Cena zł
Wywrotki żelazne (fig. 21)	500	0,33	1560	1090	1000	450	300	—	—	—	—
	500	0,50	1700	1280	1015	550	300	282	110	75	70
	500	0,75	1860	1470	1170	550	300	—	—	—	—
	600	0,50	1700	1280	1060	550	300	—	—	—	—
	600	0,75	1860	1470	1195	550	300	329	125	75	70
	600	1,00	2055	1500	1275	650	350	391	165	75	70
	600	1,00	2095	1500	1305	650	350	—	—	—	—
	600	1,25	2235	1700	1410	650	400	—	—	—	—
	600	1,50	2350	1940	1460	650	400	—	—	—	—
	750	1,00	2420	1500	1350	750	400	—	—	—	—
	750[1])	1,25	2350	1700	1460	800	400	—	—	—	—
	750[1])	1,50	2420	1940	1565	850	500	—	—	—	—
Wagoniki z drewnianemi ścianami, wywrotne na jedną stronę	570	1,50	—	—	—	—	—	625	310	80 do	75 do
	900	2,50	—	—	—	—	—	1175	600	130	125

[1]) Wedle Handbuch d. Ing.-Wiss., 1. Teil, 2. Band, str. 75.

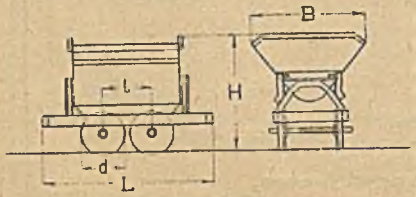


Fig. 21.

Przy przewozie ziemi po torze normalnym korzysta się przeważnie z wagonów-platform, rzadko z wagonów towarowych krytych i węglarek. Na jedną platformę ładuje się ziemi około 5—6 m^3.

Parowozy wąskotorowe, dla robót ziemnych używane, są przeważnie dwuosiowe lekkie, typu tendrówek, o sile 20—60 koni parowych.

Zużycie paliwa w warunkach normalnych wynosi na 1 KM ok. 1,8 *kg*/godz., zużycie wody 15 litrów na godzinę. Według Kraussa (Hdbch. d. Ing.-Wiss., 1. Teil, 2. Band, str. 102) na 20-konną lokomotywę na dzień potrzeba 7 centn. węgla = 350 *kg*, czyli średnio 35 *kg* na godzinę.

Tablica 18. Dane cyfrowe o lokomotywach parowych.

Prześwit toru *mm*	500	600	750	900	1435
Ilość koni parowych . . .	20	20—30—40	50—60	80—100—120	150
Średnica kół *mm*	600	600	650	800	900
Ciśnienie pary atm.	15	14—12	12	12	12
Pojemność wody *l*	350	450—500	750	1200—1500	3000
Objętość paliwa *l*	200	300—350	450	700—1000	1200
Rozstawienie osi *mm* . . .	900	1000—1100	1200	1500—1800	2200
Przybliżona długość ogólna łącznie ze zderzakami *mm*	4000	4100—4300	4300—4800	4800—4500	5900
Ciężar własny (tara) *t* . . .	4,4	5,4—6,2	6,9	10,5—13,5	16,5
Ciężar służbowy *t*	5,5	5—6, 7—7, 7	8,8—11,5	13,5—15—18,5	23,0
Najmniejszy promień łuku *m*	10	10 12	15—20	25—30—40	75
Największa szybkość *km*/godz.	15	15	20	30	35
Ciężar brutto (waga wagonów i ich ładunek, bez własnej wagi parowozu), który może przewieźć jeden parowóz na prostej linji w normalnych warunkach:					
na wzniesieniu 50‰ . . .	—	5—8—12	16—21	26—31—37	—
„ „ 35‰ . . .	—	9—14—19	25—33	39—46—57	—
„ „ 20‰ . . .	—	16—27—35	45—60	70—83—104	—
„ „ 10‰ . . .	—	31—50—64	80—106	125—149—185	—
„ „ 6‰ . . .	—	94—78—100	126—166	195—230—286	—
„ „ 2‰ . . .	—	73—114—146	182—240	285—335—416	—
Odpowiednia szybkość jazdy przy dobrem węglu *km*/godz.	—	9—10	8—10	10—11—12	—

Elektrowozy dotychczas używane rzadko do przewozu ziemi, mają tę wyższość nad parowozami, że są każdej chwili gotowe do pracy, dają więc oszczędność na czasie, na dozorze, rozpalaniu, zasilaniu wodą i paliwem, oraz na odnośnych budowlach; nawierzchnia zużywa się mniej wskutek spokojnego biegu elektrowozu. Słupy do podtrzymania przewodników ustawiane są co 30—40 *m* w prostych, a w łukach częściej.

Motory spalinowe, przewoźnie benzynowe lub benzolowe przy robotach ziemnych, stosowane, mało częściej w kopalniach. Obecnie buduje się je dla wszelkiej szerokości torów o sile 3—10 KM. Są stale gotowe do użycia, pracują cicho, bez dymu, nie wzniecają pożarów, w przerwach roboty nie zużywają paliwa.

C. **Koszta transportu ziemi.** 1. Koszta przerzucania łopatą są podane wyżej, pod *B.* 1, są one zwykle połączone w jedno z kosztami odspajania; kosztu narzędzi ich, amortyzacji itd. osobno zwykle się nie ustala, wobec nieznacznych cyfr. Całkowity koszt składa się więc z cyfr wyprowadzonych na podstawie danych pod *B.* 1. — z dołączeniem około 8% na ubezpieczenie społeczne, oraz generaljów (wydatki handlowe, administracja, zysk).

2. Koszta własne przewozu ziemi taczkami. Jeżeli nazwiemy przez x odległość przewozu, v średnią szybkość przewozu tam i z powrotem (przyjmowaną niekiedy 52 *m*/min. $= \frac{45 + 60}{2}$, z_0 — straty czasu na początku i końcu kursu (łącznie z wyładunkiem), przyjmowane — 1,25 min. (zapas taczek powinien być taki, aby taczkarz nie czekał na ukończenie naładо-

wania taczki), i — pojemność taczki średniej wielkości (ok. $^1/_{12}$ m^3), q — spółczynnik rozluźnienia ziemi (= 1,1—1,5), to czyste koszta przewozu 1 m^3 ziemi nieporuszonej wynosić będą $k = \frac{\left(\frac{2x}{v} + z_0\right) q}{60\, i}\, g$, gdzie g koszt godziny pracy zwykłego robotnika.

Tablica 19. Dane o elektrowozach.

Prześwit toru w *mm*	600	700	1000	1435
Ilość motorów (osi) . .	2	2	2	2
Ilość koni parowych .	25	30—90	30—150	60—400
Ciężar w czasie pracy *t* (łącznie z instalacją).	6—9	12—20	7—25	12—25
Rozstawienie osi *mm* .	1000	1000—1500	1500—1850	2000—2500
Największa długość (łącznie ze zderzakami) ..... *mm*	4000	4000—5000	4500—5300	4700—5000
Największa szerokość ..... *mm*	1250	1250—1800	2000	2300—2750
Wysokość elektrowozu bez kolektora ..... *mm*	1500[1])	1500—1600[1])	1600—1800—2750[1])	3000—3400
Szybkość przy pełnem natężeniu *km*/godz. .	4,5—9	6—9	10—12	12—30

[1]) Elektrowozy kopalniane.

Tablica 20.

Wielkości z przy różnych x i q (objętość taczki $^1/_{12}$ m^3).

Kategorja gruntu	Odległość przewozu x w metrach													
	10	20	30	40	50	75	100	120	140	160	180	200	240	280	300
1. Grunta sypkie niespoiste $q = 1{,}1$	0,36	0,45	0,54	0,63	0,71	0,93	1,15	1,33	1,51	1,68	1,86	2,03	2,39	2,74	2,91
2. Grunta słabe spoiste i grunta średnie $q = 1{,}2$	0,40	0,49	0,59	0,68	0,78	1,02	1,26	1,45	1,64	1,84	2,03	2,22	2,60	2,99	3,18
3. Grunta silnie spoiste i kamieniste $q = 1{,}3$	0,43	0,53	0,64	0,74	0,85	1,10	1,36	1,57	1,78	1,99	2,20	2,40	2,82	3,24	3,44
4. Skały twarde $q = 1{,}5$	0,50	0,61	0,73	0,86	0,97	1,27	1,57	1,81	2,05	2,30	2,53	2,77	3,25	3,73	3,97

Koszta środków przewozu na 1 m^3 gruntu wynosiły zwykle od 5—10%, przeciętnie 8% (taczki, deski, tocznie, oraz ich utrzymanie) kosztów czystego przewozu.

Według „Bazali, Preisermittlung“: jeżeli x — odległość przewozu, p — cena taczki w złotych, R cena 1 m b. desek tocznych w złotych, g płaca godzinowa w groszach, i z cyfra z tablicy 21, to całkowity koszt wraz z narzędziami na 1 m^3 gruntu będzie stanowić

$$k = z\ (0{,}1\ p + 0{,}01\ R\ x + g)$$ groszy.

Np. przy płacy godzinowej 1 zł = 100 gr, cenie taczki 100 zł, drogi tocznej 12 zł za m b., odległości $x = 100\ m$ i przy gruncie kategorji II, koszt przewozu 1 m^3 ziemi będzie

$$k = 1{,}26\ (0{,}1 \cdot 100 + 0{,}01 \cdot 100 \cdot 12 + 100) = 1{,}26 \cdot 122 = 154\ \text{zł}.$$

3. Koszt własny przewozu ziemi furmankami. Należy początkowo ustalić całkowity koszt godzinowy furmanki (czyli koszta inwentarza, obsługi, utrzymania i naprawy). Dla przykładu przytoczone jest obliczenie według cen 1914 r. w Warszawie (przeliczone na złote)[1]):

Tablica 21.

	Wartość inwentarzowa zł	Czas roboczy w ciągu roku
Koń średniej siły	540	225 dni po 8 godz. = 1800 godz.
Uprząż	110	225 dni po 8 godz. = 1800 godz.
Wóz jednokonny	270	170 dni po 8 godz. = 1360 godz.
Wóz dwukonny	430	170 dni po 8 godz. = 1360 godz.

Koszta na jednego konia.

Rocznie:

oprocentowanie 6% od 540 zł	33 zł
umorzenie 10% od 540 zł	54 zł
okucie 12 razy po 8 zł	96 zł
weterynarz	30 zł
stajnie (udział na konia)	60 zł
Razem	275 zł

na godzinę pracy $\frac{275}{1800} = 0{,}15$ zł

Dzienne pożywienie[2]):

owies 3,5 kg po 15,00 zł za 100 kg	0,52 zł
siano 3,5 kg po 11,00 zł za 100 kg	0,38 zł
słoma 3,5 kg po 6,50 zł za 100 kg	0,23 zł
ściółka 2,0 kg po 6,50 zł za 100 kg	0,13 zł
Razem	1,26 zł

na godzinę pracy $\frac{1{,}26}{8} = 0{,}17$ zł

Razem koszta na jednego konia na godzinę pracy $0{,}15 + 0{,}17 = 0{,}32$ zł.

Koszta uprzęży rocznie: oprocentowanie 6%, umorzenie 25%, utrzymanie 20%, razem 51% od 110 zł = 56 zł, a na godzinę pracy $\frac{56}{1800} = 0{,}3$ zł.

Koszta wozu jednokonnego rocznie:

oprocentowanie 6% od 270 zł	16 zł
umorzenie 20% od 270 zł	54 zł
naprawa 10% od 270 zł	27 zł
wozownia, udział	50 zł
smary 100 kg po 0,42 zł	42 zł
Razem	189 zł

na godzinę roboczą $\frac{189}{1360} = 0{,}14$ zł

Woźnica rocznie 1300 zł, a na godzinę roboczą $\frac{1300}{1800} = 0{,}72$ zł.

Ogółem własny koszt g godziny pracy wozu wynosi:

Koń	0,32 zł
uprząż	0,03 zł
wóz	0,15 zł
woźnica	0,72 zł
	1,21 zł
za wynajem 10%	0,12 zł
Ogółem g	1,33 zł

Uwaga. Przy obliczaniu wartości godziny pracy przy warunkach obecnych należy prócz wprowadzenia do rachunku obecnych cen, podnieść także wielkość oprocentowania z 6% na 30% i więcej, w zależności od warunków chwili, oraz do opłaty woźnicy dodać wydatek na ubezpieczenie społeczne (ok. 8%).

[1]) Patrz: Podstawy wartościowania dział budowniczych. Poddział 4 c.

[2]) Przytoczona racja dzienna konia może mieć miejsce przy przewozach miejskich, natomiast na robotach ziemnych, drogowych i kolejowych przy przewozie ziemi furmankami lub wywrotkami o sile końskiej, należy liczyć przy 8-godzinnym dniu pracy na konia owsa 8 kg, słomy 6 kg i siana 4 kg.

Jeżeli nazwiemy x odległość przewozu, v średnią szybkość przewozu tam i z powrotem, przyjmowaną niekiedy 60 m/min. na drogach cięższych, a w miastach do 75 m/min., straty czasu uboczne (bez naładunku) $Zo = 10$ min. na każdy obrót wozu tam i z powrotem, to jeden obrót (tam i z powrotem) będzie wymagał

$$\frac{2x + 10v}{60v} \text{ godzin pracy wozu.}$$

Jeżeli przez J oznaczymy pojemność wozu, a przez q spółczynnik rozluźnienia gruntu, to ilość przewiezionej ziemi (nieporuszonej) będzie na godzinę: $L = \frac{1}{q} \frac{(1800)}{(x + 300)} J\ m^3$/godz., koszt zaś własny przewozu 1 m^3 ziemi będzie: $k = \frac{q(x + 5v)}{30vJ} g$, (gdzie g koszt godziny przewozu). Jeżeli dla przykładu wziąć wóz jednokonny średni o pojemności $J = 0{,}55\ m^3$, szybkość przewozu $v = 60$ m/min., to otrzymany wzór przekształci się $k = q(0{,}303 + 0{,}01\,x) \cdot g$ lub $k = z \cdot g$, przyczem wielkości $z = q(0{,}303 + 0{,}001\,x)$ podane są w tablicy 22 przy różnych x (odległościach przewozu) i q spółczynnikach rozluźnienia.

Tablica 22. Wielkość Z przy różnych x i q.

(Dla wozu jednokonnego średniego o pojemności $J = 0{,}55\ m^3$.)

Kategorja gruntu	Odległość przewozu x w metrach											
	100	200	300	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2500	3000
I. Grunta niespoiste sypkie $q = 1{,}1$	0,34	0,55	0,66	0,88	1,16	1,43	1,71	1,98	2,26	2,53	3,08	3.63
II. Grunta słabe spoiste i grunta średnie $q = 1{,}2$	0,48	0,60	0,72	0,96	1,26	1,56	1,86	2,16	2,46	2,76	3,36	3,96
III. Grunta silnie spoiste $q = 1{,}3$	0,52	0,65	0,73	1,04	1,36	1,69	2,02	2,34	2,67	3,00	3,64	4,29
IV. Skały twarde $q = 1{,}5$	0,60	0,75	0,90	1,20	1,58	1,95	2,33	2,70	3,08	3,45	3,70	4,95

Przy drodze z wzniesieniem dodaje się do odległości przewozu x — na każdy metr wzniesienia pionowego — 50 m.

Przy innych wielkościach wozu (np. pojemności J) — Z powinno być pomnożone przez wielkość $\frac{J}{J_1}$; pojemność wozów przy robotach ziemnych wynosi: jednokonnych 0,70—0,55 i 0,45 m^3; dwukonnych 1,3—1,0 i 0,90 m^3.

Naprzykład: przy odległości przewozu 1000 m i koszcie godziny pracy wozu 1,35 zł, własny koszt przewozu 1 m^3 gruntu średniego wynosiłby: $1{,}56 \cdot 1{,}35 = 2{,}10$ zł.

Do kosztów własnych przewozu ziemi otrzymanych zapomocą podanych wyżej sposobów należy dodać jeszcze koszta handlowe i administracji, zysk i wówczas otrzymamy ostateczną cyfrę kosztu 1 m^3 przewozu ziemi.

4. Koszta własne przewozu ziemi po torze szynowym. *a)* Ręczna siła pociągowa: *α)* Koszt siły pociągowej na 1 m^3 gruntu. Pojemność wywrotek bywa $i = 0{,}5\ m^3$, $0{,}75\ m^3$ i $1{,}00\ m^3$; uboczne straty czasu, oraz czas na wyładowanie stanowią razem 6 minut; przeciętna szybkość wywrotki tam i z powrotem wynosi $v = 60\ m$/min.; dla przewozu wywrotki $0{,}5\ m^3$ potrzeba zwykle jednego robotnika, a dla wywrotek $0{,}75\ m^3$ i $1{,}0\ m^3$ dwóch robotników; spółczynnik rozluźnienia gruntu q. Przy tych danych koszt robocizny w godzinach na 1 m^3 nieporuszonej ziemi stanowi dla wywrotek o pojemności $i = 1{,}00\ m^3$ (przy dwóch robotnikach):

$$K_r = \frac{(x + 3\,v)\,q}{30\,v\,i} \cdot 2 = \frac{x + 3\,v}{15\,v\,i}\,q \text{ godzin.}$$

Przy $v = 60\ m$/min., $i = 0{,}75\ m^3$ będzie $K_r = (0{,}0015\,x + 0{,}27)\,q$ godzin $= a$ godzin.

β) Koszt narzędzi. Jeżeli koszt wywrotki stanowi K_w (przed wojną w b. dzielnicy pruskiej ok. 125 zł, w Królestwie ok. 230 zł), a wydatki związane z wywrotką jeżeli przyjąć przeciętnie na 50% jej wartości (oprocentowanie przedwojenne ok. 6%, obecnie znacznie więcej; umorzenie w pierwszym roku kupna 30% a w następnych latach po 15%, utrzymanie ok. 5%, przewóz na miejsce robót i odwiezienie po ukończeniu robót ok. 10%), to koszt wywrotki na jedną godzinę roboty (przy 160 dniach roboczych [po odliczeniu dni na naprawę] po 8 godzin, tj. 1280 godzin w ciągu roku) będzie

$K_w g = 0{,}5\ K_w\ 1280 = \frac{K_w}{2560}$ zł a na 1 m^3 ziemi nieporuszonej,

$K_w m = \frac{x + 3\,v}{30\,v\,i}\,q \cdot \frac{K_w}{2560}$ zł (przy wywrotce o pojemności $i = 0{,}50\ m^3$).

$K_w m = \frac{x + 3\,v}{15\,v\,i}\,q \cdot \frac{K_w}{2560}$ zł (przy wywrotkach o pojemności $i = 0{,}75\ m^3$ i $1{,}0\ m^3$). Przy $i = 0{,}75\ m^3$; $v = 60\ m$/min.

$K_w m = (0{,}0015\,x + 0{,}27\,q \cdot \frac{K_w}{2560} = a\,\frac{K_w}{2560} = \backsim 0{,}0004\,a\,K_w$ zł na 1 m^3 nieporuszonej ziemi.

γ) Koszt toru. Jeżeli roczny wydatek na 1 m b. toru o prześwicie 0,5—0,6 m wynosi, jak to zazwyczaj bywa ok. 100% wartości toru T[1]) (razem z przewozem, odwozem, ułożeniem i rozebraniem, amortyzacją, naprawą, utrzymaniem, oprocentowaniem, przenoszeniem z miejsca na miejsce i in.), to całkowity wydatek na tor, przy odległości przewozu ziemi $x + 20\%$ (na zwrotnice i tory do wyładowania i naładowania) będzie $K_t = 1{,}2\,x\,T$ zł; jeżeli trzeba przewieźć $M\ m^3$ gruntu, to koszt na 1 m^3 ziemi będzie $\frac{1{,}2\,x\,T}{M}$ zł m^3.

Całkowity koszt przewozu 1 m^3 nieporuszonej ziemi będzie $K = K_r + K_w + K_t$, a przy $i = 0{,}75\ m^3$, $v = 60\ m$/min. $K = (0{,}0015\,x + 0{,}27)\,q \cdot g + (0{,}0015\,x + 0{,}27)\,g\ .\ 0{,}0004\,K_w + K_t = a\,g + 0{,}0004\,a\,K_w + K_t$.

b) Przewóz wywrotek końmi: *α)* Koszt siły pociągowej na 1 m^3 gruntu. Jeżeli pojemność wywrotek przyjmiemy równą $J = 1—1{,}5\ m^3$, straty czasu na wyładowanie, przeprzężenie i in. 10 minut, spółczynnik rozluźnienia gruntu q, przeciętną szybkość wywrotki tam i z powrotem $V = 75\ m$/min., a dalej jeżeli przyjąć, że jeden koń z woźnicą i hamulcowym wiezie U wagoników o objętości ziemi $Q\ m^3$, to przy odległości przewozu $X\ m$ potrzeba na jeden obrót tam i z powrotem $t = \frac{x + 5\,v}{30\,v}$ godzin,

[1]) 1 m b. toru z szyn 60 mm przed wojną kosztował w Królestwie ok. 6,5 zł.

a koszt robocizny na przewóz 1 m^3 nieporuszonej ziemi na odległość x wyniesie $K_r = \frac{x + 5v}{30 v Q} q$ godzin pracy konia z woźnicą i hamulcowym (określenie kosztu godziny pracy konia z woźnicą przytoczone jest wyżej przy określeniu kosztów przewozu ziemi furmankami, koszt zaś godziny hamulcowego = kosztowi godziny robotnika).

Przykład. Przy $i = 1{,}0\ m^3$, $v = 75\ m$/min., pociągu z 5 wywrotek $i\,Q = 5\ m^3$, koszt robocizny na przewóz 1 m^3 nieporuszonej ziemi wyniesie

$K_r = \frac{x + 5v}{30 v Q} q = (0{,}00009\,x + 0{,}0333)\,q$ godzin konia, woźnicy i hamulcowego.

β) Koszt narzędzi (patrz wyżej o przewozie ręcznym).

Jeżeli koszt wywrotki wynosi K_w zł, a wydatki roczne na wywrotki stanowią około 50% ich wartości, to koszt n wywrotek w pociągu 0,5 K_w; zaś koszt ich na jedną godzinę roboczą będzie

$K_{w\,g} = 0{,}5\,n\,K_w : 1280 = \frac{n\,K_w}{2560}$ zł, a na 1 m^3 nieporuszonej ziemi

$K_{w\,m} = \frac{x + 5v}{30 v Q} q \,.\, \frac{n\,K_w}{2560}$ zł.

γ) Koszt toru na 1 m^3 ziemi, jak wyżej, $K_t = \frac{1.2\,x\,T}{M}$ zł, gdzie x — odległości przewozu, T — koszt 1 m b. toru (szyny, podkłady, złącza ze wszystkiemi dodatkowemi wydatkami), M — ilość ziemi do przewiezienia.

c) Przewóz parowozami (wąskotorowemi): Jeżeli t oznacza czas w minutach pomiędzy pociągami, x — odległość przewozu w metrach, v — szybkość pociągu w m/min., to otrzymamy czas potrzebny na obrót pociągu $2\left(t + \frac{x}{v}\right)$ minut, ilość obrotów pociągu w ciągu godziny będzie $n = \frac{30 v}{v t + x}$ i wydajność pracy jednej lokomotywy (przy Q m^3 — ilości ziemi, jaką przewozi pociąg) $L = \frac{30 v}{v t + x} Q\ m^3$ w ciągu godziny.

Niech oznacza W_z — ilość wagonów w pociągu, i — pojemność wagonu, n — ilość pociągów na godzinę, to ogólna wydajność pracy na godzinę: $L\,q = W_z \,.\, i \,.\, n = W_z \,.\, i \,.\, \frac{30 n}{v t + x}$ (ilość m^3 poruszonej ziemi przewiezionej w ciągu godziny roboczej pociągu) i koszt przewozu 1 m^3 nieporuszonej ziemi: $K = \frac{v t + x}{30 v \,.\, W_z \,.\, i} q$ (godzin roboczych pociągu).

Przy mniejszych masach i odległościach używa się lokomotyw lżejszych; np. przy prześwicie toru 60—75 cm stosownie zw. lokomotyw o sile od 20 do 40 koni; żelazne wywrotki o pojemności 1—1,5 m^3; w pociągu 12—20 wywrotek, szybkość pociągu 120 m/min., czas zatrzymania (straty uboczne) przy ruszaniu tam i z powrotem (2 t) ok. 15 minut, stosowane odległości od 400 do 2000—3000 m i przy masach ziemi 25.000—80.000 m^3. Przy większych masach ziemi prześwit 90—75 cm i 100 cm, lokomotywy od 40 do 120 koni, wagony o pojemności 1,5—2 do 4 m^3 i więcej, szybkość 240 m/min.

Koszt godziny roboczej pociągu g — na 1 m^3 nieporuszonej ziemi składa się z kosztów:

a) Koszt godzinowy ruchu lokomotywy G_l

b) Koszt godzinowy wagonów (W_z sztuk) G_w

c) Koszt godzinowy toru (x metrów) G_{tr}.

a) Koszt godzinowy lokomotywy składa się z nast. wydatków:

α) Opłata godzinowa (przy miesięcznej pensji) maszynisty, palacza, hamulcowych i smarowników (2—4 na pociąg) przy 160 godzinach roboczych miesięcznie.

Przykład. Opłata godzinowa przedwojenna w b. dzielnicy pruskiej (przeliczone na złote):

pensja maszynisty przedwojenna	250 zł
pensja palacza przedwojenna	170 zł
pensja 3 hamulcowych przedwojenna	330 zł
	750 zł
ubezpieczenie społeczne 8%	60 zł
	810 zł

czyli opłata godzinowa 810 : 160 = 5,06 zł.

β) Wydatki na materjały i urządzenia pomocnicze — wydatki przedwojenne w przybliżeniu w b. dzielnicy pruskiej wynosiły:

na olej, smary, pakuły	2,50 zł
woda	1,25 zł
reparacje małe	1,80 zł
szopa, warsztaty, place węglowe	1,80 zł
Razem dziennie	7,35 zł

a na godzinę 735 : 8 = 0,92 zł.

γ) Amortyzacja lokomotywy i oprocentowanie nakładowego kapitału, oraz naprawa jej.

Cena lokomotywy wahała się przed wojną — w b. dzielnicy pruskiej — od 7500 do 22.000 zł (10 HP 7500 zł, 20 HP 9300 zł, 35 HP 11.000 zł, 45 HP 14.000 zł, 60 HP 17.000 zł, 80 HP 20.000 zł, 100 HP 22.000 zł.

Przykład. Przyjmijmy cenę lokomotywy 10 HP — 9300 zł, czas pracy na 10 lat, amortyzację (za pierwszy rok pracy lokomotywy 30%, za drugi 15% itd., por. j. w.) równą 10% ceny, to wielkość rocznego wydatku

na amortyzację 10% od 9300 zł	930 zł
oprocentowanie kapitału 6% od 9300 zł (obecnie 20 i więcej %%)	738 zł
reparacja i in. 5%	465 zł
dzierżawa lokomotywy 10%	930 zł
Razem	3063 zł

Jeżeli lokomotywa pracuje w ciągu roku 160 dni po 8 godzin, czyli 1280 godzin, to wydatek godzinowy 3063 : 1280 = 2,40 zł.

δ) Koszt godzinowy węgla. Zapotrzebowanie węgla około 4 *kg* na HP i godzinę w pociągu ładowanym i około 1,5 *kg* w pociągu pustym. Dla lokomotywy 20 HP potrzeba na godzinę ruchu w stanie ładownym $4 \cdot 20 = 80$ *kg* i w pociągu nieładowanym $1{,}5 \cdot 20 = 30$ *kg*; zazwyczaj w granicach ruchu podobnych pociągów — pociąg w ciągu godziny — znajduje się w stanie ładownym 35 minut i 25 minut w stanie próżnym, czyli na godzinę potrzeba przeciętnie węgla $\frac{35}{60} \cdot 80 + \frac{25}{60} \cdot 30 = 60$ *kg*.

Przy gorszym gatunku węgla potrzebna ilość może dojść do 80 *kg* na godzinę.

Przy cenie węgla przedwojennej 3 gr za 1 *kg* (w b. dzielnicy pruskiej) wydatek na węgiel wynosi $0{,}03 \cdot 60 = 1{,}80$ zł.

Całkowity wydatek godzinowy na lokomotywę stanowił więc $gl = 5{,}06 + 0{,}92 + 2{,}40 + 1{,}80 = 10{,}18$ zł.

b) Koszt godzinowy wagonów. Jeżeli koszt wywrotki o pojemności i m^3 wynosi K_w złotych, a roczne wydatki związane z wywrotką 0,5 K (patrz przewóz wywrotek ręcznie), to koszt jednej wywrotki na godzinę roboczą (1280 godzin w ciągu roku) $0{,}5\ K_w : 1280 = \frac{K_w}{2560}$ zł, a koszt godzi-

nowy wszystkich wywrotek w pociągu $\frac{W_z \cdot K_w}{2560}$ zł. Jeżeli na miejscu wyładunku jest zajętych 2 ludzi na każde 4 wagoniki, to na wagonik wypada 0,5 godziny robotnika, a ogólny koszt godziny W_z wagonów w pociągu będzie

$$G_w = \frac{W_z \cdot K_w}{2560} \text{ zł} + 0{,}5\ W_z \text{ godzin robotnika.}$$

Otrzymaną cyfrę zwykle należy zwiększyć w zależności od ilości wagonów zapasowych.

c) Koszt godzinowy toru. Roczny wydatek na 1 m b. toru (2 szyny) wynosi 100% wartości toru, czyli T zł na 1 m b.; przy długości toru $x + 33\% = 1{,}33\ m$ wydatek będzie $1{,}33\ T$ zł rocznie, a na godzinę roboczą

$$\frac{1{,}33\ x\ T}{1280} = 0{,}001\ x\ T \text{ zł.}$$

Koszt podkładu stanowi P zł, a na godzinę roboczą

$$\frac{1{,}33\ x\ P}{1280} = 0{,}001\ x\ P \text{ zł.}$$

Wydatek ogólny $G_{tr} = 0{,}01\ (T + P)$ zł na godzinę.

Razem koszt przewozu 1 m^3 ziemi nieporuszonej wynosi:

$$K = \frac{v\ t + x}{30\ v\ W_z\ i}\ q\ (G_l + G_w + G_{tr}) \text{ zł na 1 } m^3.$$

IV. Obliczenie mas i ich rozdział.

Wielkość mas (objętość) budowli ziemnej dostajemy, dzieląc ją przekrojami poprzecznemi na części, oznaczając objętość każdej części z osobna i robiąc ich sumę. Celem oznaczenia objętości pojedynczej części, uważamy ją za graniastosłup, którego wysokość (długość) równa się odległości między przekrojami poprzecznemi, a podstawa połowie sumy obu przekrojów. Wtedy:

$$O_b = \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot d$$

gdzie O_b = objętość graniastosłupa, P_1 i P_2 = powierzchnie przekrojów poprzecznych, d = odległość między niemi. Jest to wzór przybliżony, używany najczęściej. Ścisłe liczenie objętości jest mozolne, a nie zwiększa dokładności ostatecznego, łącznego wyniku obliczenia mas i ich rozdziału, gdyż powierzchnia ziemi między obu przekrojami nigdy nie jest płaska, i gdyż nie znamy ani istotnej wielkości trwałego spulchnienia, ani dokładnego położenia granicy między różnemi gruntami, znajdującemi się w jednym przekopie, a jedno i drugie wprowadzamy do rachunków.

A. **Oznaczanie powierzchni przekrojów poprzecznych.** Aby obliczyć masy wedle podanego wzoru, trzeba znać powierzchnie przekrojów poprzecznych. Te określamy:

1. Z rysunku przekrojów. Postępowanie zwykłe przy projektach szczegółowych, gdzie zdejmujemy już dla innych celów przekroje poprzeczne gruntu, i przy rozrachunkach za roboty wykonane, gdzie przekroje poprzeczne robi się i zachowuje jako podstawę wyliczeń, której rzetelność każdy łatwo sprawdzić potrafi. Zaleca się to postępowanie i wszędzie indziej, gdy linja ziemi w przekroju łamana. Powierzchnię przekroju mierzymy planimetrem lub obliczamy, rozłożywszy wieloboczną zwykle figurę na trójkąty i inne proste figury lub zamieniwszy ją na trójkąt o równej powierzchni.

2. Z wysokości nasypów i głębokości przekopów. Postępowanie zwykłe przy projektach wstępnych, gdzie przekroje poprzeczne rysuje

się tylko w szczególnych przypadkach. Sposobu tego nie można używać, gdy chodzi o przekroje odcinkowe lub gdy linja ziemi łamana. Zresztą nie mniej dokładny od poprzedniego. Samo określanie powierzchni uskutecznia się przy pomocy liczbowych zestawień lub wykresów, które budujemy wedle ogólnych wzorów na obliczenie powierzchni przekrojów, jak następuje:

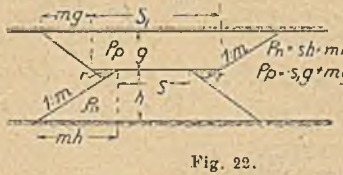


Fig. 22.

a) Jeżeli linja ziemi pozioma. Wtedy, przy jednostajnej pochyłości stoku budowli (fig. 22), mamy powierzchnie przekrojów, jak w tabl. 23.

Wprowadziwszy stałe s, m, s_1, r w te wzory i podstawiając za h i g różne wysokości i głębokości, otrzymujemy dane dla zestawienia i wykresu. Użycie zestawienia widoczne z niego samego (Tablica 23). Układa się je prędko, bo, jak widać, różnice powierzchni rosną o stałą wartość (tutaj o 0,030); wystarcza więc wyliczyć P_n z wzoru dla pierwszych trzech wysokości, a następne P_n otrzymamy zwyczajnem dodawaniem.

Tablica 23.
Przekroje nasypów
($s = 6\ m$; $m = 1{,}5$)

h w m	P_n w m^2	Różnice m^2
0,0	0,000	
		0,615
0,1	0,615	
		0,645
0,2	1,260	
		0,675
0,3	1,935	
		0,705
0,4	2,640	

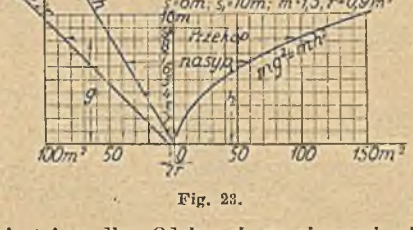


Fig. 23.

Wykres (fig. 23) buduje się też prędko. Odcina się na pionowej osi wysokości (w podziałce najlepiej takiej, jak na przekroju podłużnym) i kreśli na końcach tych odcinków poziome, a na poziomej osi odcina się powierzchnie mh^2 w prawo i sh w lewo (w podziałce takiej, żeby np. 1 $mm = 1$ lub 2 m^2) i na końcach tych znowu odcinków kreśli się pionowe. Punkty przecięcia pionowych i poziomych, odpowiadających sobie, leżą z prawej na paraboli mh^2, z lewej na prostej sh, przechodzącej przez O. Postępujemy tak samo z przekopem. Paraboli mh^2 i mg^2 są identyczne, linja $s_1 g + 2r$ zaczyna się nie w O, lecz w oddaleniu odpowiadającem powierzchni obu rowów $2r$. Żeby zbudować wykres, wystarcza rozwiązać tylko po jednem równaniu dla nasypu i przekopu. Użycie wykresu widoczne z rysunku.

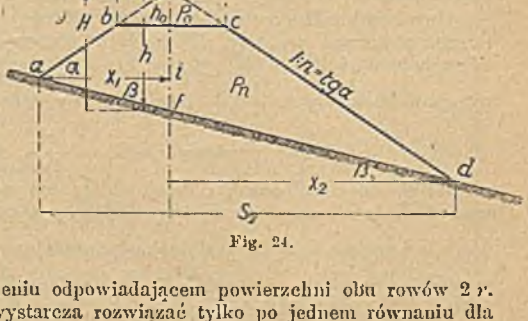


Fig. 24.

Przy użyciu zestawienia układanie mozolniejsze, praca bardziej nużąca, dokładność nieco większa; ale i dokładność wykresu zupełnie wystarczająca.

b) Jeżeli linja ziemi pochylona (jednostajnie).
$P_n = P' - P_o$, dla nasypu (fig. 24),

$$P' = \triangle aed = H\frac{x_1 + x_2}{2} = H^2\frac{n^2 m}{n^2 - m^2}$$

$$P_o = \triangle bec = \frac{h_o s}{2} = \frac{s^2}{4m}$$

$$P_n = H^2\frac{n^2 m}{n^2 - m^2} - \frac{s^2}{4m}$$

$$H = h_o + h;\ h_o = \frac{s}{2m}$$

$$s_o = x_1 + x_2 = H\frac{2n^2 m}{n^2 - m^2}$$

$P_p = P' - P_o$, dla przekopu podobnie, jak dla nasypu,

$$P' = G^2\frac{n^2 m}{n^2 - m^2}$$

$$P_o = \frac{s_1{}^2}{4m}$$

$$P_p = G^2\frac{n^2 m}{n^2 - m^2} - \frac{s_1{}^2}{4m}$$

$$G = g_o + g;\ g_o = \frac{s_1}{2m}$$

$$s_1{}^o = G\frac{2n^2 m}{n^2 - m^2}$$

Dla przyjętych szerokości s i s_1 i pochyłości m są wyrazy $\frac{s^2}{4m}$ i $\frac{s_1{}^2}{4m}$ wielkością stałą. Wyliczywszy je i obliczywszy wartości $\frac{n^2 m}{n^2 - m^2}$ przy

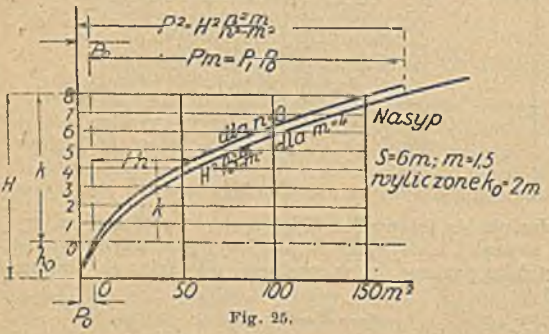


Fig. 25.

Tablica 24.

n	$\frac{n^2 m}{n^2 - m^2}$ przy $m = 1{,}5$
8	1,555
7	1,571
6	1,600
5	1,649
4	1,745
3,5	1,836
3	2,000

tym samym m, a różnych pochyłościach ziemi n (tablica 24), możemy następnie ułożyć dalsze zestawienia, które ułatwią obrachowywania P_n i P_p, lub też zbudować wykresy, na których możemy wprost odczytywać powierzchnie P_n i P_p. Wzór wykresu dla nasypów przedstawia fig. 25. Na osi pionowej odcinamy $h_o = \frac{s}{2m}$ i dalej robimy podziałkę wysokości dla h. Na osi poziomej odcinamy powierzchnię $P_o = \frac{s^2}{4m}$, w tem oddaleniu kreślimy równoległą do osi pionowej i dalej robimy na osi poziomej podziałkę powierzchni. Jeżeli na pionowej osi poodcinamy, zaczynając od punktu skrzyżowania osi, różne h, a na poziomej odpowiadające im $P^1 = H^2\frac{n^2 m}{n^2 - m^2}$, to punkty przecięcia prostopadłych, wystawionych na końcowych punktach odcinków h i P^1 będą leżeć na paraboli. Żeby zbudować wykres, wystarczy obliczyć dla jednego przekroju h_o, $P^1 = H^2\frac{n^2 m}{n^2 - m^2}$ i $P_o = \frac{s}{4m}$. Użycie wykresu widoczne z figury.

Jak widzimy, dla każdej pochyłości ziemi trzeba kreślić osobną parabolę. Łatwiej zrobić wykres, gdy te parabole zastąpimy prostemi linjami (fig. 26). Na pionowej osi w dół odcinamy powierzchnię stałą P_o i dalej robimy podziałkę powierzchni; na poziomej robimy podziałkę dla H^2. Jeżeli na poziomej osi poodcinamy różne H^2, a na pionowej odpowiadające im $P^1 = H^2 \frac{n^2 m}{n^2 - m^2}$, to punkty przecięcia się prostopadłych, wystawionych na końcowych punktach odcinków H^2 i P^1 będą leżeć na prostych. Dla każdej pochyłości ziemi dostaniemy osobną prostą. Żeby odczytywać na tym wykresie P_n, musielibyśmy zawsze liczyć naprzód H^2. Dla uniknięcia tego — odciąwszy na osi pionowej w górę stałą h_o i zrobiwszy dalej podziałkę dla h — kreślimy parabolę $X = H^2$, której każdy punkt oddalony jest od osi poziomej $o\,H$, a od pionowej $o\,H^2$. Chcąc odczytać np. powierzchnię przekroju dla nasypu o wysokości $h = 6{,}6\ m$ i pochyłości ziemi 1 : 8, idziemy po podziałce wysokości do 6,6 m, stamtąd poziomo do przecięcia z parabolą, stamtąd pionowo w dół i tam odcinek P_n daje szukaną powierzchnię. W taki sam sposób buduje się wykres dla przekopów; można też użyć dla nich tego samego wykresu, co dla nasypów, wprowadziwszy potrzebne zmiany odmiennym kolorem. Można też używać tego samego wykresu dla różnych szerokości s; ze zmianą s zmienia się tylko położenie linji h_o i P_o, co pamiętać należy.

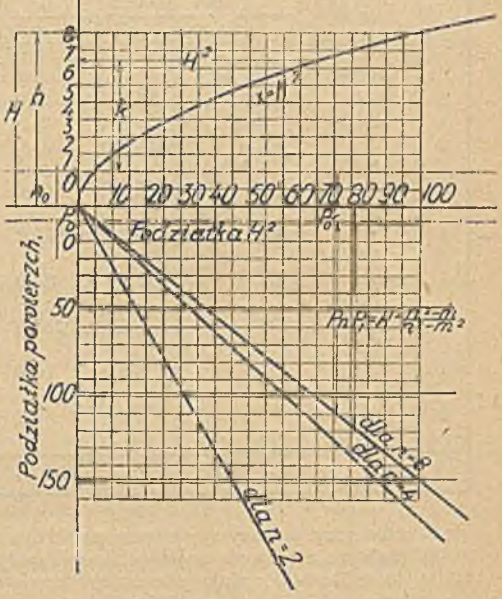


Fig. 26.

Nie uwzględniając poprzecznej pochyłości ziemi, dostaje się wielkość powierzchni przekroju mniejszą od rzeczywistej. Powierzchnia $\triangle a\,c\,d$ (fig. 24) $= P^1 = H^2 \frac{n^2 m}{n^2 - m^2}$, a wynosiłaby $P = H^2 m$, gdyby ziemia była pozioma. Różnica $P^1 - P = P \frac{m^2}{n^2 - m^2} = \alpha \cdot P$. Tablica 25 zawiera obliczoną wielkość α, dla różnych n przy $m = 1{,}5$. Widać, że gdy pochyłość ziemi = 1 : 10, nie uwzględniając jej, dostajem ypowierzchnię o 2% mniejszą od rzeczywistej, przy 1 : 9 o 3%, przy 1 : 4 o 16%. W praktyce przyjmuje się, iż należy uwzględniać pochylenie ziemi poczynając od 1 : 9 nawet przy projektach wstępnych.

Tablica 25.

n	$\alpha = \frac{m^2}{n^2 - m^2}$ przy $m = 1{,}5$
10	0,0230
9	0,0287
8	0,0365
7	0,0481
6	0,0667
5	0,0989
4	0,1636
3	0,3333

B. **Obliczanie mas gruntu.** Znając powierzchnie przekrojów poprzecznych, oblicza się masy w dwojaki sposób:

1. Albo rachunkiem, robiąc przytem stosowne zestawienia liczbowe, jakiego przykład daje tablica 26. Tego sposobu używa się najpowszechniej. Jest jasny i przejrzysty, a do przeprowadzenia nim wyliczeń lub ich sprawdzenia nie trzeba umiejętności rysowania, co ważne, gdy oddaje się roboty od wymiaru drobnym przedsiębiorcom lub drużynom roboczym.

Tablica 26. Obliczenie mas.

L. b.	km	Odległość	Przekop			Nasyp		
			Przekrój	Średni przekrój	Masa	Przekrój	Średni przekrój	Masa
		m	m^2	m^2	m^3	m^2	m^2	m^3
	0,998		56,4			—		
1		8		54,0	432,0			
	1,006		51,6			—		
2		34		43,0	1462,0			
	1,040		34,4			—		
3		20		32,2	644,0			
	1,050		30,0			0,0		
4		15		25,0	375,0		4,0	60,0
	1,075		20,0			8,0		
5		15		17,0	85,0		11,0	165,0
	1,090		14,0			14,0		
6		30		8,5	225,0		17,5	525,0
	1,120		3,0			21,0		
7		20		3,5	70,0		22,5	450,0
	1,140		4,0			24,0		
8		20		4,3	86,0		27,0	540,0
	1,160		4,6			30,0		
			Razem . . .		3379,0	Razem . . .		1740,0

2. Albo przy pomocy wykresu powierzchni (fig. 27).

W praktyce używa się najczęściej, zwł. przy budowie kolei, specjalnych tablic do obliczenia, podających czasem powierzchnie przekroju, czasem zaś nawet wprost objętości robót ziemnych.

Wykres powierzchni. Przenosimy z przekroju podłużnego na osobny papier linję pochyłości drogi i rzędne. Na rzędnych nanosimy powierzchnie przekrojów poprzecznych jako długości, odcinając od linji pochyłości nasypy zw. w dół, a wykopy w górę. Uwzględniamy przytem trwałe spulchnienie gruntu. Jeżeli jest jednakie, to zmniejszamy w odpowiednim stosunku nasypy, a jeżeli różne (z powodu różnych gruntów), to zwiększamy odpowiednio przekopy. Podziałka długości stosowna taka, jak w przekroju podłużnym, ale robi się i mniejsze; podziałka powierzchni taka, żeby 1 $mm = 1, 2, 3 \ldots m^2$. Figurę objętą przez linję, łączącą wszystkie końcowe punkty odcinków i linję pochyłości drogi, nazywamy wykresem powierzchni. Każda jego rzędna przedstawia powierzchnię przekroju poprzecznego; każda powierzchnia między dwiema rzędnemi — objętość bryły gruntu między odpowiadającemi im dwoma przekrojami poprzecznemi. Wielkość tych powierzchni czyli te objętości nanosimy na pierwszej rzędnej każdego przekopu i nasypu jako długości, przyjąwszy dowolnie punkt początkowy i podziałkę dla mas. Przytem, jeżeli idziemy w górę, nanosząc przekopy, jak na fig. 27, to nanosząc nasypy, schodzimy w dół i odwrotnie. W ten sposób robimy wykreślnie sumy i możemy przy pomocy podziałki odczytywać objętości (masy) całych przekopów i nasypów, ich różnice itd. Ta-

blica 26 i wykres fig. 27 dają obliczenie mas na tej samej przestrzeni drogi od *km* 0,998 do *km* 1,160.

Ten sposób wyliczania nie ma tylko o znajomość wielkości mas. czasie pracy zyskuje się nieco tylko, gdy powierzchnie mierzymy planimetrem lub gdy rzędne są równo oddalone, bo wtedy trapezy mają równe długości, co pozwala odczytywać odrazu objętości na odpowiednio przygotowanej podziałce, przykładając do niej średnie wysokości trapeza, brane wcyrkiel. Ale wykres powierzchni jest przejrzystszy; ze względu na to budujemy go, robiąc rozdział mas wykreślnie (str. 56).

przewagi nad poprzednim, o ile chodzi Dokładność jego raczej mniejsza; na

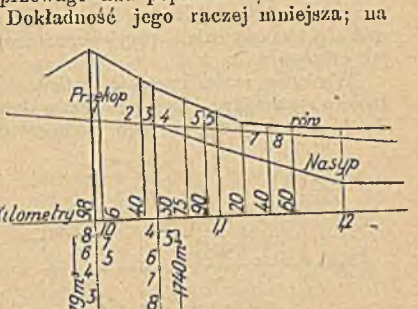


Fig. 27.

Przy obu sposobach należy pamiętać o wliczaniu do masy właściwej budowli (drogi, kolei, kanału itd.) także masy przejazdów, przełożeń potoków i dróg, wykopów fundamentów itd.

C. Plan rozdziału mas polega na tem, żeby z ogólnej ilości gruntu (wyliczonej jednym z dwu uprzednio podanych sposobów):

1. oznaczyć część, która nie nadaje się na nasypy (torf, mokry ił itd.) i wskazać miejsce jej odkładu,

2. oznaczyć część, której przewożenie podłużne zbyt hamowałoby postęp robót (co zdarza się wyjątkowo) i wyznaczyć miejsce jej odkładu,

3. oznaczyć część, którą korzystniej użyć na co innego, nie na nasypy (ziemia urodzajna, żwir, kamień budowlany),

4. oznaczyć część, którą da się poprzecznie przerzucić lub przewieźć (materjał z rowów u stóp nasypów, z przekrojów odcinkowych),

5. zrobić najkorzystniejsze wyrównania mas pozostałych czyli oznaczyć, jakie są ich ilości i dokąd najkorzystniej będzie przewieźć podłużnie, a jakie odłożyć na boku lub z boku dokopać.

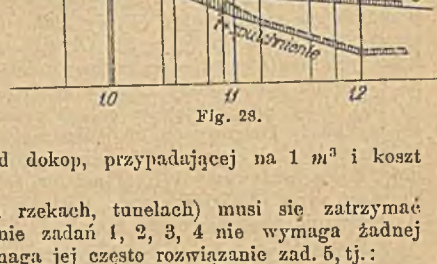


Fig. 28.

By móc przystąpić do rozwiązania zadań, tym planem objętych, trzeba ustalić:

a) cenę wzruszenia i przewozu 1 m^3 gruntu (przyczem do ceny przewozu na odkład należy dodać koszt powierzchni pod odkład, przypadającej na 1 m^3, a do ceny przewozu ziemi z dokopów — koszt powierzchni pod dokop, przypadającej na 1 m^3 i koszt wzruszenia 1 m^3),

b) gdzie (np. na znacznych rzekach, tunelach) musi się zatrzymać przewóz mas, poczem rozwiązanie zadań 1, 2, 3, 4 nie wymaga żadnej szczególnej pracy, natomiast wymaga jej często rozwiązanie zad. 5, tj.:

Wyrównanie mas. Przy budowie na równinach można niekiedy nawet na pierwszy rzut oka trafnie wskazać najkorzystniejsze wyrównanie mas; ale zwyczajnie trzeba go szukać. Czynimy to albo rachunkiem przez porównawcze przeliczania, albo wykreślnie.

Droga rachunkowa odpowiednia, gdy powierzchnia ziemi nie falista. Jeżeli jednak nasypy szybko przegradzają się z przekopami i trzeba wielu prób rachunkowych, dojdziemy do celu wykreślnie prędzej, a z dokładnością wcale nie mniejszą, szczególnie wobec tego, że i przy rachowaniu posiłkować się musimy wielu przybliżonemi wielkościami. Robota przebiega wtedy, jak następuje:

Wykres mas. Przedewszystkiem tworzymy potrzebny wykres mas. Można go wyznaczyć i bez pomocy wykresu powierzchni (fig. 27), jednak robi się to przejrzyściej z jego pomocą (fig. 29). Oczywiście najpomyślniej

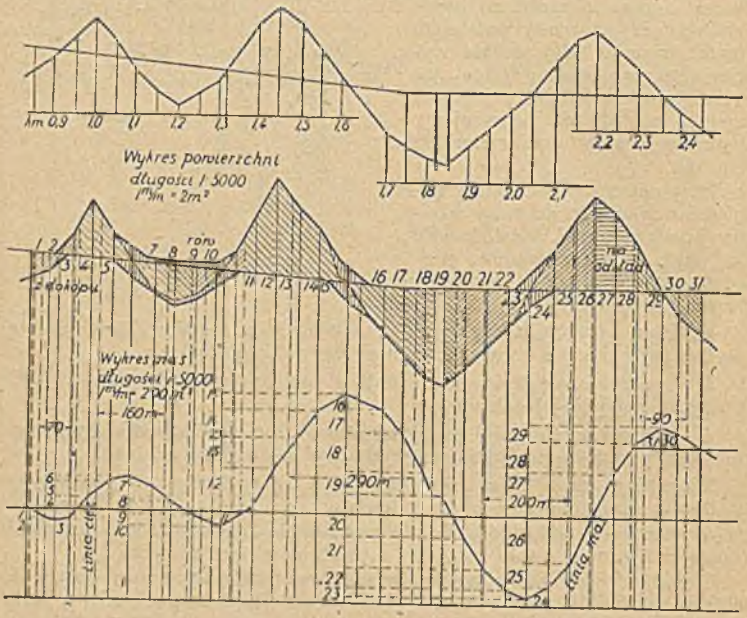


Fig. 29.

bywa, gdy już dla obliczenia mas zrobiono wykres powierzchni i nie potrzebujemy go teraz budować umyślnie. Na nim zaznaczamy kreskami lub barwami ilość pozycyj 1, 2, 3, 4 (fig. 28 pokazuje, jak znaczyć masy, które przesunie się poprzecznie). Wtedy białe pola przedstawią nam masy, które trzeba wyrównać (pozycja 5). Określiwszy z wykresu powierzchni wielkości tych mas (od rzędnej do rzędnej), nanosimy je jako długości kolejno jedna za drugą na początkowej rzędnej każdego przekopu i nasypu (por. fig. 27, str. 55), żeby mieć objętości całego przekopu czy nasypu. Następnie rzutujemy każdy końcowy punkt naniesionego odcinka na odpowiednią rzędną. Połączywszy kolejno wszystkie tak odrzutowane punkty, dostaniemy falistą linję, którą nazywamy linją mas, a cały rysunek (np. fig. 29) — wykresem mas. Podziałka mas: 1 *mm* = 10—100 m^3; podziałka długości: jak przekroju podłużnego lub mniejsza.

Jak widzimy odrazu, w wykresie tym:

a) każda wysokość przedstawia objętość,

b) każdy szczytowy punkt linji mas odpowiada przejściu z nasypu w przekop,

c) opadająca linja, oznacza nasyp, wznosząca się przekop,

d) różnica wysokości punktu początkowego i końcowego linji mas daje różnicę objętości nasypów i przekopów.

Jeżeli zaś nakreślimy jakąkolwiek poziomą, przecinającą linję mas, to stwierdzimy:

e) że odcinki między punktami przecięć linji mas z tą poziomą, wskazują przestrzenie, na których masy nasypów równają się masom przekopów; dlatego każdą taką poziomą linję nazywamy linją wyrównawczą,

f) że największa rzędna każdej z płaszczyzn wykresu, zamkniętych między linją mas a wyrównawczą, przedstawia ilość mas, wyrównywających się na tym odcinku,

g) że pierwsza i ostatnia rzędna pierwszej i ostatniej płaszczyzny wykresu przedstawiają ilość mas, które ma się odłożyć lub dokopać (fig. 29, lewa strona); toż samo w pewnych warunkach dają odstępy między dwoma wyrównawczemi (fig. 29, *km* $2^2/_3$).

Szukanie najkorzystniejszego wyrównania: 1. Wedle powyższego (*c*, *g*) każda pozioma, przecinająca linję mas, wskazuje, które przekopy pokrywają się z nasypami i jakie ma sytrzeba dokopać lub odłożyć,

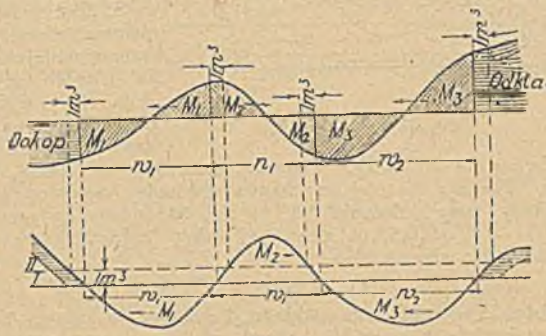


Fig. 30.

czyli daje wyrównanie mas. Wśród tych poziomych jedna da wyrównanie najkorzystniejsze. Żeby ją znaleźć, kreślimy (fig. 30) początkowo poziomą (I), najkorzystniejszą na oko (według niej dzielą się masy na wykresie powierzchni tak, jak pokazują pełne rzędne), a następnie próbujemy, czy zyskamy co, podnosząc ją lub opuszczając. Idąc w górę o 1 m^3 (pozioma kreskowana II), mamy nowy podział (na wykresie powierzchni wskazany kreskowanemi rzędnemi). Widzimy, że dokop zmniejszył się o 1 m^3, któryby się było przewiozło na odległość *d*, a więc zyska się teraz koszt jego przewozu, wynoszący „*d*“, jeżeli koszt przewozu 1 m^3 na odległość *d* nazwiemy *d*. Widzimy dalej, że zwiększyła się masa M_1 o 1 m^3, który trzeba będzie przewieźć na odległość w_1, a więc straci się koszt jego przewozu, wynoszący „w_1“, jeżeli znowu koszt przewozu na odległość w_1 nazwiemy w_1; zmniejszyła się masa M_2 o 1 m^3, a więc zyska się koszt jego przewozu „n_1“; zwiększyła się masa M_3 o 1 m^3, a więc traci się koszt jego przewozu „w_2“; zmniejszył się odkład o 1 m^3, a więc zyskujemy koszty jego odwozu „*o*“. Odległość, a równocześnie i koszt przewozu mas przekopowych w jednym kierunku nazywamy jedną zgłoską „*w*“, w przeciwnym kierunku drugą zgłoską „*n*“. Sumując widzimy, że tracimy $w_1 + w_2$, a zyskujemy $d + o + n_1$. Jeżeli $w_1 + w_2 < d + o + n_1$, to takie przesunięcie wyrównawczej daje zysk. Wobec tego idziemy dalej w górę, by ten zysk zwiększyć jeszcze. Idziemy dotąd, aż dojdziemy do $w_1 + o_2 = d + o + n_1$, co znaczy, że wyrównawcza na danej wysokości daje najkorzystniejsze wyrównanie mas. Gdybyśmy przy pierwszym ruchu w górę znaleźli

$w_1 + w_2 < d + o + n_1$ czyli stratę, to dalsze próby robilibyśmy, idąc w dół, i znowu, ażby $w_1 + w_2 = d + o + n_1$. Jest to równanie warunkowe, którem sprawdzamy, czy przyjęta linja daje najlepsze wyrównanie. Pracując cyframi, wstawiamy za w_1, w_2, d, o, n, odpowiadające tym odległościom koszta przewozu 1 m^3 wraz z dodatkami za wzniesienia, gdy takie są; koszta dokopów i odkładów należy ułożyć wedle wskazówek ustępu *a)*, str. 55.

2. Jeżeli brak pewności, czy najkorzystniejsze wyrównanie da jedna, czy też dwie lub więcej linji wyrównawczych, to kreślimy je na oko i sprawdzamy położenie każdej z osobna równaniem warunkowem. Gdyby w rzeczywistości najkorzystniejszą miała być jednakże tylko jedna wyrównawcza, to tych parę, nakreślonych początkowo, zejdzie się w jedną. Przykład dwu wyrównawczych na fig. 29 (str. 56).

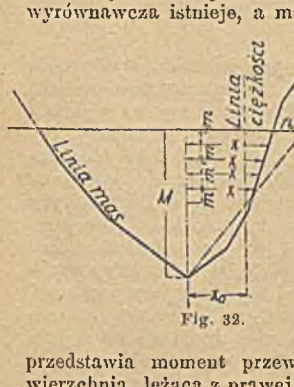
Fig. 31.

3. Zdarza się, że wyrównawcza przechodzi nad paroma mniejszemi falami linji mas lub też pod niemi (linja G — G, fig. 31). Żeby masy i na tej przestrzeni wyrównać, kreślimy drugą wyrównawczą (D — D). Pierwszą nazwiemy — główną, drugą — drugorzędną. Tworząc dla niej warunkowe równanie, uważamy główną za niebyłą. Wtedy, przy położeniu jak na fig. 31, mamy na początku wyrównawczej D — D odkład, na końcu jej dokop, a warunkowe równanie dla niej brzmiałoby więc:

$$o + d + E(w) = E(n)$$

W rzeczywistości jednakże tego odkładu i dokopu nie będzie, bo główna wyrównawcza istnieje, a masy M_2, których wielkość dana odstępem między obu wyrównawczemi, wyrównają się przewozem. Wobec tego z lewej strony poprzedniego równania znika $o + d$, a na ich miejsce wchodzi N_1. Warunkowe więc równanie dla takiej drugorzędnej wyrównawczej będzie tutaj:

$$N_1 + E(w) = E(n).$$


Linia ciężkości
wyrównawcza
Linia mas
M
x
x
x

trójkąty o jednej przyprostokątni wspólnej M, poczem wystarczy rozdzielić otrzymane drugie przyprostokątnie na pół, by mieć szukane drugie boki prostokątów, czyli szukane linje ciężkości.

Tak samo znajduje się linje ciężkości mas, wyrównywujących się poprzez inne masy (jak masy M_2, fig. 31).

Odkłady i rezerwy (ukopy, dokopy, rowy materjałowe). W wykresach powierzchni najlepiej dorysować je na odpowiednich miejscach. Dokopy u góry (fig. 33), odkłady na dole. Podziałka powierzchni ta sama, co dla innych mas.

W wykresie mas przedstawiamy dokopy i odkłady linjami, biegnącemi na odległość przewozu od odpowiadających im części linji mas. Jeżeli dokop czy odkład położony jest równolegle do osi i wielkością równy w każdym punkcie nasypowi, który pokrywa, czy przekopowi, który przyjmuje, to linja, przedstawiająca go, biegnie równolegle do linji mas. Tak przyjęto w fig. 30 i 31.

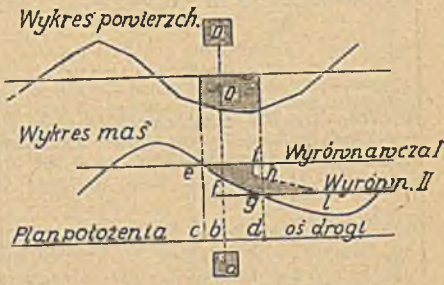


Fig. 33.

Fig. 33 przedstawia przypadek, gdzie z dokopu pokrywa się nasyp, rozciągający się na dłuższej przestrzeni, niż dokop, a sam przewóz ma się odbywać tak, że naprzód dojdzie materjał od dokopu prostopadle do drogi (od a do b), a stamtąd dopiero pójdzie wzdłuż drogi (od b ku c i d). Wtedy w wykresie mas przedstawia się dokop jako linja łamana ikl, przyczem $fk = ab$; $ei = ab + bc$; $gl = ab + bd$.

Jeżeli, co zwykle najlepiej, zamiast robić osobny dokop, rozszerzamy sąsiedni przekop, lub zamiast robić osobny odkład, rozszerzamy sąsiedni

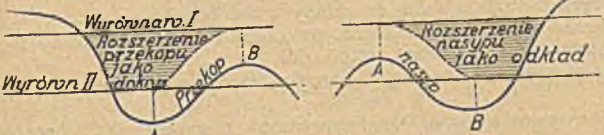


Fig. 34.

nasyp, wtedy linje, przedstawiające takie rozszerzenie przekopu czy nasypu, wypadają, jak na fig. 34. Kształt ich można wyznaczyć, obliczywszy od rzędnej do rzędnej przekroju podłużnego ilości dokopywane lub odkładane.

Oczywiście wyznaczenie linji dokopów i odkładów odbywa się w przybliżeniu. Zbyt wielka dokładność nie dałaby tu żadnych korzyści.

D. **Zestawienie kosztu przewozów podłużnych** (z odkładami i dokopami) należy wykonać jak najprzejrzyściej. Przykład mamy w zestawieniu kosztów robót ziemnych na str. 60.

V. Wykonanie robót.

A. **Czynności początkowe.** Urządzenie budowy. Zaliczamy tutaj:

1. Organizację zarządu budowy, zastosowaną do tego, czy roboty oddano przedsiębiorcy jednemu lub kilku, lub też prowadzi się je we własnym zarządzie itd.

Przykład. Koszt robót ziemnych.

a) Przewozy podłużne, odkłady, rezerwy:

L. p.	Miejsce dobycia	Miejsce użycia	Masa dobyta przekop	Masa dobyta dokop	Przewóz rodzaj	Przewóz odległość	Przewóz wzniesienie	Cena przewozu za 1 m^3 na poziomie	Cena przewozu za 1 m^3 dodatek za wzniesienie	Cena przewozu za 1 m^3 razem	Koszt zł	Koszt gr	Uwagi
	km	*km*	m^3	m^3		*m*	‰	groszy					
1	—	0,850—0,857	—	300	A[1])	—	—	—	—	100	300	—	Rezerwa z lewej strony *km*...
2	0,920—0,970	0,857—0,920	1.000	—	*A*	70	—	50	—	50	500	—	(cena z kosztem wzruszenia i nabycia gruntu)
3	0,970—1,090	1,090—1,240	3.200	—	*B*	160	3	40	8	48	1.536	—	
4	1,315—1,370	1,240—1,315	1.200	—	*A*	70	—	50	—	50	600	—	
5	1,370—1,620	1,620—1,875	11.000	—	*B*	290	10	50	20	70	7.700	—	
6	2,045—2,195	1,875—2,045	7.400	—	*B*	200	10	40	16	56	4.144	—	
7	2,195—2,290	—	6.500	—	*B*	—	—	—	—	44	2.860	—	Odkład z prawej strony *km*... (cena z kosztem powierzchni pod odkład)
8	2,290—2,360	2,360—2,450	2.200	—	*A*	90	—	58	—	58	1.276	—	
	Razem . . .		32.500	300							18.916	—	
	b) Odłożenie żwiru do nawierzchni 1.200 m^3 po 0,40 gr										480	—	
	c) Przemieszczenie poprzeczne . 1.300 m^3 średnio po 0,20 gr										260	—	
	d) Wzruszenie gruntu . . . . . 35.000 m^3 średnio po 0,60 gr										27.000	—	
	Łączny koszt robót ziemnych . . .										46.656	—	

[1]) *A* = przewóz taczkami.
B = przewóz kolejką, poruszaną siłą ludzi.

2. Przygotowanie placów na składy i pod budowę szop.

3. Wzniesienie szop na biura, na narzędzia, na schronisko i gospodę dla robotników, na warsztaty, stajnie itd.

4. Sprowadzenie potrzebnych narzędzi, środków przewozowych, maszyn, koni.

Prace pomiarowe. Te, prowadzone równocześnie z poprzedniemi, obejmują:

1. Uzupełnienie brakujących pali osiowych i stałych znaków wysokości.

2. Oznaczenie powierzchni, zajętej pod roboty ziemne.

3. Założenie, zewnątrz tej powierzchni, znaków, umożliwiających później wiernie odtworzenie osi.

Fig. 35.

Fig. 36.

4. Wyznaczenie krawędzi rowów i krawędzi skarp nasypów i wykopów, ustawienie szablonów (fig. 35 i 36). Szablony w prostych ustawić co 50 *m* na równym gruncie; gdy grunt falisty — gęściej, wedle potrzeby; tak samo gęściej — wedle potrzeby — w łukach.

Przy ustawianiu szablonów pamiętać o możebnych wyjątkowych kształtach przekroju. Zwyczajnie przyjmujemy jeden kształt przekroju przekopów i jeden nasypów dla całej budowli, zdarzają się jednak odmiany. Np. w przekopie z warstwami różnego gruntu, linja stoku wypadnie łamana, gdy uwzględnimy dopuszczalną pochyłość dla każdego gruntu wedle tablicy 2 (str. 26). Wskazane przytem w miejscach załamania dawać ławeczki

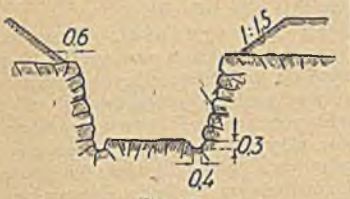


Fig. 37.

Fig. 38.

0,5—1,0 *m* szerokości, łagodnie ku przekopowi nachylone (fig. 37). Wysoki przekop dobrze jest rozszerzyć, dając ławeczki u stopy stoku na wysokości korony budowli (fig. 38), choć grunt jednaki i stok jednostajnie pochylony. Jeżeli nasyp wysoki, dobrze dać dolnej części stoków pochylenie łagodniejsze, a górnej ostrzejsze itd.

Ustawiając szablony nasypu pamiętać o daniu znaku nadwyżki i rozszerzenia, z jakiem nasyp trzeba założyć, z uwagi na osiadanie. Konieczna nadwyżka i rozszerzenie zmienia się zależnie od rodzaju gruntu, od sposobu sypania, od pogody, przy jakiej się robi, od wysokości nasypów. Nie mając zwykle czasu na robienie doświadczeń, dajemy wedle

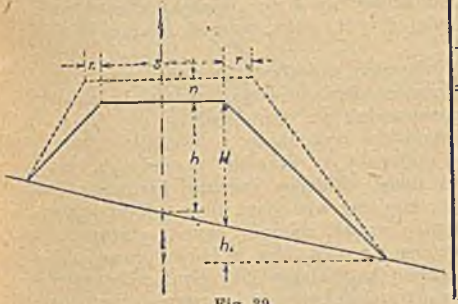


Fig. 39.

Gdy ziemia pozioma lub mało pochylona		
n	$r = r_1$	grunt
$\frac{1}{14}h$	$\frac{1}{9}h$	zwykła ziemia
$\frac{1}{12}h$	$\frac{1}{8}h$	ilasty, gliniasty
$\frac{1}{23}h$	$\frac{1}{15}h$	piasek
$\frac{1}{40}h$	$\frac{1}{40}h$	kamienisty

dawnych spostrzeżeń (fig. 39); a gdy linja poprzeczna gruntu mocno nachylona, to r oblicza się osobno, wstawiając $h = H + \frac{h_0}{2}$.

Na podstawie praktyki budowy kolei w Rosji w latach 1895—1915 r. przyszli inżynierowie do wniosku, że rozszerzenie korony torowiska (r i r_1) jest zbędne i stosowano je tam jedynie, gdy nasypy były budowane z kamienia lub brył zamarzłych, tj. przy robotach specjalnie śpiesznych, wykonywanych w zimie, co bywało dopuszczane w drodze wyjątku.

5. Podanie wysokości podtorza na palach, wbitych z boku szablonów.

6. Wytyczenie mostów i innych budowli sztucznych, jakieby się w ciągu drogi wznieść miało.

Wskazówki ogólne. Należy jak najściślej przestrzegać wszystkich przepisów ostrożności, zmierzających do zapewnienia bezpieczeństwa życia i zdrowia pracujących. Prędko i, zwykle, tanio wykonywa się roboty, jeżeli:

1. rozwiniemy je odrazu w wielu miejscach, niezależnych od siebie, i w każdem na możliwie największej przestrzeni,

2. ułożymy jak najtroskliwiej i najdrobiazgowiej cały plan przewozów i potem go zastosowujemy,

3. utrzymujemy starannie tory kolejki i mamy zawsze w pogotowiu zapasny sprzęt roboczy,

4. dbamy, żeby stale pracowały wszystkie siły robocze.

B. **Wykonanie przekopów.** Pierwsze czynności: Zaczynamy robotę, tnąc darń, gdy nią grunt pokryty, w płaty kwadratowe, gr. 7—10 *cm*, o boku 20—30 *cm*. Odłożone, służą potem do umocnień różnych części budowli. Gdzie ziemia urodzajna, zdejmujemy wierzchnią jej warstwę 10—20 *cm* głęboko; służy później do okrycia jałowych stoków. Usuwa się drzewa, krzewy, żeby nie dostały się do nasypów. Gdy grunt pochylony poprzecznie, bierzemy wzdłuż wyższej krawędzi przekopu rowek, głęboki średnio 0,5 *m*, o szerokości dna 0,3—0,5 *m* i znacznym spadku podłużnym. Służy do odprowadzenia wody powierzchniowej. Jeżeli rowek ten nie ma odpływu naturalnego, sprowadzamy z niego wodę do rowków bocznych przekopu po skarpach wgłębieniem, odpowiednio wybrukowanem lub obmurowanem; czasem korzystnie użyć koryt drewnianych lub rur. Wogóle jak najtroskliwiej uważać należy na niedopuszczanie wody powierzchniowej do przekopu i na odprowadzenie z niego wody w gruncie się znajdującej.

Sposób wykonania przekopu dobieramy, uwzględniając kształt powierzchni, rodzaj gruntu, wyznaczony czas budowy, rozporządzalne środki przewozowe, przyzwyczajenie robotników. Przy wszystkich sposobach dążymy nadewszystko:

a) aby grunt kopać w długich wysokich ścianach, do stopy których zsuwa się własnym ciężarem materjał wzruszony i skąd ładują go do wózków, tylko raz wziąwszy na łopatę. Wysokość ściany do 4 *m*; największa ostrożność konieczna przy robocie, szczególniej, gdy ił, glina, margiel; podkopywania ścian i obrywania należy zabronić,

b) aby nie pracować długo w ciasnych wcięciach, co uciążliwe,

c) aby pędzić przekop ze spadkiem w kierunku odwozu materjału, choćby ostateczne dno przekopu leżało poziomo lub we wzniesieniu.

Rozróżniamy sześć głównych sposobów wykonania:

1. Warstwami (fig. 40). Nadaje się w długich przekopach, przy dość równej powierzchni i nie w skale. Kolejkę roboczą kładziemy na powierzchni w kierunku przekopu, kopiemy rów obok toru kolejki, opuszczamy ją w ten rów i, idąc w lewo i prawo, zbieramy warstwę gruntu do poziomu kolejki, zagłębiamy ją znowu i znowu, idąc w lewo i prawo, zbieramy nową warstwę i znowu kolejkę zagłębiamy itd. Grubość warstwy do około 1,5 *m*. Sposób stosowany najczęściej, prosty, — pozwala rozwinąć roboty odrazu na wielkiej długości.

2. Od boku (fig. 41). Stosowany przy wszelkich materjałach, gdy przekop na stoku.

3. Z głębokiego wcięcia (fig. 42). Odpowiedni, gdy powierzchnia silnie nachylona podłużnie, a szczególniej gdy pokłady skaliste o korzystnym upadzie. Robimy wąskie wcięcie aż do dna przekopu, układamy tor roboczy, rozszerzamy się.

4. W stopniach (fig. 43). Odpowiedni przy każdym materjale, gdy przekop głęboki, długi i powierzchnia bardzo nierówna. Przekop pędzimy w pełnej szerokości w stopniach, założonych poprzecznie do osi. Kolejka robocza wiedzie ze stopni w dół ze spadem. Gdy ten za duży, to urządza się albo pochylnie albo też stawia rusztowanie, z którego sypiemy materjał wyższego stopnia do wózków stojących o stopień niżej.

5. Od czoła (fig. 44). Nadaje się, gdy przekopy krótkie.

6. Angielski (fig. 45). Opłaca się, gdy przekopy odpowiednio wielkie, głębokie ponad 10 *m*, powierzchnia nierówna, materjał sypliwy, gdy można całe pociągi materjału wywozić parowozem wprost na nasyp. W osi przekopu na jego dnie pędzi się sztolnię około 2,3 . 2,8 *m*, na tę sztolnię opuszcza

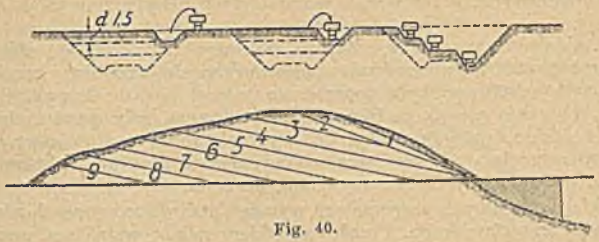


Fig. 40.

Fig. 41.

Fig. 42.

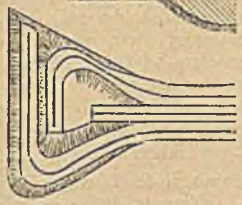


Fig. 43.

Fig. 44.

Fig. 45.

się szyby około 1,2 . 1,2 *m*. Sztolnia i szyby należycie obudowane. Liczba szybów dowolna, co 10—15 *m* jeden. Na dnie sztolni kolejka robocza; wózek stawia się pod każdym szybem; przez szyby zrzucamy materjał, brany naokoło szybu; nabierają one kształtu lejów. Sposób u nas prawie nieużywany.

C. **Wykonanie nasypów.** Dobór materjału nasypowego. Najlepiej nadają się na nasypy piasek i żwir, i wogóle materjały nierozpuszczalne a przepuszczalne, łatwo się osiadające, wytrzymałe na zgniecenie. Z twardego kamienia dobre nasypy; łatwo wietrzejący materjał osłonić przed działaniem powietrza. Nasypy z iłu osiadają się długo, także z gliny, z marglu; materjałami temi pracować trzeba tylko na sucho. Szczególniej glinę chronić przed działaniem wody. Bryły wielkie rozdrabniać. Nie do-

puszczać materjałów przerośniętych roślinami: torfu, mułu, oraz materjałów namokniętych, a szczególnie zmarzniętych. Bryły zmarznięte odłożyć, aż roztają.

Pierwsze czynności. Zdjęcie murawy i urodzajnej ziemi, jak przy przekopach. Wykarczowanie drzew, usunięcie krzaków, korzeni itp. Jeżeli powierzchnia pochyła poprzecznie więcej, niż 1 : 9, wyciąć w niej stopnie. Wybranie rowów wzdłuż obu stóp nasypu, gdy powierzchnia poprzecznie pozioma; a gdy nachylona, wybranie rowu wzdłuż stopy wyższej dla odprowadzenia wody powierzchniowej; oprócz tego jak najstaranniejsze osuszenie podłoża, gdy mokre, sączkami, drenami.

Zwykle szczególnych przygotowań wymaga podłoże na gruntach miękkich: na błotach, na torfowiskach. Przedewszystkiem należy wziąć pod uwagę ich

Fig. 46.

utrwalenie przy pomocy odwodnienia, a gdy to wypada zbyt drogo, uciec się do innego środka. Jeżeli np. warstwa rozmiękła jest cienka, usuwamy ją na szerokość całego nasypu lub na szerokość paru węższych pasów i dajemy na to miejsce dobry materjał. Jeżeli rozmiękła warstwa wysoka, to jej powłokę, często dość zbitą, tnie się rowami wzdłuż obu stóp nasypu, a następnie robi nasyp z dobrego materjału (najlepiej żwir, piasek). Obciążana nim powłoka zanurza się na głębokość, zależną od tęgości błota, przyczem rzadka jego masa dobywa się na wierzch nacieciami w powłoce. Jeżeli grunt podłoża, choć uginający się, nie jest rzadki, a nasyp jest dosyć wysoki, wtedy nie robimy żadnego przygotowania podłoża, licząc, że się zgęści i nabierze dostatecznej wytrzymałości pod naciskiem nasypu.

Sposób wykonania dobieramy, kierując się temiż względami, co przy przekopach, a także i rodzajem materjału. Głównem dążeniem przy wszystkich sposobach, danie nasypowi jak największej spójności i wytrzymałości na nacisk. Odróżniamy 5 sposobów wykonania:

1. Warstwami (fig. 46). Najodpowiedniejszy, gdy nasypy długie, a nie bardzo wysokie, materjał pulchny, a także gdy wilgotnawy, gdy mamy lekkie tory kolejkowe. Sypie się wąski wał o wysokości 0,5—1,5 *m*, rozszerza go się w warstwę przez cały przekrój, na tej warstwie sypie się znowu wąski wał, znowu go się rozszerza itd., i tak tworzy się nasyp warstwami o grubości 0,5—1,5 *m*. Używając kolejki ciężkiej, można robić warstwy jeszcze grubsze. Szczególne korzyści — przesuszenie materjału i ugniecenie. Natomiast uciążliwe — częste przekładanie torów i jazda w dół z hamowanemi wózkami. Sposób najczęściej stosowany. Zwykle gdy przekop robi się warstwami, tak samo robi się i przyległy nasyp.

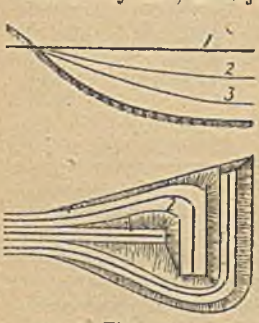


Fig. 47.

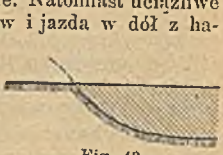


Fig. 48.

2. W stopniach (fig. 47). Korzystny, gdy nasyp wysoki i długi. Szczególne korzyści — szybki postęp roboty, ugniecenie materjału, łatwe stosowanie rozmaitych środków przewozu. Uciążliwe częste przerzucanie torów i duże zmiany pochyłości toru roboczego. Stopnie pojedyncze 1,5—3,0 *m* wysokości.

3. Od czoła: odpowiedni przy krótkich nasypach. Wykonywa się nasyp odrazu w całym przekroju (fig. 48). Szczególna korzyść: tor stale ułożony. Robota idzie jednak wolno, a materjał nie ugniata się.

4. Od boku (fig. 49): na stokach przy dobrym materjale, jak piasek, żwir; przy rozszerzeniu wąskich nasypów. Najpierw tworzy się wąski wał na całą długość nasypu i do jego ostatecznej wysokości, a potem go się rozszerza. Szczególne korzyści: robota idzie prędko, można wysypywać całe pociągi naraz. Natomiast niebezpieczeństwo, że dosypywane części się oberwią.

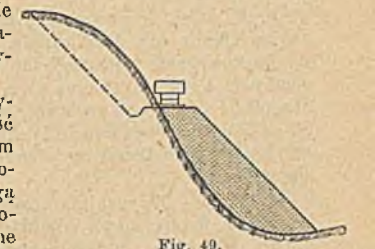


Fig. 49.

5. Z rusztowania: nadaje się do wysokich nasypów. Buduje się na całą długość nasypu stałe drewniane rusztowanie, na niem układa się tor kolejki roboczej. Na odpowiednio zbudowanych rusztowaniach mogą chodzić i lokomotywy. Drzewo — oprócz pomostu — zostaje w nasypie. Szczególne korzyści: stały tor, szybkość budowy. Słabe strony: nieugnieciony materjał w nasypie. Stosuje się też rusztowania ruchome. Kosztuje taniej, niż stałe; zastosowalne do niewysokich nasypów i równej powierzchni.

Ze szczególną uwagą postępować, gdy z nasypem dochodzi się do budowli sztucznych. Mosty sklepione zasypywać naraz z obu stron; warstwy dawać cienkie i starannie ubijać. Tak samo, zasypując przyczółki mostów otwartych i mury oporowe, sypać materjał w warstwach i ubijać.

VI. Ochrona budowli ziemnych.

Na wszystkie stoki budowli ziemnych działa wiatr, opady powietrzne, zmiany ciepłoty; na niektóre stoki przekopów także woda z nich się sącząca, a na niektóre stoki nasypów woda stojąca lub płynąca. Przed tem działaniem musimy je chronić. Nie potrzebują tego tylko stoki z kamienia niewietrzejącego; wytrzymują one nawet działanie wody płynącej, jeżeli kamień jest w bryłach odpowiednio dużych.

A. **Ochrona stoków przekopów** (gdy nie są skalne): 1. Obsianie. Obsiewając stoki nasionami traw, stwarzamy powłokę darniową. Stoki jałowe, pokrywamy najpierw warstewką ziemi żyznej 5—20 *cm* grubą, zależnie od zapasu ziemi żyznej i stopnia jałowości stoku, a następnie obsiewamy. Gdy grunt stoku twardy, robimy w nim nacięcia, by zapobiec zsunięciu się ziemi urodzajnej. Do obsiania używa się zwykle mieszaniny traw; 1 *kg* na około 200 m^2. Odpowiednia do tego pora wilgotna. To jest najzwyczajniejsza ochrona stoków; nigdy nie wolno jej pominąć.

2. Darniowanie na płask. Chcąc uzyskać prędko powłokę darniową, pokrywamy stoki płatami kwadratowemi darniny 30 . 30 . 7 (por. str. 62). Kładziemy je korzonkami na stok i przybijamy cienkiemi kołkami o długości około 0,30 *cm* po 2 kołki na 1 płat. Jeżeli grunt kamienisty lub choćby tylko bardzo twardy, jałowy, dajemy cienką podsypkę z urodzajnej ziemi. Tak samo wypełniamy nią spoiny i obsiewamy je. Odpowiednia do roboty pora wilgotna. Im świeższa darnina, tem lepiej. Takie darniowanie stosujemy najczęściej, żeby chronić stoki rowów i ścieków. Jeżeli mało darniny, kładziemy ją na stok pasami w krzyż, a gołe pola między niemi wypełniamy urodzajną ziemią i obsiewamy.

3. Darniowanie czołowe. Płaty darniny kładzie się poziomo lub też prostopadle do stoku albo w położeniu pośredniem. Kładziemy je korzonkami w górę. W razie potrzeby dajemy podsypkę z urodzajnej ziemi, około 10 *cm*. Odpowiednia do roboty pora wilgotna. Wystające rożki darni

ścina się łopatą i całą powierzchnię obsiewa. Takie darniowanie stosuje się przy stokach ostrych 1 : 1, a także do naprawy już oberwanych.

4. Zadrzewienie. Stosowane, gdy brak ziemi żyznej i darni, lub jeżeli trawa nie udaje się, bo np. stok kamienisty albo zbyt stromy. Gdy grunt suchy, dobre: akacja, brzoza, sosna; gdy wilgotny — wierzba, olcha. Mniej więcej 1 sadzonka na 1 m^2.

5. Płotki. Używane, gdy stok tak stromy, że nie utrzyma się na nim urodzajna ziemia czy darniowanie, lub gdy grunt łuszczy się i zsuwa. Zakłada się je szeregami równoległemi lub — lepiej — krzyżującemi się, tworzącemi pola o bokach długich na 2—3 *m*. Kołki najlepiej z wierzbiny 0,7—2,0 *m* długości, 4—10 *cm* grubości, wbite co 30—50 *cm* odziomkami, wystające 20—60 *cm* nad powierzchnią skarpy. Pręty najlepiej wiklowe; dolne z nich zatykamy odziomkami w ziemię. Takie kołki i pręty wrastając, rozgałęziają się.

6. Bruk. Zwyczajnie brukujemy stoki, gdy brak ziemi urodzajnej i darni, a mamy dosyć odpowiedniego kamienia na miejscu. Używa się kamienia z grubsza przyrobionego o grubości rozmaitej, zw. od 20—40 *cm*. Układa się go na podsypce o grubości 0,10—0,20 *m* z piasku, ale najlepiej, gdy jest ze żwiru lub ścinków kamienia, bo takie podłoże nie łatwo wymywalne przez wodę, przeciekającą spoinami. Spoiny uszczelnia się mchem, okruchami kamienia, piaskiem, zaprawą cementową. Stopa bruku z grubszych kamieni. Kamienie układa się, wiążąc je, jak w murze. Stok brukowany można pochylić 1 : 1, a gdy bruk gruby i stok nie wysoki 4 : 3 (1 : $^3/_4$). Zamiast kamienia łamanego można użyć płyt betonowych, kamieni sztucznych itp., ale okazują się one bardzo rzadko tańsze.

7. Sączki. Gdy grunt wysącza wodę, należy odwodnić powierzchnię stoku, inaczej mogłaby spłynąć, rozmókłszy. Czynimy to sączkami. Tworzymy je, wybierając w stokach rowki 0,4 – 0,7 *m* szerokie, 0,3—0,5 *m* głębokie i wypełniając je kamieniem łamanym, żwirem grubym itp. Zakłada się je w linjach prostych, skośnie do kierunku przekopu albo w kształcie ostróg, także w kształcie daszków lub łuków; należy je zgrubiać, schodząc ku stopie stoku. Szczególną uwagę zwrócić na to, żeby woda ze sączków odpływała swobodnie do rowów. Jeżeli dno przekopu mokre, należy je także odwodnić; sączkom dna dobrze jest nadać kształt sklepienia odwróconego.

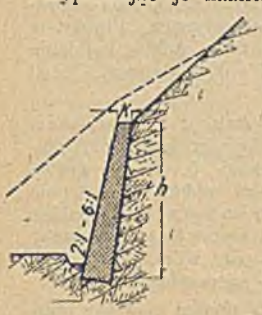


Fig. 50.

Jeżeli przekop bardzo mokry i rowami płynie dużo wody, trzeba umocnić stopę stoku. Czynimy to, obrukowując rów. Jeżeli obrukowanie rowu nie wystarcza, podmurowujemy stopę stoku, przyczem najczęściej obmurowujemy wtedy i cały rów. W podmurowaniu zostawiamy kanaliki, żeby niemi odpływała do rowów woda z poza muru.

Jeżeli stoki skalne, ale kamień ich łatwo wietrzejący, to dla ochrony je przed wietrzeniem stosujemy:

8. Mury okładzinowe (fig. 50). Robimy je zw. z kamienia łamanego na zaprawie cementowej. Grubości ich niewielkie. Przy budowie kolei małopolskich stosowano wymiary: $k = 0{,}4\ m$, $d = 0{,}4 + 0{,}1\ h$. Przy budowie kolei przez Gothard $k = 0{,}6\ m$, $d = 0{,}1\ h$, przyczem najmniej $d = 0{,}6\ m$.

Jeden i ten sam stok ubezpiecza się rozmaitemi sposobami, jeżeli przekop przecina różne warstwy gruntu.

B. Stoki nasypów. Naogół chronimy stoki nasypów tak samo, jak przekopów, tylko przychodzi chronić je jeszcze od działania wody stojącej

i płynącej, co nie zdarza się nigdy przy przekopach dróg, założonych prawidłowo.

1. Obsianie,
2. Obsypanie ziemią i obsianie,
3. Darniowanie na płask,
4. Darniowanie czołowe,

} jak w przekopach.

Darniami na płask lub do czoła ubezpieczamy zwykle stożki koło skrzydeł mostowych, koło murów oporowych itd.; warstwę darni, przynajmniej jedną, układamy do czoła na koronie wszelkich murów i dopiero je przysypujemy.

5. Zadrzewianie. Bardzo rzadko zadrzewia się stoki nasypów. Gdy chodzi o ochronę stoków od wezbranej wody płynącej, sadzimy na nich wiklinę. Jej korzenie tworzą jakby tkaninę, wiążącą cząstki gruntu, a gałęzie podczas wylewu kładą się na stoku w kierunku prądu i w ten sposób ochraniają go od uszkodzeń przez wody i lody. Daje się sadzonki o długości zazwyczaj 50 *cm*, o średnicy 2—3 *cm* i zatyka je w grunt na 40 *cm* głęboko, pochylając lekko w kierunku wody. Sadzi się je wiosną i jesienią w szeregach; szereg od szeregu 75 *cm*; a w szeregu sadzonka od sadzonki 30 *cm*. Obcina się wiklinę co 2—3 lata. Tnie się ją równo z ziemią. Sadząc wiklinę koszykową, ma się materjał do wyrobu mebli itp.

6. Płotki. Tak samo, jak w przekopach. Tylko, gdy chroni się stok od zalewu wody płynącej, zakładamy je szeregami poziomemi. Przy wodzie płynącej, a często i stojącej, dajemy u stopy nasypu płotek nieco silniejszy, niż te, co na stoku, lub nawet dwa równoległe; przewiązuje się je ze sobą i przestrzeń między niemi wypełnia ziemią, żwirem, kamieniem.

7. Bruk. Tak samo, jak w przekopach. Tylko, gdy chroni się stok od działania wezbranej wody płynącej, dajemy brukowi zwykle fundament z grubszych kamieni, zapuszczony w grunt o wymiarach ok. 1 × 1 *m*, a gdy stopa stoku znajduje się stale pod działaniem wody płynącej, tworzymy do wysokości małej wody narzut z grubszych kamieni i na nim, jak na fundamencie, opieramy stopę bruku. Gdy prąd wody silny, uż. na narzut, a także i na bruk grubego kamienia. W tym względzie stosować się należy ściśle w każdym wypadku do warunków miejscowych.

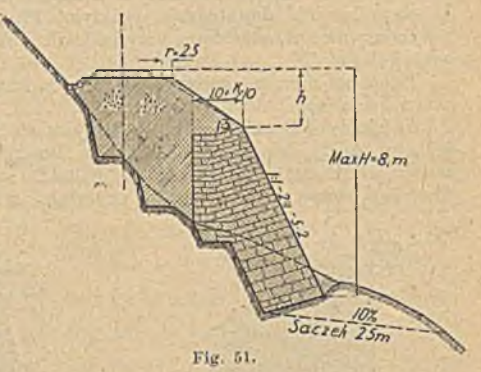


Fig. 51.

8. Obitki faszynowe (por. dział: Budownictwo wodne). Sposób rzadko stosowany.

9. Wałki zatapiane faszynowe. Używamy ich, nie mając dosyć grubego kamienia na narzut, potrzebny dla ochrony od działania płynącej wody.

C. **Mury oporowe i podporowe.** Mury, podtrzymujące ściany nasypów, naz. oporowemi; mury podtrzymujące ściany przekopów — podporowemi.

1. Mury oporowe wykonywa się: *a*) na sucho lub *b*) na zaprawie.

a) Mury suche. Gdy w pobliżu jest tani kamień, o bryłach dostatecznie dużych i łatwo układalnych, a materjały zaprawy w danych warunkach drogie, buduje się mur suchy. Kamienie bierze się jak największe; przyrabia młotem, układa przewiązując, klinuje odcinkami kamienia. Spoiny o ile możności pionowo do linji ciśnienia: dlatego biegną początkowo

pionowo do lica, a potem zwolna przechodzą w poziome. Pochyłość lica zależnie od jakości kamienia i wysokości muru: przy ciężkim i dobrze wiążącym się materjale 3 : 1, gdy wysokość muru do 8 *m*, zaś 2 : 1, gdy wysokość muru do 12 *m*; przy lichszym kamieniu 3 : 2, a nawet 5 : 4. Przy wysokościach nad 8 *m*, wskazane dać licu pochyłość w dolnej części mniejszą, niż w górnej. Tył muru pionowy w nasypie bez odsad, żeby uniknąć nierównomiernego osiadania; doszedłszy do rodzimego gruntu, biegnie równolegle do lica. Uwzględniając osiadanie się muru, należy rozszerzyć koronę nasypu o $^1/_{50}$—$^1/_{25}$ wysokości muru. Należy chronić koronę murów od wstrząśnień, sprawianych przez ruchome ciężary; dlatego nadsypki na murach 1—3 *m* wysokości. Grubość

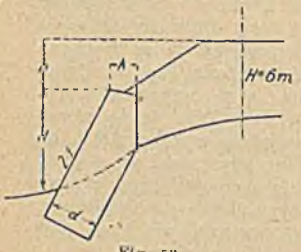


Fig. 52.

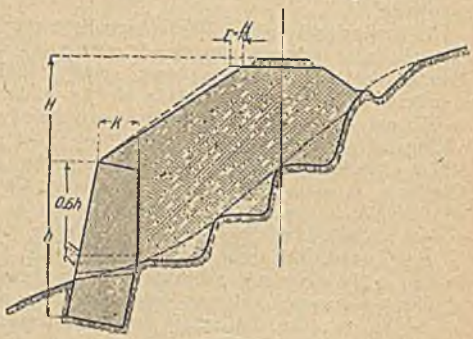


Fig. 53.

muru zależy od wysokości; przy równych wysokościach zmienia się w pewnych granicach z jakością kamienia. Najmniejsza szerokość korony 0,6 *m*, a gdzie mur narażony na wstrząśnienia, tam jeszcze większa. Zwykle nie przeprowadza się w poszczególnych przypadkach obliczeń statycznych, lecz opiera się na wzorach, ułożonych z racji wykonywania wielkich budowli i sprawdzonych dostatecznie praktyką. Fig. 51 i 52 przedstawiają kształt i wymiary murów, stosowane przy budowie polskich kolei karpackich i kolei przez Gothard.

Dając za murem oporowym układkę z kamienia, zmniejszamy parcie na mur. Nie wiązać układki z murem!

b) Mury na zaprawie. Wykonywa się z kamienia łamanego, betonu, żelbetu, cegły, ciosowego kamienia. Buduje się najczęściej jako pełny mur o jednokształtnym przekroju; jednakże stosuje się też mury żebrowane. Mur żebrowany wymaga mniej materjału, zato robota droższa, dlatego nie

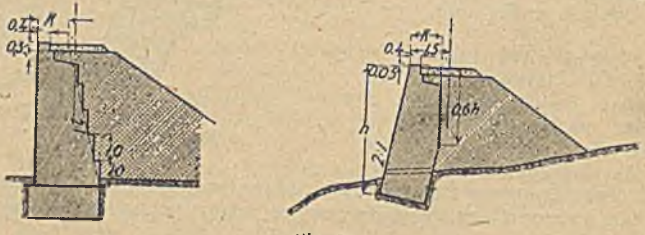


Fig. 54.

zawsze tańszy od pełnego. Zakrywszy przestrzenie między żebrami nie tylko od nasypu, ale także od góry sklepieniami lub płytami żelbetowemi, możemy uzyskać wnęki, przydatne dla rozmaitych celów.

Wzgląd na oszczędność i na stałość budowli wymaga gruntownego statycznego badania murów. Zw. najmn. szerokość korony muru z kamienia

łamanego 0,5 *m*; z betonu 0,3 *m*; z cegły — dwie cegły. Dając za murem układkę kamienną, zmniejszamy parcie na mur, co pozwala zmniejszyć szerokość korony o 5—10%. Projektując pełny mur z kamienia łamanego, można narazie przyjąć szerokość korony i kształt muru wedle wzorów, ułożonych przy projektowaniu licznych budowli i sprawdzonych praktyką (fig. 53 i 54), a następnie poprawić je wedle wyniku statycznego badania. Pochyłość lica pełnego muru przyjmujemy na 5 : 1 do 6 : 1, a tył robimy pionowy, co najlepiej ze względu na osiadanie nasypu, lub z odsadami wedle przebiegu linji ciśnienia.

Mur należy wykonać bardzo starannie na zaprawie cementowej. Przy murze z kamieni użyć dużych brył, wiązać dobrze, kłaść dobrze, spoiny dobrze wypełnić zaprawą. Dno fundamentu założyć pod granicą mrozu, 1,0—1,2 *m* w głąb gruntu. Fundament założyć bezpiecznie od podmycia i usunięcia się. Tył murów odwodnić kanalikami 10×15 lub rurkami najmniej $d = 5$ *cm*, przeprowadzonemi przez mur w stosownych miejscach i zabezpieczonemi u wlotu narzutem żwiru. Dla zapobieżenia pękaniu wskutek zmian cieploty lub nierównomiernego osiadania, należy długie mury wykonywać w odcinkach, pozostawiając między niemi wolne pionowe spoiny. Przy zasypywaniu muru należy postępować z wielką ostrożnością, żeby nie wywołać gwałtownego uderzenia masy zasypowej o mur. Należy sypać warstwy niegrube, około 30 *cm*, i starannie je ubić. Materjał najlepszy, który nie wywiera dużego parcia, a więc: żwir, piasek, kamień. Koronę muru utworzyć z możliwie wytrzymałego materjału i szczególnie staranie ją wykonać.

Tablica 27. Szerokość korony murów oporowych na zaprawie.

Nadsypka *H m*	Szerokość korony przy wysokości muru *h* w *m*													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	20
do 1	0,60	0,65	0,79	0,98	1,17	1,36	1,55	1,74	1,92	2,12	2,49	2,87	3,24	4,00
2	0,60	0,70	0,86	1,06	1,27	1,47	1,68	1,79	2,09	2,29	2,71	3,12	3,52	4,35
4	0,60	0,70	0,92	1,14	1,36	1,58	1,80	2,02	2,24	2,46	2,90	3,34	3,77	4,65
6	0,60	0,75	0,98	1,21	1,44	1,67	1,91	2,13	2,37	2,59	3,05	3,51	3,98	4,90
8	0,60	0,80	1,04	1,28	1,52	1,77	2,01	2,25	2,49	2,74	3,22	3,70	4,18	5,15
10	0,60	0,80	1,10	1,35	1,60	1,85	2,10	2,35	2,60	2,85	3,35	3,85	4,35	5,35
12	0,60	0,80	1,10	1,40	1,66	1,92	2,18	2,44	2,70	2,96	3,47	4,00	4,51	5,55
16	0,60	0,80	1,10	1,40	1,70	1,97	2,25	2,52	2,79	3,07	3,62	4,16	4,71	5,80
20	0,60	0,80	1,10	1,40	1,70	2,05	2,34	2,62	2,91	3,19	3,77	4,33	4,90	6,05
24	0,60	0,80	1,10	1,40	1,70	2,05	2,38	2,70	3,00	3,29	3,88	4,48	5,06	6,25
30	0,60	0,80	1,10	1,40	1,70	2,05	2,38	2,70	3,05	3,40	4,02	4,64	5,26	6,50
40	0,60	0,80	1,10	1,40	1,70	2,05	2,38	2,70	3,05	3,40	4,13	4,81	5,44	6,70

2. Mury podporowe projektuje się i wykonywa, jak mury oporowe. Grubość zw. może być mniejsza, bo podtrzymują materjał o spójności większej, niż spójność świeżo wzruszonego materjału nasypowego; ale nie da się ustalić ogólnie, o ile mniejsza. Zależy to głównie od spójności podpieranego gruntu, którą w każdym przypadku z osobna należy szacować. Budując koleje małopolskie, dawano murom podporowym z kamienia łamanego grubość taką samą, jak murom oporowym, w przekopach tych, których materjał jeszcze się trzymał przy stoku 3 : 2, a gdy trzymał się już przy stoku

5 : 4, zmniejszano ją o $\frac{1}{15}h - \frac{1}{20}h$ (fig. 55). Jednakże z grubością muru w koronie nie schodzono poniżej 0,6 *m*. Budując kolej Gothardzką, dawano murom podporowym z kamienia łamanego grubość taką samą, jak murom oporowym, w tych przekopach, których materjał jeszcze się trzymał przy stoku 3 : 2, a gdy trzymał się już przy stoku 5 : 4, zmniejszano ją o 20%, a gdy trzymał się już przy stoku 1 : 1, zmniejszano ją o 40%. Jednak grubość muru w koronie musiała wynosić najmniej 0,6 *m*.

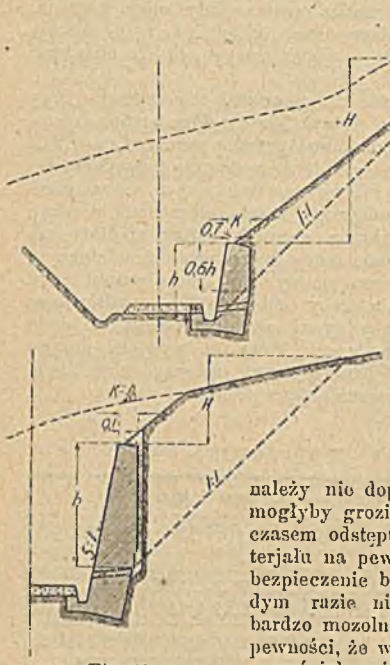


Fig. 55.

C. Usuwiska budowli ziemnych pociągają za sobą straty materjalne, najczęściej olbrzymie, i nierzadko ofiary życia ludzkiego; dlatego powinno się im jak najtroskliwiej zapobiegać. Stwierdziwszy, że dany grunt jest już w ruchu lub że budowlą można zburzyć jego równowagę — należy go ominąć. Decydujemy się i w nim budować, gdy koszt takiego ominięcia przenosi o wiele koszt zabezpieczenia budowli od osunięcia się. Tak samo należy nie dopuszczać do nasypu materjałów, które mogłyby grozić jego stałości, ale i od tego wskazania czasem odstępuje się, gdy zamiana podejrzanego materjału na pewny, kosztowałaby wiele więcej, niż zabezpieczenie budowli. Zabezpieczenia takie są w każdym razie niezmiernie kosztowne, wykonanie ich bardzo mozolne i trudne, a nie dają nigdy zupełnej pewności, że wystarczą. Plan ich powinno się wypracować jak najstaranniej, a wykonanie przeprowadzić, nim mogłoby nastąpić osuwanie się lub osunięcie budowli. Wstrzymanie bowiem ruchu gruntu i naprawa szkód powstałych są bez porównania mozolniejsze i droższe, niż zapobieżenie mu.

Usuwiska powstają zwykle z powodu wody, której nie spostrzeżono lub której działania nie uwzględniono dostatecznie. To też roboty zabezpieczające od osunięć, to prawie wyłącznie roboty nad odwadnianiem gruntu.

1. Usuwiska (osunięcia) w e w y k o p a c h. *a*) Największe rozmiarami i najpoważniejsze skutkami zachodzą w takich warunkach: wierzchnia warstwa gruntu przepuszczalna leży na nieprzepuszczalnej, pochyłonej poprzecznie. Wcinając przekop, zabieramy lub osłabiamy oparcie górnej stronie wierzchniej warstwy, która też zsuwa się w dół po powierzchni nieprzepuszczalnej warstwy, oślizgłej od wody.

Najlepszy środek zapobiegawczy — powiększenie tarcia między obu warstwami, co najskuteczniej osiągnąć odwodnieniem powierzchni ześlizgu. Jeżeli jej głębokość nieznaczna, 5—7 *m*, zakładamy sączki wzdłuż przekopu, 0,75—1,0 *m* szerokie, zapuszczone około 0,50 *m* w warstwę nieprzepuszczalną, o spadzie przynajmniej 1%, które chwytają wodę powierzchni ześlizgu i prowadzą ją do studzienek zbiorczych, skąd spływa do rowów przekopu. Sączki tworzymy najlepiej z kamienia. Czasem głębokość powierzchni ześlizgu jest tak znaczna, że okazuje się taniej bić szyby i od nich prowadzić sztolnie, niż kopać otwarte rowy. Najlepszy ten sam środek zaradczy, jeżeli i wierzchnia warstwa nieprzepuszczalna, ale pod nią leży warstwa wodonośna, spoczy-

wająca na następnej znowu nieprzepuszczalnej warstwie. Tak samo, gdy liczne cienkie warstwy nieprzepuszczalne, poprzegradzane warstewkami wodonośnemi, czyli gdy ma się liczne powierzchnie ześlizgu.

Inny środek zapobiegawczy to stworzenie oparcia usuwającym się masom, np.: przez mury podporowe; przez nasyp z ciężkiego, zdrowego materjału, danego, po oczyszczeniu powierzchni ześlizgu, na miejsce ściętej i wywiezionej części gruntu, mogącego się ześlizgnąć (fig. 56); przez danie murów podporowych z obu stron przekopu i rozparcie ich sklepieniami itd. Zwykle jednak wszystko to zawodzi, jeżeli nie osuszymy dostatecznie powierzchni ześlizgu.

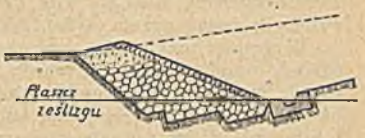


Fig. 56.

b) Drobniejsze osunięcia zachodzą zw. przez rozmoknięcie stopy stoku. Zdarza się to, gdy grunt łatwo rozpuszczalny, a woda ciągle stoi w rowach lub niemi przepływa. Środek zapobiegawczy — odsunąć stopę stoku od zewnętrznej krawędzi rowu, lub rów obrukować albo obmurować.

c) Drobniejsze rozmiarami osunięcia następują także, gdy grunt stoków ziemisty, ilasty, gliniasty wysącza wodę drobnemi licznemi żyłkami. W czasie mrozów wierzchnia warstwa stoku zamarza na pewną grubość, staje się nieprzepuszczalną, poza nią gromadzi się woda, a ta, rozmiękczając grunt, wytwarza powierzchnię ześlizgu, po której zsuwa się zmarznięta wierzchnia warstwa stoku. Środek zapobiegawczy — założenie sączków odwadniających nieco poniżej głębokości, do jakiej sięga mróz.

d) Wreszcie drobniejsze osunięcia widzimy w wyłuszczeniu stoków. Środek zapobiegawczy — w powierzchni wyłuszczenia zrobić wycięcia schodkowe i na miejsce wyłuszczonego materjału dać inny, zakładając w nim równocześnie sączki; najlepiej użyć materjału kamiennego.

2. Osunięcia nasypów. Zdarzają się:

a) gdy nasyp budowano na zboczu bez odpowiedniego przygotowania podłoża, zaniedbawszy: wycięcia stopni, rowów odwadniających od strony górnej, odwodnienia podłoża, jeżeli wysącza wodę (por. str. 66);

b) gdy budowano go z mokrego lub zmarzniętego materjału i gdy materjał sypano w sposób, przy którym łatwo tworzą się powierzchnie ześlizgu w samym nasypie. Należy tego nie dozwalać. W razie nieodpartej konieczności użycia materjału wilgotnego, trzeba go sypać warstwami, by łatwiej przesychał i by zapobiec wytworzeniu się płaszczyzn ześlizgu; a także trzeba dać w nasypie liczne sączki, by materjał dalej mógł osychać. Zmarznięte bryły usunąć. Praktykowane dawanie ich w stopę nasypu — ryzykowne, choć się je uprzednio rozdrobni;

c) gdy nasyp budowano na gruncie o warstwach pochylonych, między któremi mogą powstać powierzchnie ześlizgu czy to z powodu dostania się większej ilości wody między warstwy, czy też dlatego, że wielki ciężar nasypu zburzy istniejącą dotąd równowagę w układzie warstw. Wtedy następuje przesunięcie się wierzchniej warstwy gruntu po dolnej, przyczem zwyczajnie wierzchnia warstwa bywa wysadzona w górę tuż obok nasypu. Położenie to samo, co przy osunięciu się przekopów, środek zapobiegawczy też ten sam, tj. osuszenie powierzchni ześlizgu lub też przekroczenie danej przestrzeni nie nasypem, lecz wiaduktem, którego filary będą fundamentowane na dolnej pewnej warstwie. Inne sposoby, jak np. przytwierdzenie wierzchniej warstwy do dolnej palami, betonowemi słupami itd., jak podparcie nasypu murami

Fig. 57.

oporowemi lub narzutem kamiennym itp., mogą działać pomocniczo, obok odwodnienia; same są środkiem zawodnym.

3. Wstrzymanie ruchu, odbudowa. Bywają osunięcia się, które trwają bardzo długo, całemi miesiącami i latami nawet, i bywają nagłe. W pierwszym przypadku staramy się ruch wstrzymać, co najskuteczniej uczynić przez odwodnienie powierzchni ześlizgu; budowanie zapór w jakiejkolwiek postaci, mury, pale, nasypy z ciężkiego materjału itp. prawie zawsze zawodzą. Robi się więc to samo, co przy pracach, mających niedopuścić do ruchu gruntu, tylko, że w dużo cięższych warunkach.

W drugim przypadku — gdy budowla już się usunęła — musimy nieraz odwieźć osunięte masy (przychodzi to zawsze, jeżeli się osunął wykop), następnie uporządkować usuwisko, zastosować wszelkie zapobiegawcze środki na przyszłość i wreszcie samą budowlę doprowadzić do pierwotnego stanu. I tutaj robi się więc to samo, co przy pracach, mających nie dopuścić ruchu, tylko że w dużo cięższych warunkach i z dodatkiem kosztownych robót odbudowy (fig. 57).

LITERATURA.

Podręcznik do określenia kosztów robót budowlanych, prace Karbowskiego i Wielińskiego o normach dla robót ziemnych. Warszawa 1922—1924 (w druku).
Podstawy wartościowania dzieł budowniczych, roboty gruntowe i przewozy. 1921.
Skwarczyński, Podręcznik budowlany. Lwów i Warszawa 1925.
Frick et Canand. Tracé et terrassements. 1920.
Bazali. Preisermittlung itd. 1922.
Jansen, Bauingenieur in der Praxis. 1913.
Knauer, Erdbau. 1919.
Osthof, Kostenberechnung für Ingenieurbauten. 1909.
Willman, Erdbau (Handbuch d. Ingenieurwiss. I. Teil, 2. Band. 1905).
Rochefort, Urocznoje położenje. 1916.
Salmonowicz, Sostawlenje smiet. 1897.

Tunele.

W dziale niniejszym będą omówione tylko te budowle komunikacyjne, które wykonywa się w całości pod ziemią sposobami górniczemi czyli sposobami tunelowania; zatem pominięte zostaną tunele, wykonane na dniu w wykopach, jak np. tunele kolei miejskich.

Tunele, stosowane we wszystkich budowlach inżynierskich, mają na celu zmniejszenie spadku pewnej komunikacji, skrócenie jej długości lub ominięcie przeszkód różnego rodzaju. Trudności w budowie zależą od rodzaju przebijanego materjału, od ciśnienia, od wody, temperatury podziemnej, gazów, od położenia względem powierzchni ziemi, nadto od wymiarów przekroju poprzecznego i od długości. Stąd potrzeba dokładnych badań geologicznych i dążenie do zmniejszenia wymiarów. Teorje ciśnienia ziemi w tunelu czyli parcia gór jeszcze nie są bezwzględnie ustalone; z wielkością parcia zapoznaje sztolnia i zachowanie się jej obudowy.

Sztolnie. Kształt i średnie wymiary wedle fig. 58; powierzchnia 4—10 m^2 zależnie od ciśnienia ziemi, od sposobu transportu i wielkości przewodów wodnych, sprężonego powietrza itp. Zasadniczo bije się sztolnię z obu stron ku sobie, od wylotów, jedna lub dwie, wyjątkowo więcej, jako sztolnię spągową, gdy leży w dole pełnego przekroju tunelowego, lub stropową, gdy leży w górze. Jedna z nich zwie się kierunkową. Obudowa sztolni zależy od ciśnienia ziemi. W skałach obywamy się bez niej, albo też przez zaciągnięcie samych oczepów, *a* na fig. 59, lub oczepów wspartych na stojakach (węgarkach *s*); przez założone za nie deski rozstawione osła-

niamy przed obrywającemi się skałami. Gdy ciśnienie większe, tworzy się odrzwia (wieńce), usztywnione podłużnie wzajemnie rozporami, ∅ 0,15 do 0,20 *m*; brusy 4—8 *cm* zakłada się lub wbija po zaostrzeniu wprost lub przy pomocy klinów i podkładek, fig. 59. Odstęp stojaków 2,0—0,6 *m*, ∅ 0,25—0,35 *m*. Gdy ciśnienie bardzo wielkie, ciesiołka staje się górniczą: między odrzwia główne wstawia się pośrednie, proste lub rozporowe; wymiary rewna stają się większe. Obudowę wykonywa się najpowszechniej z krąglaków drewnianych (zw. z drzewa miękkiego o jak najprostszych połączeniach), a wtedy zwie się ciesiołką, niekiedy z żelaza walcowanego (tam, gdzie sztolnia jest definitywnym tunelem, a rama żelazna zostaje obetonowana, lub tam, gdzie ciśnienia są wyjątkowo wielkie).

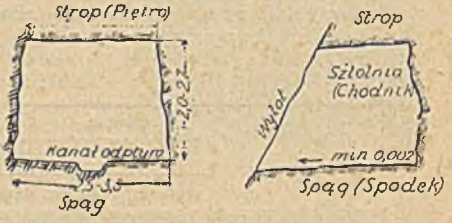


Fig. 58. (W nawiasie wyrażenia górnicze.)

Szyby. Rozróżnia się szyby: robocze (dla budowy), wentylacyjne (dla przewietrzania), komunikacyjne (ruchowe) na podziemnych kolejach miejskich i na podwodnych tunelach ulicznych, a wreszcie odwadniające dla tunelów podwodnych.

Szyby robocze, służące dla przyspieszenia bicia sztolni, bywają pionowe lub pochyłe; są rzadko stosowane; mają zw. kształt prostokątny, wymiary normalnie 5—12 m^2, czasem i więcej, głęb. 60—100 *m*, najw. do 250 *m* i podzielone są na przedziały dla transportu materjałów i ludzi, oraz dla umieszczania przewodów do pompowania wody, przewodów elektrycznych, powietrznych itp. Wymiary zależą od głębokości. Stoją na osi tunelu lub 6—20 *m* z boku. Obudowa w drzewie, wyjąwszy tych, które po ukończeniu tunelu pozostają w innym charakterze.

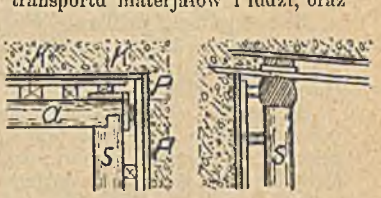


Fig. 59.

Szyby wentylacyjne prostokątne lub koliste, o wymiarach jak robocze, otrzymują niekiedy, przez zapuszczanie jako studnie, odrazu obudowę ostateczną z kamienia, cegły, betonu lub żelbetu.

Podobnie szyby odwadniające, których średnica zazwyczaj wynosi w świetle 4,5—5,5 *m*.

Szyby ruchowe zw. okrągłe, o wymiarach średnicy od 7—30 *m*, otrzymują obudowę ostateczną najczęściej z betonu, żelbetu lub żeliwa.

Wyłam czyli odbudowa. Wykonywa się stosownie do rodzaju ziemi i długości tunelu albo zwykłem wydobywaniem albo rozsadzaniem, jak w robotach ziemnych. Wiercenia dla rozsadzań wykonywa się ręcznie — w krótkich tunelach, w górach mniej jednolitych i mniej twardych — i maszynowo — w tunelach długich, gdzie szybkie przebicie sztolni przyspiesza ukończenie całego tunelu. Wiercenie maszynowe przy pomocy wiertarek pneumatycznych, hydraulicznych lub elektrycznych, wymaga rozległych i drogich instalacyj.

W sztolni postęp w rozsadzaniu zależy od szybkości wiercenia otworów, usuwania narzędzi wiertniczych, wybuchu i przewietrzenia, a przedewszystkiem od szybkości usuwania, tj. odwozu czyli transportu rozsadzonego materjału; czynności te razem zwą się włamem (atakiem). Ilość otworów wiertniczych w sztolni kierunkowej 5—25, 1—2 *m* głębokich, ∅ 30—70 *mm*, pochylonych do ściany włamu pod 10—20°. Do wybuchu doprowadza się najpierw otwory środkowe.

Dla przyspieszenia roboty, zwłaszcza w sztolni, używa się tylko gwałtownych materjałów wybuchowych: dynamitu, żelatyny wybuchowej, dynamitu żelatynowego itp., ostatnio i płynnego tlenu. Zapalanie powszechnie lontami. Postęp w sztolni na dobę: wiercenie ręczne 0,4—3,0 *m*, maszynowe 3—10 *m*. Ilość dynamitu 5—30 *kg/m*.

Wyłam pełnego przekroju odbywa się w pierścieniach czyli częściach długich 3—15 *m*, normalnie 6—9 *m*, dawniej i przy maszynowem wierceniu otworów w sztolni ręcznie, zaś w ostatnich latach pneumatycznemi wiertarkami rewolwerowemi (młotami wiertniczemi).

Postęp miesięczny wyłamu w metrach można przyjąć w projektach wedle tablicy 1.

Tablica 1.

Rodzaj ziemi	Sztolnia		Szyb		Pełny wyłam[1])	
	przy wierceniu					
	ręcznem	maszyn.	ręcznem	maszyn.	ręcznem	maszyn.
Płynna	5—8	—	2—5	—	2—5	Brak dat
Sypka	10—60	—	10—30	—	5—20	
Łupliwa, krucha	20—50	70—100	10—20		10—20	
Twarda	15—40	70—180	10—20	20—40	20—40	
Bardzo twarda .	10—20	70—150	5—10		20—30	

[1]) Jednotorowe tunele kolejowe (około 35 m^2 przekroju wyłamu).

Ze względu na możliwość zgniecenia omurowania przez cisnącą ziemię podnosi się je w kluczu ponad przepisany przekrój o 0,15—0,50 *m*, niekiedy i powiększa szerokość wolną między przyczółkami o 0,10—0,25 *m*; wyłamywany przekrój przeto musi być powiększony conajmniej o ten wymiar.

Transport. (Por. „Roboty ziemne“, str. 37.) Odwóz (wogóle transport) w sztolni odbywa się, jak przy robotach ziemnych, kolejkami roboczemi: zależnie od długości tunelu wózki bywają pchane przez ludzi, ciągnione przez konie do 600 *m*, lub lokomotywy pneumatyczne, parowe bez paleniska (o kotle napełnionym zewnątrz tunelu parą o wysokiem napięciu), benzynowe lub rzadziej elektryczne; te ostatnie w gotowych częściach długich tunelów. Szerokość toru 0,60—1,435 *m*, szyny od 4 *kg/m*, podkłady drewniane lub żelazne. Wózki skrzynkowe i pomostowe wąskie a długie, o podwoziu żelaznem a skrzyni i pomoście drewnianym, lub kolebkowe i skrzynkowe całe żelazne o pojemności 1,0—1,6 m^3; większe (do 2,5 m^3) mniej korzystne. Mijanki nawet w długich tunelach nieliczne. Mijanie czasami przez chwilowe wyciągnięcie w górę pustych wozów, t. zw. mijanka powietrzna. Ładowanie na wózki prawie tylko ręczne.

Czas jednego włamu w sztolni skraca wysoce szybki odwóz, który trwa 2—4 godzin. Koszta odwozu są 2—3 razy wyższe niż na wolnym szlaku.

W szybach uż. wyciągów różnych systemów, uruchomianych parą lub elektrycznością z sygnalizacją. Koszta 1,5—2 razy wyższe niż koszta odwozu w sztolni.

Przewietrzanie. *a*) Budowa: W tunelach krótkich odbywa się samo przez się, wyjątkowo w silnie zakrzywionych zachodzi potrzeba kominów przy wlocie, podgrzewanych piecami. W długich wyjątkowo buduje się szyby, zasadniczo zaś doprowadza do miejsc roboczych świeże powietrze rurociągami tłocznemi. Zapotrzebowanie świeżego powietrza liczy się na dobę dla 1 robotnika z lampą 240 m^3, 1 konia 850 m^3, 1 *kg* dynamitu 300 m^3.

b) Tunel z odbywającym się ruchem: Sztuczne przewietrzanie konieczne przedewszystkiem w tunelach kolejowych, górskich i miejskich,

nawet stosunkowo krótkich, gdy poped jest parowy. Odbywa się ono przez wtłaczanie świeżego lub wysysanie zepsutego powietrza przy pomocy umyślnych urządzeń i wentylatorów motorowych, różnych systemów (Saccardo, Guibal i in.) u wlotów. Same szyby wentylacyjne dają bardzo słabe wyniki, dlatego zawsze zaopatruje się je w motorowe wentylatory.

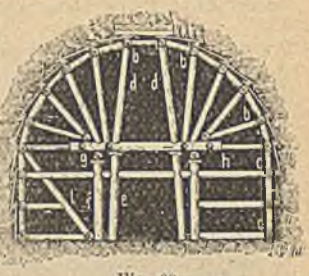


Fig. 60.

Temperatura. W długich, głęboko położonych sztolniach temperatura często podnosi się ponad 50° C. Człowiek pracuje jeszcze normalnie w 25—28° C. Temperaturę obniża się więc przez przewietrzanie i doprowadzenie zimnej wody.

Odwodnienie. Dopływ wody w sztolni czasowo dochodził do 10 m^3/sek. Odpływ z reguły za spadem sztolni kanałem spągowym, przy spadzie zaś sztolni ku przedsobiu przelewaniem lub pompowaniem. Wyjątkowo sztolniami poza obrębem tunelu. Tunele długie zakłada się zasadniczo w spadkach ku wylotom.

Oświetlenie. Każdy robotnik podczas budowy ma lampę oliwną lub acetylenową. Oświetlanie elektrycznością wyjątkowe jako bardzo kłopotliwe.

Wytyczanie. *a*) Przed budową: Polega na ustaleniu między wlotami kierunku, długości i różnicy wysokości. W terenach łatwych wykonywa się tyczenie wprost po gruncie zwykłemi metodami miernicznemi, w trudnych zaś kierunek i długość wyznacza się triangulacją. Przed wlotami osadza się zawsze punkty stałe z punktami celowniczemi na kierunku prostym, a jeżeli tunel w łukach, to dla przedłużonych skrajnych stycznych również punkty stałe wysokościowe.

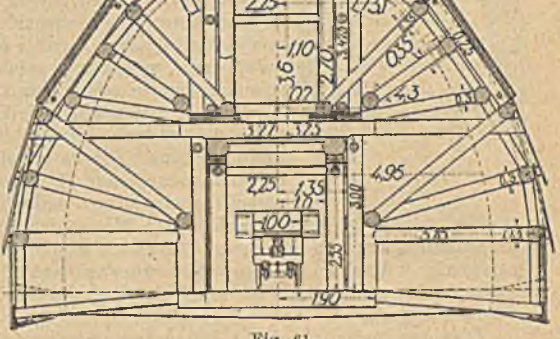


Fig. 61.

b) W tunelu w czasie budowy: Ważniejsze wyznaczenia kierunku i wysokości wykonywa się zawsze na nowo z owych punktów stałych przed wlotami. Pomiary przeprowadza się przy pomocy świateł silnych lamp, oświetlających przyrządy, i umyślnych aparatów ze światłem.

Tyczenie łuków idzie najlepiej kątami obwodowemi.

Obudowa tymczasowa pełnego przekroju. Najpowszechniej w ciesiołce, wyjątkowo w żelazie, a nawet w murze. Z powodu zgniecień i skręceń wyłam zależnie od rodzaju ziemi robi się szerszy, a zwłaszcza wyższy od zewnętrznych ścian (obudowy stałej) omurowania. Podparcie więzarami, fig. 60 i 61, przyczem belki główne na obwodzie więzaru układa się albo równolegle do osi tunelu, fig. 60, albo w płaszczyźnie więzara, fig. 61. W systemie pierwszym, płatwiowym lub podłużnym bywają więzary albo wachlarzowe, fig. 62, albo z belką pośrednią długą, fig. 61, lub krótką, fig. 60.

W systemie drugim, krokwiowym (poprzecznym) więzary wykonywa się z belką pośrednią długą lub krótką.

Więzarów 2—5. Płatwie ϕ 25—60 *cm*, krokwie nieco słabsze, rozpory ϕ 15—25 *cm*. Poza płatwie i krokwie zakłada lub wbija się brusy w te same sposoby, jak w sztolni, zależnie od ciśnienia ziemi. Obudowa płatewkowa stosowana częściej jako korzystniejsza.

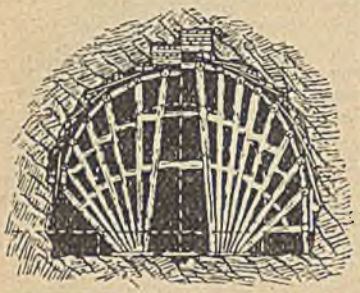


Fig. 62.

Obudowa czysto żelazna (system Rziha'y z części odlanych należy do historji) ze starych szyn lub kształtowników używana wyjątkowo, jako znacznie droższa od drewnianej; częściej używano kształtowników na obwodzie drewnianych więzarów lub jako krążyny dźwigające w systemie Kunza (1920).

Obudowa stała. Omurowanie w pierścieniach zaczyna się z reguły od przyczółków *P*, potem idzie sklepienie *S*, a wkońcu ewentualnie sklepienie spągowe *R*, fig. 63, chociaż porządek ten bywa też niekiedy odmienny. Materjały omurowania: kamień łamany, cios półobrobiony i czysty, cegła, klinkier, beton ubijany, kamienie sztuczne i żelbet. Zaprawa zwykle cementowa, rzadko cementowo-wapienna i z wapna hydraulicznego. Te ostatnie zaprawy używane tylko w tunelach suchych i o małem ciśnieniu.

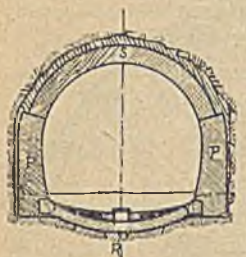


Fig. 63.

Kamień łamany, bardzo powszechnie używany, musi być absolutnie nie wietrzejący i o dużej wytrzymałości; naprężenie dopuszczalne na ciśnienie muru $k_c = 20$, najw. 25 *kg/cm²*. Ciosu półobrobionego 25—30 *kg/cm²*, ciosu czystego 50—60 *kg/cm²*. Cios czysty używany często w sklepieniach, wogóle, gdzie wielkie ciśnienia. Cegła i klinkier mimo pewnych zalet mało sąstosowane, $k_c = 25—30$ *kg/cm²*. Kamienie betonowe, mieszanina 1 : 6 — 1 : 7, o wymiarach dowolnych, najczęściej wielkość 1—4 cegieł, w tunelach o małych ciśnieniach, $k_c = 20—25$ *kg/cm²*, mało używane. Lepsze od nich prasowane kamienie cementowo-wapienne. Beton ubijany, używany w tunelach suchych o małych ciśnieniach i rzadziej w sklepieniach; głównie jako okładzina. Mieszanina 1 : 9 — 1 : 3, niekiedy dla szczelności z wapnem lub trasem. Żelbet z wkładkami z kształtowników (jako rama) albo z drutów; używany gł. w tunelach kolei i kanałów miejskich dla oszczędności wymiarów i w tunelach dla wody pod ciśnieniem, oraz przy rekonstrukcjach.

Obudowa żelazna opisana jest w metodzie rurowania.

Wymiary omurowania. Zależą od ciśnienia, materjału i przekroju w świetle. W skale litej, nie wietrzejącej omurowanie odpada, lub co lepiej, wykonywa się okładzinę (o grubości w kamieniu łamanym 0,35—0,50 *m*, w betonie ubijanym 0,20—0,30 *m*, w żelbecie 10 *cm*), ponieważ późniejsze roboty podczas ruchu są zawsze kłopotliwe i kosztowne. Dlatego wymiary omurowania długich tuneli są zawsze silne. Wymiary muru z kamienia łamanego dla jedno- i dwutorowych tunelów kolejowych, z najnowszych tunelów austrjackich (1900—1909) podaje tablica 2.

Obliczanie wymiarów omurowania jest możliwe przy niektórych przyjęciach lub w niektórych warunkach terenowych wedle reguł statyki budowli. Częściej przyjmuje się je wedle wymiarów tunelów wykonanych.

Wykonanie omurowania. Zawsze pierścieniami nie łączonemi z sobą. Robota z powodu ciasnoty, usuwania obudowy tymczasowej, lichego oświe-

Tablica 2. (Wymiary w metrach).

Ciśnienie	Tunele jednotorowe					Tunele dwutorowe				
	Sklepienie	Przyczółek			Sklep. spąg.	Sklepienie	Przyczółek			Sklep. spąg.
		3,0	2,4	0,5			3,1	1,9	0,0	
		nad niweletą					nad niweletą			
Słabe	0,50	0,50	0,50	0,75	—	0,50	0,50	0,50	0,95	—
	0,50	0,60	0,65	0,90	—	0,50	0,65	0,80	1,25	—
Silne	0,50	0,65	0,80	1,10	0,40	0,65	0,80	0,95	1,65	0,50
	0,60	0,70	0,80	1,70	0,50	0,80	0,95	1,10	1,80	0,65
	0,80	1,00	1,15	1,85	0,70	1,30	1,85	2,00	2,45	1,00

tlenia i przeszkód z powodu innych robót jest trudna. Wymiarów przepisanych musi się zawsze dochować. Przyczółki z reguły muruje się aż do skały, rzadziej tylko o przekroju podanym, wypełniając resztę szczelnym suchym murem; sklepienie natomiast wykonywa się o przekroju podanym, a po jego pokryciu, wypełnia się próżnię murem suchym lub na zaprawie. Sklepienie spągowe muruje się łękami o szerokości 2,0—2,5 *m*. Przyczółki muruje się wedle szablonów, sklepienie na krążynach z drzewa, lub z żelaza, tak silnych i tak więzarami podpartych, aby wytrzymały ciśnienie ziemi, które na nie przenosi się w miarę usuwania z powodu murowania obudowy tymczasowej. Odstęp krążyn min. 0,9 *m*, pokrycie wąskiemi brusami (beleczkami), ustawienie najlepiej na klinach.

W miejscach, gdzie występuje woda, po wyrównaniu sklepień zaprawą, pokrywa się je blachą żelazną zwykłą, falistą, cynkową, ołowianą, płytami betonowemi lub żelbetowemi i matami odpowiednio impregnowanemi; najlepsze są maty (juta) z blachą ołowianą. Przy rekonstrukcjach wykonywa się uszczelnianie sklepienia przez wtłaczanie zaprawy cementowej pod ciśnieniem. Woda z poza sklepienia albo sączy się otworami u wezgłowia po widocznej ścianie przyczółka lub poza przyczółkiem, i to albo przez suchy mur, albo przez umyślne pionowe kanaliki, wypełnione kamieniem lub puste, i uchodzi albo do kanału spągowego albo powyżej niwelety.

Wloty (portale) stosują się do kształtu i warunków terenowych. Najprostsze typy są o skrzydłach prostopadłych i równoległych do osi. Niekiedy wykonywa się je o bogatszej architekturze.

Metody budowy. Tunele o małym przekroju (np. wodociągowe, odwadniające itp.) wyłamuje się albo odrazu w pełnym przekroju (metoda bezsztolniowa) lub najpierw w kalocie, potem między przyczółkami, i obudowuje tymczasowo krokiewkami, często żelaznemi. Omurowanie wykonywa się w następującym porządku albo: 1. sklepienie spągowe, 2. przyczółki, 3. sklepienie, albo: 1. przyczółki, 2. sklepienie, 3. sklepienie spągowe.

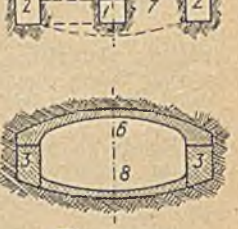


Fig. 64 i 65.

Dla tuneli o dużych wymiarach metod głównych jest cztery; z nich wyrobiły się metody kombinowane.

Metoda francuska czyli niemiecka, fig. 64 i 65, polega na wyłamaniu z sztolni, jednej lub dwóch, tylko tyle góry, ile potrzeba dla murowania. Pozostaje ośrodek ziemny, na którym wspiera się obudowa tymczasowa, aż do ukończenia omurowania, wykonywanego w porządku: 1. przyczółki, 2. sklepienie, 3. ew. sklepienie spągowe, lub: 1. sklepienie, 2. przyczółki. Metoda

korzystna jest w gruntach zwięzłych, nie cisnących i w tunelach o dużym przekroju (stacje kolei miejskich podziemnych, fig. 64 i 65, duże kanały żeglugi).

Metoda belgijska, fig. 66 i 67: z sztolni spągowej lub stropowej wyłamuje się najpierw kalotę, muruje sklepienie, potem wyłamuje kolejno i muruje z podchwytywaniem sklepienia jeden, potem drugi przyczółek, a nakoniec ewentualnie sklepienie spągowe. Obudowa tymczasowa płatewkowa. Metoda, jakkolwiek (zwłaszcza dawniej) często stosowana, ma pewne ujemne strony. Odpowiednia dla tunelów o niewielkim przekroju, np. jednotorowe tunele kolejowe, w skałach suchych, dość wytrzymałych, ale nie wymagających nazbyt silnych rozsadzań. Do gruntów cisnących się nie nadaje.

Metoda angielska, fig. 68, 69 i 70: wyłam z reguły z sztolni spągowej; potem przez sztolnię stropową wyłamuje się kalotę i dół, czyli wykonywa się

Fig. 66 i 67.

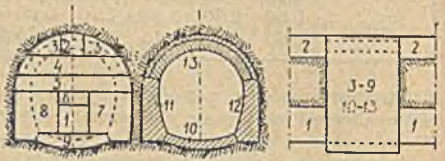


Fig. 68, 69 i 70.

przed murowaniem całkowity wyłam, ale tylko w jednym pierścieniu, nie naruszając zupełnie najbliższych, fig. 70. Ciesiołka tylko podłużna o jednym więzarze, gdy końce płatewek opierają się na wykonanem sklepieniu, lub o dwóch więzarach, zatem przestrzeń w całym pierścieniu otrzymuje się wolną. Porządek omurowania: 1. przyczółki, 2. sklepienie, 3. ewentualne sklepienie spągowe, lub (fig. 69): 1. sklepienie spągowe, 2. przyczółki, 3. sklepienie. Po ukończeniu omurowania pierścienia wolno przystąpić do wyłamu pierścieni sąsiednich; przeto powolny postęp ogólny. W tej pierwotnej formie prawie nieużywana. Korzystna dla tunelów prawie suchych, o niewielkiem ciśnieniu.

W metodzie austrjackiej, fig. 71, również wykonywa się wyłam — obojętne, z jakiej sztolni — w całości przed rozpoczęciem murowania i to postępując pierścień za pierścieniem, niejako schodkami w kierunku osi tunelu. Podobnie i omurowanie. Równocześnie przeto w robocie, zależnie od ciśnienia, za porządkiem 2—5 pierścieni, czyli 5—50 *m* tunelu. Obudowa tymczasowa płatewkowa, albo krokwiowa górą, dołem płatewkowa z odpowiednią ilością więzarów. Omurowanie idzie w dowolnym porządku. Metoda nadaje się do wszelkich gruntów; dużo miejsc roboczych, więc postęp ogólny szybki.

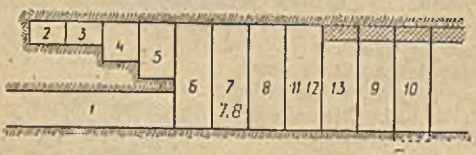


Fig. 71.

Metody rurowania są dwie; zasadniczo sztolni się nie pędzi, więc odrazu wykonywa się wyłam pełnego przekroju pod osłoną części lub całkowitej rury żelaznej, w pierwszej w zwykłem, w drugiej w ścieśnionem powietrzu.

W pierwszym wypadku — rurowanie zwykłe — albo część górna rury albo cała rura o przekroju dostosowanym do przekroju tunelu posuwa się w teren — przy równoczesnem jego wydobywaniu — zapomocą dźwigów hydraulicznych, opartych o wykonane omurowanie poprzedniej części, przytem rura obejmuje omurowanie na pewnej długości. Omurowanie dowolne, najczęściej betonowe. Metoda stosowana w ziemiach luźnych lub mało spoistych, suchych.

Budowę tunelów w ziemiach nasiąkłych wodą, a więc przedewszystkiem tunelów podwodnych, wykonuje się rurowaniem pneumatycznem, fig. 72 i 73. Pełna rura, o długości znaczniejszej, zawiera poza ostrzem *o* i częścią, w której pracują robotnicy, oraz poza częścią dla dźwigów powietrzną śluzę komorową. Omurowanie w pierścieniach z żeliwa o szer. około 0,50 *m* lub żelaza walcowanego o szer. ok. 0,25 *m*; pierścień skł. się z części ześrubowanych. Zewnątrz chroni się żelazo przez wtłaczanie przez otwory w żelazie zaprawy cementowej, wewnątrz najczęściej też się żelazo obetonowuje.

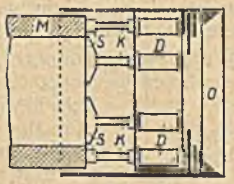


Fig. 72 i 73. *O* ostrze, *D* dźwig, *K* jego trzon i *S* stopa, *M* gołowe omurowanie.

Kilka tunelów wykonano też metodą zamrażania gruntu.

Tunele kolejowe. *a*) Tunele górskie: Kształt przekroju w świetle tunelów jednotorowych jest prawie eliptyczny, dwutorowych więcej kołowy. Wymiary poza skrajnią mają być najmniej o 0,20 *m*, lepiej o 0,40 *m* w jednotorowych, a o 0,30 *m* w dwutorowych większe przez wzgląd na roboty konserwacyjne, a w jednotorowych przez wzgląd na opór powietrza, który jest wcale znaczny, 1,5—2,5 razy większy niż na otwartym szlaku; również należy uwzględnić rozszerzenie i przechyłkę toru w krzywiznach.

Tunele na kolejach jednotorowych, które w przyszłości mogą być przebudowane na dwutorowe, buduje się odrazu jako dwutorowe, gdy tunel jest długi lub gdy ciśnienie jest duże.

Przeciętne wymiary w świetle podaje tablica 3.

Tablica 3.

Wymiary w *m*	Tor normalny		Tor 1,0 *m* szeroki
	jeden	dwa	
Największa szerokość	5,0—5,5	8,0—8,9	3,5—4,5
Szerokość w poziomie niwelety .	4,4—6,5	6,0—8,3	4,0
Wysokość ponad niweletą . . .	$\geq$ 5,5	6,0—7,4	4,2—5,0

Tunele krótkie zakłada się w tem samem pochyleniu podłużnem, co kolej, a w czasie budowy, ze względu na odwodnienie i na transport, o ile możności nie poziomo; tunele długie w spadkach 0,002—0,005, założonych obustronnie ku wylotom. Spadek graniczny zmniejsza się o $^1/_2$ z powodu oślizgłych wilgocią szyn.

Kierunki tunelów krótkich dajemy takie, jakie wypadają z trasy kolei, zaś długich tunelów z reguły proste, tylko części u wylotów niekiedy w łukach.

b) Tunele miejskie. Kształt przekroju często odmienny od normalnego ze względu na skrajnię, stosuje się, jak zwykle, i do parcia ziemi albo też i do stosunków wody gruntowej i głębokości pod terenem. Przekrój prawie zawsze dwutorowy i o kształtach tunelów kolei górskich, z wyjątkiem części rurowanych, gdzie dla zmniejszenia trudności budowlanych wykonywa się dwie osobne rury, co jest korzystne również ze względu na spadki, pomyślane dla wjazdu i wyjazdu z przystanków odmiennie dla jednego i drugiego toru. Kierunki dowolne. Budowa tunelów miejskich przeważnie trudna i kosztowna.

Tunele kolei miejskich i tramwajów wykonywa się bardzo często nie metodami tunelowania, lecz w otwartych wykopach różnemi metodami fundowania. Są to niekiedy budowy nader pomysłowe, piękne pod względem inżynierskim.

Tunele dla kanałów spławnych. Przekrój z reguły dla jednej łodzi, o wymiarach dostosowanych do tejże łodzi; dla zmniejszenia oporów ruchu między łodzią, a ścianą tunelu wolna przestrzeń 1,0—1,5 *m*. Najczęściej tylko jednostronna ścieżka holownicza, przeciętnie 1,0—1,5 *m* szeroka, umieszczona często dla powiększenia przekroju wody, a więc dla zmniejszenia oporów ruchu na wspornikach. Niweleta pozioma.

Tunele (sztolnie) dla wody roboczej. Kształty i wymiary najrozmaitsze. Spadki nie przekraczają naogół 0,003, aby nie wywołać chyżości szkodliwej dla omurowania. Długości rozmaite, często b. znaczne. Kierunek zasadniczo prosty. Obudowa szczelna.

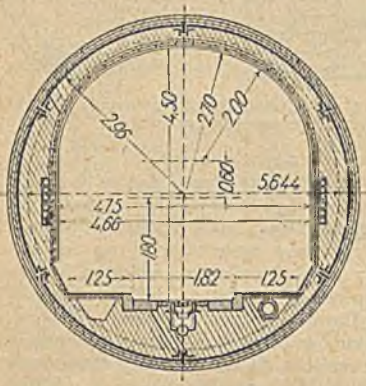


Fig. 74.

Przy przegrodach dolin często spotyka się i szyby. To samo prawie da się powiedzieć o tunelach dla wodociągów (tunel Schandacken dla N. Jorku dł. 29 *km*), kanalizacji, potoków i urządzeń odwadniających.

Tunele drogowe i uliczne. Pierwsze bardzo nieliczne, krótkie, o zmniejszonych wymiarach drogi w przekroju poprzecznym. Tunele uliczne dzielą się na górskie i podwodne. Górskie otrzymują zazwyczaj dużą szerokość (do 20 *m*) dla pomieszczenia jezdni i chodników. Tunele uliczne podwodne przeznaczane bywają albo dla ogólnego ruchu ulicznego albo tylko dla pieszych albo tylko dla pojazdów. Często dwa równoległe. Obecnie powszechnie budowane metodą rurowania, fig. 74, o zewnętrznej średnicy rury zwykle nie większej nad 10,0 *m*. Przy nich prócz ramp szyby z wyciągami. Oświetlenie tunelów ulicznych elektryczne; nadto w długich sztuczne przewietrzanie.

LITERATURA.

Legoucz: De l'emploi du bouclier. Paris 1897.
Brunton, Davis and Davies: Modern Tuneling. London 1921.
Birk Al.: Der Tunnelbau. Leipzig 1922.
Doležalek: Der Eisenbahntunnel. I. Berlin 1919.
Handbuch der Ing.-Wiss.: Tunnelbau. Leipzig 1920.
Handbuch für Eisenbetonbau: Tunnelbau, Stadt- und Untergrundbahnen. Berlin 1912.
Lucas G.: Der Tunnel. Berlin 1920.

Drogi.

I. Ruch na drogach.

1. **Ruch pieszy** wymaga ze względu na swobodę i bezpieczeństwo na drogach więcej ożywionych wyodrębnienia go od ruchu kołowego na chodnikach lub poboczach.

Obciążenie: ciśnienie (statyczne) stopy człowieka na nawierzchnię drogi 0,3—0,5 kg/cm^2; dynamiczne (przy uderzaniu stóp o nawierzchnię podczas ruchu) może być kilkakrotnie większe. Jeden człowiek w gęstym tłumie zajmuje powierzchnię 0,3—0,4 m^2.

Tablica 1. Wymiary wozów.

Rodzaj wozów	Średnica kół w *m*		Szerokość obręczy kół w *cm*	Szerokość kolei w *m*	Odległość osi w *m*	Długość bez dyszla w *m*	Szerokość ładunku w *m*	Wysokość z ładunkiem w *m*	Własna waga wozu w *t*	Ładunek w *t*	Ciśnienie na 1 *cm* szerokości obręczy wozów w *kg*
	przednich	tylnych									
Lekkie wozy osobowe	0,85—1,0	1,1—1,4	4—5	1,1—1,25	1,5—2,0	2,5—3,0	1,5—1,7	2,0	0,6—0,7	0,25—0,4	50—60
Zwykłe wozy gospodarskie	0,9—1,4	1,1—1,5	6—10	1,1—1,25	2,4—3,5	3,0—5,0	1,7—2,0	1,6—1,8	0,6—1,0	2,0—2,5	100—130
Duże wozy gospodarskie	0,9—1,4	1,1—1,5	6—10	1,1—1,25	3,5—5,2	5,0—6,5	2,5—3,5	2,5—4,4	0,8—1,2	2,5—3,5	120—150
Dwukonne wozy ciężarowe	0,9—1,4	1,1—1,5	7,5—12	1,2—1,35	2,5—3,5	3,5—5,0	2,0—3,0	3,0—4,0	1,2—2,0	3,5—5,0	150—160
Platformy (pomosty)	0,75	0,9	7,5—10	1,1—1,3	2,5—3,0	4,0—6,0	1,7—3,0	1,4—2,5	1,0—1,3	2,5—4,0	120—150
Czterokonne wozy meblowe	0,75	0,9	8,5—12	1,3—1,5	2,5—4,0	5,0—9,0	2,3	3,0—3,4	2,0—2,5	5,0—6,0	180—200
Ciężkie wozy ciężarowe	0,9	1,15	12—20	1,2—1,5	3,0—4,0	3,5—6,0	2,0—3,5	3,5	2,5—5,0	6,0—7,0	180—200

2. Ruch zwierząt domowych, głównie koni i bydła rogatego. Rzadziej wymaga wyodrębnienia od ruchu kołowego i przeznaczenia odrębnej części drogi. Obciążenie statyczne 0,6—1,0 kg/cm^2; dynamiczne może być kilkakrotnie większe.

Przy użyciu energji równej normalnej sile pociągowej konia ($= \frac{1}{5}$ jego wagi własnej), max. wzniesienia, po którem koń może poruszać się, nic nie ciągnąc i nie mając na sobie żadnego ciężaru, wynosi około 20%; przy użyciu energji dwa razy większej ($= 2 \cdot \frac{1}{5}$ jego wagi własnej), max. wzniesienia drogi dla konia nieobciążonego ok. 44%.

3. Ruch pojazdów, ciągnionych przez zwierzęta pociągowe. Wymaga: 1. budowy odpowiedniej do ruchu jezdni, 2. nadania drodze odpowiedniego przekroju poprzecznego i podłużnego, 3. przy zmianach kierunku drogi — łuków o odpowiednich promieniach.

Urządzenie wozów. Zwykłe wozy gospodarskie (używane w rolnictwie) posiadają przedni skręt 20—35°; tylny skręt, uż. przy przewozie długich kloców drzewa, wynosi 20—25°. Szerokość kolei (rozstaw kół) wozu waha się w znacznych granicach i zależy od miejscowości i przeznaczenia wozu. Szerokość obręczy kół u wozów winna być taka, aby ciśnienie koła na nawierzchnię drogi nie niszczyło tej ostatniej. Max. ciśnienie na 1 *cm* bieżącej szerokości obręczy nie powinno przekraczać 150 *kg* (norma paryskiego zjazdu międzynarodowego 1922 r. w sprawie ustalenia przepisów ruchu, przyjęta w polskich przepisach porządkowych na drogach). Długość zaprzęgu przy dyszlu 4—5 *m*, przeciętnie 4,2 *m*, długość zaprzęgu w drugim rzędzie 3,8—4,0 *m*. Największa szerokość ładunku 3,0 *m*. Waga własna wozu przeciętnie na 1 pociągowe zwierzę 300—1000 *kg*, średnio 500—600 *kg*.

Ruch wozów na równi. Siła pociągowa winna przezwyciężyć opór wewnętrzny wozu (tarcie w piastach kół), który przy należytem smarowaniu jest nieznaczny, oraz opór zewnętrzny („tarcie potoczyste") kół o nawierzchnię drogi; opory powietrza nie bierze się w rachubę.

Dla określenia oporu ruchu wozu na równi W używa się prostego wzoru:

$$W = \varphi Q; \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

we wzorze powyższym W = całkowity opór ruchu (zewnętrzny + wewnętrzny); φ = spółczynnik oporu, zależny od rodzaju nawierzchni i jej stanu; Q = waga wozu wraz z ładunkiem.

Oprócz tego φ zależy od szybkości ruchu wozów i szerokości obręczy kół. Przeciętne wartości por. tabl. 2.

Tablica 2.

Nawierzchnia	φ	Nawierzchnia	φ
Sypki piasek	0,200—0,250	Zwykły bruk	0,060—0,070
Sypki żwir (bez lepiszcza)	0,100—0,160	Zwykły bruk w dobrym stanie	0,040
Droga żwirowana (z lepiszczem)	0,035—0,075	Naw. z klinkieru	0,013—0,028
Zwykła droga błotnista	0,100—0,120	Naw. z duż. kostek kam.	0,022—0,045
Twarda glina	0,060	Bruk mozajkowy	0,016—0,025
Twarda, sucha droga gruntowa	0,045	Bruk asfaltowy	0,008
Droga bita nieuwalcow.	0,120	Tory żelazne w drogach kołowych	0,004—0,005
Dobra droga bita	0,015—0,025	Bruk drewniany z drzewa miękkiego	0,010—0,033
Droga bita w śr. stanie	0,025—0,045	Bruk drewniany z drzewa twardego	0,013
Droga bita w złym stanie	0,045—0,080		

Możliwość ruchu wozu na równi jest wtedy, gdy

$$P \leqq \varphi Q; \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

gdzie P = siła pociągowa; φ oraz Q j. w.

Ruch wozu na wzniesieniu (spadku). Gdy wóz ciągniony jest po drodze ze wzniesieniem o nachyleniu pod kątem α^0 do poziomu, siła pociągowa potrzebna do ciągnięcia wozu

$$P \operatorname{tg} \alpha \geqq \varphi Q + (Q + G) \operatorname{tg} \alpha; \quad \ldots \ldots \ldots \quad (3)$$

gdzie P, Q, φ j. w., zaś G = waga własna zwierząt, ciągnących wóz.

Przy $\varphi = \operatorname{tg} \alpha$ we wzorze (3) mamy:

$$P \operatorname{tg} \alpha = 2 \varphi Q + \varphi G \quad \ldots \ldots \ldots \quad (4)$$

Ponieważ G w stosunku do Q jest zwykle małe, przyjmujemy w przybliżeniu, że przy $\operatorname{tg} \alpha = \varphi$ siła pociągowa $P = \infty 2 \varphi Q$, że zatem siła pociągowa potrzebna na wzniesieniu $\operatorname{tg} \alpha = \varphi$ winna być dwa razy większa, niż siła pociągowa, potrzebna dla ciągnięcia po poziomym odcinku drogi tego samego wozu z tym samym ładunkiem.

Gdy wóz ciągniony jest w dół po drodze o spadku α do poziomu, potrzebna siła pociągowa

$$P \geqq \varphi Q - (Q + G) \operatorname{tg} \alpha \quad \ldots \ldots \ldots \quad (5)$$

Pomijając stosunkowo mały wyraz G, otrzymamy

$$P = Q (\varphi - \operatorname{tg} \alpha) \quad \ldots \ldots \ldots \quad (6)$$

Przy $\operatorname{tg} \alpha = \varphi$ mamy $P = 0$ — tj. wóz może się toczyć (w dół) sam.
„ $\operatorname{tg} \alpha > \varphi$ „ $P < 0$ — tj. należy wóz wstrzymywać (hamować).

Praca zwierząt pociągowych. Normalna siła pociągowa konia:

$$P = \alpha . G, \quad \ldots \ldots \ldots \quad (7)$$

gdzie spółczynnik α równy $\frac{1}{5} - \frac{1}{7}$.

Przeciętnie: słaby koń: $G = 250\ kg$; $P = 60\ kg$
średni koń: $G = 350\ kg$; $P = 75\ kg$ } średnio $P = 75\ kg$.
silny koń: $G = 450\ kg$; $P = 85\ kg$

Siła pociągowa wołu = 60—100 kg; muła = 50—70 kg; osła = 30—40 kg.

Wyzyskanie siły pociągowej zwierząt zmniejsza się z powiększeniem ilości koni w zaprzęgu (tabl. 3).

Tablica 3.

Liczba koni w zaprzęgu	1	2	3	4	5	6	7	8
Stopień wyzyskania siły pociągowej konia....	100%	98%	87%	80%	73%	64%	55%	49%

Szybkość ruchu konia:

v = 0,6 m/sek. — wolny stęp
v = 1,0—1,1 m/sek. — stęp
v = 2,0 m/sek. — szybki stęp
v = 3,0—4,0 m/sek. — trucht (wolny kłus)
v = 4,0—6,0 m/sek. — kłus
v = 12,0—16,0 m/sek. — galop (tempo wyścigowe)

Praca konia jest wewnętrzna — dla przenoszenia własnego ciała, i zewnętrzna — dla przewożenia wozów z ładunkami. Praca dzienna konia w stępie może wynosić do 10000 . $G\ kg/m$, gdzie G = waga własna konia w kg; z czego jednak przy stępie ok. 54% idzie na pracę użyteczną, reszta — na pracę wewnętrzną. W kłusie praca użyteczna wynosi 13—16% całej ilości pracy konia.

Wydajność pracy konia: $L = Pvt$, $\ldots \ldots \ldots \quad (8)$

gdzie L = ilość pracy wykonanej w ciągu dnia roboczego, P = przeciętna siła pociągowa, z jaką koń pracuje, v = przeciętna szybkość ruchu w m/sek., t = czas pracy dziennej.

Podług Lechalasa: $L_{max} = P_0 v_0 t_0$ przy $P_0 = \frac{1}{5}$ wagi konia,

$$v_0 = 0{,}8\ m/\text{sek.},\ t_0 = 8\ \text{godz.}$$

Praca przy stałem utrudzeniu będzie miała miejsce, gdy

$$L_{max} = P_0 v_0 t_0 = P v t_0,$$

tj., gdy przy 8-godzinnym dniu pracy koń pracuje z taką P i v, żeby wydajność pracy była równa maksymalnej.

Wzór Mascheka: $$P = P_0 \left(3 - \frac{v}{v_0} - \frac{t}{t_0}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

podaje zależność wielkości siły pociągowej przy szybkości v i czasie trwania pracy t w zależności od normalnej (najkorzystniejszej) siły pociągowej P_0, przy szybkości v_0 i czasie trwania pracy t_0. Wzór (9) daje rezultaty zgodne z rzeczywistością, gdy v i t niezbyt się różnią od v_0 i t_0.

Siła pociągowa konia w stosunku do jego siły pociągowej normalnej może być powiększona nawet 3—4 razy, jednak bez szkody dla zdrowia konia można ją tylko podwoić (= 2 P_0) z warunkiem, aby praca w tych warunkach nie była zbyt długa (np. aby odcinek drogi ze wzniesieniem, wymagającem podwojenia siły pociągowej nie był dłuższy niż 500—600 m).

W tablicy 4 obliczony został ze wzoru $Q = \frac{P_0 - G \operatorname{tg} \alpha}{\varphi + \operatorname{tg} \alpha}$ [por. wzór (3)] ciężar (waga wozu + ładunek użyteczny), jaki koń może ciągnąć normalną siłą pociągową na rozmaitych wzniesieniach po drogach z różnemi spółczynnikami oporu; w obliczeniach przyjęto $G = 350\ kg$, $P_0 = 75\ kg$, $v_0 = 1{,}1\ m/\text{sek.}$, $t_0 = 8$ godz.

Tablica 4.

Wielkość wzniesienia (tg α)	Wielkość Q przy nawierzchni ze spółczynnikiem oporu φ =								
	= 0,000	= 0,010	= 0,013	= 0,020	= 0,025	= 0,033	= 0,050	= 0,100	= 0,143
0,000....	11250	7500	5625	3750	3000	2250	1500	750	525
0,005....	6279	4883	3995	2930	2442	1911	1332	698	495
0,010....	4290	3575	3064	2383	2043	1630	1192	650	468
0,020....	2550	2267	2040	1700	1511	1275	971	567	418
0,030....	1759	1613	1488	1290	1173	1018	806	496	373
0,040....	1307	1220	1144	1017	938	832	678	436	334
0,050....	1015	958	908	821	767	690	575	383	298
0,060....	810	771	736	675	635	579	491	338	266
0,070....	659	631	606	561	532	489	421	297	237
0,080....	542	522	504	470	448	415	362	261	211

Tłuste liczby dają dla każdego rodzaju nawierzchni (dla każdego spółcz. φ) granicę wzniesienia (tg α), której nie można przekroczyć, gdyż ciągniony przez konia na większe wzniesienia ciężar byłby mniejszy, niż część wagi własnej wozu (= ∞ 500 kg), przypadająca na jednego konia (przy parokonnym zaprzęgu).

W tablicy 5 podana jest zależność między szybkością jazdy i wielkością ciężaru (wagi własnej wozu + ładunku) przypadającą na 1 konia dla drogi bitej, mającej spółczynnik oporu $\varphi = 0{,}025$; waga wozu, przypadająca na 1 konia, przyjęta = 500 kg.

Tablica 5.

Wielkość wzniesienia (tg α)	Szybkość ruchu wozu w m/sek.							
	0,75 m/sek.		1,0 m/sek.		1,25 m/sek.		1,50 m/sek.	
	Ciężar wieziony ogólny kg	Ładunek wozu kg	Ciężar wieziony ogólny kg	Ładunek wozu kg	Ciężar wieziony ogólny kg	Ładunek wozu kg	Ciężar wieziony ogólny kg	Ładunek wozu kg
0,00	3960	3460	3280	2780	2600	2100	1920	1420
0,005	3242	2742	2675	2175	2108	1608	1542	1042
0,01	2729	2229	2243	1743	1757	1257	1271	771
0,02	2044	1544	1667	1167	1289	789	911	411
0,03	1609	1109	1300	800	991	491	682	182
0,04	1308	808	1046	546	785	285	523	23
0,05	1078	587	860	360	633	133	407	—
0,06	918	418	718	218	518	18	318	—
0,07	784	284	605	105	426	—	247	—
0,08	676	176	514	14	352	—	190	—
0,09	587	87	439	—	291	—	143	—
0,10	512	12	376	—	240	—	104	—

Na drogach bitych, znajdujących się w stanie dobrym w okolicy falistej ładunek użyteczny normalnego wozu dwukonnego wynosi przy koniach o średniej sile pociągowej i przy 8-godzinnym dniu roboczym około 2000 *kg*, na drogach gruntowych dobrych zaledwie 1000—1500 *kg*. W miejscowościach równinnych ładunek bywa większy i wynosi zwykle 3500 *kg*.

4. **Ruch samochodów i traktorów.** Siła pociągowa traktora lub samochodu:

na poziomie $P_0 = kQ$ . . . . . (10)

na wzniesieniu $P_{\alpha_1} = (k - \operatorname{tg}\alpha)\,Q$ . . . . . (11)

na spadku $P_{\alpha_2} = (k + \operatorname{tg}\alpha)\,Q$ . . . . . (12)

We wzorach powyższych: P_0 = siła pociągowa przy ruchu na poziomie, P_{α_1} = siła pociągowa tegoż pojazdu mechanicznego na wzniesieniu o kącie pochylenia do poziomu = α^0; P_{α_2} = siła pociągowa tegoż pojazdu mechanicznego na spadku o kącie pochylenia = α^0; Q = waga własna samochodu lub traktora z obciążeniem (ładunkiem); k = spółczynnik oporu ruchu, określany doświadczalnie, zależny od zczepności („adhezji“) samochodu (traktora) z nawierzchnią drogi, a więc od rodzaju i stanu nawierzchni, od ustroju pojazdu, w szczególności od wagi przypadającej na oś ciągnącą, od ustroju obręczy kół ciągnących itd.; wynosi on zwykle dla traktorów na drogach gruntowych = 0,25—0,3, niekiedy przy traktorach czołgowych = 0,4. Dla samochodów osobowych spółczynnik k jest znacznie mniejszy; więc i siła pociągowa stosunkowo mniejsza, niż przy traktorach.

Tablica 6.
Spółczynnik oporu samochodu k wedle doświadczeń Forestier i Desdouits (1899).

Przy obręczach	gumowych pełnych	żelaznych
Na dobrej drodze bitej suchej	0,015	0,017
Na złej drodze bitej suchej	0,018	0,020
Na dobrej drodze bitej mokrej	0,020	0,022
Na złej drodze bitej mokrej	0,022	0,025
Na rozmiękłej drodze bitej	0,025	0,028

Nowsze doświadczenia Kenelly i Shuriga, wykonane około Bostonu z elektrycznym samochodem o wadze 450 *kg*, na pełnych obręczach gumowych podają wielkość oporu ruchu wraz z oporem powietrza (bez wiatru), tj. określają niezbędną siłę potrzebną do poruszania samochodu z określoną szybkością na poziomie (patrz fig. 75).

Opór powietrza. Przy mniejszych szybkościach samochodów jest nieznaczny i nie bierze się go w rachubę; przy większych ma duże znaczenie i wynosi:

$$W = \lambda S v^2, \quad \ldots \ldots \ldots \quad (13)$$

gdzie W = opór powietrza w *kg*; λ = spółczynnik doświadczalny = ∞ 0,005; S = powierzchnia samochodu w przekroju poprzecznym w m^2; v = szybkość samochodu w *km*/godz.

O ile ruch samochodu odbywa się z szybkością v_1 *km*/godz. naprzeciw wiatrowi, dmącemu z szybkością v_2 *km*/godz., należy we wzorze (13) przyjąć $v = v_1 + v_2$; o ile wiatr jest ukośny, przyjmujemy za v_2 składową szybkości wiatru w kierunku ruchu.

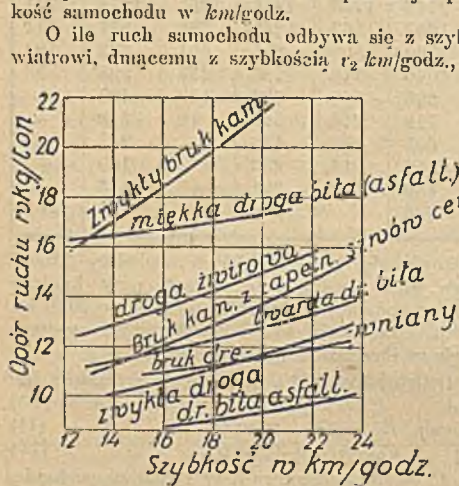


Fig. 75.

Ruch w łukach. Ruch wozów typu gospodarskiego (ze skrętem 20—35°) ze względów technicznych jest możliwy i swobodny, gdy promień łuku drogi nie jest mniejszy, niż 2 L do 2,25 l, gdzie L = odległość między osiami wozu; przy zwykłych długościach L = 3,0 do 4,0 m najmniejszy promień łuku byłby 6,0 do 9,0 m, w rzeczywistości na drogach stosuje się min. promień łuku znacznie większy z powodu potrzeby przewożenia na wozach tego typu długich kloców drzewa; wtedy rozstawienie osi L dochodzić może do 20 m, a wielkość najmniejszego promienia 2 L do 2,25 L będzie 40 do 50 m.

Przy użyciu t. zw. tylnego skrętu, polegającego na tem, że przy przewożeniu kloca w łuku rozwore odwiązuje się od kloca i odciąga ku zewnętrznej stronie łuku o kąt α (20 do 25°), wielkość najmn. promienia dopuszczalnego redukuje się znacznie i równa się 0,9 L do 1,0 L, tj. przy rozstawieniu osi L = 20 m — min. R = 18 do 20 m.

Przy ruchu samochodów, jadących ze znaczną szybkością ($v > 15$—20 *km*/godz.) w łuku siła odśrodkowa przy pewnej wielkości szybkości może bądź wywrócić samochód, bądź też zsunąć z nawierzchni w kierunku poprzecznym do ruchu i nazewnątrz łuku, po przezwyciężeniu tarcia między kołami i nawierzchnią drogi.

Najmn. promień łuku, na którym samochód może swobodnie poruszać się przy małej szybkości ($v < 15$ *km*/godz.) przy wielkości kąta skrętu kół przednich zwykłej = 20—25°, wynosi około 3 L, gdzie L = rozstawienie osi samochodu.

Ze względu na siłę odśrodkową szybkość ruchu musi być przystosowana do wielkości promienia łuku, a przy budowie nowych dróg wielkość najmniejszego promienia łuku należy dostosować do szybkości, jaką samochody mają rozwijać w łukach.

Przekrój poprzeczny dróg w łuku dotychczas budowany jest taki, jak w odcinkach prostych, tj. dwuspadkowy i ruch samochodu odbywać się

może zarówno po wewnętrznej stronie łuku, nachylonej do wewnątrz łuku (fig. 76, *A* i fig. 77, *A*), jak po zewnętrznej stronie, nachylonej do zewnątrz (fig. 76, *B* i fig. 77, *B*).

W pierwszym wypadku warunkiem równowagi jest:

a) Aby wypadkowa siły odśrodkowej F i ciężaru własnego samochodu nie wyszła z granic $OO_1 = \frac{1}{3}s$, gdzie s = szerokość rozstawienia kół (równowaga pewna); w zwykłych warunkach $s = 1{,}4\ m$, $\operatorname{tg}\alpha = 0{,}06$, $H = 0{,}8\ m$, więc:

$$v = 6{,}63\sqrt{R}; \quad . \ . \ (14)$$

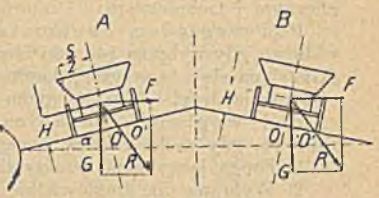


Fig. 76.

b) Aby samochód nie był zsunięty z jezdni, tj. aby T = tarcie kół o nawierzchnię było przynajmniej równe składowym sił, równoległym do nawierzchni drogi (równowaga chwiejna); otrzymamy więc zależność:

$$\frac{G\,v^2}{g\,R} = (f + \operatorname{tg}\alpha)\,G$$

Stąd otrzymamy najw. dopuszczalną szybkość:

przy spółcz. tarcia $f = 0{,}5$ (latem)

$V_1 = 9\sqrt{R}\ km/\text{godz.}$ . . . **(15)**

przy spółcz. tarcia $f = 0{,}03$ (zimą)

$V_2 = 1{,}1\sqrt{R}\ km/\text{godz.}$ . . **(16)**

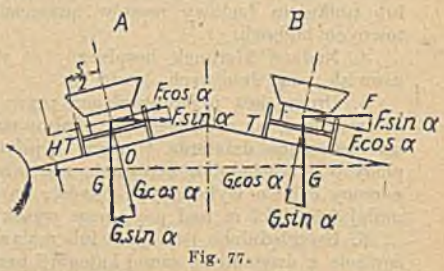


Fig. 77.

Analogicznie można wyprowadzić wzory dla ruchu po zewnętrznej stronie łuku (wypadek *B*, fig. 76 i 77).

Dla różnych promieni otrzymamy ze wzorów (14), (15) i (16) i wzorów analogicznie wyprowadzonych dla ruchu po zewnętrznej stronie łuku tablicę orjentacyjną 7.

Tablica 7.

Promień łuku w m	Dopuszczalna szybkość samochodów w *km*/godz. przy ruchu po wewnętrznej stronie łuku (wyp. *A* na fig. 2 i 3)			Dopuszczalna szybkość samochodów w *km*/godz. przy ruchu po zewnętrznej stronie łuku (wyp. *B* na fig. 2 i 3)		
	ze względu na możliwość wywracania $v = 6{,}63\sqrt{R}$ (równowaga stała)	ze względu na możliwość zsuwania samochodów (równowaga chwiejna)		ze względu na możliwość wywracania samochodów $v = 5{,}39\sqrt{R}$ (równowaga stała)	ze względu na możliwość zsuwania samochodów (równowaga chwiejna)	
		w lecie $v = 9\sqrt{R}$	w zimie $v = 1{,}1\sqrt{R}$		w lecie przy $f = 0{,}5$ $v = 7{,}91\sqrt{R}$	w zimie przy $f = 0{,}03$ $v =$ irr.
20	29,6	40,6	4,9	24,1	35,6	$v =$ irracjonalne. Ruch nie może się odbywać.
30	36,3	49.7	5,9	29,5	43.5	
40	42,0	56.9	6,8	34,1	49,8	
50	46,9	64,1	7,7	38,1	59,1	
60	51,4	69,5	8,3	41,8	61,6	
80	59,3	80,3	9,6	48,2	70,3	
100	66,3	90,0	10,8	53,9	79,3	
150	81,2	109,8	13,4	66,3	97,2	

II. Trasowanie.

Uwagi ogólne. Trasowanie drogi winno odpowiadać warunkom ekonomicznym i technicznym.

Pod względem ekonomicznym droga przeprowadzona jest prawidłowo, gdy wybrany jest taki kierunek, przy którym suma kosztów rocznych, składająca się z amortyzacji kapitału wyłożonego na budowę drogi, z kosztów utrzymania drogi i kosztów ruchu na drodze, jest najmniejsza.

Pod względem technicznym droga jest przeprowadzona prawidłowo, gdy zachowane są następujące warunki:

1. Droga łączy dane punkty linją możliwie najkrótszą.

2. Wybrano dla drogi wielkości największego wzniesienia (spadku) i najmniejszego promienia łuku odpowiednie dla ruchu, jaki ma się odbywać na drodze.

3. Zaprojektowano trasę tak, aby roboty ziemne możliwie wyrównywały się wzajemnie w wykopach i nasypach i były możliwie małe; ograniczono lub uniknięto budowy mostów, przepustów, ścian podporowych itp. kosztownych budowli.

4. Nadano kierunek bezpieczny ze względu na możliwość powstawania usuwisk, zasp śnieżnych, lawin itp.

5. Droga jest przeprowadzona przez miejscowości suche (unikać terenu zalewowego), ma zabezpieczony odpływ wód atmosferycznych, jest wystawiona na osuszające działanie wiatrów i promieni słońca, posiada mosty i przepusty o odpowiednich otworach, ma zabezpieczone dobre odwodnienie przy pomocy celowo wykonanych rowów; nawierzchnia drogi wzniesiona przynajmniej 0,5—0,75 *m* nad poziomem wysokich wód rzek i potoków.

6. Uwzględniono istniejące lub mające się zbudować odgałęzienia; skrzyżowanie z drogami tej samej kategorji przeprowadzono możliwie w odcinkach prostych i poziomych, możliwie pod kątem prostym przy użyciu łuków o promieniu dopuszczalnym na danej drodze.

7. Skrzyżowanie dróg z ożywionym ruchem z głównemi linjami kolei żelaznych jest wykonane w różnych poziomach, a skrzyżowanie dróg o małym ruchu z linjami drugorzędnemi kolei żelaznych przeprowadzone w jednym poziomie, ale tak, że linja kolejowa jest widoczna z drogi przy zbliżaniu się do skrzyżowania na przestrzeni przynajmniej po 300—400 *m* z każdej strony.

8. Wybrany kierunek daje możność dostarczenia materjałów na budowę i utrzymanie drogi możliwie najtańszych i najlepszych; wybrana trasa daje możność pojenia zwierząt pociągowych w odpowiednich odstępach, co zresztą ma dziś mniejsze znaczenie.

Łuki na drogach. Według tymczasowych przepisów o budowie dróg, wydanych przez M. R. P. w 1919 r., najmniejszy dopuszczalny promień na drogach I klasy (z ożywionym ruchem o znaczeniu ważniejszem, tj. na drogach państwowych i wojewódzkich) = 50 *m*; dla dróg II klasy o znaczeniu miejscowem (tj. dla dróg powiatowych i gminnych) = 25 *m*. Dla dróg I klasy w miejscowościach górzystych najmniejszy dopuszczalny promień łuku = 25 *m* z odpowiedniem poszerzeniem jezdni.

Podług prof. Lukasa najmniejszy dopuszczalny promień:

na drogach z ożywionym ruchem samochodowym . . . . . = 50 *m*
na drogach ważnych bez ruchu samochodowego . . . . . = 30 *m*
na drogach o miejscowem znaczeniu (gminnych) . . . . . = 20 *m*
na drogach polnych . . . . . = 10 *m*
na drogach, na których przewożone są długie kloce drzewa = 25—30 *m*

Pomiędzy łukami, w jedną stronę skierowanemi, zamiast odcinków prostych lepiej wstawić odcinek łuku o większym promieniu (łuki koszowe). Pomiędzy łukami odwrotnemi (skierowanemi w strony przeciwne), pożądane są odcinki proste o długości najmniej 10 *m*, a przy ruchu samochodowym przynajmniej 30 *m*.

Wzniesienia (spadki). Ze względu na konieczność odwodnienia nawierzchni poziome odcinki dróg dopuszcza się tylko z konieczności, np. na znaczniejszych nasypach (groblach na błotach i dolinach rzek) i w gruntach piaszczystych. Pozatem odcinków poziomych należy o ile możności unikać i stosować zamiast poziomych odcinków spadki podłużne — przynajmniej 0,5%, przy jednoczesnem nadaniu nawierzchni odpowiednich spadków poprzecznych. Wielkość największego dopuszczalnego spadku na drodze zależy od rodzaju nawierzchni, a więc i spółczynnika oporu φ (p. str. 82). Teoretycznie max. wzniesienia na drodze $= \varphi$ (por. str. 84), przytem wzniesienia takie nie powinny być dłuższe niż 500—600 *m* ze względu na przemęczenie zwierząt przy dłuższych odcinkach; o ile są takie wzniesienia dłuższe, pożądany jest podział ich na odcinki krótsze ($\leqslant$ 500—600 *m*), połączone odcinkami odpoczynkowemi (poziomemi lub o wzniesieniu 2—3%).

W rzeczywistości dopuszczane są wzniesienia (spadki) większe, niż $= \varphi$, przez zmniejszanie pożytecznego ładunku wozów.

Normy Amerykańskiego Związku Inżynierów Cywilnych podane przez Blanchard'a określają max. wzniesienia (spadku):

dla drogi żwirowanej	12%
dla drogi bitej	12%
dla drogi bitej smołowanej	6—8%
dla drogi betonowej	8%
dla drogi klinkierowej ze szwami wypełnionemi zaprawą cement	6% (lepiej 4%)
dla drogi klinkierowej ze szwami wypełnionemi smołą	12%
dla drogi z kostek kamiennych ze szwami wypełnionemi zaprawą cement	9% (lepiej 6%)
dla drogi z kostek z wypełnieniem szwów smołą	15% (lepiej 8%)

Inne rodzaje nawierzchni por. dział: Ulice.

Według tymcz. przepisów M. R. P. z 1919 r. największe wzniesienia (spadki) nie mogą przekraczać:

Tablica 8.

	Dla dróg I kl. (państwowych i wojewódzkich)	Dla dróg II kl. (powiatowych i gminnych)
W miejscowościach równinnych	3%	4%
W miejscowościach wzgórzystych	4%	5%
W miejscowościach górskich	5%	6%

Za zezwoleniem M. R. P. w wyjątkowych wypadkach można w terenach górzystych dla dróg II kl. stosować spadek 7%.

Dla dróg o miejscowem znaczeniu (niektóre drogi gminne) normy wzniesień (spadków) mogłyby być powiększone dwukrotnie w stosunku do norm dla dróg II kl. i wynosić mogłyby 8%, 10% i 12% w zależności od terenu.

Wzniesienia (spadki) o różnej wielkości i kierunku winny być łączone ze sobą przy pomocy łuków pionowych o promieniu $r = 10\ v$, gdzie v = przeciętna szybkość w *km*/godz. samochodów na danej drodze.

W łukach o promieniach małych (< 50 *m*) przy nagłych zwrotach (zakolach) kierunku drogi (kąt łuku mniejszy niż 135°) należy wzniesienia (spadki) zmniejszać do 2—2½%.

Przekroje poprzeczne. Typowe przekroje dróg zarówno gruntowych jak z twardą nawierzchnią (drogi bite, brukowane, betonowe itp.) podano na fig. 78.

Szerokość drogi w koronie oraz szerokość jezdni zależy: 1. od ruchu na drodze: jego rodzaju i intensywności; 2. rodzaju nawierzchni drogi. Przeciętnie szerokość w koronie dróg obecnie budowanych = od 3 do 15 *m*, rzadziej więcej; szerokość jezdni = od 3,5 do 7,0 *m*, rzadziej więcej.

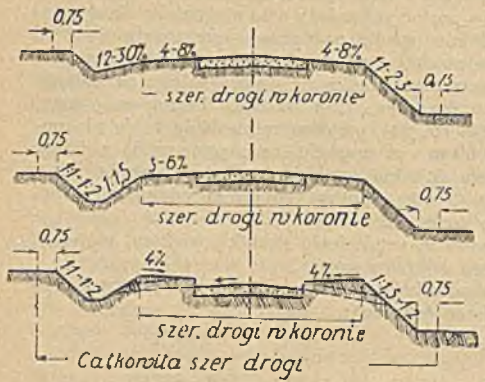


Fig. 78.

Całkowita szerokość drogi wraz z pasami o szerokości przynajmniej po 0,75 *m* za rowami i za stopami nasypów jest zależna od warunków terenowych.

Tymcz. przepisy M. R. P. o budowie nowych dróg bitych z r. 1919 ustalają:
min. szerokość drogi w koronie na 8,0 *m* dla dróg ważniejszych,
min. szerokość drogi w koronie na 6,5 *m* dla dróg mniej ważnych,
min. szerokość jezdni w koronie na 5,0 *m* dla dróg ważniejszych,
min. szerokość jezdni w koronie na 4,0 *m* dla dróg mniej ważnych.

Poprzeczne spadki zależą: od rodzaju gruntu (na drogach gruntowych); a mianowicie są mniejsze na gruntach lekkich, większe — na cięższych; od rodzaju nawierzchni (im jezdnia więcej przepuszczalna, tem spadki większe).

Przy spadkach podłużnych spadki poprzeczne zmniejsza się podług tablicy 9.

Tablica 9.

Przy spadku podłużnym =	0%	0% do 3½%	3½% i więcej
Spadek poprzeczny nawierzchni z bruku kamiennego	5%	4%	3%
Spadek poprzeczny drogi bitej .	6%	5%	4%
Spadek poprzeczny drogi gruntowej (grunt średni)	5%	3,5%	1,5%

Spadki poprzeczne utworzone są albo przez pochyłe płaszczyzny, połączone po środku drogi powierzchnią walca, albo też stanowią powierzchnię walca lub płaskiej paraboli.

Poprzeczne przekroje dróg w łukach o promieniach mniejszych niż 150 *m* ze względu na ruch samochodowy winny mieć spadek jednostronny, skierowany na wewnątrz łuku (fig. 79); spadek ten dla szybkości niewielkich (30—60 *km*/godz.) może nie przekraczać zwykłych norm 6—8%; dla większych szybkości pochylenie poprzeczne jezdni należy obliczyć (por. str. 86 i 87).

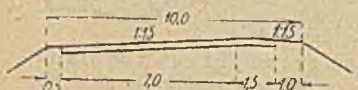


Fig. 79.

W miejscowościach pagórkowatych i górskich na drogach, przechodzących po zboczach, dla bezpieczeństwa w czasie, gdy nawierzchnia bywa śliska, daje się poprzeczny jednostronny spadek do strony góry (fig. 80).

Odwodnienie dróg. Do odprowadzenia wody powierzchownej służą rowy formy trapezowej lub trójkątnej; te ostatnie mogą być wykonywane przy pomocy maszyn taniej niż ręcznie. Głębokość ich zależy od miejscowych warunków terenowych; nie powinna jednak być mniejsza niż 50—70 *cm* w stosunku do grzbietu drogi. Spadek dna rowu pożądany nie mniejszy niż 1%, przy większych spadkach (3—4%) należy w zależności od

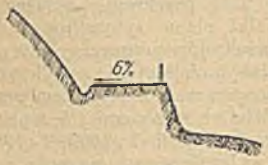


Fig. 80.

Fig. 81.

gruntu odpowiednio wzmocnić dno i skarpy rowów przy pomocy darniowania, ustawiania płotków z wikliny, brukowania itp.

W razie dużej ilości wód spływających po zboczu na drogę, oprócz rowu bocznego należy stosować rowy ochronne boczne (fig. 81), oddalone od skarpy wykopu zależnie od rodzaju gruntu i miejscowych warunków topograficznych 5—20 *m*. W razie potrzeby obniżenia poziomu wód zaskórnych lub osuszenia dróg na gruntach „sapo-

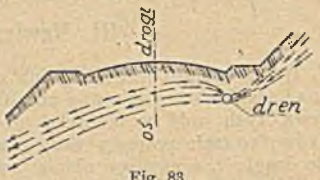


Fig. 83.

Fig. 82.

Fig. 84.

watych", stosuje się drenowanie (odwodnienie) poprzeczne, podłużne lub mieszane.

Drenowanie (odwodnienie) poprzeczne — przykład na fig. 82. Dreny (sączki) stanowią rowki o szerokości 20—30 *cm*, głębokości 30—50 *cm*, zasypane tłuczniem, żwirem lub faszyną; można zakładać ceglane rurki drenarskie (sączki) o średnicy 4—5 *cm* przy głębszych rowkach (≈ 1,0 *m*), które nie zamarzają. — Przykłady podłużnego drenowania dróg podane są na fig. 83, 84, 85, i 86; w wypadkach podanych zastosowane są dreny z rurek ceglanych; można stosować również dreny z tłucznia lub żwiru (gorsze).

Fig. 85.

Fig. 86.

Drogi bite w gruntach sapowatych można drenować podłużnie, jak wskazuje fig. 87; dreny winny być założone na głębokości, wyłączającej ich zamarzanie (u nas conajmniej 1,0 *m*).

Projekt techniczny drogi. Projekt szczegółowy, tj. projekt tak opracowany, aby można było ściśle podług niego wykonać budowę, składać się powinien: 1. z mapy w podziałce możliwie dużej (1 : 25.000 lub większej) z wykreśloną na niej trasą linją czerwoną; 2. z przekroju podłużnego, w podziałce długości dostosowanej do podziałki planu sytuacyjnego dla wysokości w podziałce 10 razy większej; 3. z przekrojów poprzecznych w podziałce 1 : 100 lub mniejszej; 4. z obliczenia ilości robót ziemnych wraz z projektem przewozu ziemi (podziałem mas ziemi); 5. z planu sytuacyjnego drogi w skali 1 : 2000, 1 : 1000 lub większej, wykreślonego na podstawie przekroju podłużnego, przekrojów poprzecznych i projektu przewozu ziemi; 6. z planu wywłaszczanych gruntów z wykazem gruntów, wywłaszczanych od poszczególnych właścicieli; 7. z projektów szczegółowych mostów i przepustów w podziałce 1 : 100 lub 1 : 50; 8. ze sprawozdania technicznego, objaśniającego projekt i 9. z kosztorysu z analizą cen.

Fig. 87.

III. Nawierzchnia dróg.

1. Drogi gruntowe. Przy ich zastosowaniu należy starać się: 1. o dokładne i szybkie usuwanie wód atmosferycznych przez odpowiednie urządzenie odpływu tych wód w kierunku podłużnym i poprzecznym przy pomocy spadków; w razie potrzeby usuwania wód zaskórnych — urządza się drenowanie drogi; 2. o możliwe ubicie (uwalcowanie) jezdni i 3. o stałe i systematyczne utrzymywanie nadanego drodze przekroju podłużnego i poprzecznego.

Nadają się do takiego wykonania drogi, przechodzące w gruntach żwirowatych z domieszką gliny (15—25% gliny), w gruntach piaszczysto-gliniastych (15—40% gliny), w żółtoziemach (lessach), gorzej w czarnoziemie, tłustych glinach, iłach; nie nadają się do tego zupełnie skały, piaski czyste, grunty błotniste i torfy; grunty takie wymagają specjalnego wzmocnienia dla dróg.

Wypukły przekrój poprzeczny nadaje się przy pomocy specjalnych maszyn, t. zw. równaczy, dotychczas prawie wyłącznie wyrabianych w Ameryce, ciągnionych przez zwierzęta pociągowe lub traktory; istnieje wiele typów tych maszyn.

Wydajność pracy równacza zależy od jego wielkości i siły pociągowej; równacz średniej wielkości profiluje 1 *km* drogi o szerokości 9—10 *m* między ściekami w ciągu 7—10 dni przy trakcji konnej i 3—4 dni przy traktorze, o ile personel obsługujący jest włożony do tego rodzaju roboty. Koszt profilowania 1 *km* drogi gruntowej przed wojną wynosił, w zależności od warunków miejscowych, przy szerokości 8—10 *m* od 300 do 400 złotych.

Przykład przekrojów poprzecznych dróg gruntowych por. fig. 88.

Walcowanie [wałkowanie[1])] dróg gruntowych, świeżo sprofilowanych, jest bardzo pożądane, chociaż nie niezbędne; wykonywa się przy pomocy różnego systemu walców (wałków) konnych, parowych lub spalinowych o wadze 6—8 *t*. Najlepiej wykonywać walcowanie, gdy grunt jest umiarkowanie wilgotny; walcuje się najpierw brzegi jezdni i stopniowo przechodzi się ku środkowi pasami o szerokości walca.

[1]) Terminy „walce drogowy, walcowanie“, „wał, walowanie“ używane są w b. zaborze rosyjskim, terminy „wałek, wałkowanie“ w Małopolsce.

Utrzymywanie dróg gruntowych polega na ciągłem i systematycznem zarównywaniu tworzących się wybojów i kolein przy pomocy różnych systemów przyrządów, zwanych włokami, ciągnionych przez zwierzęta pociągowe, bądź przez traktory. Najprostszy typ włoka, który można wszędzie zbudować, por. fig. 89; pozatem są włoki wyrobu fabrycznego.

Włok ciągnie się po drodze tak, aby płozy były pod 45° do kierunku ruchu. Pierwsze przejście zaczyna się od ścieku i stopniowo przechodzi się ku środkowi drogi. Woźnica może stać na włoku i przez swój ciężar wywoływać większe lub mniejsze wrzynanie się włoka w ziemię, przesuwając się naprzód lub w tył.

Wygładzanie dróg gruntowych winno odbywać się wtedy, gdy grunt jest umiarkowanie wilgotny. Z początku po wybudowaniu drogi potrzebne jest częstsze wygładzanie — co 7—14 dni, potem stopniowo rzadsze — co 3—4 tygodnie. Zresztą zależy to od stanu pogody i gęstości ruchu na drodze. Koszt roczny utrzymania 1 *km* drogi przed wojną wynosił do 40 złotych.

Stosując te sposoby na istniejącej drodze gruntowej, można zmniejszyć na niej spółczynnik oporu ruchu o połowę, a nawet więcej w stosunku do spółczynnika oporu przed ulepszeniem. — Takie profilowanie i utrzymywanie dróg gruntowych jest celowe, gdy grunt jest odpowiedni, a ruch niezbyt ciężki i niezbyt intensywny (np. do 200 koni na dobę).

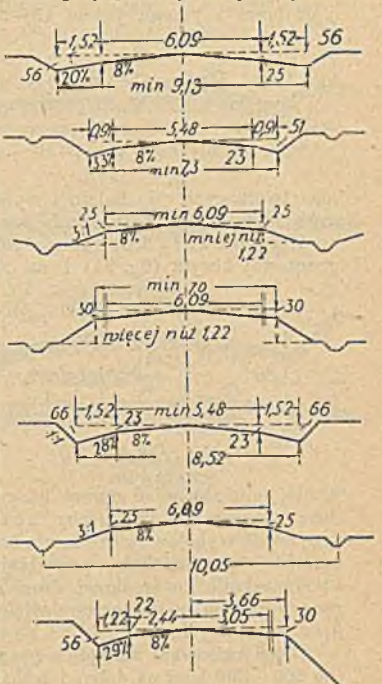


Fig. 88.

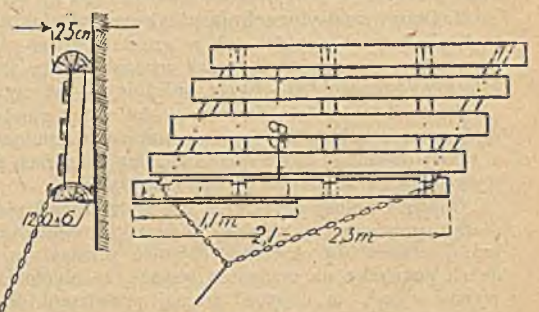


Fig. 89.

2. **Drogi żwirowane.** Żwirowanie dróg — najlepszy sposób ulepszania dróg gruntowych. Dobry żwir powinien być twardy, mieć ziarna o różnej wielkości, tak, aby wolna przestrzeń między ziarnami była jak najmniejsza, wreszcie wolna przestrzeń powinna być wypełniona lepiszczem: gliną, tlenkiem żelaza, wapieniem, marglem itp. Zawartość lepiszcza wynosi 15—35% żwiru: im go mniej, tem żwir jest lepszy dla dróg. Jeżeli w żwirze brak lepiszcza, należy go dodać, określiwszy przedtem potrzebną ilość laboratoryjnie. Wielkość ziarn nie powinna przekraczać 3—4 *cm* w średnicy; większe kamyki należy odrzucić lub przetłuc na mniejsze.

Przekrój poprzeczny dróg żwirowanych — taki, jak w ulepszonych drogach gruntowych. Przedewszystkiem należy mieć na celu szybkie i dokładne usunięcie wód atmosferycznych.

Sposoby żwirowania. Żwirowanie powierzchowne polega na rozsypaniu na drodze gruntowej, odpowiednio sprofilowanej, warstwy żwiru o grubości z brzegu jezdni 15—20 *cm*, pośrodku 25—30 *cm*, i ubiciu jej (uwalcowaniu) zaraz po rozsypaniu przy pomocy walców (konnych lub mechanicznych) lub stopniowo przez przejeżdżających przy pomocy odpowiedniego regulowania ruchu i systematycznego zarównywania tworzących się kolein i wybojów (fig. 90). Po ubiciu (uwalcowaniu) grubość warstwy żwiru zmniejsza się o 25—30%.

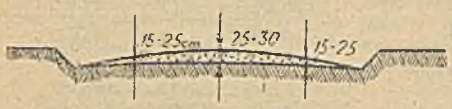


Fig. 90.

Żwirowanie korytowe polega na wyrobieniu w sprofilowanej drodze gruntowej koryta (fig. 91) i na zapełnieniu go żwirem warstwami i uwalcowaniu. Jeżeli grunt jest nieprzepuszczalny, należy przez pobocza drogi przeprowadzić do ścieków dreny piaskowe, odprowadzające wodę z koryta do ścieków.

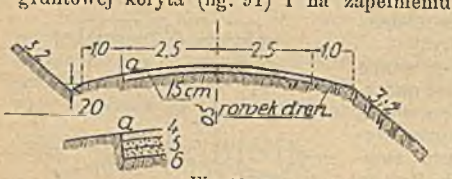


Fig. 91.

Utrzymywanie. Drogi żwirowane wymagają ciągłego i systematycznego utrzymywania, powinny mieć zawsze na poboczach lub w pobliżu drogi odpowiednią ilość zapasowego żwiru, aby natychmiast wykonać naprawy przez zasypywanie wybojów i zarównanie kolein; w miarę potrzeby trzeba perjodycznie odnawiać nawierzchnię, pogrubiając ją odpowiednio. Zarównywanie kolein i podgarnianie ku środkowi drogi rozjeżdżonego i spłókanego żwiru wykonywać można przy pomocy włoków, używanych do utrzymania zwykłych dróg gruntowych.

Drogi żwirowane zastąpić mogą drogi bite przy ruchu niezbyt intensywnym, (do 200—300 koni na dobę) i lekkim; budowa i utrzymanie względnie proste, nie wymaga kosztownych maszyn.

3. Drogi z nawierzchnią piaskowo-gliniastą. Drogi gruntowe w gruntach piaskowych sypkich lub w gruntach tłusto-gliniastych, grząskich podczas słoty, wzmacnia się przez utworzenie na jezdni warstwy piaszczysto-gliniastej grubości 20—40 *cm*, zależnie od intensywności ruchu.

Stosunek objętości gliny do piasku w tej warstwie winien być taki, aby drobne cząsteczki gliny i pyłu piaskowego domieszane były do piasku tylko w takiej objętości, aby wypełniły wolną przestrzeń pomiędzy ziarnami piasku, wynoszącą od 20 do 35% objętości piasku.

Objętość wolnej przestrzeni między ziarnami piasku określa się w próbce piasku przy pomocy zwykłej menzurki z wodą (objętość wody $a\ cm^3$), do której wrzuca się określoną objętość przemytego i ubitego piasku ($b\ cm^3$). Jeżeli podziałka na menzurce wskaże, że objętość, zajęta przez te dwa ciała wynosi $c\ cm^3$, to objętość wolnej przestrzeni dla danego gatunku piasku w czystym jego stanie (po przemyciu) wynosi $(b - c + a)\ cm^3$, co daje stosunek procentowy wolnej przestrzeni w piasku (czystym) do objętości piasku $\frac{a + b - c}{b}\ \% = d\%$. Jeżeli zawartość gliny w danym piasku wynosi $c\%$, to dla utworzenia warstwy piaskowo-gliniastej trzeba dodać gliny $(d - c)\%$.

Dokładne wymieszanie piasku z gliną następuje stopniowo z biegiem czasu. Dodawaną ilość gliny (względnie piasku przy ulepszaniu drogi gliniastej) należy rozsypać kilkoma warstwami, przedzielanemi odpowiedniej grubości warstwami piasku (wzgl. gliny — na drogach gliniastych). Dobre

przemieszanie osiąga się przy pomocy bron talerzowych, używanych w rolnictwie.

Drogi z nawierzchnią piaskowo-gliniastą wymagają systematycznego utrzymywania, odpowiednie są dla ruchu niewielkiego i lekkiego (do 200 koni na dobę).

4. Inne sposoby wzmacniania dróg gruntowych. Drogi piaskowe można wzmacniać też przy pomocy warstwy torfu, bądź układanego w postaci cegiełek jedna przy drugiej, bądź w postaci luźnej masy torfu (włóknistego), nasypanej równą warstwą grubości 20—30 *cm*, i zasypanej warstwą piasku. — Do wzmacniania dróg gruntowych nadaje się również darnina wrzosowa, układana na drodze i zasypana cienką (5 do 10 *cm*) warstwą piasku; warstwa perzu, rozesłana na drodze i przysypana ziemią, również dobrze wzmacnia drogę. Wszystkie te sposoby są odpowiednie dla ruchu lekkiego i nie intensywnego.

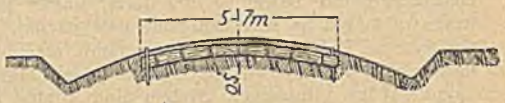


Fig. 92.

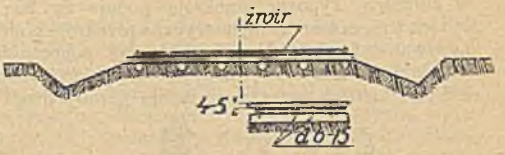


Fig. 93.

Faszynowanie dróg gruntowych piaszczystych, lub grząskich (fig. 92) przy pomocy faszyny w peczkach o średnicy 20—30 *cm*, układanych wpoprzek drogi jeden obok drugiego lub pokrywanie dróg gacią (fig. 93) z dyli okrągłych bez podciosania lub z dyli podciosywanych jest kosztowne i nietrwałe, pozwala jednak na intensywny i cięższy ruch po drodze i stosunkowo szybko może być wykonane; z tego względu stosuje się w celu doraźnego polepszenia warunków komunikacyjnych, np. w czasie wojny.

5. Drogi bite.[1]) **Ustrój nawierzchni.** Są dwa rodzaje nawierzchni: 1. Z pokładem kamiennym (t. zw. system Trésaguet) i 2. bez pokładu kamiennego (t. zw. system Mac Adama).

System Trésaguet (fig. 94) stosuje pokład kamienny z kamieni łupanych formy piramidalnej (wysok. 15—25 *cm*), układanych ostrzem do góry i zaćwiekowanych tłuczniem; na pokładzie takim rozsypana jest warstwa tłucznia, tj. kamienia rozbitego w drobne kawałki, o średnicy ok. 4—6—8 *cm* w zależności od trwałości materjału: im trwalszy materjał, tem tłuczeń drobniejszy; grubość warstwy tłucznia 15—25 *cm* w zależności od intensywności spodziewanego ruchu i jakości tłucznia; niekiedy daje się dwie warstwy tłucznia. Dolną o grubości 15—20 *cm* z tłucznia grubszego (6—8—10 *cm* w średnicy), wierzchnią o gr. 10—15 *cm* z drobniejszego (4—6 *cm* w średnicy); w razie trudności w otrzymaniu dobrego materjału na tłuczeń na dolną warstwę można dać materjał słabszy (tańszy), na wierzchnią twardszy (droższy). Warstwa tłucznia po uwalcowaniu przy pomocy konnych lub mechanicznych (parowych lub spalinowych) walców drogowych tworzy na-

Fig. 94.

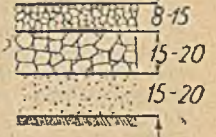


Fig. 95.

[1]) Termin używany w b. zaborze rosyjskim i pruskim „drogi bite", termin używany w Małopolsce „drógi żwirowane, żwirówki". Należy odróżnić je od dróg żwirowanych, por. str. 93 i 94.

wierzchnię drogi bitej. Po prawidłowem uwalcowaniu grubość warstwy tłucznia zmniejsza się znacznie (o 30%).

System Mac Adama (fig. 95). Nawierzchnię tworzy się z dwóch warstw tłucznia: dolnej z grubszego (6—8—10 i nawet 12 *cm* w średnicy) i wierzchniej z drobniejszego (4—6 *cm* w średnicy); z początku walcuje się dolną warstwę i dopiero po jej podwalcowaniu rozsypuje się wierzchnią warstwę i walcuje się ją; często zamiast dwóch daje się jedną warstwę tłucznia o średniej wielkości kawałków (6—8 *cm*), o grubości warstwy 20—30 *cm*. Na gruntach nieprzepuszczalnych daje się warstwę piasku możliwie gruboziarnistego lub nawet żwiru, ubitą dobrze przed rozsypaniem tłucznia; warstwa ta ma na celu osuszanie nawierzchni.

System Trésaguet daje nawierzchnię mocniejszą, odpowiednią dla ruchu cięższego i jest odpowiedniejszy, niż system Mac Adama, dla gruntów lekkich (sypkich) lub gliniastych. System Mac Adama jest tańszy i odpowiedni dla dróg z mniejszym i lżejszym ruchem.

Przekroje poprzeczne — przystosowane są do rodzaju i napięcia ruchu: od tego zależy szerokość jezdni, poboczy, a więc i szerokość drogi w koronie. Typowe przekroje podaje fig. 96; na drogach bitych mamy oprócz tego czasem niesymetryczne przekroje poprzeczne „z letniemi drogami", nazywanemi „latówkami". Gdy na poboczach jest za mało miejsca na składanie materjałów, urządza się place składowe możliwie co kilkadziesiąt metrów przez poszerzanie korony drogi (fig. 97).

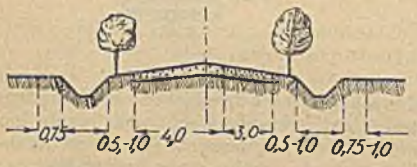


Fig. 96.

Fig. 97.

Materjały do budowy i utrzymania dróg bitych. Aby nawierzchnia była trwała, potrzeba: 1. aby materjał był odporny na działania atmosferyczne i działanie ruchu; nie powinna go woda rozmiękczać, a mrozy rozsadzać; winien być możliwie twardy, spoisty (nie kruchy) i mało ścieralny; 2. aby był jednolity i równomiernie zużywał się; 3. aby dobrze się wiązał; w tym celu kawałki tłucznia winny być możliwie jednakowej wielkości, posiadać formę kanciastą, najlepiej trójkątnej piramidy (czworościan): tłuczeń ze słabszych gatunków kamieni winien być grubszy, z mocniejszych drobniejszy; 4. w uwalcowanej warstwie tłucznia wolna przestrzeń pomiędzy kawałkami tłucznia winna być wypełniona lepiszczem, zwykle miałem, otrzymywanym przy tłuczeniu kamienia; rzadziej używa się gruboziarnistego piasku lub żwiru (przy tłuczniu z wapienia); gliny na lepiszcze bezwarunkowo nie używać.

Nie wszystkie materjały, używane do dróg bitych, mają wszystkie wymienione zalety; często zadowolniać się musimy ze względów finansowych gorszemi materjałami, ale zato znajdującemi się w pobliżu.

Skały pochodzenia wulkanicznego stanowią naogół dobry materjał; należą tu: *a)* ziarniste, jak granity, dioryty, sienity, gabro i inne; *b)* porfirowe, jak porfiry, melafiry, bazalty, andezyty i inne; *c)* gnejsy. —

W Polsce materjały te najczęściej spotykamy w postaci kamieni narzutowych. Północna część Polski do linji Siniawka—Kobryń—Chełm—Lublin—Radom—Częstochowa przeważnie buduje drogi bite z głazów narzutowych, zbieranych po polach lub kopanych w złożach morenowych; w wielu miejscach kamienie narzutowe już są wyczerpane lub są na wyczerpaniu i zachodzi potrzeba sprowadzania materjału z dalszych stron. Głazy narzutowe

mają tę ujemną stronę, że nie stanowią jednolitego materjału, gdyż spotykamy często nawet po kilkadziesiąt gatunków różnych skał w jednej kupce tłucznia; dlatego materjał ten nierównomiernie zużywa się pod wpływem ruchu, co wytwarza wyboje.

Skały wulkanicznego pochodzenia znajdują się w Polsce również w postaci pokładów i złóż: granity w Tatrach (okolice Morskiego Oka), dotychczas nieeksploatowane, andezyty w okolicach Czorsztyna i Szczawnicy (nieeksploatowane), porfiry w Miękini około Krakowa (eksploatowane), melafiry w Regulicach ok. Krakowa i diabazy w Niedźwiedziej Górze około Tenczynka pod Krakowem (eksploatowane), granity, gnejsy i dioryty w dolinie rzeki Korczyka (na Wołyniu na granicy Rzeczypospolitej), oraz na wschód od stacji Sarny przy linji kolejowej Sarny—Kijów: pokłady granitowe stanowią tam płytę o powierzchni przeszło 1200 km^2, wychodzącą na wierzch, w wielu miejscach eksploatowaną w sposób pierwotny i w zakresie niewielkim. Wreszcie mamy bazalt w Berestowcu na Wołyniu około Równego (eksploatowany dotychczas dość pierwotnemi sposobami i na małą skalę) i w Podłużnem również na Wołyniu około Równego (dotychczas nieeksploatowany).

Skały osadowe stanowią naogół gorszy materjał, niż skały pochodzenia wulkanicznego. Do lepszych gatunków zaliczyć można krzemienie, piaskowce kwarcytowe [dobre kamieniołomy w Zagnańsku pod Kielcami i około gór Świętokrzyskich, około Sandomierza (Międzygórz), Chyrowa, Lwowa (Winniki, Huta Szczerzecka, Suchodół i inne), w Delatynie, w dolinie Pruta, w okolicach Łucka itd.]; piaskowce wapienne i iłowate (Skole, Kozy); wapienie przeważnie dają materjał słabszy, a niektóre gatunki są nawet zupełnie nieprzydatne do budowy i utrzymania dróg.

Materjały sztuczne na tłuczeń uż. rzadko: szlaka z wielkich pieców, materjał twardy, ale nie wiążący się, oraz klinkier, dający tłuczeń względnie trwały, ale nie wiążący się. W Polsce tłuczeń klinkierowy uż. w okolicach Zamościa.

Przygotowanie tłucznia może być ręczne albo maszynowe. Ręczne, przy pomocy młotków 1,5—3,0 *kg* wagi, wymaga wprawy robotnika. Wydajność dzienna pracy robotnika waha się od 0,5 do 2,0 m^3 i więcej, w zależności od twardości i spoistości kamienia i wprawy. Przy tłuczeniu ręcznem otrzymuje się tłuczeń lepszy niż przy maszynowem: równiejszy, mniej miału. Przy tłuczeniu kamienia na tłuczeń objętość jego zwiększa się o 8—10% w stosunku do objętości użytego na tłuczeń kamienia. Ustawia się go w stosach formy prawidłowej — w stożkach lub pryzmatach — o jednakowej objętości dla łatwiejszego określania objętości.

Tłuczenie mechaniczne wykonywa się przy pomocy specjalnych maszyn-łukarek. Tłukarki takie bywają stałe w kamieniołomach o wielkiej wydajności i przenośne dla tłuczenia materjału, nagromadzonego wzdłuż drogi; wydajność przenośnych stosunkowo mała. Najwięcej rozpowszechnione tłukarki szczękowe, mniej używane stożkowe. Wydajność od jednego do kilkudziesięciu m^3 tłucznia na godzinę. Tłuczeń otrzymany maszynowo zw. gorszy od ręcznego: zawiera nierównomierne kawałki i znacznie więcej miału 15—30% (przy tłuczeniu ręcznem 12—15%). Doświadczenia inż. Hessa z tłukarką szczękową fabryki Friedricha w Dreznie dały rezultaty zestawione na tablicy 10, str. 98.

Walcowanie (walkowanie) stanowi bardzo ważny czynnik w budowie i utrzymaniu dróg bitych: dobrze wykonane walcowanie da dobrą i trwałą nawierzchnię; źle pod względem technicznym lub niedbale wykonane da złą i nietrwałą nawierzchnię nawet przy użyciu pierwszorzędnych materjałów.

Konne walce (wałki) obecnie używane ważą 3—8 *t*: cz. waga może być powiększona o $1^1/_2$—3 *t* (ciężar zmienny) przez obciążenie walca hermetycznie zamkniętego pokrywami z dwóch stron — wodą, lub przez napełnienie

Tablica 10.

Gatunek kamienia	Podział tłucznia podług grubości ziarna w %			Zwiększenie objętości tłucznia w stosunku do objętości kamienia przed potłuczeniem w %
	gruby < 6,5 *cm* w średnicy	średni < 6 *cm* w średnicy	miał < 2,5 *cm* w średnicy	
Gabro	44	39	17	7
Diabaz	34	45	21	6
Bazalt	40	40	20	11
	< 7 *cm*	< 5,5	< 2,5 *cm*	
Wapień	29	48	23	

ziemią lub kamieniami skrzyń, zawieszonych na ramie walca. Dla uniknięcia nawracania dwa dyszle. Ciśnienie wagi walca na *cm* bieżący obręczy koła wynosi 30—60 *kg*, rzadko do 70—100 *kg*. W walcu fabryki Braci Gajzler w Warszawie ciśnienie wynosi ok. 30 *kg* na *cm* b. obręczy koła, przy obciążeniu dodatkowem po napełnieniu bębna wodą, a skrzyń ziemią lub kamieniami dochodzi do 60 *kg*, co dla walcowania dróg bitych z twardego tłucznia jest za mało. Należy odrazu walcować dłuższe odcinki po 300—500 *m*, by nie przeprzęgać często koni.

Walce (wałki) parowe i spalinowe w ostatnich czasach coraz bardziej wypierają walce konne. W rzucie poziomym schemat takich walców przedstawia się jak na fig. 98, rzadziej jak na fig. 99. Ciężar 3—25 *t* i więcej. Do walcowania nowych dróg bitych trzeba mieć walce lżejsze (8—12 *t*)

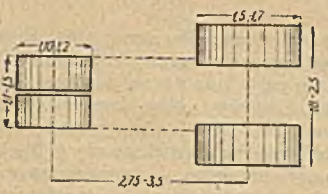


Fig. 98.

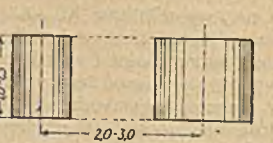


Fig. 99.

i cięższe (> 12 *t* — dla kończenia walcowania). Dla naprawy dróg bitych (pogrubiania nawierzchni, walcowania łat) przy twardym materjale cięższe (15—20 *t*).

Niektóre walce mają dodatkowe obciążenie.

Ciśnienie na 1 *cm* b. obręczy 50—150 *kg*. Silniki o mocy 15—50 HP. Prężność pary w czasie pracy 6—15 atmosfer. Silniki spalinowe na benzynę, ropę lub naftę bywają o mocy 20—60 HP, dwucylindrowe lub czterocylindrowe.

Zaleta walców parowych: niekapryśny prosty silnik, wymagający mniej starannej obsługi niż spalinowy; ujemne strony: potrzeba dowozu dużej ilości paliwa i wody, niemożność pracy przy kotłach leżących na stromych i długich wzniesieniach z powodu możności przepalenia rurek opłomkowych; dość duża waga: zw. conajmniej 8 *t*.

Zalety walców spalinowych: możliwość mniejszej wagi (od 3 *t*), nie potrzeba dowozić w czasie roboty paliwa i wody, możność pracy na wzniesieniach; wada — zbyt skomplikowany i kapryśny silnik, wymagający starannej obsługi.

Odcinki, walcowane przy pomocy walców mechanicznych, nie powinny być dłuższe niż 100—150 *m*, aby walcowany odcinek jak najprędzej mógł być ukończony.

Wykonywanie walcowania. Rozpoczyna się z brzegów nawierzchni pasami możliwie z dwóch stron jezdni w jednym kierunku — w kierunku przyszłego ruchu (po prawej stronie jezdni); przechodzi się na następny pas ku środkowi nawierzchni po podwalcowaniu pasów skrajnych do takiego stopnia, aby przed walcem nie tworzyła się fala wypieranego przezeń tłucznia. Gdy fala ta przestanie się ukazywać, przystępuje się do stopniowego „miałowania“ — zasypywania drobnym tłuczniem lub żwirem. Walcowanie winno odbywać się na mokro: gdy niema deszczu, walcowany tłuczeń stale, ale umiarkowanie należy polewać wodą.

Walcowanie uważać należy za ukończone, gdy po zamiałowaniu tłuczeń pod kolami wozów przestanie się rozsuwać, wydając charakterystyczny chrzęst. Zawartość miału w nawierzchni drogi bitej nie powinna być większa niż 15—20% objętości; większa zawartość miału w nawierzchni dowodzi nieumiejętnego walcowania, np. zbyt wczesnego miałowania itp.

Wydajność dzienna walcowania przy 10-godzinnym dniu pracy walca 14-tonnowego przy szybkości ruchu 0,7—1,0 *m*/sek. przeciętnie wynosi:

dla tłucznia z porfiru . . . . . 20—40 m^3
dla tłucznia z bazaltu . . . . . 40—60 m^3
dla tłucznia z granitu, augitu i kamieni narzutowych . . . . 50 m^3
dla tłucznia z wapienia muszlowego . . . . . 50—80 m^3
dla tłucznia z wapienia jurajskiego . . . . . 40—60 m^3
dla tłucznia ze żwiru . . . . . 30—70 m^3

Ilość przejść po jednem miejscu, potrzebna do zupełnego uwalcowania tłucznia, zależna jest od wielkości ciśnienia walca na nawierzchnię drogi, rodzaju tłucznia, grubości warstwy walcowanej, jakości pokładu (fundamentu), oraz od pogody. Dla dróg pozamiejskich wystarcza przy walcach mechanicznych cięższych 25—50 przejść, w wyjątkowych razach przy twardym kamieniu i trudnych warunkach do 100—150 przejść. Wydajność pracy walców parowych przy twardym tłuczniu jest większa o 20%, przy miękkim o 40%, niż walców konnych.

Koszta uwalcowania 1 m^3 tłucznia przy twardym tłuczniu wynosiły przed wojną przy użyciu walca parowego o 36%, przy miękkim o 31% mniej, niż przy użyciu walca konnego. Koszta te jeszcze bardziej się zmniejszają (do 43%) przy naprawach częściowych (łataniu) nawierzchni drogi bitej.

Inż. A. Rodcewicz podaje nast. tablicę norm pracy przy walcowaniu dróg bitych (p. tablica 11).

Tablica 11.

Objętość wysypki m^3	Grubość wysypki *cm*	Walec konny						Walec parowy					
		Na całą wysypkę			Na 1 m^3			Na całą wysypkę			Na 1 m^3		
		Ilość dni walcowania (10-godz.)						Ilość dni walcowania (10-godz.)					
		Kategorje tłucznia						Kategorje tłucznia					
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
192	3,85	6,88	8,39	9,90	0,0357	0,0436	0,0514	4,08	4,84	5,59	0,0212	0,0251	0,0291
300	6	10,00	12,00	14,00	0,0333	0,0400	0,0467	6,00	7,00	8,00	0,0200	0,0233	0,0267
350	7	11,28	13,42	15,56	0,0322	0,0383	0,0444	6,81	7,88	8,94	0,0194	0,0225	0,0256
400	8	12,44	14,67	16,89	0,0311	0,0367	0,0422	8,56	8,67	9,78	0,0189	0,0217	0,0244
450	9	13,50	15,75	18,00	0,0300	0,0350	0,0400	8,25	9,38	10,50	0,0183	0,0208	0,0233
500	10	14,44	16,67	18,89	0,0289	0,0333	0,0378	8,89	10,00	11,11	0,0178	0,0200	0,0222
550	11	15,28	17,42	19,56	0,0278	0,0317	0,0356	9,47	10,54	11,61	0,0172	0,0192	0,0211
600	12	16,00	18,00	20,00	0,0267	0,0300	0,0333	10,00	11,00	12,00	0,0167	0,0183	0,0200
650	13	16,61	18,42	20,22	0,0256	0,0283	0,0311	10,47	11,38	12,28	0,0161	0,0175	0,0189
700	14	17,11	18,67	20,22	0,0244	0,0267	0,0289	10,89	11,67	12,44	0,0156	0,0167	0,0178

Tablica powyższa daje normy na 1 *km* drogi bitej o szerokości jezdni = 5 *m* przy walcowaniu. walcami o przeciętnej wadze warstw tłucznia, rozsypanych na starych drogach bitych lub na nowych na kamiennym pokładzie lub też na dolnej warstwie tłucznia już uwalcowanej.

Kategorja tłucznia I oznacza tłuczeń miękki: z wapienia lub piaskowca, kategorja II z porfiru, słabszych granitów itd., kategorja III oznacza tłuczeń twardy i trudno walcujący się: z piaskowca kwarcytowego, twardych granitów, bazaltów, twardych kamieni narzutowych itd.

Utrzymanie dróg bitych. Drogi bite wymagają starannego i systematycznego utrzymania, które polega na następujących czynnościach:

a) Oczyszczanie nawierzchni z kurzu i błota bądź ręcznie przez robotników przy pomocy mioteł i skrobaczek, bądź przy pomocy specjalnych maszyn, ciągnionych przez konie lub poruszających się przy pomocy silników na nich ustawionych. Wydajność pracy tak ręcznej jak i maszyn bardzo rozmaita w zależności od rodzaju materjału, nawierzchni, oraz rodzaju i intenzywności ruchu. Zebrany kurz lub błoto zgarnia się w kupki na poboczach i w chwili opowiedniej przerzuca się za rowy lub wywozi.

b) Naprawa nawierzchni. Są trzy systemy: 1. system łatania; 2. system pogrubiania nawierzchni (perjodycznego) czyli system odnowy i 3. system mieszany.

1. System łatania polega na łataniu wybojów i dziur w nawierzchni: oczyszcza się z błota wybój lub dziurę; o ile nawierzchnia nie jest jeszcze przełamana, oskarduje się powierzchnię wyboju, aby uczynić ją szorstką, zasypuje się tłuczniem i ubija, względnie uwalcowywa walcem, przytem tłuczeń należy polewać. O ile łatanie odbywa się bez ubijania lub uwalcowywania tłucznia, duża jego ilość (do 60%) zużywa się nieprodukcyjnie. Systemu łatania, o ile nie jest wywołany koniecznością ratowania drogi przed zrujnowaniem, należy możliwie unikać, gdyż daje nierówną nawierzchnię i dużą nieprodukcyjną stratę materjału.

2. System odnowy czyli perjodycznego pogrubiania nawierzchni polega na pogrubianiu całych kilometrów, względnie całych hektometrów, przez rozsypanie warstwy tłucznia odpowiedniej grubości i uwalcowanie go po uprzedniem zoskardowaniu starej nawierzchni ręcznie lub maszynowo. Przy normalnej gospodarce winien być opracowany plan systematycznego pogrubiania na zasadzie pomiarów grubości nawierzchni, przeprowadzanych co 3—4 lata na każdym kilometrze, a nawet hektometrze. Plan należy tak ułożyć, aby zużycie (starcie) materjału w nawierzchni wskutek ruchu na drodze w ciągu danego okresu, na jaki ma starczyć pogrubienie, nie było większe od dopuszczalnego i bezpiecznego dla całości nawierzchni. Zwykle pogrubienie oblicza się tak, aby przy ruchu intenzywnym starczyło nie mniej niż na 4 lata, przy słabszym na 6 i więcej.

3. System mieszany polega na stosowaniu jednoczesnem systemu łatania i systemu pogrubień, sprowadzając pierwszy do granic możliwie małych i stosując go jedynie w celu niedopuszczenia powstawania większych uszkodzeń jezdni.

Zużycie nawierzchni drogi bitej zależy od rodzaju materjału, z jakiego nawierzchnia jest wybudowana, oraz rodzaju i intenzywności ruchu, jaki się po niej odbywa.

Z praktyki inżynierów drogowych badeńskich posiadamy dane o zużyciu nawierzchni dróg bitych przez zwykły ruch kołowy, zestawione na tablicy 12.

c) Inne roboty przy utrzymaniu dróg bitych: zbieranie „tułaczy", tj. luźnych kamyków na nawierzchni, wyrównywanie poboczy w celu zachowania spadku poprzecznego, oczyszczanie rowów itp., wykonywane są w miarę potrzeby przeważnie przez dróżników, rzadziej przy pomocy najętych robotników.

Tablica 12.

Rodzaj materjału na tłuczeń	Zużycie roczne materjału w m^3 na 1 km przy 5 m szerokości jezdni na drogach z napięciem ruchu koni na dobę						
	< 30 VII	od 30 do 50 VI	od 50 do 100 V	od 100 do 250 IV	od 250 do 500 III	od 500 do 1000 II	> 1000 I
Doleryt	6—12	12—16	16—22	22—32	32—42	42—60	60—114
Bazalt	8—12	16—20	20—30	30—40	40—55	55—80	80—150
Porfir I gat.	8—16	16—20	20—27	27—40	40—50	50—75	75—140
„ II gat.	10—20	20—25	25—35	35—48	48—63	63—90	90—170
„ III gat.	12—25	25—32	32—45	45—65	65—85	85—120	120—230
„ średnio	10—20	20—25	25—35	35—50	50—65	65—95	95—180
Dioryt, sienit	10—20	20—25	25—35	35—50	50—65	65—95	95—180
Gnejs	10—20	20—25	25—35	35—50	50—70	70—100	100—190
Granit I gat.	8—16	16—20	20—28	28—40	40—55	55—75	75—145
„ II gat.	10—20	20—25	25—35	35—50	50—70	70—100	100—190
„ III gat.	15—30	30—35	35—50	50—70	70—95	95—140	140—260
„ średnio	10—20	20—35	35—35	35—55	55—70	70—100	100—190
Ambibolit	10—20	20—25	25—35	35—55	55—70	70—100	100—190
Łupek szyfrowy	8—16	16—20	20—28	28—40	40—55	55—75	75—145
Wapień I gat.	8—16	16—24	24—32	32—49	49—70		
„ II gat.	10—20	20—30	30—40	40—60	60—85		
„ III gat.	13—26	26—38	38—51	51—77	77—110		

6. **Drogi bite smołowano.** W celu uniknięcia tworzenia się kurzu i błota, oraz zapobieżenia destrukcyjnemu wpływowi na drogi bite ruchu samochodów stosuje się smołowanie dróg bitych; w Polsce chwilowo zaniechane ze względu na koszty.

Używane materjały. Smoła z węgla kamiennego, otrzymana przy suchej destylacji, używa się po podgrzaniu do 105° C i po usunięciu płynów amonjakalnych i części lotnych; z biegiem czasu na powietrzu twardnieje, kruszeje i traci elastyczność. Smoła drzewna używana rzadko, jak również nafta i produkty jej destylacji. Najlepszy materjał stanowi smoła asfaltowa naturalna, następnie wytapiana z piaskowców bitumicznych; jest najtrwalszym materjałem, niewrażliwym na zmiany atmosferyczne; woda jej nie ługuje; dla nadania topliwości i płynności dodaje się do smoły asfaltowej olejów naftowych lub olejów, otrzymywanych przy suchej destylacji węgla kamiennego.

Smołowanie powierzchniowe. Polega na polewaniu gorącą smołą suchej, oczyszczonej od kurzu powierzchni drogi bitej, zasypaniu miałem i ewentualnie uwalcowaniu. Smoła przenika 5—10 *mm* wgłąb, w nawierzchni nowej, niezupełnie zamiałowanej — głębiej. Smołowanie wystarcza w zależności od ruchu i klimatu od pół roku do dwóch lat; dawało przed wojną dobre wyniki techniczne i duże oszczędności. Smoły wychodzi od 1,5 do 3,0 *kg* na m^2. Polewanie ręczne lub przy pomocy specjalnych maszyn, które mogą zasmołować do 3000—4000 m^2 powierzchni dziennie.

Dla związania kurzu na czas krótszy (kilka dni — kilka tygodni) niekiedy bywa stosowane polewanie nawierzchni emulsjami olejów skalnych, tj. mieszaniną 10—15% do 20% olejów skalnych z wodą. Jeszcze bardziej krótkotrwałe jest polewanie dróg bitych roztworami soli chłonących wodę i utrzymujących nawierzchnię stale w stanie nieco wilgotnym przez wchłanianie z powietrza pary; używane są roztwory chlorku magnezowego i chlorku potasowego.

Smołowanie wgłębne — polega na polewaniu gorącą smołą tłucznia i na utworzeniu z takiego tłucznia nawierzchni przez walcowanie

warstwy tego tłucznia na pokładzie z kamienia lub bez tegoż. Niekiedy smoła polewa się tłuczeń już po podwalcowaniu; po uwalcowaniu tłucznia posypuje się nawierzchnię kilkocentymetrową warstwą miału i jeszcze walcuje; nawierzchnia drogi bitej smołowanej wymaga dokładnej znajomości techniki tego rodzaju robót i wyborowych materjałów.

7. Bruki. *a)* Bruki zwykłe (z kamienia łupanego [łamanego] lub polowego). Ten rodzaj bruku najprymitywniejszy z pośród innych, w Zachodniej Europie prawie zupełnie zarzucony, w Polsce dzięki taniości i brakowi odpowiednich materjałów dla bruków ulepszonych będzie jeszcze długo stosowany.

Fig. 100.

Układa się z kamieni narzutowych, dobieranych podług pewnej wielkości (okrąglaków lub płytowanych, tj. rozbijanych na mniejsze z większych) lub z odłamków skał dobywanych w kamieniołomach. Używa się kamieni trwałych, przedewszystkiem gatunków pochodzenia wulkanicznego; osadowe — piaskowce i wapienie — nie wszystkie nadają się do bruku. Wysokość kamieni 12—20 *cm*; czoło kamienia winno być możliwie płaskie o wymiarach conajmniej 10 *cm* na szerokość i długość; kamienie powinny mieć formę nie bułowatą, ale wydłużoną. Przy brukowaniu dobiera się je podług wysokości: wyższe — przy brzegu drogi, niższe — pośrodku. Układać należy ściśle, przewiązując szwy tak, aby w kierunku ruchu na drodze nie było szwów długich przez kilka rzędów kamieni. Po ułożeniu bruk należy zaćwiekować tłuczniem, ubić i zasypać piaskiem. Bruki takie układa się przy gruncie przepuszczalnym wprost na gruncie; przy gruncie nieprzepuszczalnym — na warstwie żwiru lub piasku, możliwie gruboziarnistego, gr. 15—20 *cm*.

Fig. 101.

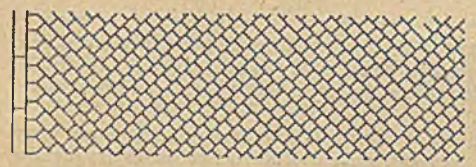


Fig. 102.

Zaleta: taniość i łatwość budowy; wady: hałaśliwość, przepuszczalność, trzeskość, kurz i błoto. Jeden brukarz może ułożyć dziennie 12—30 m^2 bruku w zależności od warunków roboty i jej organizacji.

b) Bruki kostkowe. Układa się zawsze na fundamencie: na warstwie żwiru lub piasku, możliwie gruboziarnistego, o grubości 15—20 *cm* lub na pokładzie kamiennym, wybudowanym, jak w nawierzchni drogi bitej systemu Trésaguet gr. 15—25 *cm* z kliniastych kamieni, ułożonych ostrzem do góry, zaćwiekowanych tłuczniem; pokład ten ubija się ręcznie lub uwalcowywa; często (w miastach) na pokład uż. też betonu 1 : 2 : 4 do 1 : $3\frac{1}{2}$: 7 (najcz. 1 : 3 : 6) w warstwie gr. 15—25 *cm*. Na fundamencie kamiennym lub betonowym daje się 3—5 *cm* warstwę piasku dla utworzenia sprężystej poduszki między kostkami a fundamentem i zniwelowania różnic w wysokościach poszczególnych kostek (fig. 100).

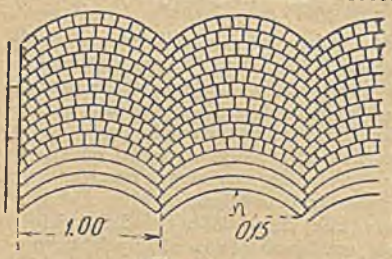


Fig. 103.

Materjał na kostki należy brać twardy, trudno ścierający się: bazalt, granit, andezyt, porfir, diabaz itp., rzadziej piaskowce kwarcytowe i inne.

Obecnie prawie wyłącznie używa się kostek formy równoległościanu z niewielkiem zwężeniem ku dołowi o 1—2 *cm* (kliniaste kostki); rzadziej są to kostki o formie sześcianu z takiemże zwężeniem, t. zw. pieńki.

Wysokość 12—18 *cm*; przy dostawach dopuszcza się różnicę w wysokościach do 2 *cm*. Szerokość 8—10 lub 12—13; dopuszczalna różnica w szerokościach do 2 *cm*. Długość kostek różna — od 16 do 30 *cm*.

Najcz. układa się kostki rzędami prostopadłemi do osi drogi, rzadziej pod 45° do niej. Szwy przewiązywać; szerokość szwów między rzędami 3—8 *mm*. Po ułożeniu kostki ostrożnie ubija się. Na skrzyżowaniach dróg rzędy kostek układa się tak, aby kierunek ruchu nie szedł w kierunku rzędów.

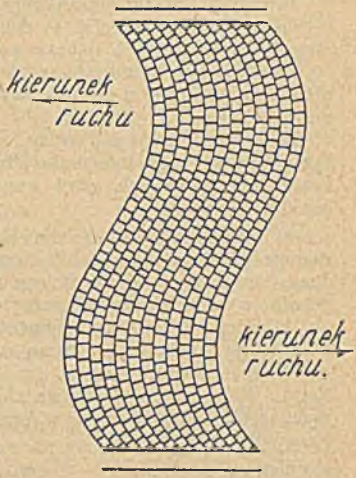


Fig. 104.

Wypełnianie szwów: piaskiem — najtańsze, lepsze — zaprawą cementową, najlepsze — asfaltem lanym w stanie gorącym.

Bruk kostkowy należy do najdroższych, ale znosi ciężki i gęsty ruch — do kilku tysięcy koni w wozach ciężarowych na dobę, jest higjeniczny, bo nieprzepuszczalny, daje mały opór ruchu, jest dość hałaśliwy, szczególniej po pewnem zużyciu, gdy kostki z wierzchu zaokrąglą się. Gdy zaokrąglenie to stanie się przykrem dla ruchu, obciosywanie kostek dla wyrównania ich czoła nie opłaca się i należy kostki dać nowe.

c) Bruki mozajkowe. Nadają się głównie na nawierzchnię na drogach o ruchu dość gęstym, ale lekkim, zarówno na ulicach miejskich, jak odcinkach podmiejskich dróg zamiejskich. Układa się w różne desenie (fig. 101, 102, 103, 104, 105) z kostek o czole kwadratowem, o formie zbliżonej do sześcianu, jednak ze zwężeniem do dołu. Wymiary kostek zwykłe 8—10 *cm* i nawet 7—9 *cm* przy twardych gatunkach kamienia (przy dostawach wahania dopuszczalne do 2 *cm*); rzadziej używa się większych kostek o wymiarach 10—12 *cm*. Powierzchnia dolna wskutek zwężonej formy kostek bywa do 30% mniejsza niż górna.

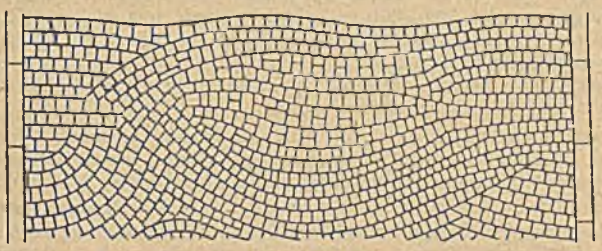


Fig. 105.

Układa się bruk mozajkowy zawsze na fundamencie kamiennym lub betonowym z warstwą piasku na wierzchu grubości 2—3 *cm* dla zniwelowania różnic w wysokościach kostek i utworzenia sprężystej poduszki; niekiedy do warstwy piasku dodaje się cementu, co tworzy chudą zaprawę cementową. Szwy zapełnia się piaskiem lub zaprawą cementową, rzadko zaprawą asfaltową, z domieszką piasku lub pyłu piaskowego ze względu na

koszty. Aby nawierzchnia się nie rozsuwała, musi posiadać mocne ramy (krawężniki) z dużych kostek lub specjalnych krawężników z boków drogi; takież ramy muszą być wpoprzek drogi na początku i końcu drogi.

Szerokość szwów pomiędzy kostkami — 3 *mm* najwyżej, 5 *mm* w kątach; szwy winny być starannie przewiązywane.

Materjał na kostki winien być możliwie twardy, łatwo łupać się i mało ścierać się: dobre są bazalty, andezyty, granity drobno- i średnio-ziarniste, porfiry itp.

Trwałość bruków mozajkowych jest znaczna: przy dość silnym ruchu — do 1000 koni na dobę — dobrze zbudowane bruki mozajkowe nie wymagają znaczniejszych napraw po 15—20 lat.

Ilość startego materjału w bruku mozajkowym bywa 6—7 razy mniejsza, niż na drodze bitej z takim samym ruchem, zbudowanej z takiego samego materjału.

Bruk mozajkowy jest cichy, nieprzepuszczalny, słabszy, niż bruk z dużych kostek, względnie mało śliski. Nie należy stosować go na drogach często rozkopywanych, gdyż wznowiony źle się łączy z nawierzchnią poprzednio wykonaną.

d) Bruki klinkierowe. Używane w miejscowościach pozbawionych materjałów kamiennych lub tam, gdzie klinkier jest tańszy, niż sprowadzane kostki kamienne. W Polsce używane są w okolicach Lublina, Zamościa, Sokala; w ostatnich czasach zaczynają wychodzić z użycia. Glina odpowiednia na klinkier winna przy temperaturze 800—1000° C i najwyżej 1200° C zeszklić się, zachowując formę nadaną (formę cegieł); wypalanie odbywa się w specjalnych piecach (w Zamojszczyźnie — systemu Mondheima). Forma klinkieru zwykle bywa zbliżona do formy cegieł; w Zamojszczyźnie wymiar 67 . 133 . 266 *mm*; w Ameryce 64 . 102 . 216 lub 51 . 102 . 216 *mm*.

Klinkiery układa się na warstwie żwiru lub piasku możliwie grubo-ziarnistego, grubości 15—20 *cm*, lub na pokładzie kamiennym (syst. Trésaguet) lub betonowym z warstwą 3—5 *cm* piasku na wierzchu. Z brzegu jezdni winny być krawężniki, zapobiegające rozsuwaniu się bruku klinkierowego. Cegły układa się rębem rzędami prostopadłemi do osi drogi lub pod 45° do niej; wreszcie można układać je w jedlinkę. Szwy wypełnia się piaskiem, rzadziej zaprawą cementową lub asfaltem.

Własności klinkieru: Wytrzymałość na zgniecenie klinkieru zamojskiego wynosi 900—1000 *kg/cm²*, amerykańskiego 700—1400 *kg/cm²*, holenderskiego tylko 500—600 *kg/cm²*; ścieralność jest większa niż granitu. Nasiąkliwość 5—10% wagi własnej (nasiąkliwość cegły zwykłej 20—40%). Ciężar gatunkowy 2,0 do 2,5.

Klinkier daje jezdnię odpowiednią dla ruchu średniego, niezbyt ciężkiego, gładką z małym spółczynnikiem oporu.

e) Inne rodzaje bruku. Bruki drewniane p. dział: Ulice; bruki z kostek sztucznych ze szlaki, z prasowanego betonu, topionego bazaltu itp. nie grają dotychczas poważniejszej roli i znajdują się w fazie prób.

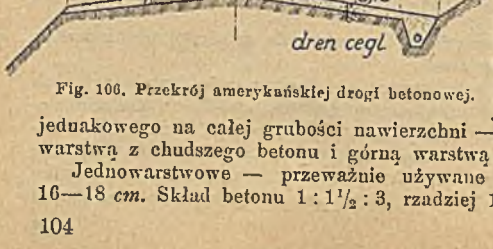


Fig. 106. Przekrój amerykańskiej drogi betonowej.

8. Drogi betonowe.

W ostatnich czasach technika budowy dróg betonowych, szczególniej w Ameryce, zrobiła olbrzymie postępy. Do budowy stosuje się różne maszyny. Nawierzchnia bywa jednowarstwowa — z betonu jednakowego na całej grubości nawierzchni — i dwuwarstwowa — z dolną warstwą z chudszego betonu i górną warstwą z tłustszego.

Jednowarstwowe — przeważnie używane w Ameryce — o grubości 16—18 *cm*. Skład betonu 1 : 1½ : 3, rzadziej 1 : 2 : 4.

Przy dwuwarstwowej nawierzchni dolna warstwa o grubości 15—20 *cm* przy silnym ruchu, 14—15 *cm* przy średnim ruchu; górna warstwa grubości 5 *cm*; skład betonu w górnej warstwie 1 : 0,75 : 2,75 do 1 : 1 : 1; tłuczeń w tej warstwie winien być drobny, kanciasty.

W celu uniknięcia pęknięć nawierzchni z powodu wahań temperatury daje się poprzeczne szczeliny co kilka metrów (6—10 *m*), a czasami co kilkanaście i kilkadziesiąt (do 30 *m*); szerokość szczelin 5—8 *mm*, najwyżej do 12 *mm*; wypełnia się je wojłokiem lub tekturą, napojoną smołą asfaltową. W celu uniknęcia pęknięć stosuje się też wkładki (uzbrojenie) żelazne ϕ do 20 *mm*, układane w odległości 150 *mm* od brzegu nawierzchni i szczelin poprzecznych, lub też siatkę żelazną.

Nawierzchnia betonowa nadaje się do dróg ze średnim ruchem kołowym; dobrze znosi ruch samochodowy, szczególnie osobowy, jest higjeniczna, bo nieprzepuszczalna, daje mało kurzu, ale zato jest śliska i na większych spadkach nie może być stosowana. Duże trudności przedstawia naprawa nawierzchni betonowej, wymagająca zamknięcia ruchu na czas kilkotygodniowy.

9. Drogi asfaltowe. Patrz dział: Ulice.

10. Tory żelazne na drogach kołowych. Dla umożliwienia bardzo ciężkiego ruchu na drogach, gdy nawierzchnia nie może go wytrzymać, urządza się czasem tory jezdne (fig. 107) z szerokich szyn żelaznych, rozstawionych tak, aby wozy ciężarowe mogły się po nich toczyć. Urządzenia takie są bardzo drogie, mają tę niedogodność, że wzdłuż szyn tworzą się z biegiem czasu rowki.

Fig. 107.

11. Wybór nawierzchni dróg. Na wybór rodzaju nawierzchni wpływają względy techniczne i ekonomiczne.

Względy techniczne wymagają od nawierzchni: trwałości na ruch i wahania temperatury, szorstkości, w zależności od której dopuszczane są wielkości wzniesień, łatwości i szybkości napraw, łatwości oczyszczenia, nieprzepuszczalności (nienasiąkliwości), cichości.

Względy ekonomiczne wymagają: minimum kosztu budowy nawierzchni i minimum kosztów utrzymania nawierzchni, obliczonych na przeciąg okresu, w ciągu którego może istnieć wybudowana nawierzchnia danego rodzaju.

W chwili obecnej z powodu nieustalenia się cen wogóle, a w Polsce w szczególności, nie można podać stosunku między obecnemi kosztami budowy i utrzymania różnych nawierzchni dróg.

IV. Zadrzewianie dróg.

Jest to obowiązek zarządów drogowych; o ile jednak za rowami drogowemi niema pasa nieuprawionego, stanowiącego własność drogi lub serwitut drogi względem gruntów przyległych, obowiązek zadrzewiania takich dróg należy do właścicieli gruntów przyległych.

Drzewa nieowocowe. Należy sadzić te drzewa, które rosną bujnie i zdrowo w okolicy na takich ziemiach, jaka jest przy drodze. W ziemiach żyznych należy sadzić lipy, klony, rzadziej dęby (rosną zbyt wolno), graby, wiązy, w ostateczności kasztany; w ziemiach wapiennych i skalistych: buki, dęby, jesiony; w ziemiach lekkich akacje, brzozy; w ziemiach wilgotnych olszę błotną, w ostateczności wierzby; wogóle wierzby i topole udają się prawie wszędzie. Przy drogach wązkich sadzić należy drzewa i krzewy mniejsze; jarzębiny, głogi itp.; iglaste — wtedy, gdy do drogi należy

szerszy pas gruntu: na gruntach suchych — sosnę, na wilgotnych świerk zwykły, w lekkich i piaszczystych — świerk kolący, w skalistych — jodłę.

Drzewa owocowe należy sadzić w tych miejscowościach, gdzie można się spodziewać, że je uszanuje miejscowa ludność; o ile miejsce pozwala, lepiej drzewa owocowe sadzić za rowami: grusze i czereśnie w ziemiach żyznych, jabłonie w ziemiach wilgotnych na madach i próchnicach; śliwy — w ziemiach wilgotnych; wiśnie — w ziemiach lekkich i piaszczystych.

Drzewa przydrożne sadzić należy na brzegu korony drogi, jeżeli szerokość jej nie jest mniejsza niż 7,0 *m*; przy węższych drogach należy sadzić drzewa na pasach przydrożnych za rowami; drzewa posadzone na koronie należy zabezpieczyć odbojami: dużemi kamieniami lub mocno wkopanemi słupkami (pachołkami). Odległość drzew większych — 10 *m*, mniejszych 6—8 *m*. Przy drogach węższych niż 6 *m* sadzi się drzewa mniejsze jednym rzędem na koronie od strony południowej lub zachodniej. Na drogach z płaskiemi ściekami (przekrój typu amerykańskiego) drzewa bez względu na szerokość drogi winny być sadzone za rowami.

Żywopłoty sadzone zawsze za rowami, mają za zadanie ochronę pól od przechodniów lub też ochronę od zasypywania drogi przez śniegi lub lotne piaski; sadzi się grab, głóg, różę dziką, akację syberyjską, ligustr, żywotniki i inne.

Na nasypach wyższych niż 1,5 *m* zamiast ustawiania poręczy lub słupków ochronnych (pachołków) sadzi się gęściej drzewa — co 2—3 *m* — najczęściej wierzby.

V. Ochrona od zasp śnieżnych.

Zaspy śnieżne na drogach powstają w płytkich wykopach ($h < 4\ m$) i rzadziej, na wysokich nasypach ($h > 15\ m$).

Śnieg, pędzony po równinie i napotykający przeszkodę w postaci płotu pełnego (bez otworów), zatrzymuje się przed i za przeszkodą w postaci zasp

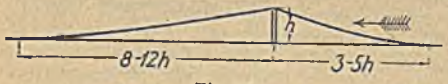


Fig. 108.

Fig. 109.

o skarpie od strony kierunku wiatru 1 : 3 do 1 : 5, a za przeszkodą w postaci zaspy o skarpie 1 : 8 do 1 : 12 (fig. 108). Jeżeli mamy ażurową przeszkodę (np. sztachety), wtedy tworzy się zaspa najpierw formy oznaczonej linją pełną, przy dłuższej śnieżycy tworzy się zaspa formy oznaczonej linją przerywaną (fig. 109). W celu ochrony dróg od zasp śnieżnych w miejscach, gdzie zaspy często się powtarzają, ustawia się stałe osłony śniegowe (parkany, żywopłoty) lub przenośne (tarcze z desek lub dranic, plecione z wikliny parkany przenośne itp.); czasami wetknięte w ziemię lub w wał ze śniegu gałęzie drzew iglastych zastępują osłony śniegowe. Osłony śniegowe szczególniej należy ustawiać wzdłuż niegłębokich wykopów ($h < 4-5\ m$) w odległości od brzegu wykopu tak dobranej, aby cała ilość śniegu, jaka może być nawiana przy zwykłych zawiejach, powtarzających się w danych miejscowościach, mogła zatrzymać się przed osłoną i za osłoną — pomiędzy nią i brzegiem wykopu. Osłony ustawia się po jednej lub po obydwóch stronach drogi w zależności od tego, czy zawieje bywają przy wiatrach z jednej, czy

Fig. 110.

z obydwóch stron. Obstawione osłonami winny być również przejścia z wykopu w nasyp.

Większe zaspy śniegowe przy długotrwałych śnieżycach można powstrzymywać przez stopniowe przestawianie osłon śniegowych (fig. 110). Nr. 1, 2, 3 i 4 oznaczają kolejne pozycje, zajmowane przez osłony śniegowe z dranic.

Śnieg, pokrywający jezdnię dróg, usuwa się przy pomocy trójkątów śniegowych, ciągnionych przez konie (fig. 111). Jednym trójkątem można oczyścić

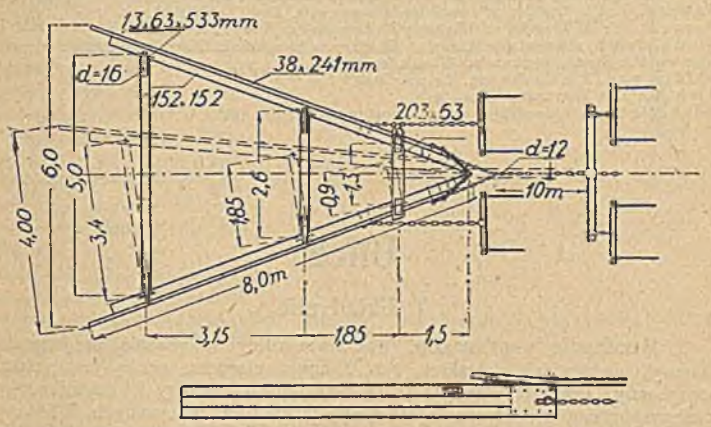


Fig. 111.

dziennie 15—20 *km* drogi przy grubości śniegu 15—30 *cm*. Dla przepuszczania przechodzących po drodze wozów trójkąty mogą być składane (na fig. 111 linja punktowana).

VI. Prawodawstwo i administracja.

Gospodarka drogowa w Polsce opiera się na ustawie o budowie i utrzymaniu dróg publicznych w Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 10 grudnia 1920 r., oraz na ustawie o przepisach porządkowych na drogach publicznych z dnia 7 października 1921 r. Na podstawie tych ustaw są wydane rozmaite rozporządzenia i przepisy wykonawcze. Ustawy i rozporządzenia ogłaszane są w Dzienniku Ustaw Rz. Polskiej, w „Monitorze Polskim“, oraz dawniej w „Robotach Publicznych“, obecnie w „Czasopiśmie technicznem“, organie urzędowym Ministerstwa Robót Publicznych. Zbiór ustaw i rozporządzeń, tyczących się gospodarki drogowej, wydanych od wskrzeszenia Rzeczypospolitej do dnia 1 stycznia 1923 r., wydany jest w osobnej książce, do której dodawane będą uzupełnienia.

LITERATURA.

a) Polska.

Pancer F.: O budowie i utrzymaniu dróg bitych i zwyczajnych. Wydał T. Przesmycki. Warszawa 1895.
Kühnel: Drogi i ulice. Lwów 1916.
Sznuk Z.: Podręcznik do budowy dróg bitych, gruntowych i ulic miejskich. Warszawa 1918.
Nestorowicz M.: Współczesna technika budowy i utrzymania dróg gruntowych. Warszawa 1919.
Bratro E.: Budowa i utrzymanie dróg kołowych. Podręcznik dla średniego personelu drogowego. Lwów 1921.
Kühnel A.: Drogi. Lwów 1922.

Nestorowicz M.: Sprawa drogowa w Polsce. Warszawa 1922.
Nestorowicz M.: Zbiór ustaw i rozporządzeń, tyczących się gospodarki drogowej za czas od 11 listopada 1918 do 1 stycznia 1923. Warszawa 1923.
Nestorowicz M.: Materjały do budowy i utrzymania dróg. Warszawa 1924.

b) Obca.

Durand-Claye C.: Cours de routes. Paris 1906.
Limasset L.: Cours de routes. Paris 1918.
Le Gavrian P.: Les chaussées modernes Paris 1922.
Aitken Th.: Road Muking and Maintenance. London 1907.
Baker J. O.: A Treatise of Roads and Pavements. New York 1907.
Byrne A. T.: A Treatise of Highway Construction. New York 1907.
Blanchard A.: American Highway Engineer's Handbook. New York 1919.
Loewe F.: Straßenbaukunde. Wiesbaden 1906.
Laißle, von, F.: Straßenbau. Leipzig 1907.
Birk A.: Der Wegebau. Wien 1919.
Doubelir G. D.: Gorodskija ulicy i mostowyja. Kijów 1912.

Ulice.

I. Układ ulic.

1. Przekroje poprzeczne. Położenie ulicy w mieście, w jego sieci ulicznej, nadaje jej charakter, typ, którego pierwszą cechą jest przekrój poprzeczny. Zasadnicze typy ulic są dwa: mieszkaniowy i komunikacyjny, z nieprzebranem mnóstwem kombinacyj pośrednich, mieszanych. Ulice wyłącznie mieszkaniowe, krótsze od 100 *m*, mogą być jednotorowe bez chodników, fig. 112 i 113, lub z jednostronnym chodnikiem, fig. 114 i 115. Jeśli są dłuższe lub załamane, to urządzona powinna być mijanka, lepiej tarcza dla nawracania. Długość jednotorowych ulic między dwiema ulicami nie może być większa od 250 *m*. Rozstaw linij regulacyjnych i linij obudowania zależy od rodzaju obudowania (luźne lub zwarte, ilość pięter, względnie wysokość budynków itd.).

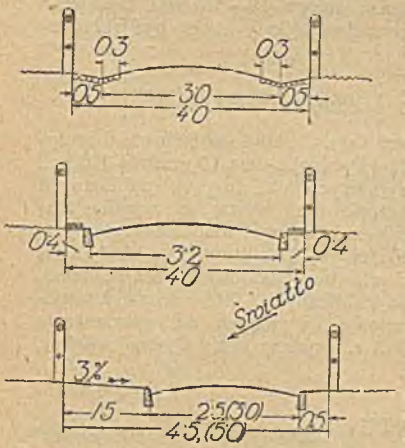


Fig. 112, 113 i 114.

Przykłady ulic mieszkaniowych z jezdnią dwutorową por. fig. 116—121. Chodniki w nich zazwyczaj niesymetryczne, szerszy po stronie słonecznej. Przekroje te nadają się do ulic mieszkaniowych naszych miast wielkich, na większość ulic miast średnich i małych.

Wzory ulic o jezdni trzytorowej przedstawiają fig. 122—125. Stosowne są dla wszystkich ruchliwszych ulic naszych miast wielkich i dla głównych arteryj w miastach średnich i małych.

Jezdnie czterotorowe bardzo ruchliwych ulic w miastach wielkich często rozdziela się na 2 pasma po 5,00 *m* lub po 7,50 *m*, gdy leżą w nich tory tramwajowe, fig. 126—127 (por. str. 111).

Szersze jezdnie trafiają się wyjątkowo.

Ponieważ jezdnia jest droższa od chodnika (w budowie, utrzymaniu i oczyszczaniu), więc daje się jej oszczędne wymiary, ewentualny nadmiar przerzucając na chodniki. Słupy wszelkiego rodzaju należy stawiać w od-

daleniu min. 0,7 *m* od przedniej ściany krawężnika (fig. 128), aby nietylko słup nie był narażony na najechanie przez pojazdy, ale i miejsce to nie było stracone dla przechodniów, z powodu małego swego wymiaru.

Szerokość chodników do mniej więcej 3,50 *m* jest wielokrotnością przechodnia w ruchu, to jest wymiaru 0,70 *m*, a więc 0,70, 1,40 itd., z dodatkiem szerokość słupów, drzew itp. (średnio ok. 0,30 *m*); powyżej 3,50 *m* szerokość chodników obiera się dowolnie, zależnie od innych czynników. I tak szerokości chodników wyznaczają w coraz silniejszym stopniu w miastach większych umieszczane pod chodnikami przewody konsumcyjne i komunikacyjne (patrz punkt 5. E). Normalne umieszczenie i konieczne szerokości podają fig. 129 i 130. Budowanie osobnych korytarzy podziemnych (ang. subway) dla tych przewodów okazało się niekorzystne.

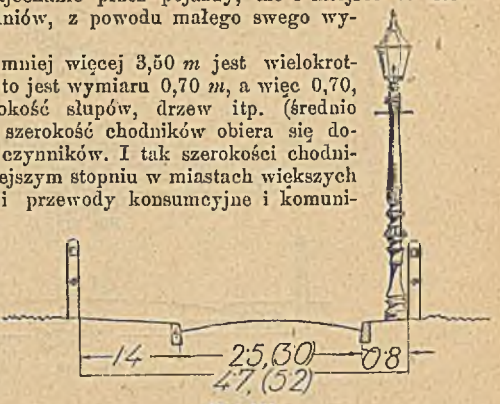


Fig. 115.

Jezdnie i chodniki otrzymują dla odwodnienia spadki poprzeczne, których wielkości, zależne od materjału i od spadku podłużnego ulicy, podane są w tablicy 1.

Tablica 1.

Spadki poprzeczne na jezdni i chodnikach w odsetkach.

Spadek podłużny	Jezdnia										Chodnik								Deptak	
	droga bita (żwirówka zwykła)	żwirówka węglowodorowa	bruk kamienny	cegła	klinkery	beton cementowy	asfalt lany	asfalt ubijany	drzewo miękkie	drzewo twarde	płyty granitowe	płyty piaskowcowe	kamień łamany	mozajka zwykła	mozajka kostkowa	beton i płyty beton.	płytki beton prasow.	asfalt lany	żwir, żużel	żwir. węglowodor.
0,0	7	5	5	4	3	4	2	1,5	4	3	2	3	4	4	2,5	3	2,5	2	4	2,5
do 3,5	5,5	3,5	4	3,5	1,5	3	1	0,5	3	2,5	1	2,5	3	2,5	1,0	2,5	1,5	1	3	1,5
> 3,5	4	2,5	3,5	3,0	1,0	2	—	—	2	1,5	—	2	2	1,5	—	2	0,5	—	2	0,5

Chodniki otrzymują zawsze prostolinijny spad ku jezdni. Jezdnia ma kształt odcinka kołowego lub podobnie urobionej krzywizny, wyjąwszy asfaltową. Najlepszy jest kształt z fig. 131, gdzie odrazu od osi zaczynają się małe spadki; wykreśla się go następująco: 1. wzdłuż krawężników odcina się ścieki, szerokości 5—7 % całej szerokości jezdni, max. jednak 0,5 *m*, w spadku o 2—3% wyższym niż średni spadek poprzeczny, 2. pozostałą przestrzeń do osi, względnie, gdy jezdnia co do spadków jest asymetryczna, do najwyższego jej punktu, obliczonego wedle średniego spadku, dzieli się na 5—6 równych części; część przy osi może być krótsza, otrzymuje ona spadek równy $^1/_2$—$^1/_3$

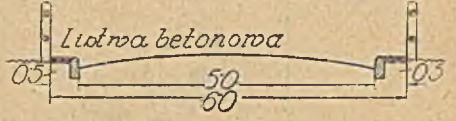


Fig. 116.

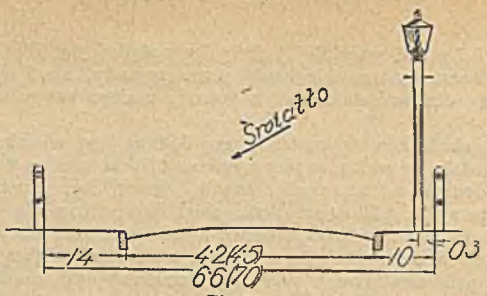


Fig. 117.

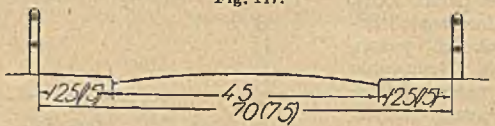


Fig. 118.

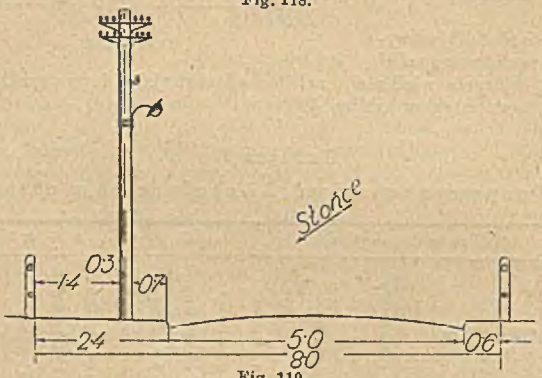
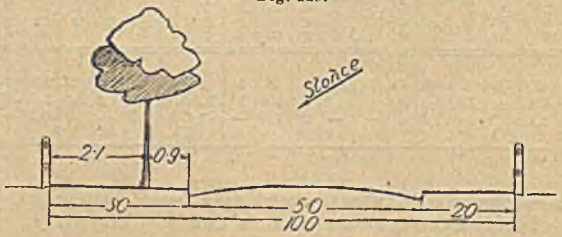


Fig. 119.



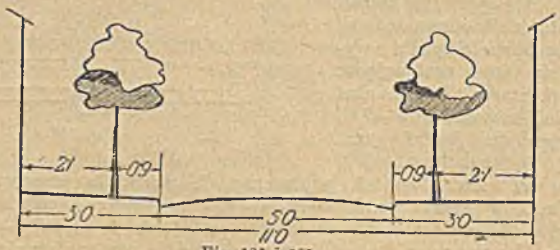


Fig. 120 i 121.

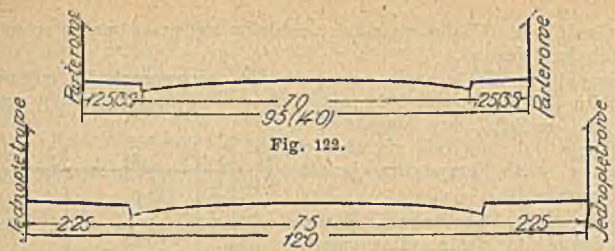


Fig. 122.

Fig. 123.

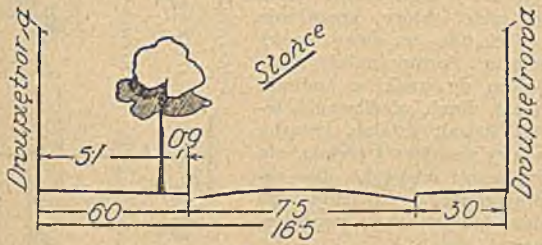


Fig. 124.

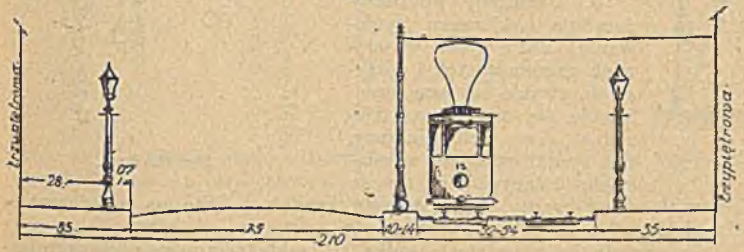


Fig. 125.

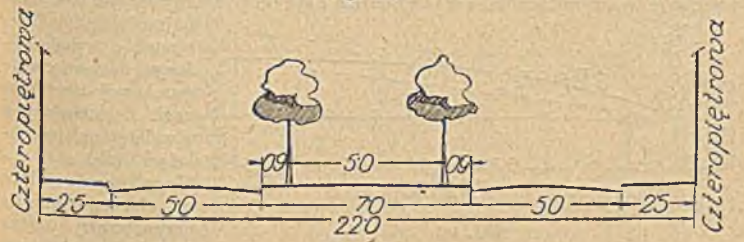


Fig. 126.

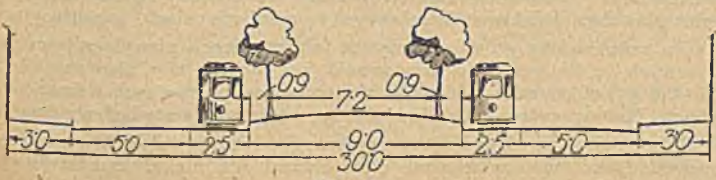


Fig. 127.

spadku średniego. Części pośrednie zakłada się przez próby w spadkach rosnących ku ściekowi.

Niezwykłe przekroje poprzeczne powstają najpowszechniej, gdy niweleta w stosunku do zabudowań leży niżej lub wyżej, np. fig. 132, a oraz niekiedy, gdy wzdłuż ulicy biegnie inna komunikacja lub znajduje się płynąca lub stojąca woda, przystanie, przeładownie rzeczne itp.

2. Kierunek. Usytuowanie jednej, niejako samej dla siebie, ulicy opierać się winno zawsze o plan regulacyjny miasta, względnie w jego braku o taki przynajmniej szkic, który przewiduje rozbudowę sieci ulic w danej części miasta. Sprawa należy zasadniczo do nauki o budowie miast. Ruch, obudowanie, teren, kształt działek, światło, wiatry panujące i piękno, oto wytyczne momenty dla zaprojektowania sytuacji po ustaleniu przekroju poprzecznego.

Fig. 128.

3. Przekrój podłużny decyduje o kierunku (sytuowaniu) ulicy tylko w terenach pagórkowatych i górzystych, zwykle zaś sam dostosowuje się do terenu i kierunku. Im ruch silniejszy, tem spadki mniejsze; w miastach, leżących w terenie

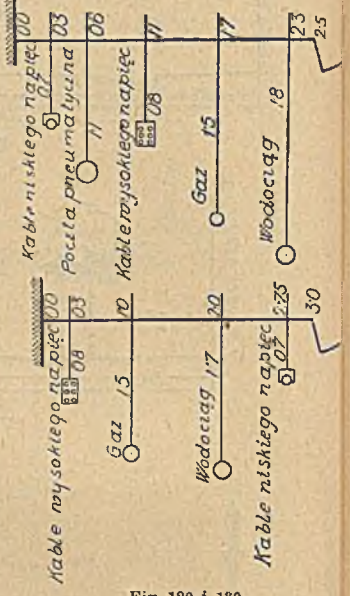


Fig. 129 i 130.

urozmaiconym, często przekracza się spadki, uznane za graniczne na drogach.

Ze względu na odwodnienie unika się zakładania ulic poziomych (konieczność tworzenia spadków w ściekach), a daje im podłużny spadek 0,005, conajmniej 0,003. W terenach o wysoko leżącym poziomie wody gruntowej i w terenach zalewowych niweletę należy założyć tak, aby podłoga piwnic leżała w obu wypadkach przynajmniej 0,5 *m* ponad najwyższem zwierciadłem. W terenach płaskich niekiedy dla niwelety będzie miarodajny wylot głównego kolektora kanałowego i położenie sieci kanalizacyjnej.

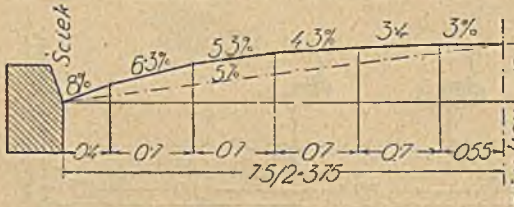


Fig. 131.

Dla zabudowania gruntów korzystne jest, w ulicach niewyłącznie mieszkaniowych, o ile grunt do fundowania jest dobry, aby niweleta leżała 1,5—2.5 *m* nad terenem (zmniejszenie wykopów piwnicznych i fundamentowych). Nasypy wyższe i wszelkie przekopy podrażają koszty budowy domów.

Każdy rodzaj nawierzchni ma pewien największy spadek, którego przekroczenie grozi niebezpiecznemi następstwami dla ruchu. Spadki te wynoszą na jezdniach:

Bruk mozajkowy	0,10
Bruk ceglany	0,07
Bruk asfaltowy, ubijany	0,015—0,020
Bruk asfaltowy, lany	0,03
Bruk drewniany, miękki	0,05
Bruk drewniany, twardy	0,03—0,035

Inne rodzaje nawierzchni por. dział „Drogi“, str. 92 i n.

Względy estetyczne zakazują zakładać niweletę na prostej ulicy wypukło, a gdy wypukłe założenie jest nieuniknione, polecają w punkcie za-

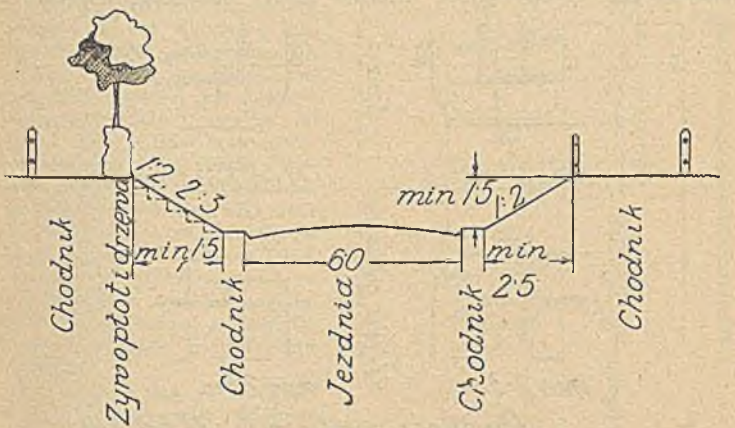


Fig. 132.

łomu albo kierunek silnie złamać, albo ulicę rozwidlić, albo wytworzyć placyk dla zaskoku, czy postawienia studni, figury, pomnika, czy zasadzenia drzew. Ulica mniej lub więcej wklęsła, zwłaszcza zamknięta perspektywicznie przedmiotami bliższemi lub dalszemi, sprawia zawsze dobre wrażenie. Wklęsłość wydobywa się przez założenie niwelety jako krzywej z układem osi pionowej i poziomej u początku ulicy (koło, parabola itp.) lub jako linji łamanej. Im ulica szersza, tem krzywizna powinna być łagodniejsza. Najprostszy sposób zaprojektowania wklęsłej niwelety łamanej podaje fig. 134. Dzieli się długość ulicy na nieparzystą ilość równych części; części środkowej daje się spadek równy średniemu i obniża ją o pewną miarę, częściom skrajnym nadaje się spadki pośrednie, rosnące ku górze, a malejące ku dołowi.

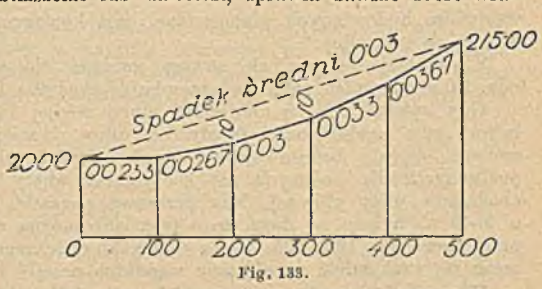


Fig. 133.

Spadek jednostajny, osobliwie znaczniejszy, jako przeciwny spadkom przeważnie spotykanym w naturze, jest sztywny, jakby nieco wypukły, zwłaszcza im ulica dłuższa. Wrażenie to znika, gdy ulica zostanie sytuacyjnie założona w płaskiej krzywiźnie, przerwana placem lub gdy zmienia się kształt przekroju poprzecznego.

Załomy spadków należy zawsze wyrównać pionowemi krzywemi wedle reguł, obowiązujących na drogach. Dobrze jest łączyć załomy ze zmianą kierunku ulicy, z węzłami, lub ze zmianą przekroju poprzecznego.

4. **Węzły uliczne.** Należą tu odgałęzienia i skrzyżowania, a na ich rozwiązanie wpływa ruch, rodzaj i wymiary przewodów konsumcyjnych i komunikacyjnych, zabudowanie działek i piękno całego założenia.

Ruch domaga się kątów prostych, a w miarę swego potęgowania się także rozszerzenia wolnej przestrzeni i nawet skrzyżowań w różnych poziomach, zawsze zaś dogodnych spadków. Dla zabudowania również najkorzystniejsze są kąty proste. Ścinanie naroży budynków, brzydkie i ze

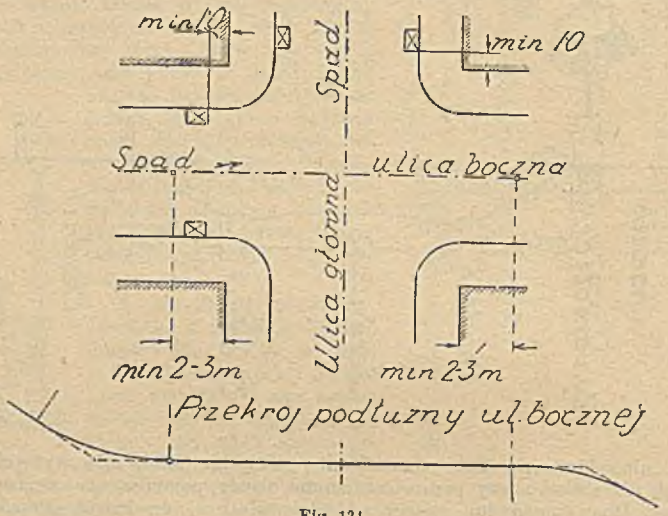


Fig. 134.

względów budowlanych niepożądane, jest konieczne, gdy chodnik wąski, a ruch na nim silny.

Krawężniki na węzłach zawsze zakłada się w łukach o promieniu min. 1,0 *m*; promień zależy od szerokości chodnika i ruchu na jezdni.

Gdy spadki ulic są niewielkie, mniej więcej do 0,03, rozwiązanie jest łatwe; gdy spadki duże, to niweleta ulicy głównej, więcej ruchliwej, nie zmienia się, ale dostosowuje się do niej niweletę ulicy bocznej. Spadków podłużnych ulic bocznych nie zaczyna się nigdy w osi, ani przy krańcu chodników ulicy głównej, lecz przesuwa początki, gdy spadki są małe, o 2—3 *m*, a gdy są duże, to o tyle, aby można włożyć pionowe krzywe przejściowe, fig. 134 i 135. Przez to niejako rozszerzenie ulicy głównej upraszcza się znakomicie rozwiązanie wszelkich przejść i połączeń.

W węzłach nie wolno umieszczać kanałowych wpustów w łukach krawężników bez zachowania odstępu przynajmniej 1,0 *m* przed narożem, aby nie zawadzały przechodniom, fig. 134 i 135. Gdy chodnik nie jest cały wyłożony jednym i tym samym materjałem, lecz pasami rozmaitej jakości, należy zawsze całe naroże wyłożyć najlepszym materjałem i to z rozszerzeniem 0,5 do 1,0 *m* poza naroże budynku.

Gdy od ulicy ruchliwej, osobliwie z bardzo żywym ruchem pieszych, odgałęzia się ulica zupełnie nieruchliwa, dobrze jest nie przerywać chodnika, lecz przeprowadzić go wpoprzek ulicy bocznej, wzmacniając tylko nawierzchnię chodnika na przejeździe.

II. Części składowe ulicy.

Części składowe ulicy tworzą roboty ziemne, nawierzchnia i przedmioty, położone pod nawierzchnią, w samej nawierzchni i wystające ponad nią.

1. Roboty ziemne,

zwłaszcza przekopy, nie mają cech osobnych co do wykonania. Jedynie nasypy przez wzgląd na więcej kunsztowną, złożoną nawierzchnię i sieć podziemną przewodów powinny być sypane cienkiemi warstwami poziomemi, nawet ubijanemi lub, co wielokroć lepiej, wałkowanemi[1]). Jeśli plan regulacyjny miasta pozwala, najkorzystniej jest odsypywać nasypy uliczne zwolna, do czego w mieście nie brak sposobnych materjałów, jak ziemia z wykopów innych ulic, fundamentów, gruz z rozbieranych budowli i robót konserwacyjnych i adaptacyjnych, nakoniec czyste błoto z dróg bitych (żwirowanych) zwykłych, przez co nasyp doskonały sam się niejako tworzy. Wykluczone są zmiotki uliczne i odpadki gospodarstwa domowego.

Wyrównania mas nie uwzględnia się; niekiedy całe dzielnice leżą na nasypach i całe ulice w przekopach.

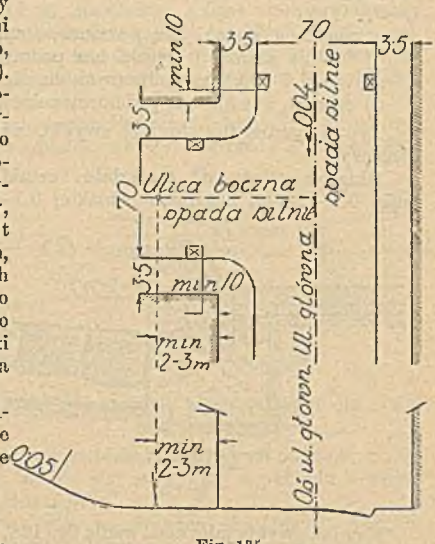


Fig. 135.

2. Nawierzchnia uliczna

składa się z krawężników, ścieków, jezdni i chodników.

A. Krawężnik odgranicza jezdnię od chodnika, jest widoczną, ostro rysującą się linją w ulicy, a najmniej narażony na zużycie i zrywanie tworzy najlepszą linję stałą, według której wyznacza się wysokość jezdni i wysokość linji przecięcia się chodnika z granicą realności. Przeto przednia

Fig. 136.

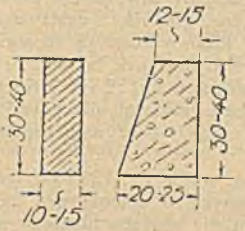


Fig. 137.

Fig. 138.

górna jego krawędź (a nie oś ulicy czy oś jezdni) wyznacza niweletę ulicy. Najsilniej uwydatnia się znaczenie krawężnika jako niwelety na węzłach ulicznych i na placach w spadkach. Im miasto mniejsze, im mniej ma kwalifikowanych sił technicznych, tem dobre, planowe założenie krawężników

[1]) Por. uwagę na str. 92.

ma większe znaczenie dla gospodarki uliczuej, gdyż od nich przy pomocy prostych narzędzi wyznacza się wszystko: linje zabudowania frontowego, wysokości bram i drzwi wchodowych itd. Układać się przeto powinno zawsze krawężniki na podstawie projektu z wytyczeniem, przy pomocy instrumentu, sytuacyjnie i wysokościowo.

Kształt typowy wedle fig. 136 z pochyleniem wstecznem przedniej ściany 1 : 3 do 1 : 15, średnio 1 : 5 dla zabezpieczenia przed ścieraniem przez koła wozów. Wymiary oszczędne, gdyż krawężnik jest elementem drogim. Kształty i wymiary bywają bardzo rozmaite. Zasadniczo rozróżnia się cztery typy:

a) wąski, a wysoki bez podmurowania, fig. 137,
b) średnio szeroki i wysoki bez podmurowania, fig. 137 i 138,
c) wąski i niski na podmurowaniu, fig. 139,
d) szeroki, a niski na podmurowaniu, fig. 140.

Typ *a*) podrzędny, *b*) i *c*) zwykłe, najwięcej rozpowszechnione, *d*) luksusowy.

Długość zależy od materjału: sztuki kamienne z reguły różnej długości 0,7—2,0 *m*, betonowe jednakiej 0,7—1,2 *m*.

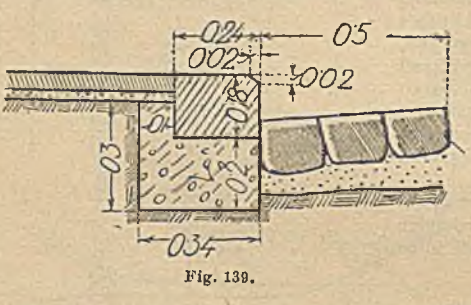


Fig. 139.

Materjały: kamień naturalny (piaskowiec, wapień, granit), beton, beton z żelazem, cegła i klinkier, wyjątkowo żelazo.

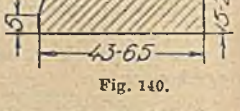


Fig. 140.

Kamień zwykle jako cios, wedle fig. 138, 139 i 140, mniej lub więcej czysto obrobiony. Zazwyczaj powierzchnie podwójną linją zakreślone (fig. 136), groszkowane, pozostałe tylko opacerowane, ale bez wystających części; ściany czołowe powinny być pełne, niepodcięte. Użycie kamienia łamanego (fig. 141) lub starych kamieni dużych brukowych dopuszczalne jedynie na nieruchliwych, podrzędnych, przedmiejskich ulicach.

Beton, rozpowszechniający się silnie, daje z form żelaznych przy starannej robocie (zawsze pod dachem) krawężniki tanie, przystające do siebie we wszystkich sztukach, równe, gładkie, a dostatecznie wytrzymałe dla średniego i małego ruchu. Części łukowe kosztują to samo, co proste (odmiennie od krawężników kamiennych). Stosunek betonu 1 : 3 : 5 z podrzucaniem w częściach widocznych mieszaniny 1 : 1 : 2 i to z tłucznia z twardych skał. Uzbrajanie betonu żelazem (kątowniki lub płaskowniki) nie miało powodzenia.

Cegła i klinkier, stawiane rębem, dają krawężnik niedrogi, wcale trwały, o dobrym wyglądzie.

Krawężniki kamienne wedle fig. 139 i 140 osadza się na ławie betonowej lub na filarkach ceglanych o cementowej zaprawie; wszystkie inne na podsypce, 5—10 *cm* grubej; ceglane niekiedy na zaprawie cementowej. Zalewanie tą zaprawą stosuje krawężników kamiennych lub betonowych jest bezcelowe.

Krawężniki wedle fig. 140 (granitowe, bazaltowe, marmurowe) nadają się do szerokich chodników miast wielkich, kamienne wedle fig. 136, 138 i 139 do głównych, ruchliwych ulic miast wielkich i średnich, betonowe do nieruchliwych ulic miast wielkich, większości ulic miast średnich i wszystkich ulic miast małych.

B. Ścieki kształtują się inaczej w miastach, posiadających kanalizację, a inaczej w miastach bez tejże.

W tym ostatnim wypadku zasadniczo ściek tworzą rowy, których wymiary, położenie względem jezdni i chodników i sposób odwodnienia jezdni i chodników bywają bardzo rozmaite. Jeżeli zlewnie uliczne są drobne, zastępuje się rowy ściekami wzdłuż krawężników; wtedy na skrzyżowaniach ulic zakłada się celem przeprowadzenia wody płaskie, brukowane koryta. Rowy bowiem w ulicach są złem koniecznem (zatrzymująca się woda, gromadzenia się śmiecia, mostki do realności).

Ściek typu ulicznego wykonywa się zasadniczo z tego samego materjału co jezdnia, z wyjątkiem dróg bitych (żwirowanych) zwykłych, gdzie ściek wykłada się na szerokość 0,30—0,60 *m* kamieniem łamanym lub pieńkami podłużnemi, w rzędach poprzecznych lub równoległych do krawężnika. Beton nie jest odpowiedni na ścieki.

Leżące w ścieku wpusty kanałowe, opatrzone kratami, których powinno być tem więcej, im ulica ma silniejszy spadek, należy osadzać o 3—5 *cm* niżej

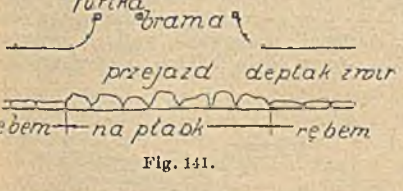


Fig. 141.

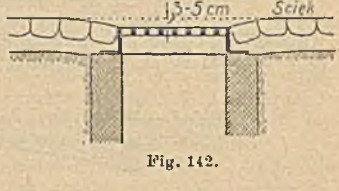


Fig. 142.

linji ścieku (fig. 142) dla wytworzenia płaskiego, a nieszkodliwego dla ruchu zagłębienia.

C. Jezdnia. Jest to część ulicy najbardziej narażona na zużycie, a najdroższa w budowie i utrzymaniu; składa się zazwyczaj z pokładu i wierzchniej powłoki czyli nawierzchni istotnej.

1. Pokład bywa wykonywany jak na drogach (por. dział „Drogi“, str. 95), tylko niektóre rodzaje są mało używane, a wymiary silniejsze. Jakiego rodzaju pokładu użyć, rozstrzyga grunt i nawierzchnia istotna.

2. Nawierzchnia istotna. Rodzaje stosowanych w ulicach nawierzchni są następujące: makadamy zwykłe i bitumiczne; bruki: z kamieni naturalnych, dużych, i małych, z kamieni sztucznych wypalanych, jak cegła i klinkier, betonu cementowego; bruki z asfaltu ubijanego, lanego i prasowanego; bruki z drzewa miękkiego i twardego, nakoniec bruki żelazne.

Nawierzchnia żwirowana czyli bita[1]) (por. dział „Drogi“, str. 95) zasadniczo nie nadaje się do ulic, gdyż, pomijając małą twardość, tworzy kurz i błoto i trudna jest do oczyszczania. Gdy wykonywa się ją w ulicy (z powodu braku pieniędzy, słabego ruchu itp.), należy uważać ją za prowizorjum: chodniki wykonać w ostatecznem położeniu, a jezdnię niżej, aby móc ułożyć w przyszłości na niej, jako na znakomitym pokładzie, nawierzchnię węglowodorową (smołowaną), czy któryś z bruków. Wtedy przejście do chodnika wedle fig. 143 i 144.

Nawierzchnie węglowodorowe (smołowane) (p. str. 101), bruki kamienne naturalne (p. str. 102), i bruki z kamieni sztucznych (p. str. 104), dają dobre nawierzchnie uliczne, o ile ich rodzaj i wymiary pokładu zostaną dobrane odpowiednio do charakteru ulicy.

Jako kamienie sztuczne wypalane wchodzą zwolna w użycie kamienie z różnych miałko mielonych kamieni naturalnych (serpentyn, porfir, bazalt, granit) lub żużli z pieców hutniczych z dodaniem środków wiążących lub bez nich. Kamienie te wyrabiane jako kostki lub pieńki podłużne, ale bez pod-

[1]) Por. uwagę str. 95.

cięcia, o wymiarach dużych kamieni naturalnych, w prasach o wysokiem ciśnieniu, wypala się aż do stopienia. Dotychczasowe wyroby mało są rozpowszechnione wskutek jeszcze wysokiej ceny, wyślizgiwania się, pewnej kruchości. Na tej drodze uda się może znaleźć rozwiązanie wyrobu masowego tanich, pod każdym względem dobrych kamieni brukowych.

Asfalt ubijany. Materjałem jest wapień bitumiczny o zawartości około 10% bitumów (por. dział „Materjały budowlane"), pokruszony na umyślnych miażdżarkach prętowych i zmielony na dezintegratorach na drobniutki proszek barwy ciemno brunatnej. Najlepsze rodzaje europejskie: Val de Travers (Szwajcarja), Seyssel i Lobsann (Francja), Raguza i San Valentino (Włochy), Limmer i Vorwohle (Niemcy).

Przekrój poprzeczny ulicy wykonywa się dwuspadkowy z małem wyokrągleniem środka; spadek poprzeczny wedle tablicy 1. Spadek podłużny ulicy najwyżej 0,016, wyjątkowo 0,020. Pokład głównie betonowy, najmniej 0,15 *m*, lepiej więcej, stosownie do gruntu, z wierzchem surowo wygładzonym, zupełnie stwardniały (conajmniej do 5 dni) i suchy.

Proszek ogrzewa się na piecach pomostowych lub obrotowych do 90—150° C, przez co bryłki osuszają się i rozpadają na proszek. Proszek gorący rozściela się w pasach poprzecznych 4—6 *m* szerokich, nadmiar ściąga drewnianą łatą i podsypuje wklęsłości; następuje wałkowanie wałkiem ręcznym ($d = 0{,}75—1{,}25$ *m*, szer. około 0,6 *m*, waga około 300 *kg*), ogrzewanym od

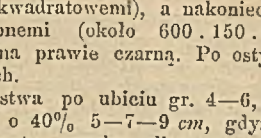


Fig. 143.

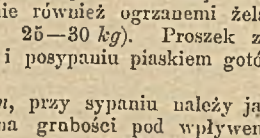


Fig. 144.

wewnątrz piecykiem koksowym, potem ubijanie żelaznemi dobniami ręcznemi, lepiej pneumatycznemi (ubijankami, tarankami) okrągłemi, ogrzanemi w piecykach koksowych, wagi około 20 *kg* (przy krawężnikach i częściach żelaznych kwadratowemi), a nakoniec gładzenie również ogrzanemi żelazkami wydłużonemi (około 600 . 150 . 60 *mm*, 25—30 *kg*). Proszek zmienia barwę na prawie czarną. Po ostygnięciu i posypaniu piaskiem gotów jest pod ruch.

Warstwa po ubiciu gr. 4—6, zw. 5 *cm*, przy sypaniu należy ją robić grubszą o 40% 5—7—9 *cm*, gdyż traci na grubości pod wpływem ubijania i potem ruchu ulicznego. Ciężar gat. 2,05—2,10, pod ruchem powiększa się na 2,25—2,35.

Podczas deszczu przerywa się robotę, która winna iść szybko. Jedynie firmy stale pracujące dają gwarancje dobrego wykonania. Wiek asfaltu ubijanego 8—20 lat, średnio ok. 10 lat. Naprawy łatwe. Wymiana, gdy grubość spadnie na 20 *mm*.

Bruk z asfaltu ubijanego jest znakomity: gładki, cichy, czysty, trwały, wygląd bardzo dobry. Wady: mały spad podłużny, cena, materjał obcy. Wzdłuż torów tramwajowych szybko ulega zniszczeniu. Stosowny dla wielkich miast na równinach.

Próby wyrabiania sztucznego proszku, czy to z czystego wapienia i rozmaitych bitumów, czy też z chudych w bitumy wapieni i dodatków bitumicznych, nie miały dotychczas powodzenia (por. dział „Materjały budowlane").

Asfalt lany lub topiony jest to mieszanina preparatów węglowodorowych i piasku gruboziarnistego o równej grubości ziarn 4—6 *mm*, na gorąco wylewana na pokład jezdni lub chodnika (por. dział „Materjały budowlane").

W kotłach z przykrywami, opalanemi z reguły drzewem, gotuje się przy ustawicznem mieszaniu mastyks z gudronem ponad 150° C, a poniżej 170° C,

dosypuje piasku gruboziarnistego lub żwirku *gi* 4—6 *mm*, a po stwierdzeniu gładką drewnianą łopatką, że masa się jej nie czepia, czerpie z kotła czerpakami do wiaderek i wylewa na jezdnię, pasami 1—1,5 *m* szerokiemi, a 1,5—2 *cm* grubemi. Powłoki grubsze od 2 *cm* wykonywa się warstwami. Ostatnią warstwę gładzi się żelaznym przyciskiem i posypuje grubym piaskiem. Po wystygnięciu jezdnia jest gotowa dla ruchu. Przeciętnie na napełnienie kotła wychodzi 1500—1600 *kg* mastyksu, 100 *kg* gudronu i 700 do 800 *kg* piasku. Gotowanie trwa 3—6 godzin. Grubość jezdni 4—6, wyjątkowo do 10 *cm*.

U nas asfalt lany używany mało; mimo, że cena jego równa się $^1/_3$—$^1/_2$ ceny asfaltu ubijanego, ten ostatni panuje, posiada bowiem większą wytrzymałość. Utrzymanie jak asfaltu ubijanego, naprawy bardzo łatwe. Nadaje się do ulic o słabszym ruchu w miastach dużych. Materjały główne obce.

Płytki asfaltowe prasowane. (Por. dział „Materjały budowlane“.) Ogrzany proszek wapieni bitumicznych pod ciśnieniem 100—200 *kg/cm*^{2} (nawet do 600) daje płytki, które kładzione jak przy asfalcie ubijanym na pokładzie betonowym przy pomocy zaprawy cementowej mają zastąpić asfalt ubijany. Mało rozpowszechnione, nie wyparły asfaltu ubijanego. Szczeliny zasypuje się gorącym pyłem i walkuje ciężkim wałkiem ręcznym.

Bruk drewniany wykonywa się z klocków o stałej szerokości i wysokości, a zmiennej długości, o wymiarach szer. 7—13, dług. 12—30, wys. 8—18 *cm* (włókna pionowo), średnio 8 . (12—20) . 10 *cm*, z drzewa miękkiego: świerk, sosna, modrzew (zawsze napawanych), i z twardego: mahoń, drzewo gumowe, świętojańskie itp. Drewno bez sęków, bieli, pęknięć, zbite, średnio 3 słoje roczne na 1 *cm* przy drzewie miękkiem.

Napawanie różnemi materjałami i metodami; dziś prawie wyłącznie kreozotem i mazią pogazową, w których, rozgrzanych do 75° C, zanurza się klocki na 20—30 minut, lub które gorące w odpowiednich kotłach pod ciśnieniem lub w próżni wsiąkają w drewno.

Twarde drzewa pozaeuropejskie są tak ciężkie i zbite, że napawania nie przyjmują.

Klocki miękkie nienapawane, nieimpregnowane, wskutek wilgoci pęcznieją, wskutek posuchy kurczą się; ruchy te są silne, powodują rozszerzenia się stosug, głównie na czołach klocków, i zniszczenie całego bruku.

Klocki układa się tylko na pokładzie betonowym o odpowiedniej grubości, odwodnionym i jak najdokładniej wygładzonym do przepisanego przekroju poprzecznego, zwykle kształtu płaskiego odcinka; układa się je wprost na nim, w rzędach prostopadłych do osi ulicy, możliwie szczelnie w każdym kierunku, aby usunąć wszelkie szpary, używając piasku tylko dla wyrównania nieuniknionych drobnych różnic w wysokości klocków.

Wzdłuż krawężników pozostawia się szczelinę 3—5 *cm*, wypełnianą przerabianą gliną lub składanemi wstęgami z blachy lub z papy, napawanemi skrzyneczkami kartonowemi, ciałami bitumicznemi. Wzdłuż szczeliny kładzie się 2—3 rzędy klocków jako ujęcie rzędów prostopadłych. Posypanie piaskiem, czasami pomaziowanie i posypanie kończy robotę. Zalewanie zaprawą cementową jest niecelowe. Drzewa twardego nie posypuje się, nie maziuje i nie zalewa.

Utrzymanie, polegające najpierw na natychmiastowej wymianie zniszczonych klocków, potem na odnawianiu szczeliny, posypywaniu 3—4 w roku piaskiem lub maziowaniu i posypywaniu, jest łatwe i tanie.

Wiek bruku miękkiego 6—20 lat, pod bardzo żywym i ciężkim ruchem, przeciętnie 8. pod mniej ciężkim 12 lat. Bruk to najcichszy, o dobrym wyglądzie, trwały, łatwy w utrzymaniu i oczyszczaniu, ale najdroższy i nieznoszący wielkich spadków. Nadaje się do ośrodków miast wielkich.

Drzewo używane w Polsce: w Warszawie przed wojną sosna z północy, we Lwowie modrzew styryjski, w ostatnich latach modrzew i sosna krajowa, w Poznaniu sosna szwedzka.

Bruki z innych materjałów (żelazo, szkło, papier, słoma, korek guma galwanizowana) jako sporadyczne próby drobne.

Porównanie i wybór nawierzchni jezdni. Nawierzchnia jezdni ulicznych powinna być:

a) pod względem gospodarczym: 1. trwała, 2. tania w budowie, 3. tania w utrzymaniu i oczyszczaniu, 4. z materjałów krajowych;

b) pod względem ruchowym: 1. gładka (mała siła pociągowa), 2. bezpieczna (konie, samochody) przy wszelkich stanach pogody, 3. pozwalająca na szybkie naprawy, 4. ewent. przydatna wzdłuż torów tramwajowych;

c) pod względem zdrowotnym: 1. bez wytwarzania kurzu i błota, 2. cicha, 3. nieprzepuszczalna i nienasiąkliwa;

d) pod względem estetycznym: miła dla oka przy każdem oświetleniu.

Niema nawierzchni, spełniającej w równym stopniu wszystkie powyższe warunki. Warunki główne: *a*) 1—3 i *b*) 1—2, inne, raz jedne, raz drugie, wybijają się na czoło zależnie od miejscowych stosunków, środków pieniężnych i znaczenia ulicy w ruchu miejskim.

Najekonomiczniejszy jest ten rodzaj nawierzchni (punkt *a*) 1—3), którego roczne koszty amortyzowane wypadają najmniejsze.

Niech oznacza:

k = koszt wykonania 1 m^2 nawierzchni istotnej bez kosztów f wykonania pokładu,

p = stopę procentową w odsetkach (np. 0,05),

t = wiek czyli ilość lat od wykonania do zupełnej wymiany,

f = koszt wykonania 1 m^2 pokładu,

u = roczny średni koszt utrzymania 1 m^2; koszt, początkowo mały, rośnie progresywnie, więc by wzoru nie komplikować, przyjmuje się cyfrę średnią,

o = roczny koszt oczyszczania 1 m^2; cyfra prawie stała,

to całkowity koszt K od 1 m^2 nawierzchni przy końcu każdego roku wynosi:

$$K = k \cdot \frac{(1+p)^t \cdot p}{(1+p)^t - 1} + fp + u + o$$

Cyfr k, f, p, u i o dziś nie sposób podać. Wiek t lat, zależny dla tego samego rodzaju nawierzchni od wykonania, ruchu, a przedewszystkiem staranności w utrzymaniu, przyjmuje się w przybliżeniu:

Nawierzchnia bita (żwirowana)	1— 7,	średnio	3 lata
Żwir. węglowodorowa (smołowana) . .	2—12,	„	5 lat
Bruk z pieńków	16—34,	„	25 „
Bruk mozajkowy	6—20,	„	12 „
Bruk klinkierowy	4—16,	„	— „
Bruk betonowy	3—10,	„	— „
Bruk asfaltowy, ubijany	8—20,	„	13 „
Bruk drewniany, miękki	6—20,	„	12 „
Bruk drewniany, twardy	13—30,	„	15 „

Wzór kosztów rocznych K nie uwzględnia wymagań ruchu; nie uwzględnia przeto siły pociągowej i utrzymania pojazdów. Pod tym punktem widzenia ustawiają się rodzaje nawierzchni następująco: betonowa, żwirowana węglowodorowa, drewniana, asfaltowa, kamienna, żwirowana zwykła.

Pod względem zdrowotnym pierwsze miejsce zajmują nawierzchnie asfaltowe, węglowodorowe i betonowe, dalej idą drewniane.

Wybór dla znającego miasto, przedewszystkiem jego ruch i dążenia rozwojowe, nie jest rzeczą zbyt trudną, ponieważ ogranicza się do 3—4 rodzajów; im mniej rodzajów, tem łatwiejsze i tańsze utrzymanie. Zasadniczo nie należy mieszać różnych rodzajów w sąsiednich ulicach, lecz, o ile możliwe, kłaść ten sam materjał na dużych obszarach.

Bruk kamienny z pieńków nadaje się do ruchu ciężkiego, mozajka do ruchu żywego, a lekkiego, żwirówki węglowodorowe do ulic o słabszym ruchu.

W centrach miast wielkich, o ile pozwalają spadki uliczne, nie obejdzie się bez nawierzchni asfaltowych lub drewnianych. W tych też miastach ilość rodzajów nawierzchni będzie największa. W miastach średnich przeważać będzie, wyjąwszy ulic głównych z brukiem kamiennym, mozajka i żwirówka węglowodorowa. W miastach małych tylko te dwa ostatnie rodzaje. Drogi bite zwykłe nie nadają się pod żadnym względem na ulice, powinny być usuwane, ostatecznie używane tylko jako prowizorja.

D. **Nawierzchnia chodników** powinna być, podobnie jak jezdnia, gładka, bezpieczna, łatwa do naprawy, miła dla oka i elastyczna, czyli miękka przy chodzeniu; dalsze warunki — to możliwość układania koło występów ścian, stopni, słupów itd. bez niszczenia materjału i przepuszczanie powietrza, ważne dla terenów wilgotnych, drzew ulicznych i gazociągów.

Na nawierzchnię chodników używa się przeróżnych materjałów i w rozmaitych kombinacjach. Omówione będą tylko najpowszechniej używane.

1. Kamienie naturalne: Otoczaki rzeczne i polowe (eratyczne), *ϕ* około 10 *cm*, stosowane być mogą tylko na chodnikach szerokich jako wypełnienie poza chodnikiem gładkim, np. pasów z drzewkami, pasów pod realnościami. Dają nawierzchnię trwałą, tanią, ale nierówną, nie dającą się należycie oczyszczać.

Kamień łamany, mniej lub więcej płytowy, daje chodnik trwały, tani, ale nierówny, niełatwy do oczyszczania. Staranny dobór kamieni i robocizna poprawia go nieco, ale podnosi nadmiernie cenę jednostkową. Nadaje się na chodniki podrzędne, gdy materjał jest na miejscu.

Płyty kamienne, prostokątne, podłużne, dług. 0,8—2,0 *m*, zazwyczaj różnej szerokości, 0,50—1,00 *m*, grubości 0,10—0,20 *m*, lub częściej kwadratowe, 0,20—0,50 *m*, o grubości 0,04—0,08 *m*, pierwsze z skał twardych (granit, marmur), drugie z łupliwych (przedewszystkiem piaskowce). Płyty prostokątne długie tworzą zwykle tylko pas środkowy chodnika; dają najwspanialsze chodniki. Płyty kwadratowe, z półtorówkami dla wiązania, układa się w rzędach prostopadłych do linji chodnika. Jedne i drugie układa się na pokładach żwirowych, z gruzu ceglanego i na warstwie piasku. Sadzenie na zaprawie lub zalewanie stosuje bezcelowe.

Mozajka chodnikowa: *a*) Zwykła z kamyków, 5—6 *cm*, drobnych, nieregularnych, sadzonych w piasku na pokładzie. Kamień niezbyt wyślizgujący się. Z różnokolorowych kamieni układa się rozmaite wzory. Nadaje się na chodniki podrzędne lub wypełnienia, jak otoczaki.

b) Kostkowa, z kostek marmurowych, zwykle w kilku kolorach dla wzorów ozdobnych, o krawędzi 2—3 *cm*, układana na zaprawie cementowej na pokładzie betonowym, gr. 0,10 *m*. Tworzy wspaniałe, ale najdroższe chodniki.

2. Kamienie sztuczne wypalane: Cegła zwykła, twarda, o normalnych lub zmienionych wymiarach, osadzona na płask lub rębem w piasku lub na zaprawie, daje tani, wcale trwały i wcale dobrze wyglądający chodnik.

Klinkiery, układane jak cegła, są bardzo trwałym, doskonałym, jednak droższym materjałem chodnikowym. Wymiary (40—70) . (80—110) . (160—220) *mm*.

Płytki kamionkowe z iłów i glinki, z przymieszkami, o wymiarach 15—25 *cm* w kwadrat, 3—5 *cm* grubości, gładkie i rowkowane, kolorowe i wzorzyste, układa się na silnych pokładach, z reguły na betonie i przy użyciu zaprawy cementowej. Chodnik kamionkowy jest nadzwyczaj trwały, niezbyt drogi, ładny, lecz zanadto się wyślizguje pod obuwiem.

3. Beton cementowy: Beton ubijany na miejscu, w dwu warstwach, spodniej z mieszaniny średnio 1 : (2,5—3,5), grub. ok. 8 *cm*, i wierzchniej 1 : 3, gr. 2—3 *cm*, kładzionej na spodniej przed tejże stwar-

dnieniem. Pokład żwirowy lub zgruzu ceglanego, dobrze odwodniony, o grubości ok. 10—15 *cm*. Wykonanie w polach o wymiarach ok. 2,0 . 2,0 *m*, ze stosugami szer. 5—10 *mm*, przez wkładanie na czas roboty listew żelaznych. Takie same stosugi wzdłuż krawężników, ścian itp. Wierzch, wygładzony żelazkami, osłania się aż do stwardnienia deskami lub warstwą piasku. 3—4 *cm* grubą i często polewa, jeszcze i po oddaniu do użytku. Chodnik tani, trwały, o ile żwir pochodzi z twardych skał.

Płyty betonowe ręcznie ubijane w formach żelaznych w dwu warstwach, spodniej 1 : 1 : 2 do 1 : 2 : 3, o grubości ponad 4 *cm* — wierzchniej 1 : 2—1 : 3, conajmniej 2 *cm* grub., kwadratowe o boku 25—50 *cm*, a 4—8 *cm*, średnio 6,5 *cm* grub., układa się w piasku na pokładzie (żwir, gruz) w rzędach prostopadłych do kierunku chodnika przy pomocy połówek. O ile do warstwy wierzchniej użyto żwiru z twardych skał i o ile wyrób jest staranny, dają bardzo tanie, wcale gładkie chodniki (Warszawa, Kraków, N. Sącz i w. in.).

Betonowe płyty prasowane, kwadraty, ich połówki i pięciokąty, o boku 25—50, a grubości 4,5—6,5 *cm*, wyrabia się jak poprzednie z dwu warstw i zgniata w prasach hydraulicznych, podnosząc ciśnienie na 10—15 sekund do 200—250 *kg/cm²*; minimum nacisku 160 *kg/cm²*. Do warstwy wierzchniej tylko żwir z twardych skał (bazalt, granit, porfir) i najlepszy cement. Wytrzymałość umiejętnie wykonanych płyt nie ustępuje co do ścieralności płytom z twardych kamieni naturalnych. Płyty te są pierwszorzędnym materjałem chodnikowym, nie drogim, trwałym, gładkim.

4. Asfalt lany, 1,5—2,5 *cm* grubości, kładzie się tylko na pokładzie betonowym, grub. 8—15 *cm*. Wykonanie jak na jezdni. Chodnik niezbyt drogi, bardzo wygodny przy chodzeniu, średnio trwały.

Porównanie i wybór materjałów chodnikowych. W miastach wielkich należy stosować wielkie płyty granitowe, o ile będzie się je u nas wyrabiać, i prasowane płyty betonowe, — w średnich te ostatnie, — w małych płyty betonowe ręcznie ubijane, kamienne, cegłę. W miastach rozwijających się i będących w okresie inwestycyj technicznych (kanalizacja, wodociągi itd.) na chodniki, ciągle zrywane, nadaje się tylko materjał łatwo się układający bez zniszczenia, a więc duże (50 . 50 *cm*) płyty kamienne lub betonowe.

Na szerszych chodnikach nie wolno obok części wykonanej z twardych materjałów zostawiać pasów nieutrwalonych lub deptaków.

E. Nawierzchnia deptaków: 1. Żwirowa gruba 5—8 *cm*, na pokładzie żwirowym o grubości 8—15 *cm* z gruzu ceglanego, z żużlu itp.

2. Z gruzu ceglanego na pokładach jak pod 1; słaba.

3. Z popiołu z węgla kamiennego; najgorsza.

4. Żwirowa maziowana (smołowana) powierzchniowo. Wykonanie jak na jezdni. Doskonałe deptaki bez pyłu i błota.

5. Z betonu maziowego, czyli z termakadamu jest znakomita, zastępująca doskonale większość materjałów chodnikowych. Silny pokład żwirowany, zresztą wykonanie jak na jezdni (por. str. 117) z użyciem tylko drobniejszego żwiru.

3. Różne urządzenia.

Postoje dorożkarskie, szer. 1,8—2,0 *m*, a licząc na jedną dorożkę ok. 7,0 *m* dług., powinno się na każdym rodzaju nawierzchni wykonywać tylko z pieńków, zalewanych ciałami węglowodorowemi. Umieszczanie w ulicach bocznych, u wylotu do ruchliwych lub na placach.

Przechodniki są to przejścia dla przechodniów na jezdniach żwirowanych jako pasy min. 1,20 *m* szer., lepiej około 2,0 *m*, z bruku kamiennego. W porze słotnej należy je kilka razy dziennie oczyszczać z błota.

Przejazdy do bram wpoprzek chodników należy, o ile możności, wykonywać z tych samych materjałów, co chodnik, tylko wzmocnionych. Ru-

chliwe wjazdy urządza się jak odgałęzienie bocznej ulicy załukowaniem krawężników i przerwaniem chodnika, mniej ruchliwe przy szerokim chodniku przez obniżenie krawężnika (fig. 145), przy wąskim chodniku przez przerwanie krawężnika i zastąpienie go krzywą powierzchnią (fig. 146) lub tylko przez ścięcie jego przedniej krawędzi.

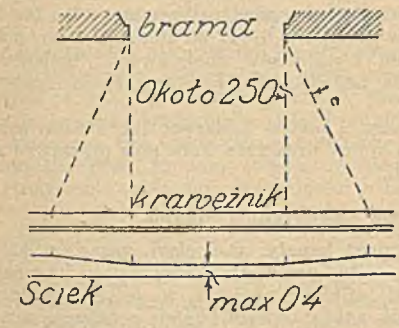


Fig. 145.

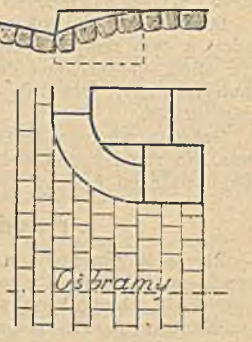


Fig. 146.

Gdy z bramy rzadko się korzysta, najlepiej, zwłaszcza na chodnikach wąskich, chodnika nie zmieniać, a do wjazdu używać pomostów, przystawianych do krawężnika.

Chodniki (wyspy) ochronne są to małe przestrzenie na jezdniach ruchliwych ulic i placów, służące albo dla bezpieczeństwa przechodniów przy przechodzeniu z jednej strony ulicy na drogę, albo wzdłuż przystanków tramwajowych, albo wypełniające te większe przestrzenie na placach, po których ruch się nie odbywa. Kształty pierwszych podłużne, prostokątne, drugich rozmaite. Konstrukcja, jak chodników. Służą

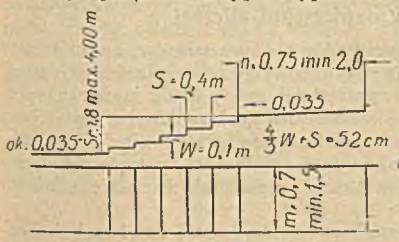


Fig. 147.

Fig. 148.

ponadto dla pomieszczenia słupów wszelkiego rodzaju, kiosków, ławek, studzien itp.

Schody uliczne w miastach, położonych na silnie pagórkowatych terenach, skracają pieszym drogę jako przejście po samoistnych chodnikach. Konstrukcję wraz z podestami podaje schematycznie fig. 148. Najlepszy materjał: kamień. Założenia są różne od skromnych do wielkich, bogato architektonicznie wyposażonych, będących ozdobą miast.

Tory dla jeźdźców, w miastach wielkich, promieniście z środka wychodzące, fig. 149: nad sączkiem odwadniającym gruby piasek lub żwirek, na wierzchu mieszanina piasku, trocin i wiór garbarskich. Tory te należy od chodników i od torów tramwajowych oddzielić rzędem drzew lub żywopłotem.

Tory dla cyklistów jako osobne pasma wzdłuż chodników, o szerokości dla 2 osób 1,60—2,15, dla 4 osób 3,60—4,15 *m*, zależnie, czy pasmo jest wolne, czy ujęte w drzewa, ogrodzenia itp.: przeciętnie na 1 osobę 1 *m*. Nawierzchnia gładka, ale nie śliska: asfalt lany, nawierzchnie smo-

łowane, drzewo, beton. Na skrzyżowaniach ulic celem ułatwienia przejazdu obniżenie krawężników prawie zupełne.

Drzewa uliczne na chodnikach szerszych od 2,5 *m*, gdy przed domami ogródki, zaś od 4,5—5,0 *m*, gdy budynki stoją w linji regulacyjnej; odstęp od przedniej ściany krawężnika min. 0,9 *m*. Wokoło pnia wolna powierzchnia około 1 m^2, bez nawierzchni chodnikowej, również i na deptakach smołowanych.

Drzewa na obu chodnikach sadzi się albo naprzemian, albo (co ładniej) w tym samym przekroju w odstępach 6—12 *m*. Rodzaje drzew mają być silne, dostosowane do gruntu i warunków miejscowych; najpowszechniejsze: klon, wiąz, lipa, topola nadwiślańska, kasztan, akacja; rzadsze: głóg, brzost.

Ochrona młodego drzewa koszem z prętów żelaznych lub z siatki wskazana. Na ruchliwych chodnikach wolną przestrzeń koło pnia przykrywa się zdejmowalnemi kratami żelaznemi.

4. Przedmioty pod nawierzchnią uliczną.

Należą tu przewody konsumcyjne: kanały, wodociągi, gazociągi, kable wysokiego napięcia dla światła i siły, przewody centralnego ogrzewania, i przewody komunikacyjne: kable niskiego napięcia, to jest telegraficzne i telefoniczne, poczta pneumatyczna, a też tramwaje i koleje podziemne w małych głębokościach założone. Sieć ulic powinna być taka, aby bez trudności dało się je umieścić. Stąd konieczna jest przejrzystość i płynność układu, zwłaszcza obmyślenie węzłów ulicznych i placów.

Przewody te są przyczyną częstego zrywania, przeto niszczenia nawierzchni, i utrudniają spokojną gospodarkę uliczną. Wyjąwszy kanały, wielkośrednicowe rury wodociągowe i gazowe umieszcza się, wedle możności, resztę przewodów pod chodnikami, w pewnym porządku od lica murów, dając im nawet w niewielkich granicach wymiary zapasowe.

5. Przedmioty w nawierzchni ulicznej

to części poprzednio wyliczonych przewodów: wieka włazów, zasuw i kraty kanałowe, wieka zasuw wodociągowych, gazowych, części sieci elektrycznej, punkty pomiaru miasta itp., a przedewszystkiem szyny torów tramwajowych. Pierwsza grupa to przedmioty oddzielne, niezbyt wielkie, mniej więcej 0,01—0,80 m^2, które jednolitości nawierzchni nie przerywają i nie powodują grubego jej niszczenia i mimo, że są to ciała obce w nawierzchni, nie są nadmiernie przykre dla ruchu, zwłaszcza, o ile mają kształt odpowiedni i umieszczone są na chodnikach.

Natomiast tory tramwajowe są wielką bolączką każdej nawierzchni. Rozcinają jezdnię na 3—5, a czasem na więcej części, pod ruchem drgają pionowo i poziomo, wskutek czego wzdłuż nich każdy materjał nawierzchni niszczeje, powstają szczeliny, bruzdy i wyboje. Przyciąganie śrub na złączach, podbijanie, o ile nie leżą na betonie, wreszcie wymiana szyn, na ostrych krzywiznach częsta, połączone są zawsze ze zrywaniem nawierzchni. Przy każdym rodzaju nawierzchni istnieją sposoby chronienia jej wzdłuż szyn (patrz część II). Najodporniejszy jest bruk kamienny płytowy i bruk z dużych kamieni, z kamieniami wzdłuż szyn sięgającemi niżej stopy szyny.

O ile tylko możliwe, należy tory tramwajowe umieszczać na osobnych pasmach.

6. Przedmioty wystające nad powierzchnię uliczną.

Są to: 1. słupy dla oświetlenia ulicy, 2. słupy wszelkiego innego rodzaju, 3. drzewa, 4. różne przedmioty. Wyjąwszy szerokie, mniej ruchliwe chodniki, dąży się do usuwania tych przedmiotów, a przynajmniej ograniczania ich liczby, gdyż zmniejszają szerokość użyteczną chodników, utrudniają nieco utrzymanie nawierzchni chodnika i szpecą wygląd ulicy. Dotyczy to

zwłaszcza grupy 2. (słupki dla tablic z oznaczeniem zasuw i hydrantów wodociągowych, reklamowych, z nazwami ulic itp.) i 4. (hydranty, studnie, transformatory, ławki, wychodki czy pissoiry publiczne, kioski sklepowe, skrzynie na odpadki, skrzynie z piaskiem itd.). Wszelkie tablice na słupach mają być umieszczone nie niżej niż 2,2 *m* od chodnika.

III. Utrzymanie i oczyszczanie.

Utrzymanie ulic. Środki, jak przy drogach, techniczne i administracyjne; te ostatnie bardzo szczegółowe, nadto przepisy co do rodzajów ruchu w pewnych ulicach, na skrzyżowaniach, w poszczególnych porach dnia itp.

Techniczne sposoby podano przy każdym rodzaju nawierzchni. Utrzymanie ulic powinno być wykonywane zasadniczo przez zarząd miasta we własnym zarządzie. Tylko staranne zorganizowanie odpowiedniej służby i pedantyczne wykonywanie robót daje oszczędności i dobre rezultaty; połowiczne postępowanie zepsuje najlepsze i najdroższe nawierzchnie.

Zasadą naczelną jest natychmiastowa naprawa uszkodzonych części czy to przez wymianę na nowe, czy przez podniesienie miejsc zapadniętych. Do zniszczenia nawierzchni ulicznej przyczynia się w bardzo wysokim stopniu jej zrywanie z powodu połączeń, wymiany, powiększania przewodów konsumcyjnych i komunikacyjnych, dalej zrzucanie na chodniki ciężkich przedmiotów, nakoniec odbijanie lodu ciężkiemi drągami żelaznemi.

Oczyszczanie ulic jest niezbędne jako bardzo ważna część robót konserwacyjnych, jako wymóg higjeniczny i estetyczny. Oczyszczanie wtedy jedynie daje należyte rezultaty, jeśli jest prowadzone we własnym zarządzie miasta. Sposób jego zorganizowania powinien być indywidualny, zastosowany do liczby ludności, obszaru miasta, sposobu zabudowania i środków pieniężnych.

Zanieczyszczenia uliczne — to miał i pył, pochodzący ze zużycia się nawierzchni ulicznej, liście z drzew, zanieczyszczenia, powstałe z ruchu (odchody zwierzęce, przedmioty przewożone i porzucane, jak papiery, niedopałki, resztki owoców itp.) i śmiecie, wymiatane z domów.

Praca zorganizowanego oczyszczania składa się z oczyszczania pobieżnego i dokładnego. Oczyszczanie pobieżne wykonywa robotnik (robotnica), któremu przydzielono jedną lub szereg ulic, nieustannie, przez dzień cały, zgarniając miotłą zanieczyszczenia i zbierając je łopatą do taczek, do umyślnych wózków lub do naczyń blaszanych. Zmiotki, składane w pewnych punktach, wywozi się. Oczyszczanie dokładne polega na perjodycznem zamiataniu lub myciu, jednem i drugiem ręcznem lub maszynowem.

Zamiatanie ręczne stosuje się w miastach mniejszych, na żwirówkach zwykłych i tam, gdzie nawierzchnie uliczne są w złym stanie, nierówne, wyboiste, wreszcie w okresach lepkiego błota; robi to partja robotnicza (10—15 osób); jeden robotnik zamiecie w godzinie 350—700 m^2.

Zamiatanie maszynowe wykonywa szczotka walcowa z piassawy, umieszczona pod ramą podwozia skośnie do osi podłużnej, mniej więcej pod 45°, a poruszana z kół tylnich w ten sposób, że obraca się odwrotnie do kierunku jazdy, wskutek czego zesuwa śmiecie i kurz na bok. Ulicę przedtem skrapia się. Szczotka nastawialna z siedzenia woźnicy wyżej lub niżej; motorem jest człowiek, para koni lub samochód. Szczotki maszynowe ręczne mają w miastach małe zastosowanie. Stawia się też 2—3 szczotki duże w zaskokach i zamiata odrazu połowę szerokości jezdni. Szerokość pasa, zamiatanego przez ręczną 0,7—0,9 *m*, konną i motorową 1,5—2,2 *m*, chyżość konnych 0,95—1,15 *m*/sek. W godzinie przy wliczeniu przerw, nawracań itp. ręczna szczotka zamiecie 2000—3000 m^2, konna 4500—8500 m^2. Piassawa zużywa się po zmieceniu 40.000—50.000 m^2, czyli po 25—30 dniach pracy; rocznie przeto potrzeba 8—10 szczotek. Wałek zgarniętego na bok śmiecia zbierają na wozy robotnicy, idący za szczotkami. Dobrze zamiata się po silnym deszczu lub przy tającym śniegu.

Nowsze samochodowe maszyny zamiatające są tak urządzone, że mając zbiornik z wodą same sobie jezdnię skrapiają i zmiotki podnoszą do drugiego zbiornika.

Mycie, które dokładniej usuwa zanieczyszczenia uliczne niż zamiatanie, stosuje się na nawierzchniach bitumicznych, brukach kamiennych o stosunkach zalewanych ciałami węglowodorowemi, betonowych, asfaltowych i drewnianych, tam, gdzie woda wodociągowa jest w obfitości i tania. Myć można na dwa sposoby. W pierwszym woda pod ciśnieniem wężami z hydrantów uderza silnym strumieniem o nawierzchnię i oderwane zanieczyszczenia spławia ściekami do kanałów. Potrzebne tu są ogromne ilości wody. W sposobie drugim po obfitem polaniu po chwili następuje zamiatanie ręczne lub maszynowe lub, na brukach asfaltowych, zgarnianie zanieczyszczeń skrobaczkami skórzanemi lub gumowemi.

Częstość oczyszczania dokładnego zależy od ruchu i rodzaju nawierzchni. Ulice ruchliwe oczyszcza się raz dziennie koło godz. 3—5 rano, inne co dwa, trzy itd. dni. Nawierzchnie asfaltowe myje się codziennie.

Najlepszą porą oczyszczania pod każdym względem jest dzień (dokładność, taniość); nocą pracuje się tylko tam, gdzie ruch uliczny nie pozwala na pracę dzienną.

Zwalczanie kurzu ulicznego dąży do ilościowego i jakościowego jego ograniczenia. Zupełne bowiem jego usunięcie jest niewykonalne. Walka z kurzem, bezwzględnie konieczna ze względów zdrowotnych, czystości, a nawet bezpieczeństwa ruchu, toczy się dwojako: przez środki, zmniejszające źródła jego powstawania, i przez środki, unieruchomiające wytworzony kurz.

Pierwszą grupę środków tworzą trwałe, gładkie, mocne bruki wszelkiego rodzaju i nawierzchnie bitumiczne, oraz przepisy porządkowe ruchu ulicznego, zabraniające szeregu czynności, zanieczyszczających ulicę (popasanie koni, szybka jazda wozów ciężarowych, szczelne skrzynie dla przewozu ziemi, piasku, śmieci itp.). Dlatego to nawierzchnie żwirowane powinny być usuwane bezwarunkowo z jezdni ulicznych.

Drugim sposobem jest polewanie ulic wodą czystą lub zaprawioną pewnemi przymieszkami. Sposób polewania zależy od rodzaju nawierzchni, znaczenia ulicy i oświetlenia przez słońce. Polewać należy, lekko, a zato częściej. Na 1 m^2 jezdni wychodzi wody czystej na jednorazowe skropienie: na nawierzchniach żwirowanych (bitych) 0,4—1,0 l, na brukach kamiennych 0,3—0,7 l, asfaltowych 0,2—0,5 l, przyczem dziennie skrapia się drogi bite 1—6 razy, bruki kamienne asfaltowe i drewniane 1—4 razy; skrapia się w roku przez 100—150 dni.

Do polewania służą przyrządy skrapiające i urządzenia, dostarczające wodę. Przyrządy: 1. ręczna polewaczka blaszana, 8—13 l;

2. dwukołowy ręczny beczkowóz, 200—300 l, szerokość polewania ok. 2,0 m;

3. wąż gumowy lub parciany gumowany, ϕ 10 cm, 20—30 m dł., nawinięty na dwukołowym bębnie lub na kółeczkach (urządzenie gorsze) dla wody wodociągowej, pobieranej zapomocą umyślnych stojaków z hydrantów;

4. beczkowozy:

a) konne, 600—2500 l, szerokość kropienia sitem rurowem 2—3 m, sitami turbinowemi lub skrzynkowemi 2—7 m; sitami pierwszemi polewa się w godzinie ok. 5000 m^2 z przerwami i napełnianiem, drugiemi 18.000 m^2, względnie 6000—10.000 m^2;

b) samochodowe, 2—5 m^3, szerokość skrapiania, regulowana dowolnie, 1—14 m, w godzinie bez przerw około 50.000 m^2, z przerwami i napełnianiem około 30.000 m^2; najekonomiczniejszemi okazały się o objętości $\sim$ 2,5 m^3;

c) tramwajowe, 2—10 m^3, skrapiające pasem dowolnie szerokim do 14 m, kursujące po torach tramwajowych.

Dobrze skonstruowany beczkowóz powinien: 1. skrapiać stale i jednostajnie na całej polewanej szerokości; 2. pozwalać na dowolne regulowanie szerokości i obfitości skrapiania przy beczkowozach małej objętości przez

woźnicę, przy dużych przez umyślnego robotnika. Beczki powinny być żelazne, z beczkowozów samochodowych zdejmowalne, aby użyć w zimie samochodu do wywozu np. śniegu. Efekt pracy podnosi skrócenie czasu napełnienia i jazd straconych. Stąd duże średnice, min. 10 *cm*, rur dopływowych, aby napełnianie razem z manipulowaniem przyrządami, napełniającemi nie trwało dłużej niż 3—1,5 minuty dla 1 m^3. Stąd dalej odpowiednie rozmieszczenie miejsc poboru wody. W miastach, nie posiadających wodociągów, oraz tam, gdzie woda wodociągowa jest droga lub jest jej za mało, a wodę do skrapia — nia czerpie się ze studni, rzek, młynówek, stawów, najlepsze są zbiorniki wieżowe, z dnem około 4—6 *m* nad niweletą ulicy, o dużej pojemności ponad 5 m^3, z pompowaniem motorowem (elektrycznem, spalinowem). Beczkowozy samochodowe mogą być tak urządzone, że sobie same czerpią wodę (głębokość max. 8 *m*).

Wyjątkowo, aby zapobiec szybkiemu wysychaniu, dodają do wody hygroskopiczne sole (sól zwykłą, chlorek wapniowy, chlorek magnezowy); środki drogie, mało skuteczne, a nawet ujemne dla zdrowia przechodniów, gdy sole po wyschnięciu wzbijają się jako kurz.

Usuwanie śniegu, zawsze kłopotliwe i kosztowne, zależy od wielkości opadu, rodzaju ulicy i od stopnia mrozu. Śnieg niezwykle silny, na szczęście przytrafiający się rzadko i często zaraz pomniejszany przez odwilż, wymaga, jako tamujący ruch, natychmiastowego forsownego wyrobienia na chodnikach ścieżek, na jezdni pasa wolnego, o szer. ok. 4 *m*, a tam, gdzie kursują tramwaje, jeszcze szerszego. Z chodników odrzuca się śnieg łopatami, na jezdni pługami śniegowemi zwykłemi (patrz str. 107) i łopatkowemi. Oba rodzaje ciągnione przez konie.

Śnieg wywozi się bezwłocznie. W ulicach mało ruchliwych przy znaczniejszych opadach i dłużej trwającym mrozie pozwala się narastać śniegowi w skorupę, którą atoli należy usunąć przed nastaniem odwilży.

W usuwaniu śniegu, które jest tem ważniejszą i trudniejszą sprawą, im miasto jest większe, największy wydatek stanowi wywóz. Skrócenie tegoż naprowadziło na wrzucanie śniegu (przez szyby rewizyjne lub umyślne) do kanałów, tam, gdzie prowadzą one większą ilość wody, i przez topienie na miejscu zapomocą wody wodociągowej, roztworów różnych soli, przedewszystkiem zwykłej, i wyjątkowo parą wodną.

Śnieg świeżo spadły waży 40—120 kg/m^3, uleżały, ubity 300—400 kg/m^3 i daje około 300 litrów wody.

Ślizgawice i gołoledź wymagają posypania żwirkiem, piaskiem, miałkim popiołem, trocinami itp. Działanie ich krótkotrwałe; w razie powtarzających się przymrozków trzeba ustawicznie posypywać. Konieczne na chodnikach i gładkich jezdniach. Z wozu dwukonnego 2 robotników posypie w godzinie, bez czasu straconego, do 30.000 m^2, z wózka dwukołowego ręcznego do 10.000 m^2, 1 robotnik z takiego wózka do 6000 m^2, zaś z worka, zawieszonego na piersiach, do 8000 m^2; cyfry te maleją o $^1/_2$—$^1/_3$ przy uwzględnieniu czasu na drogi powrotne i napełnianie.

LITERATURA.

Kühnel A.: Drogi i ulice. Lwów 1916.
Kühnel A.: Ulice. Lwów 1925.
Sznuk Zdzisław: Podręcznik do budowy dróg bitych, gruntowych i ulic miejskich. Warszawa 1918.
Le Gavrian P.: Les chaussées modernes. Paris 1922.
Girard L.: Le nettoiement de Paris. 1923.
Genzmer Ewald: Die städtischen Straßen. Stuttgart 1897.
Handbuch d. Ing. Wiss.: Straßenbau. Leipzig 1912.
Klose Georg: Der Stadtstraßenbau. Berlin 1911.
Loeve Ferd.: Die Straßenbaukunde. München 1906.
Niedner Fr.: Die Straßenreinigung in deutschen Städten. Leipzig 1911.
Stübben J.: Der Städtebau. Darmstadt 1890.