DZIAŁ III.

Budowa spodnia i wierzchnia.

ROZDZIAŁ I.

Budowa spodnia.

1. Rodzaje odkształceń gruntu i budowli ziemnych oraz ich przyczyny.

Wobec małej stromości pochyleń, jaką zachować należy na drogach żelaznych, torowisko kolejowe (plant) nie może stosować się do naturalnych pochyłości gruntu w tym stopniu, jak droga zwyczajna, co zniewala do urządzania go na nasypach i w wykopach, mających często znaczną wysokość i głębokość. Wynikające stąd wielkie roboty ziemne przy urządzeniu torowiska kolejowego, obciążenie, któremu ono podlega, oraz znaczenie pierwszorzędne, jakie posiada dla bezpieczeństwa jazdy jaknajzupełniejsza stałość toru, nakazują zwrócić szczególną uwagę na odpowiednią stateczność i trwałość budowy spodniej.

Najlepsze wskazówki co do środków, jakie zastosować należy dla dopięcia tego celu, dadzą spostrzeżenia nad odkształceniami, którym podlega grunt i budowle ziemne, zaś zbadanie przyczyn tych odkształceń wskaże sposoby ich uniknienia.

Powierzchnia gruntu naturalnego podlega stałemu wpływowi niwelującemu siły ciążenia, której pomaga woda, zmniejszając spoistość cząsteczek gruntu i tarcie między niemi, unosząc je swoim prądem, rozmiękczając niektóre rodzaje gruntów i t. p.

Najzwyklejszym rodzajem odkształcenia jest powierzchowne *kruszenie się* gruntu pod działaniem wody, mrozu i wietrzenia, oraz staczanie się okruchów po stromych stokach w doliny.

Prąd wody lub zmiana jej poziomu wywołują podmycie i *zawalenie się* brzegów.

Pochyły układ warstw gruntu bywa niekiedy przyczyną *osuwisk* wskutek osuwania się jednych warstw względem drugich, szczególnie jeżeli między niemi znajdują się warstwy gliny, która pod działaniem wody łatwo namięka i staje się ślizką.

Jeżeli przyczyny wspomniane wyżej powodują czasami (zwłaszcza w górach), nawet gdy grunt znajduje się w warunkach naturalnych, olbrzymie *zwały* mas ziemi, to tem zrozumialsze są takie wypadki wówczas, gdy przy wykonywaniu robót ziemnych pochyłe warstwy gruntu zostaną przecięte i pozbawione podpory naturalnej. Każdy nasyp lub wykop zmienia wogóle warunki równowagi, w jakich znajdowały się masy ziemi przed ich wykonaniem. W wykopach wyprowadzeniu z równowagi mas ziemi szczególnie sprzyja woda, która dąży do wykopu przez warstwy gruntu przepuszczalnego. Jeżeli wykop znajduje się w gruncie łatwo przepuszczalnym, to dopływ wody w rzadkich zaledwie wypadkach powoduje znaczniejsze uszkodzenia stoków, w kształcie wyrw i usypisk; natomiast utrzymanie w porządku wykopów w gruntach gliniastych często nastręcza poważne trudności.

Prócz osunięć, spowodowanych pochyłym układem warstw gruntu oraz przyczynami wskazanemi powyżej, stoki wykopów w gruntach gliniastych podlegają czasem *rozpływom*. Powstają one skutkiem tego, że niektóre gatunki gliny przy dopływie wody namiękają do tego stopnia, że tworzą ciastowatą masę, osuwającą się, a raczej rozpływającą się nawet wtedy, gdy stromość stoków jest bardzo łagodna.

Grunty zatrzymujące w sobie wodę pęcznieją przy zamarzaniu, powodując *wysadziny*. Takie miejscowe wzniesienia gruntu szczególniej dają się we znaki w mokrych wykopach gliniastych. W nasypach rozpływy i wysadziny zdarzają się daleko rzadziej, gdyż woda przesiąka w nasypy i zatrzymuje się w nich tylko w przypadkach wyjątkowych.

Osunięcia nasypów mają miejsce przeważnie w płaszczyźnie podstawy, jeżeli ta ostatnia jest stromo pochylona do poziomu.

Oprócz wyliczonych powyżej rodzajów odkształceń, grunty naturalny i nasypowy podlegają *osiadaniu* pod działaniem obciążenia. Osiadanie gruntu naturalnego bywa znaczne przeważnie w wypadku, jeżeli jest on natury błotnistej lub torfiastej. Grunt nasypany podlega zawsze osiadaniu, ulegając się pod obciążeniem, czasami przez długie lata.

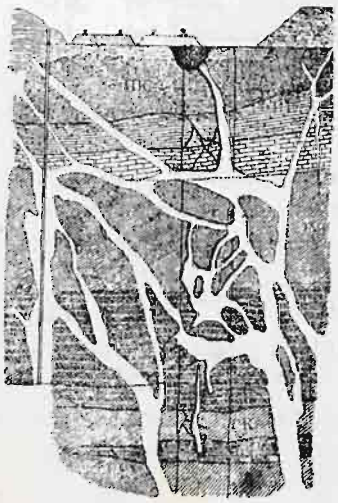
Jak wspomniano wyżej, badania geologiczne miejscowości, w której projektowana jest droga żelazna, wchodzą w zakres prac, odnoszących się do technicznego jej wyznaczenia. Rezultaty tych badań mogą wpłynąć decydująco na wybór kierunku linii. Przesuwając linię we właściwym kierunku można w wielu przypadkach uniknąć odkształceń torowiska kolejowego, których późniejsza naprawa pociągnęłaby za sobą duże koszta i niedogodności. Jednakże nie zawsze sądzić można z rodzaju gruntu i jego uwarstwowienia, o ile w danych warunkach stateczność budowy spodniej będzie dostatecznie zabezpieczoną. Dlatego też często się zdarza, że naprawa odkształceń budowy spodniej, które nie były przewidziane w czasie budowy drogi żelaznej, staje się zadaniem eksploatacyi.

Zapadliny na drodze żelaznej Samarsko-Złotoustowskiej (Lejki ufańskie).

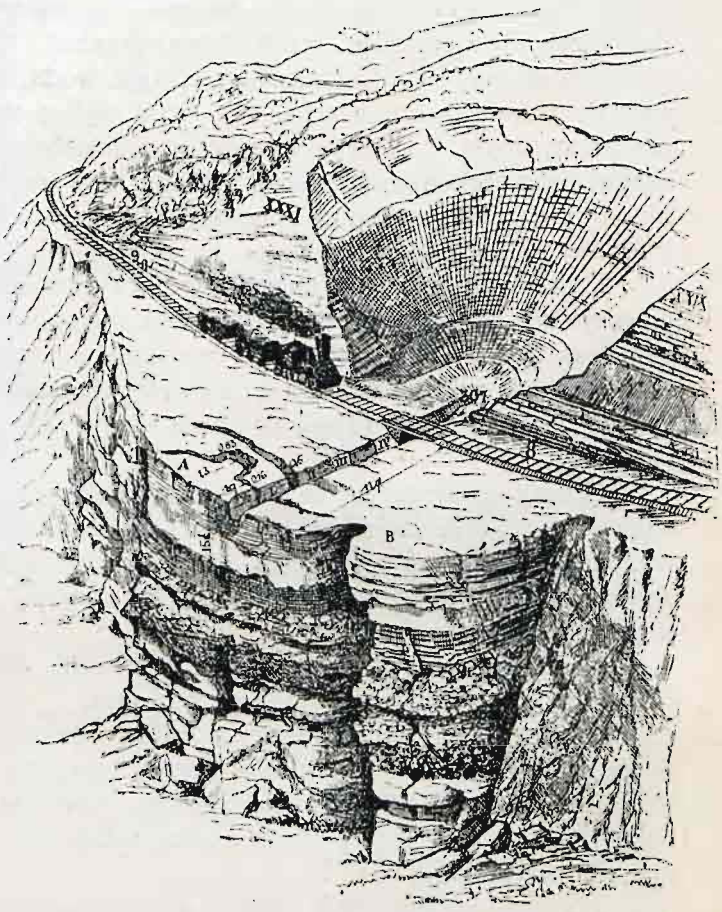
Droga żelazna Samarsko-Złotoustowska zbudowana w latach 1888—1890 przeprowadzona jest od stacyi Ufa na długości 6 wiorst po stoku góry dla wejścia na wododział między rzeką Białą i Ufą.

Wkrótce po otwarciu ruchu na tym szlaku zarząd eksploatacyi zwrócił uwagę na tworzenie się w blizkości linii, czasem wprost pod szynami, zapadlin formy lejkowatej. Zapadliny te

Rys. 84.



Rys. 85.



tworzyły się bez żadnych widocznych powodów tak nagle, że między dwiema oględzinami linii dokonywanemi w odstępie jednej godziny tworzyły się jamy objętości kilku sażenów sześciennych.

Badania geologiczne wykazały, że góra, po której stoku poprowadzona jest linia drogi żelaznej, składa się z pokładów gipsu ogólnej grubości do 30 saż., pokrytych warstwą gliny z marglem, na której znów znajduje się pokład piasczysty. Pokłady gipsowe odznaczają się tą właściwością, że się łatwo rozpuszczają w wodzie, która sączy się z powierzchni ziemi i ze źródeł i tworzy w gipsie szpary, kręte kanały i groty (rys. 84). Pokłady gliniaste składają się z cienkich warstw różnej twardości, które łatwo się łamią i podlegają rozmyciu. Przymieszka gipsu nadaje glinie tę własność, że traci ona swoją plastyczność i przy dopływie wody staje się płynną. W takich warunkach woda z opadów atmosferycznych i ze strumieni szybko wsiąka w grunt, zaś linie ścieku i rowy są zwykle suche. Działalność niszcząca wody skierowywa się natomiast pod ziemię, gdzie niewidocznie dla oka badacza wytwarzają się warunki, zagrażające stałości toru kolejowego. Lejki (rys. 85) tworzą się skutkiem podmywania i zapadania się pokładów gipsowych, poczem zapadliny zapełniają się ziemią z pokładów wyżej leżących.

Opisane powyżej właściwości geologiczne okolic miasta Ufy były dawno znane i lejkowate zapadliny spostrzegano przed zaczęciem budowy drogi żelaznej. Niestety, okoliczności te nie były wzięte pod uwagę przy budowie kolei. Zapadliny i osuwiska grożą na tej przestrzeni ciągłem niebezpieczeństwem dla ruchu kolejowego, który wymaga wzmocnionego dozoru nad torem i zastosowania specyalnych środków ostrożności, pociągających za sobą duże wydatki. Zasypywanie

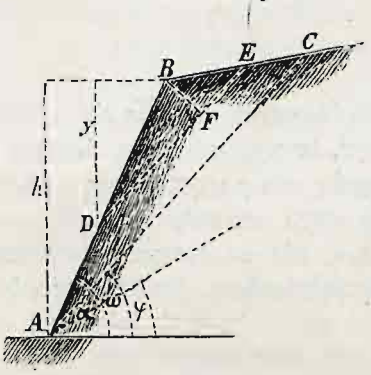
lejków gliną, urządzenie rowów dla odprowadzania wody, nawet przesuwanie toru z miejsc najniebezpieczniejszych na pewną odległość, można zaliczyć tylko do środków czasowo zapobiegających, albowiem cały pas ziemi, po którym przeprowadzony jest tor kolejowy, przedstawia podłoże nietrwałe i niezrównoważone, zaś warunki, od których stan ten zależy, będą się z biegiem czasu pogarszać. Wobec tego może być, że w przyszłości okaże się niezbędnem kierunek drogi przyjęty na tym szlaku zupełnie zarzucić i wybrać inny, pomimo że budowa jego wraz z dwoma mostami dużych rozpiętości na rzekach Białej i Ufie pochłonęła bardzo znaczne sumy.

2. Stoki nasypów i wykopów kolejowych.

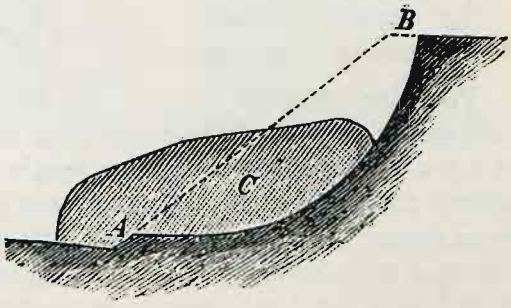
Głębokość wykopów i wysokość nasypów zależą od profilu podłużnego linii. Szerokość torowiska, przy jednej i tej samej ilości torów, pozostaje na całej długości linii stałą i o niej będzie mowa niżej. Oprócz tych wymiarów, na wygląd zewnętrzny budowy spodniej wpływają przedewszystkiem powierzchnie boczne tejże budowy, t. j. *stoki* od których pochylenia zależy w znacznym stopniu jej stateczność.

Osuwaniu się masy ziemnej, ograniczonej stokiem AB (rys. 86), w płaszczyźnie osuwania AC zapobiega tarcie i spoistość cząsteczek ziemi. Tarcie jest w sto-

Rys. 86.



Rys. 87.



sunku prostym do ciężaru osuwającej się masy ABC, a zatem, licząc na jednostkę długości, w stosunku prostym do kwadratu wysokości stoku h, spoistość zaś cząsteczek jest w stosunku prostym do szerokości płaszczyzny osuwania AC, a więc do pierwszej potęgi wysokości stoku.

Z tego wynika, że przy zwiększaniu się wysokości stoku, opór osuwaniu wzrasta wolniej niż siła działająca, t. j. wolniej niż ciężar osuwającej się masy ziemi. Dla uniknięcia osunięć stromość stoku powinna być tem mniejsza, im większa jest jego wysokość, co potwierdza kształt wklęsły powierzchni osunięcia, spostrzegany w osuwiskach (rys. 87).

Jeżeli spoistość cząsteczek jest niewielka, a więc w wypadkach gruntów sypkich i pulchnych, to opór osuwaniu wzrasta w takim stosunku, w jakim wzrasta ciężar osuwającej się bryły; to też dla takich gruntów kąt stoku naturalnego nie zależy od jego wysokości i jest wogóle mniejszy, niż dla gruntów ścisłych.

Dla ułatwienia robót ziemnych przy budowie torowiska kolejowego zwykle daje

się stokom pochylenie jednakowe na całej ich wysokości, zmniejszając pochylenie wraz ze zwiększeniem wysokości stoku.

Pochylenie stoku powinno zależeć od rodzaju gruntu, t. j. od kąta tarcia i od współczynnika spoistości gruntu. Na spoistość cząsteczek gruntu rzadko kiedy liczyć można, przytem wyłącznie w wykopach w gruncie ścisłym. Z tego względu stoki wykopów mogą być bardziej strome niż stoki nasypów.

Oprócz gruntów skalistych, stosunkowo największą spoistością odznacza się sucha glina. Spoistość i tarcie gruntów ziemistych zmniejsza się, jeżeli są nasiąknięte wodą. Szczególniej glina, nasiąknięta wodą, rozpływa się tem łatwiej, im jest czystsza. Spoistość gruntów skalistych może być bardzo różna i winna być określoną w poszczególnych wypadkach doświadczalnie.

Kąt stoku naturalnego, t. j. największe pochylenie, jakie zachować może stok masy ziemnej, nie posiadającej spoistości, wynosi:

dla piasku miałkiego	1,7 do 1,5	podstawy	na	1	wysokości
„ „ gruboziarnistego .	1,6 „ 1,3	„	„	„	„
„ czarnoziemu	1,7 „ 1,2	„	„	„	„
„ gliny suchej	1,7 „ 1,1	„	„	„	„
„ „ mokrej	5,7 „ 1,7	„	„	„	„
„ kamienia polnego . . .	1,5 „ 1,1	„	„	„	„
„ kamienia łupanego . . .	1,1 „ 0,9	„	„	„	„

Pochylenie stoków nasypów i wykopów kolejowych określa się zwykle na podstawie wskazówek praktyki. Należy zauważyć, że wstrząśnienia, którym podlega torowisko kolejowe podczas przejścia pociągów, nie pozostają bez wpływu na spoistość cząsteczek ziemi, dlatego też w jednakowych warunkach stromość stoków na drogach żelaznych powinna być mniejsza, niż na drogach zwyczajnych lub wogóle w budowlach, które nie podlegają wstrząśnieniom. Stokom nie bardzo wysokim (do 2 lub 3 saż.) w gruncie zwykłym daje się na drogach żelaznych od 1,5 do 2 podstawy na 1 wysokości. W gruntach piasczystych i ziemistych pochylenie stoków przyjmuje się mniejsze, niż w gruntach gliniastych i żwirowatych. Stoki wykopów, o ile nie grozi im osuwanie się skutkiem pochyłego uwarstwienia gruntu, przesiąkania wody i t. p., mogą być wobec większej spoistości cząsteczek bardziej strome niż stoki nasypów. Tak naprzykład, na niektórych drogach żelaznych zagranicznych pochylenie stoków w wykopach przyjmuje się w warunkach zwykłych 1,25 podstawy na 1 wysokości. W gruntach skalistych stoki wykopów mogą być znacznie bardziej strome, a nawet zupełnie pionowe.

Na drogach żelaznych w Państwie Rosyjskiem przyjęto stosować w warunkach zwykłych, w wykopach zarówno jak w nasypach, stoki półtoraczne.

Według warunków technicznych budowy dróg żelaznych magistralnych w Rosyi stromość stoków nasypów i wykopów w gruntach zwykłych przyjmuje się $1^1/_2$ podstawy na 1 wysokości. Jeżeli wysokość nasypu wynosi więcej niż 3 saż. (6,4 *m*), należy dodawać do normalnej półtoracznej podstawy stoku po 0,25 saż. (0,53 *m*) na każdy sażen ponad 3 sażeny. W skałach podlegających wietrzeniu normalne pochylenie stoków wykopów winno wynosić $^1/_3$ podstawy na 1 wysokości, zaś w skałach nie wietrzejących $^1/_{10}$ podstawy na 1 wysokości.

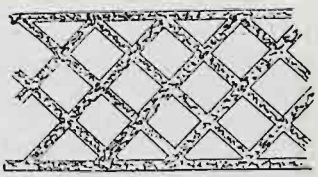
3. Wzmacnianie stoków. Obsiewanie, darniowanie, brukowanie, płotki i wiązki (faszyny).

Stoki nasypów i wykopów zabezpiecza się zwykle przez odpowiednie wzmocnienie od kruszenia i wymywania spływającą wodą oraz od przesiąkania tejże wewnątrz stoku i rozmiękczania gruntu. Jeżeli grunt jest drobnopiasczysty, wzmocnienie jego powierzchni zabezpiecza go również od wywiania. Wskutek tego stoki wzmocnione można utrzymać w porządku przy większej stromości niż niewzmocnione.

Najprostszy sposób wzmocnienia stoków polega na *obsianiu*, aby przyspieszyć ich obrastanie. Powierzchnia stoków zwykle pokrywa się przedtem warstwą ziemi rodzajnej, grubości około 0,05 saż. (10 *cm*).

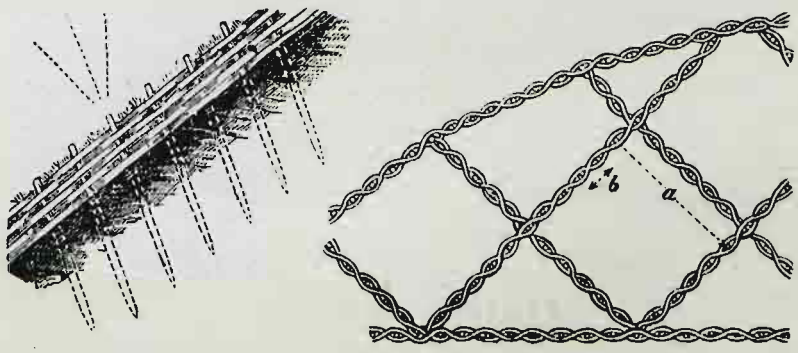
Ponieważ ziemia narzucona nie trzyma się na stoku i deszcz ją łatwo spłókuje, przeto stoki wykopów często wzmacnia się *darniną*, pasami na krzyż, przybijając darnie kołkami. Puste miejsca pomiędzy darniną pokrywa się warstwą ziemi rodzajnej, którą się następnie obsiewa (rys. 88). Dla lepszego umocowania stoków darniuje się je na całej powierzchni, kładąc darnie w przewięź i przybijając każdą darń dwoma kołkami.

Rys. 88.



Stoki nasypów na rozlewach rzek, podległe działaniu szybkiego prądu wody, uderzeniom kry w czasie ruszania lodów i t. p., w szczególności zaś stożki ziemne przy przyczółkach mostowych wymagają mocniejszego zabezpieczenia od podmycia i zniszczenia, co osiąga się przez wzmocnienie stoków *brukiem*, płotkami z chróstu lub wiązkami (faszynami). Brukiem również najlepiej jest wzmacniać dno i stoki rowów. Bruk układa się na warstwie piasku, zapełniając odstępy między kamieniami mchem lub słomą. Na nasypach bruk należy kłaść dopiero po ich uleżeniu się.

Rys. 89.



Płotki składają się z kołków wbitych w stok na $^2/_3$ swej wysokości, przeplatanych świeżym chróstem. Płotki grodzi się na krzyż, aby tworzyły klatki, po 0,5 do 2 saż. (1,07 do 4,27 *m*) w kwadrat, które zapełnia się ziemią rodzajną lub kamieniami (rys. 89).

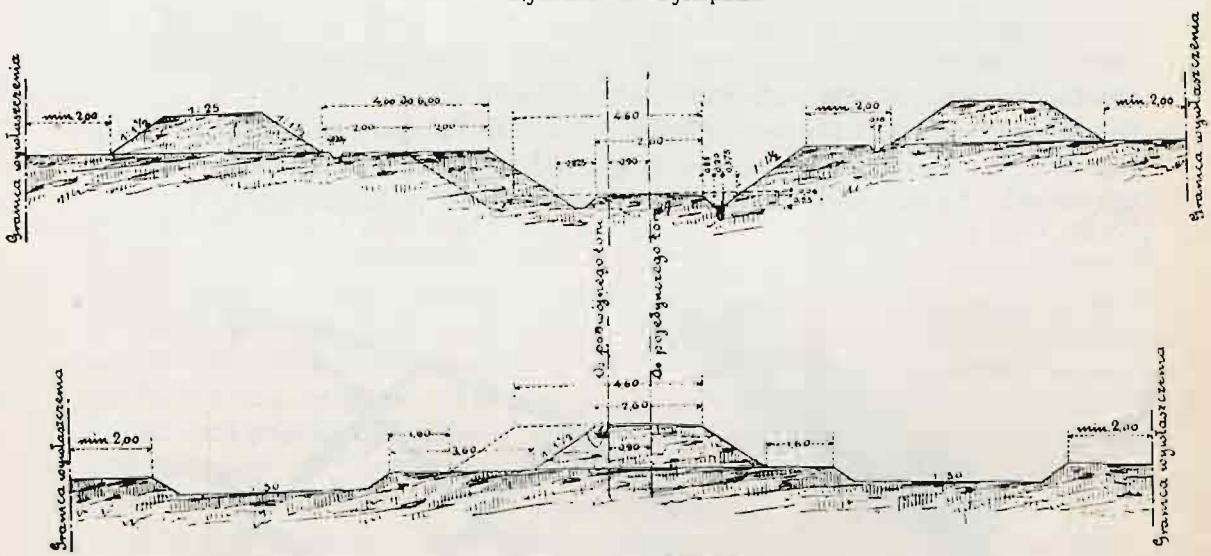
Wiązki ze świeżego chróstu układa się przeważnie warstwami, prostopadle do kierunku prądu, przymocowując do stoku każdą warstwę oddzielnie, za pomocą wiązkowej opaski, przez którą wbija się kołki. Pochylenie stoków wzmocnionych brukiem, płotkami lub wiązkami nie powinno być większe jak 1 : 1.

4. Normalny przekrój poprzeczny torowiska w wykopach. Rowy poboczne. Odkłady. Rowy górne ochronne. Odwodnienie wykopów. Rowki odsączające. Przypory.

Normalny przekrój poprzeczny torowiska w wykopie, będący w użyciu na drogach żelaznych w Państwie Rosyjskiem, przedstawiony jest na rys. 90.

Z obu stron torowiska w wykopie urządza się *rowy poboczne* szerokości na dnie 0,15 do 0,20 saż. (0,32 do 0,43 *m*) i głębokości co najmniej 0,25 do 0,30 saż. (0,53 do 0,64 *m*). W celu zmniejszenia szerokości wykopu stok rowu pobocznego od strony toru przyjmuje się 1 : 1, wzmacniając go darniowaniem lub brukowaniem. Pochylenie drugiego stoku rowu pobocznego przyjmuje się takie same, jak i stoku wykopu. Oba te stoki zlewają się ze sobą lub oddzielają się niewielką ławą. W razie braku miejsca lub jeżeli trzeba pogłębić rów poboczny w wykopie już istniejącym, stok rowu od strony toru zastępuje się niekiedy ścianką z suchego muru (rys. 92).

Normalne przekroje poprzeczne torowiska dla linii magistralnych.
Rys. 90. W wykopach.



Rys. 91. W nasypach.
Wymiary w sążenach.

W kierunku podłużnym rowy poboczne otrzymują zwykle takież pochylenie jak i torowisko. Jeżeli torowisko w wykopie poprowadzone jest poziomo, rowy poboczne powinny być wykopane ze spadkiem nie mniejszym jak 0,001.

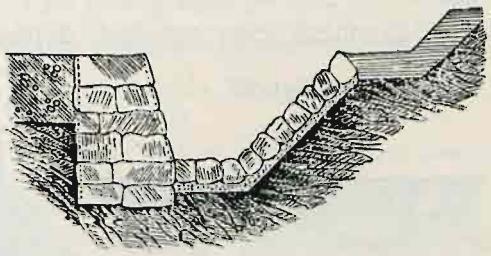
Rowy mają na celu nietylko odprowadzenie wody, spływającej ze stoków, ale też odwadnianie torowiska, które w wykopach, zwłaszcza gliniastych, bardzo łatwo

nasiąka wodą i wskutek tego rozpływa się, pęcznieje i t. p. Rowy poboczne działają jako sączki i osuszają torowisko tem lepiej, im są głębsze.

Jeżeli ziemia z wykopu nie idzie na nasyp, to składa się ją w *odkład*, który dla uniknięcia osunięć należy sypać w pewnej odległości od górnej krawędzi wykopu. Ława, która się w ten sposób tworzy między odkładem i stokiem wykopu, miewa zwykle 2 do 4 saż. (4,27 do 8,53 *m*) szerokości. Na ławie tej dosypuje się ziemia, aby utworzyć stok w stronę odkładu. Korona odkładu otrzymuje również spadek w kierunku od wykopu.

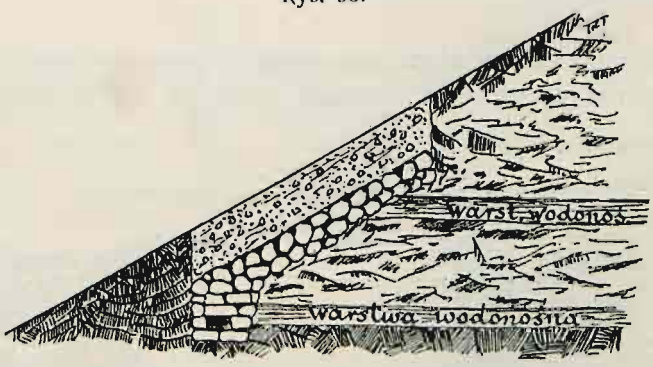
Na pochyłościach, w celu odprowadzenia wody deszczowej od wykopów, kopie się ze strony górnej *rowy ochronne*, prowadząc je z tyłu odkładów w odległości conajmniej 0,50 saż. (1,07 *m*) od podstawy odkładu. Woda z górnego rowu ochronnego powinna być odprowadzona w bok lub bezpośrednio pod most, a nie do rowu pobocznego, który powinien służyć wyłącznie do osuszania torowiska i stoków wykopu.

Rys. 92.



Odpowiednie osuszenie wykopów nie zawsze daje się osiągnąć wyłącznie za pomocą rowów pobocznych i górnych. Jeżeli stok wykopu przecina warstwę wodonośną o niewielkiej ilości wody, która nie powoduje znacznych osunięć stoku, to dostatecznem jest przeciąć tę warstwę za pomocą *rowka odsączającego* (rys. 93), w odległości około 0,50 saż. (1,07 *m*) od powierzchni stoku tak, aby woda w nim nie zamarzała.

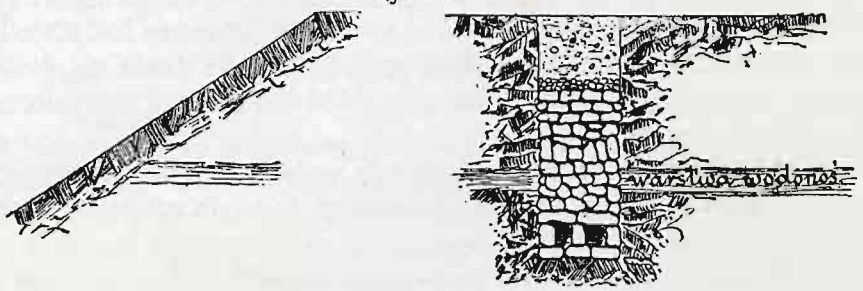
Rys. 93.



Jeżeli warstwa wodonośna ma stromy upadku wykopowi, co może wywołać osunięcie się warstw ziemi nad nim położonych, to dla osuszenia jaknajszerszego pasa warstwy wodonośnej i dla utworzenia naturalnej przypory, należy przekopać rów odsączający jak można najdalej od wyjścia warstwy wodonośnej w wykopie

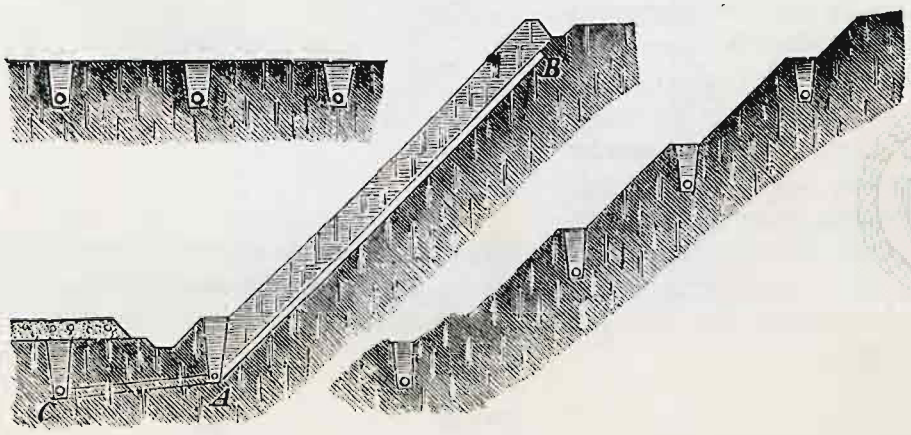
(rys. 94). Jeżeli warstwa wodonośna położona jest na znacznej głębokości pod powierzchnią ziemi, to w celu osuszenia jej stosują się niekiedy *sztolnie* górnicze (rys. 101).

Rys. 94.



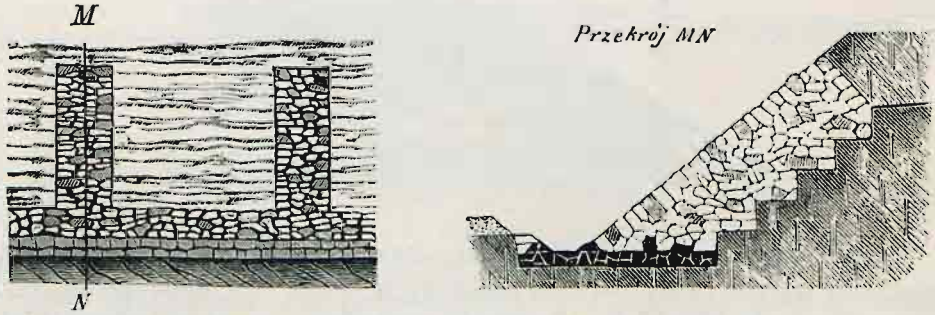
Jeżeli cały stok wykopu składa się z gruntu rozmiękłego, który wskutek tego osuwa się, to można temu zaradzić, doprowadzając pochylenie stoku do 1 : 4 lub

Rys. 95. Rys. 96.



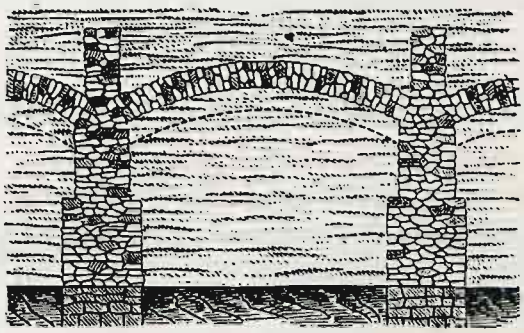
do 1 : 5, lub osuszając całą powierzchnię stoku za pomocą rowków odsączających, przeprowadzonych w odległości 2 do 3 saż. (4,27 do 6,40 *m*), jeden od drugiego

Rys. 97*a*. Rys. 97*b*.



(rys. 95 i 96), lub też wpuszczając w stoki *przypory* z suchego muru (rys. 97 i 98). Takie przypory osuszają i jednocześnie podpierają stoki, nie dając się im osuwać.

Rys. 98.

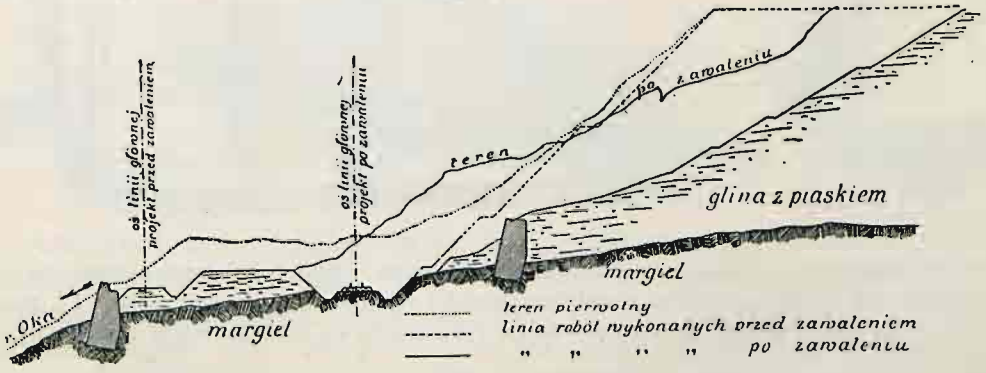


Dojście linii kolejowej z Timiraziewa do Niżnego Nowogrodu po pochyłości nad rz. Oką.

Odnoga dr. żel. Moskiewsko-Kazańskiej z Timiraziewa do Niżnego Nowogrodu przechodzi na długości ostatnich wiorst siedmiu po pochyłości nad rz. Oką.

Pochyłość ta, której wysokość dochodzi do 40 saż. (85,3 *m*), położona jest na skale marglowej, pokrytej warstwami osadowemi gliny piaszczystej i lesu. Grunt gliniasto-piaszczysty, chociaż sam przez się zupełnie odpowiedni jako materyał do budowy torowiska kolejowego, okazał się w tym wypadku nie dostatecznie pewnym. Skutkiem pochylenia ku rzece górnej powierzchni skały marglowej i obfitości wody zaskórnej, wierzchnie warstwy gliniaste zaczęły osuwać się po marglowem podłożu wkrótce po rozpoczęciu robót ziemnych przy budowie torowiska kolejowego, które wyprowadziły grunt z równowagi pierwotnej. Osuwiska i zwały (rys. 99) po 5 do 8 tysięcy sażenów sześciennych (50 do 80 tys. m^3), które zdarzyły się w kilku miejscach w czasie budowy drogi w latach 1900—1902 i pociągnęły za sobą, lub zasypały wykończone już torowisko kolei żelaznej, przekonały o konieczności takiego przesunięcia go ku górze, aby ono w całości spoczęło na podłożu nieruchomem.

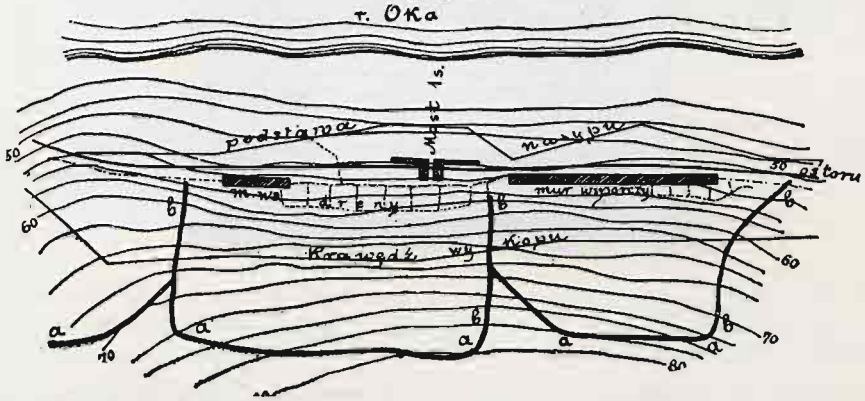
Rys. 99.



Jednocześnie zastosowano wszelkie środki w celu odprowadzenia wody zaskórnej i źródeł przy pomocy całej sieci sztolni i sączków. Sztolnie przeprowadzone były głównie w stokach wykopu od strony góry i składały się z galeryi podłużnych *aa* (rys. 100), poprowadzonych w odległości około 50 sażenów (107 *m*) od skarpy, i poprzecznych *bb* z wylotami do rowów pobocznych wykopu lub też wprost do rzeki pod torowiskiem kolei żelaznej. Galerye te przeznaczone są do ujęcia wód podziemnych i nadania im określonego kierunku. Osuszona masa ziemna pomiędzy temi galeryami i stokiem wykopu tworzy przyporę, opierającą się osuwaniu mas ziemi położonych

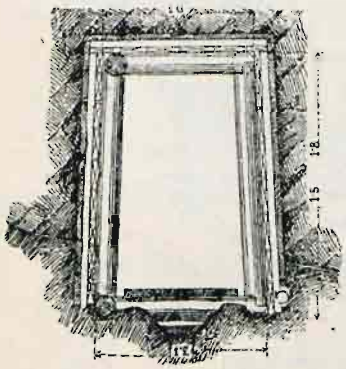
między linią sztolni i wododziałem. Sztolnie (rys. 101) prowadzono tak, aby dno ich wrzynało się na całej długości w podłoże stałe i miało spadek 0,03 do 0,05. Roboty przy kopaniu każdej sztolni i ustawianiu w niej ram wykonywali dwaj robotnicy, trzeci zaś wywoził ziemię wagonikiem

Rys. 100.

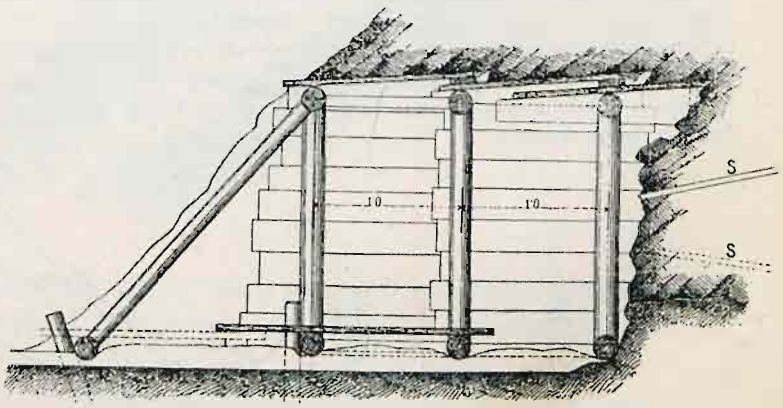


po torze szynowym, który był ułożony w sztolni. Przy dwóch zmianach robotników posuwano się średnio o jeden sażen na dobę. Ogólna długość sztolni, które przeprowadzono na pochyłości nad rz. Oką przy budowie drogi żelaznej, wynosi około 3 wiorst, prócz tego zaś zamierzono przeprowadzić drugie tyle w następstwie.

Rys. 101*a*.



Rys. 101*b*.



Trudności opisane wyżej oraz potrzeba wybudowania wielkiej ilości dzieł sztuki dla przepuszczania wód i ścian oporowych, urządzenia sztolni i sączków, wzmocnienia stoków i t. p. spowodowały, że koszt budowy dojścia do Niżnego Nowogrodu na długości wiorst siedmiu wyniósł około 340 000 rb. na wiorstę.

5. Normalny przekrój poprzeczny torowiska w nasypach. Rowy górne ochronne i ukopy (rezerwy) przy nasypach.

Normalny przekrój poprzeczny torowiska w nasypie, stosowany zwykle na drogach żelaznych w Państwie Rosyjskiem, przedstawiony jest na rys. 92.

Jeżeli przy nasypie nie urządza się ukopów (rezerw), to z górnej strony nasypu należy wykopać rów ochronny. Szerokość dna i głębokość rowów przy nasypach przyjmuje się zwykle nie mniej jak 0,30 saż. (0,64 *m*), stoki zaś półtoraczne. Spadek podłużny rowów w gruntach zwykłych powinien wynosić 0,001 do 0,006. Dla uniknięcia większych spadków, które mogłyby powodować rozmywanie dna rowów, urządza się na niem, w razie potrzeby, brukowane progi wysokości około 0,10 saż. (0,21 *m*).

Między stokiem nasypu i krawędzią rowu należy zostawić ławę, której szerokość bywa zwykle nie mniejsza jak 1,5 saż. (3,2 *m*). Takież ławy należy pozostawić między stokiem nasypu i krawędzią ukopu.

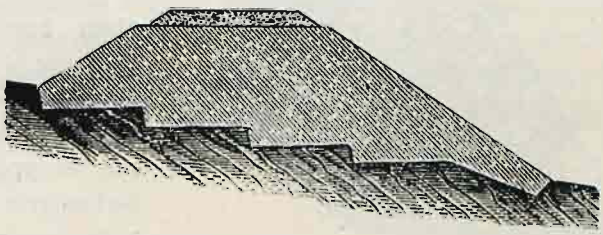
Dno ukopów urządza się ze spadkiem poprzecznym około 0,02 w kierunku od nasypu i ze spadkiem podłużnym do najbliższego dzieła sztuki. Jeżeli w ukopach przewiduje się silny prąd wody w dużej ilości, jak to ma miejsce naprz. na wylewach rzek, to w ukopach pozostawia się tamy poprzeczne od strony ławy w celu zabezpieczenia tejże od rozmycia.

6. Posadowienie nasypów. Nasypy na pochyłościach. Narzuty z kamieni. Mury oporowe. Nasypy na gruntach błotnistym i torfiastym. Karczowanie pni.

Stałość nasypu zależy przedewszystkiem od gatunku i ukształtowania powierzchni gruntu naturalnego, na którym się on buduje.

Jeżeli nasyp buduje się na pochyłości, mającej znaczny spadek (większy niż 1:5 do 1:6), to dla uniknięcia osuwania się go, obrabia się grunt naturalny pod posadę nasypu w kształcie stopni wysokości około 0,40 saż. (0,85 *m*) ze spadkiem ku górze (rys. 102).

Rys. 102.

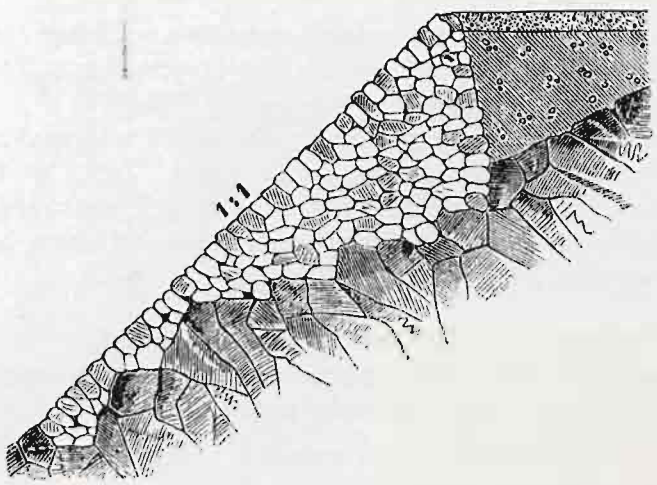


Jeżeli pochyłość miejscowości jest bardzo znaczna, to często okazuje się koniecznem zwiększenie stromości stoku, dla którego brak jest dostatecznej podstawy. W takim przypadku pochylenie stoku może być doprowadzone do 1 : 1, sypiąc stok z kamieni (rys. 103). Jeżeli niezbędna jest jeszcze większa stromość stoku, to można ją otrzymać, budując mur oporowy z suchego kamienia warstwami, prostopadłemi do powierzchni stoku (rys. 104). Dla takiego stoku można dopuścić pochylenia $1 : {}^{2}/_{3}$ do $1 : {}^{1}/_{2}$. Wreszcie podstawa stoku da się jeszcze bardziej ograniczyć, budując mury oporowe na zaprawie.

Osuwanie się nasypu może nastąpić nietylko wskutek pochyłości gruntu, na którym nasyp został wzniesiony, lecz czasem także wskutek pochyłego położenia

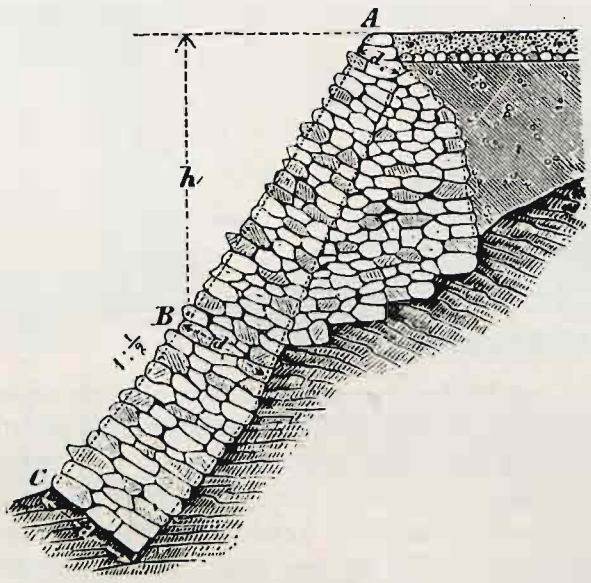
warstw wodonośnych na pewnej głębokości pod podstawą nasypu. W takich wypadkach niezbędnem jest osuszenie warstwy wodonośnej za pomocą górnego rowu ochronnego lub odsączenia. Oprócz tego może okazać się pożytecznem urządzenie przypory ziemnej, której podstawa powinna być założona w twardym gruncie (rys. 105).

Rys. 103.



Jeżeli nasyp buduje się na gruncie błotnistym, pokrytym twardą skorupą, to pod ciśnieniem nasypu może się ona rozerwać, powodując nagłe pogrążenie się nasypu na dno błota. Dla uniknięcia tego po obydwóch stronach budującego się nasypu należy przekopać w odległości około 1 saż. (2,1 *m*) od podstawy stoku rowy takiej głębokości, aby skorupa przecięta na całą grubość nie przeszkadzała swobodnemu osiadaniu nasypu.

Rys. 104.



Grunty torfiaste mają tę własność, że pod ciśnieniem bardzo długo osiadają nie ulegając się ostatecznie. Wobec tego należy wogóle unikać budowania nasypów na gruntach torfiastych, lub też całkowita warstwa torfu powinna być zdjęta na szerokość podstawy nasypu.

Pod nizkimi nasypami pnie drzew wyciętych należy karczować, aby uniknąć miejscowych osiadań torowiska wskutek gnicia pni.

7. Materyał na nasypy. Warunki jego zdatności. Osiadanie nasypów

Do budowy nasypów mogą być użyte wszelkiego rodzaju grunty pod warunkiem, aby nie były nasiąknięte wodą. Osuszanie nasypów, wewnątrz których za-

trzymuje się woda, przedstawia nie mało trudności, tymczasem nasypy takie, zwłaszcza gliniaste, bardzo osiadają i rozpływają się. Wobec tego przy użyciu na nasypy gliny należy zwracać uwagę, aby była sucha.

Między twardemi bryłami gliny tworzą się miejsca puste, w których zatrzymuje się woda i które w następstwie są przyczyną dużego osiadania nasypu. Dlatego też, w razie stosowania na nasyp takiego materyału, należy przesypywać go warstwami materyału bardziej sypkiego.

Torf nie powinien być wogóle dopuszczany na nasypy ze względu na swoją ściśliwość. Najlepszym materyałem na nasypy są grunty piaszczyste i żwirowate, które przepuszczają wodę nie podlegając rozmiękczeniu i osiadaniu. Jednakże stoki nasypów z gruntu drobnopiaszczystego powinny być pokryte koniecznie warstwą ziemi rodzajnej i obsiane trawą, aby piasku nie wywiewał wiatr lub nie spłókiwała woda deszczowa.

Osiadanie nasypów kolejowych pod wpływem obciążenia trwa czasami lat kilka. W zwykłych wypadkach osiadanie nasypu nie daje się zauważyć już po 2 do 3 latach. Największemu osiadaniu podlegają nasypy gliniaste i ziemiste, najmniejszemu zaś kamieniste i piaszczyste.

Wielkość osiadania w % od wysokości nasypów można przyjąć:

dla nasypów	z kamienia . . .	3%
» »	» piasku	5%
» »	» czarnoziemu . .	8%
» »	» gliny	9%

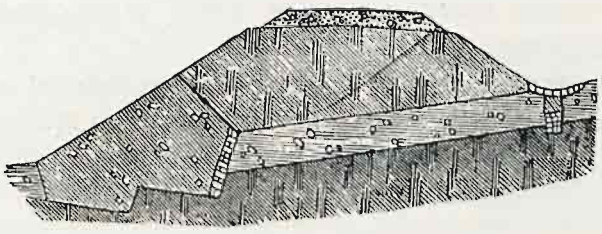
Dla uniknięcia późniejszego dosypywania i podnoszenia toru na balaście w celu zachowania projektowanego profilu linii, niezbędnem jest przy sypaniu nasypów dawać im nieco większą wysokość. Przy budowie dróg żelaznych zwiększa się zwykle projektowaną wysokość nasypu o 10% a co najmniej o 5%, w zależności od gatunku gruntu. Jednocześnie ze zwiększeniem wysokości nasypu należy powiększyć również (mniej więcej o 10%) szerokość nasypu w koronie, gdyż szerokość ta, jak wykazuje praktyka, zmniejsza się z czasem wskutek ulegania się gruntu w kierunku poprzecznym, jako też wskutek kruszenia się gruntu na powierzchni stoków.

8. Osuwanie i rozpływanie się nasypów, ich przyczyny, środki zapobiegania i naprawa.

Osuwanie się nasypów pochodzi zwykle wskutek zbytniej stromości stoków, albo wskutek użycia do nasypów gliny mokrej lub zmarzniętej i wogóle wskutek przedostawania się do wnętrza nasypu i zastawania się w niem wody. Czasem przyczyną osuwisk bywa nieprawidłowe sypanie nasypów z materyałów różnorodnych, warstwami pochyłemi. Przyczyny te wskazują zarazem, jakie środki powinny być zastosowane w celu uniknięcia osunięć. Jeżeli jednak środki te z jakichkolwiek powodów nie były zastosowane, to dla uniknięcia osunięć, o ile byłyby wska-

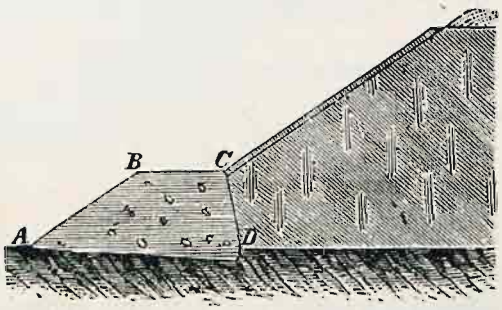
zówki co do możliwości ich powstania, należy uznać za najodpowiedniejsze urządzenie przypór ziemnych i należyte odsączenie wnętrza nasypu.

Rys. 105.



Przypora ziemna (rys. 106), w postaci przysypki z dobrej ściśle ubitej ziemi, zmniejsza wysokość stoku i przeciwdziała wypieraniu dolnych rozmiękłych warstw nasypu.

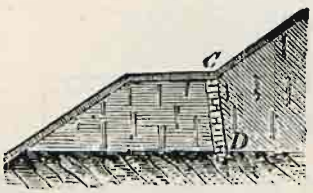
Rys. 106.



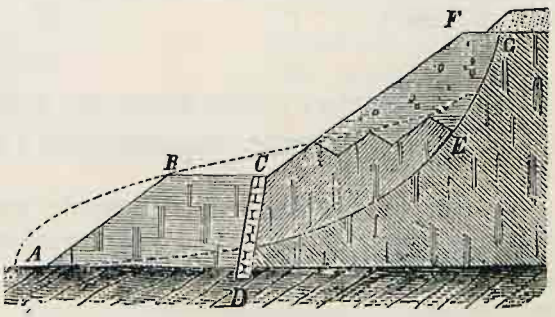
Jeżeli materyał, użyty na przyporę ziemną, nie jest dostatecznie przepuszczalny, to między nim i nasypem powinna być ułożona warstwa odsączająca z kamieni (rys. 107) lub wiązek. Warstwę tę należy wpuścić w grunt naturalny i odprowadzić w bok od nasypu. Podobne środki stosują się również przy naprawie nasypów, które się już osunęły, przyczem na przypory ziemne używa się ziemia osunięta, a zamiast niej dosypuje się świeżej (rys. 108).

W celu osuszenia mokrych nasypów gliniastych, które się rozpływają, stosują się odsączki poprzeczne z kamieni lub wiązek (rys. 109), lub też na podobieństwo przypór z suche-

Rys. 107.

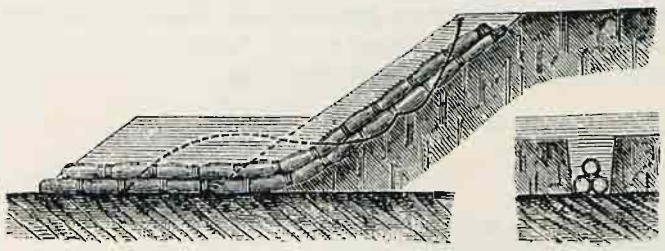


Rys. 108.



go muru, jak opisane wyżej przy urządzeniu i osuszaniu stoków w wykopach.

Rys. 109.



Nasyp Teligulski na dr. żel. Południowo-Zachodnich.

Na szlaku Birzuła-Zmierzynka dróg żelaznych Południowo-Zachodnich, w odległości 185 wiorst od Odessy, linia drogi żelaznej przecina głęboki wąwóz, obecnie suchy, którym płynęła niegdyś rzeczułka Teliguł. Nasyp kolejowy, którego wysokość w najniższym punkcie tego wąwozu wynosi do 11,80 saż. (25,2 *m*), ma zaledwie 450 saż. (960 *m*) długości między punktami przejścia do przyległych wykopów. Dla przepuszczania wody, gromadzącej się w tem miejscu przeważnie na wiosnę i w jesieni, urządzony jest pod nasypem przepust sklepiony, mający 1,20 saż. (2,56 *m*) otworu. Jądro nasypu nawiezione było w r. 1865 końmi do wysokości, przy której można było ułożyć tor roboczy. Następnie w lutym r. 1866, zanim jeszcze ziemia odmarzła, zaczęto dosypywać stoki pociągami roboczymi (rys. 110). Ziemię na nasyp dowożono z przyległych wykopów, mających grunt iłowato-gliniasty z warstwami marglu i kredy.

Skutki użycia na nasyp nieodpowiedniego materyału i nieprawidłowego sypania nasypu wkrótce się ujawniły. Już w r. 1866 stoki nasypu zaczęły się osuwać, co powtórzyło się również w latach 1867 i 1868. Wzdłuż nasypu, przy krawędzi korony, a miejscami pod samym torem szynowym potworzyły się głębokie rozpadliny długości 100 saż. (213 *m*) i więcej, i część nasypu wraz ze stokiem osiadła lub osunęła się na dół, jednocześnie zaś zaczęła osiadać środkowa część nasypu.

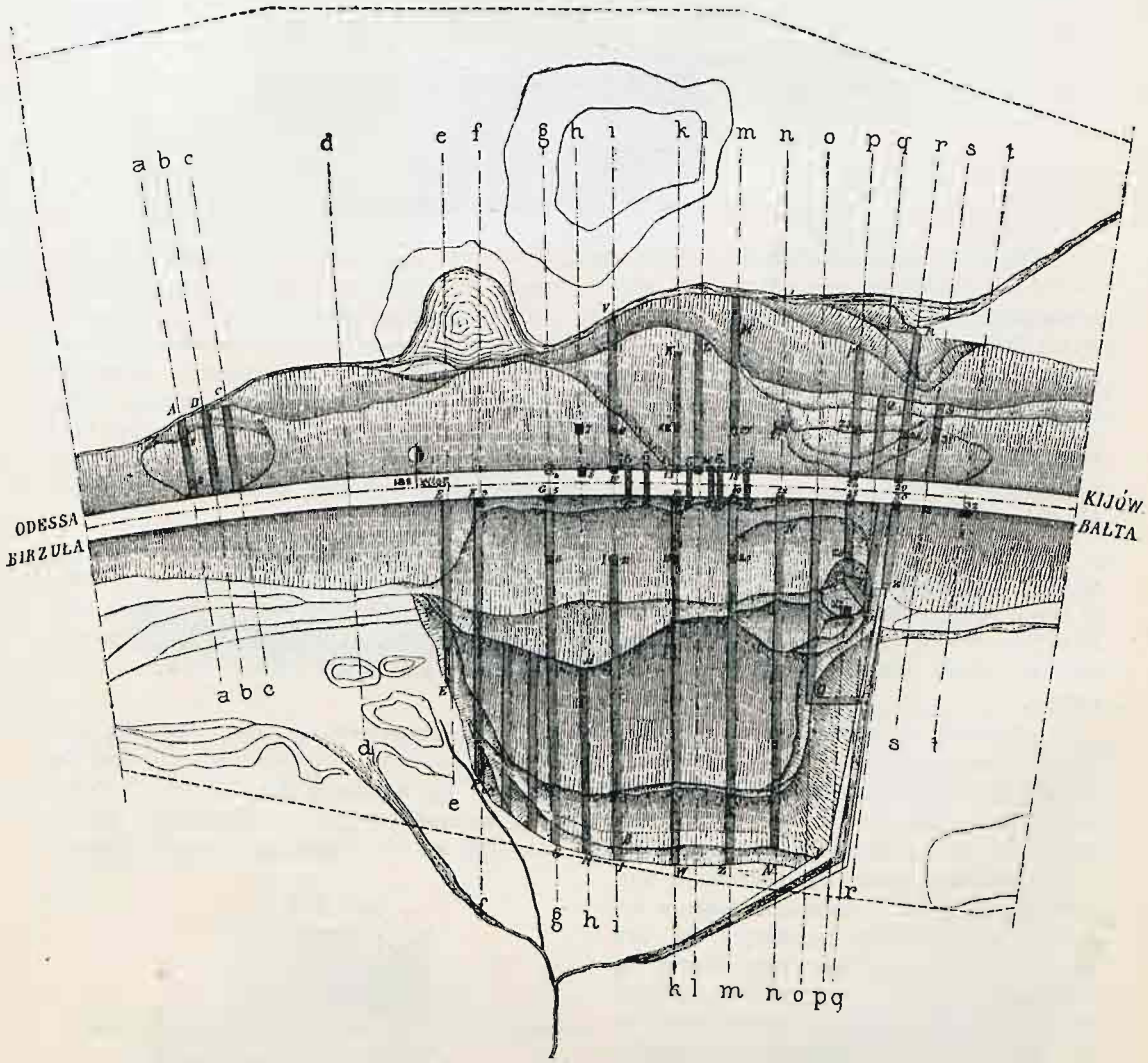
Osuwanie się stoków nasypu było kilkakrotnie przyczyną przerw w ruchu. Wypadło wyznaczyć stały dozór nad nasypem, zasypywać tworzące się rozpadliny i dosypywać osuwające się stoki, których pochylenie stawało się coraz łagodniejszem. Tor od strony stoku dolnego, częściej podlegającego osuwaniu się, był stopniowo przesuwany ku środkowi nasypu i podnoszony na balaście, wysokość którego dosięgła w r. 1868 1,25 saż. (2,66 *m*). Pomimo że po wielkich zwałach r. 1868 dosypano stoki bardzo starannie, warstwami poziomemi z ubijaniem, zaraz w następnym roku osunięcia powtórzyły się. Jak należy przypuszczać, stoki nasypu ślizgały się po ściślejszem jądrze, na powierzchni którego zatrzymywała się woda, przesiąkająca przez balast, i stale ją zwilżała. Wówczas postanowiono nie używać wogóle na dosypki miejscowej gliny iłowatej, lecz tylko piasku, chociaż go trzeba było dowozić ze znacznej odległości. U podstawy osuwającego się stoku nasypano dla podparcia go przyporę (rys. 111*b*).

Rys. 110.

Pomimo wszystkich wymienionych robót, mających na celu dosypanie i wzmocnienie stoków nasypu Teligulskiego, których koszt od czasu ukończenia budowy do r. 1869 wyniósł około 125 tysięcy rubli, już w końcu tegoż roku zdarzyły się wypadki nowych osunięć. Stoki osuwały się w części górnej i będąc zatrzymywane u dołu, wysadzały się miejscami w górę (rys. 111*b*). Wówczas uznano, że dla zabezpieczenia stateczności nasypu niezbędnem jest osuszenie go przy pomocy sączek i sztolni. W nasypie i jego stokach wykopano w r. 1870—187 132 szyby (rys. 111*a*, *b*), które wykazały, że na pewnej głębokości od powierzchni nasypu i stoków cały nasyp był przesiąknięty

wodą. Od szybów, w których zauważono największy dopływ wody, przekopano nasyp do podstawy (rys. 111*a*, *c*), wzmacniając te przekopy, szerokości 1 saż. (2,13 *m*), opierzeniem z desek i rozpierając ramami. Kiedy nasyp był już osuszony, na dnie przekopów ułożono kilka warstw chróstu i odsączenie to zasypano piaskiem. W kilku miejscach zamiast szybów wykopano w dolnej części nasypu sztolnie w kierunku prostopadłym do osi nasypu (rys. 111*b*).

Rys. 111*a*.

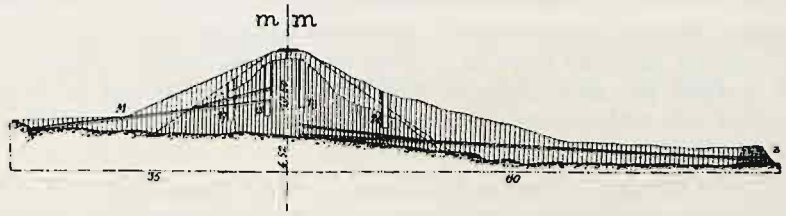


Po wykonaniu tych robót, które kosztowały około 50 tysięcy rubli, znaczniejsze osunięcia nasypu nie powtarzały się w przeciągu lat 13, t. j. prawdopodobnie do czasu, dopóki warstwa odsączająca nie zamuliła się i nie zgniła, a więc póki mogła działać prawidłowo. W roku 1888 rozpadliny i znaczne osiadanie torowiska znów się powtórzyły.

Po nasypie Teligulskim przechodziły do owego czasu dwie linie jednotorowe: główna od Birzuły do Zmierzynki i odnoga od Birzuły do Bałty przez Elizawetgrad. Kiedy w r. 1889 zaprojektowano budowę drugiego toru na linii głównej, podniesiono pytanie, czy nie byłoby bardziej celowem, zamiast rozszerzenia istniejącego nasypu, obejść go zupełnie, prowadząc nową linię w innym kierunku. Przysypki boczne do nasypów już istniejących wymagają wogóle wielkiej ostroż-

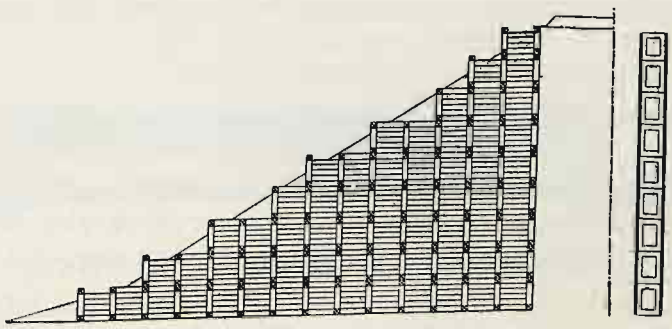
ności w wykonaniu. W danym wypadku zachodziła obawa osuwania się nietylko nowej przysypki, ale wobec zmienionych warunków, również osuwania się starego nasypu, stałość którego po 25 latach istnienia nie mogła być dostatecznie zabezpieczona. Wobec tego drugi, chociaż droższy

Rys. 111*b*.



sposób rozwiązania tej sprawy uznano za odpowiedniejszy. Poszukiwania techniczne wykazały możliwość obejścia tego miejsca linią o 56 saż. (119 *m*) krótszą od istniejącej linii głównej, przy-

Rys. 111*c*.



czem otrzymano największą wysokość nasypu 3,57 saż. (7,60 *m*) i wykopu 2,91 saż. (6,20 *m*). Objazd urządzono odrazu pod dwa tory i koszt jego wyniósł ogółem 81 411 rb. Na nasypie Teligulskim pozostawiono jeden tylko tor odnogi Elizawetgradzkiej.

9. Szerokość i kształt torowiska na linii i na stacyach. Szerokość międzytorza.

Opisane wyżej części budowy spodniej są mniej więcej jednakowe bez względu na typ drogi żelaznej, o ile tylko posiada ona własne torowisko. Oczywiście, że dla dróg żelaznych znaczenia drugorzędnego może być dopuszczone pewne zmniejszenie szerokości ław, zmniejszenie szerokości i głębokości rowów, oraz zwiększenie stromości stoków, nietylko w celu możliwego ograniczenia kosztów budowy, lecz też ze względu, że przy mniejszym ciężarze pociągów i mniejszej ich szybkości stałość toru będzie pomimo to dostatecznie zabezpieczona. Pozostaje więc do rozpatrzenia jeszcze jedna część budowy spodniej, a mianowicie torowisko.

Szerokość torowiska powinna być przedewszystkiem dostateczna do podtrzymania budowy wierzchniej t. j. warstwy wyborowego, przepuszczalnego materyału t. zw. *balastu*, oraz toru szynowego, który na nim pośrednio lub bezpośrednio spoczywa. Dlatego też szerokość torowiska zależy od szerokości i wysokości warstwy balastu. Ażeby balast nie osuwał się i aby pozostawało miejsce do składania

materyałów i narzędzi oraz dla przejścia robotników, między podstawą balastu a krawędzią torowiska zostawia się *pobocze* szerokości 0,10 do 0,15 saż.

Na drogach żelaznych rosyjskich szerokość torowiska pod tor pojedyńczy przyjmuje się na liniach głównych 2,60 saż. (5,55 *m*), na drugorzędnych zaś nie mniej jak 2,30 saż. (4,91 *m*).

Na drogach żelaznych zagranicznych o normalnej szerokości toru, należących do związku niemieckiego, szerokość torowiska mierzona w poziomie wierzchu balastu między przedłużonemi liniami stoków powinna wynosić co najmniej 4 *m* (1,875 saż.). Wynika stąd, że szerokość torowiska zależną jest od wysokości warstwy balastu i przy zwykle praktykowanych wymiarach tejże warstwy wynosi około 5,2 *m* (2,44 saż.).

Według przepisów budowy kolei dojazdowych w Rosyi szerokość torowiska tychże winna być co najmniej trzy razy większa od szerokości toru i w każdym razie nie mniejsza jak 1 saż. Jeżeli tor ułożony jest na balaście, to szerokość torowiska powinna być większa od szerokości balastu w podstawie co najmniej o 0,05 saż. (0,107 *m*) z każdej strony.

Jeżeli torowisko ma służyć dla liczby torów większej niż jeden, to szerokość jego będzie oczywiście zależną od odległości między torami. Ta zaś ostatnia odległość zależną jest od skrajni taboru, a w razie jeżeli między torami znajduje się jaka budowla, to od wymiarów tejże i od skrajni budowli.

Na linii, poza granicami stacyi, odległość między osiami dwóch torów sąsiednich zwykle przyjmuje się równą szerokości skrajni taboru, zwiększonej o pewien zapas, 0,25 do 0,35 *m*, niezbędny w razie otwarcia drzwi wagonu. Na stacyach odległość ta powiększa się ze względu na znajdujące się między torami sygnały, platformy i inne urządzenia oraz dla ułatwienia oględzin wagonów, ich czyszczenia i t. p.

Według warunków technicznych budowy dróg żelaznych magistralnych w Rosyi szerokość międzytorza (t. j. odległość między osiami dwóch torów sąsiednich) wynosić winna poza granicami stacyi nie mniej jak 1,77 saż. (3,777 *m*), t. j. o 363 *mm* więcej niż szerokość skrajni taboru, na stacyach zaś nie mniej jak 2,27 saż. (4,843 *m*). W zależności od powyższego szerokość torowiska pod dwa tory zwykle przyjmuje się poza granicami stacyi 4,40 do 4,60 saż. (9,39 do 9,81 *m*).

Na drogach żelaznych o torze normalnym zagranicznym szerokość międzytorza poza granicami stacyi wynosić winna 3,5 do 4,0 *m* (1,640 do 1,875 saż.) i takież daje się poszerzenie torowiska dla drugiego toru.

Na kolejach dojazdowych w Rosyi szerokość międzytorza poza granicami stacyi winna być taka, ażeby między skrajniami taboru pozostawał odstęp co najmniej 0,2 saż. (0,427 *m*). Takiż odstęp na stacyach wynosić winien 0,7 saż. (1,493 *m*).

Powierzchnia torowiska nie jest płaszczyzną poziomą, lecz daje się jej pochylenie od osi torowiska ku stokom w celu odprowadzenia wody i zapobieżenia o ile możności przesiąkaniu tejże wewnątrz nasypu. Pochylenie powierzchni torowiska przyjmuje się $^1/_{20}$ do $^1/_{25}$. Przy szerokości torowiska 2,6 saż. (5,55 *m*) wysokość trójkąta, t. j. wywyższenie osi torowiska nad jego krawędziami, przyjmuje się zwykle 0,06 saż. (0,128 *m*). Tam, gdzie urządzenie poprzecznych spadków torowiska przedstawia pewne trudności, np. na stacyach, gdzie torowisko służyć ma dla kilku torów, odwodnienie jego osiąga się w razie potrzeby za pomocą odsączenia.

ROZDZIAŁ II.

Budowa wierzchnia pierwszych dróg żelaznych. Szyny Stephenson'a i Vignoles'a. Rodzaje podpór szynowych.

Jak wspomniano wyżej (patrz str. 1), tor z beleczek żelaznych lanych, podpartych w obu końcach, stosowano dla ułatwienia przewozu ciężarów w kopalniach angielskich jeszcze w końcu osiemnastego stulecia. Beleczki te (rys. 112) miały w górnej części zgrubienia, w końcach zaś u podstawy były zaopatrzone w występy z dwoma otworami dla sworzni lub haków, które służyły do umocowania beleczek na podporach w kształcie zgruba ociosanych kamieni lub drewnianych poprzecznic. Występy w końcach beleczek często się odłamywały, wskutek czego zaczęto zamiast nich stosować oddzielne siodełka z żelaza lanego, które podtrzymywały końce beleczek na podporach. W celu zwiększenia wytrzymałości beleczek w kierunku pionowym, nadawano im od spodu obrys po linii krzywej, wypukłej ku dołowi.

Rys. 112.

Tor tego typu był zastosowany na pierwszej drodze żelaznej z motorem parowym zbudowanej przez Stephenson'a w r. 1825 pomiędzy Stockton i Darlington (rys. 113), jednakże już wtedy na pewnej części tej drogi zamiast beleczek z żelaza lanego ułożono szyny z żelaza walcowanego, które stanowiły nowość w ówczesnej technice hutniczej.

Te szyny walcowane (rys. 114) o przekroju w kształcie grzyba miały 15 stóp długości, t. j. były pięć razy dłuższe niż lane i były wypukłe od spodu między podporami na podobieństwo beleczek lanych, co wymagało dość trudnej obróbki szyn po wywalcowaniu.

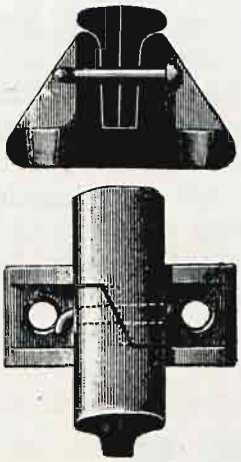
Wobec drożyzny szyn fasonowych, które trzeba było przywozić z Europy, na pierwszych drogach żelaznych parowozowych w Ameryce, których budowę rozpoczęto około r. 1832, zastosowano do budowy toru belki drewniane, do których były przybite po wierzchu pasy z żelaza płaskiego. Taki sam tor był zastosowany na niektórych drogach żelaznych w Europie i był również projektowany w r. 1838 dla dr. żel. Warszawsko-Wiedeńskiej (rys. 115).

Długość szyn z żelaza lanego wynosiła zaledwie 3 stopy, przyczem wymagały one urządzenia złączy nad każdą podporą, co było niedogodnem nietylko ze względu na koszta urządzenia podpór, ale również ze względu na silne uderzenia kół na złączach, wskutek których jazda była przykra i niespokojna. Prócz tego z powodu kruchości materyału szyny z żelaza lanego często pękały i wskutek tych wad wkrótce ustąpiły miejsca szynom z żelaza walcowanego.

Jednakże szyny walcowane powyżej opisanych kształtów, a mianowicie o przekroju grzybkowatym, obrobione wypukło od spodu i umocowane na pod-

porach przy pomocy siodełek, oraz płaskie, przybite do legarów podłużnych, posiadały wiele niedogodności. Wyrób szyn o zmiennym przekroju poprzecznym był

Rys. 113*a*.



Rys. 113*b*.

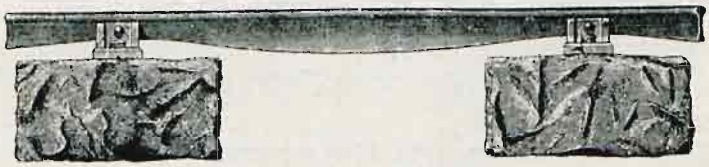
Stockton-Darlington r. 1825.

wielce utrudniony; to też zarzucono go wkrótce i zaczęto wyrabiać szyny o przekroju stałym kształtu uwidocznionego na rys. 116 i 117. Dolne zgrubienie szyny dało możność uprościć i ulepszyć umocowanie jej w siodełku, stosując kliny zamiast sworzni, i oprócz tego znacznie wzmocniło samą szynę.

W ten sposób powstał stopniowo typ szyny o główce podwójnej (rys. 118), której kształt oraz sposób umocowania na podporach za pomocą siodełek z żelaza lanego i klinów drewnianych pozostały aż do czasów obecnych prawie bez zmiany takimi, jakie zastosował w roku 1838 Robert Stephenson (syn wynalazcy).

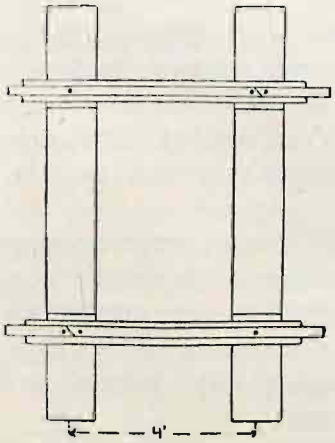
Rys. 114*a*.

Rys. 114*b*.

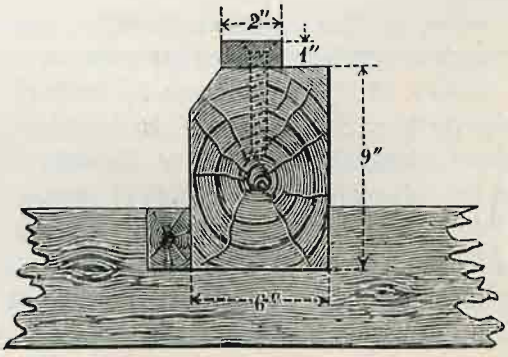


Stockton-Darlington 1825 r.

Rys. 115*a*.



Rys. 115*b*.

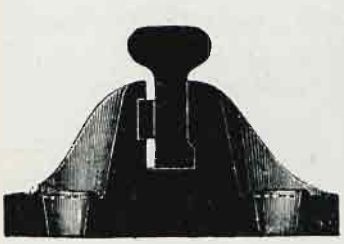
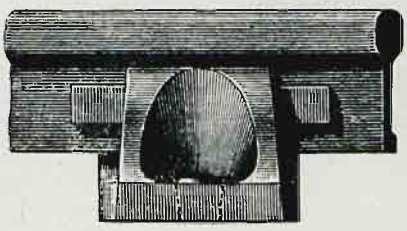
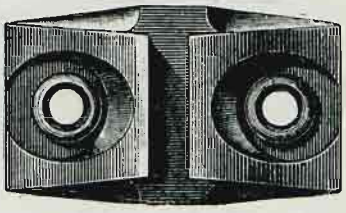


Dr. żel. Warszawsko-Wiedeńska r. 1838 (projekt).

System amerykański budowy toru o szynach z żelaza płaskiego, przybitych do legarów podłużnych, posiadał ważną zaletę taniości w krajach obfi-

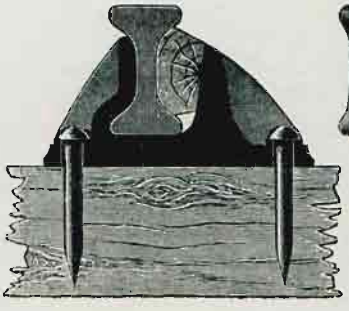
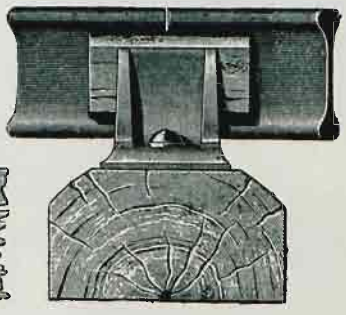
tujących w lasy. Wkrótce jednak okazało się, że szyny z żelaza płaskiego nie posiadają dostatecznej wytrzymałości w kierunku pionowym i pod ciężarem kół silnie wtłaczają się w drzewo, a jednocześnie części nieobciążone, szczególniej w złączach, podnoszą się do góry. Zaginanie się ku górze końców szyn, których nie mogły

Rys. 116*a*. Rys. 116*b*. Rys. 116*c*.

utrzymać gwoździe, powodowało często wykolejenia pociągów. Wskutek tego zaczęto stopniowo wzmacniać przekrój takich szyn oraz nadawać im rozmaite kształty (rys. 119, 120 i 121), ułatwiające przymocowanie szyny do legara lub sprzyjające lepszemu zachowaniu równowagi szyny w kierunku poprzecznym. Ostatnim pomysłem w tym kierunku jest szyna, mająca w swym przekroju poprzecznym kształt

Rys. 117. Rys. 118. Rys. 119.

Londyn-Birmingham r. 1838.

podkowy. Szyna ta zastosowana była w Ameryce w r. 1835, później zaś rozpowszechniła się w Europie pod nazwą szyny Brunel'a (rys. 122).

Rys. 120. Rys. 121. Rys. 122.

Ulepszenia, zastosowane w walcowaniu szyn, pozwoliły nadać szynie przekrój dogodny dla bezpośredniego przymocowywania jej do podpór i nie mniej sztywny i wytrzymały od przekroju szyny o dwóch główkach, umocowanej w siodełkach typu Stephenson'a. Tego rodzaju *szyny o podstawie płaskiej* (rys. 123) zaprojektował i pierwszy raz zastosował amerykanin Stevens w r. 1832 W kilka lat później

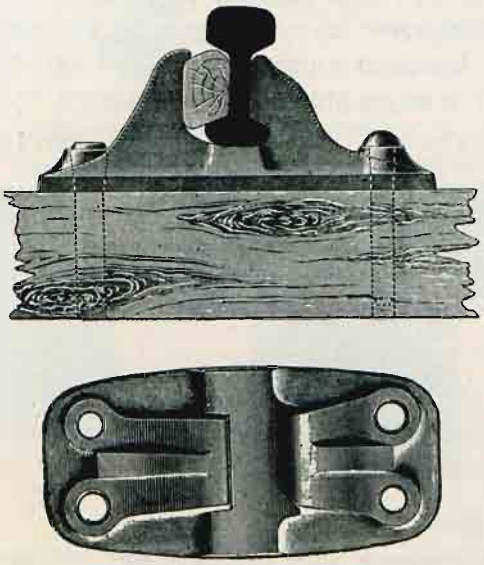
wprowadził je w Anglii inżynier Vignoles, którego noszą miano. Pomimo licznych prób zastosowania szyn innych przekrojów, typy szyn o dwóch główkach (Stephenson'a) i o podstawie płaskiej (Vignoles'a) są obecnie używane na drogach żelaznych prawie wyłącznie.

Co się tyczy sposobu, w jaki ciśnienie szyny przenosi się na grunt czyli raczej na balast, to oprócz wzmiankowanych już typów podpór szynowych, a mianowicie podpór, podtrzymujących każdą z szyn w oddzielnych punktach, podkładów poprzecznych, podciągniętych pod obie szyny toru, i legarów podłużnych, na których szyny spoczywają całą swoją długością, stosowane są także szyny odpowiedniego przekroju, spoczywające bezpośrednio na balaście.

Rys. 123.

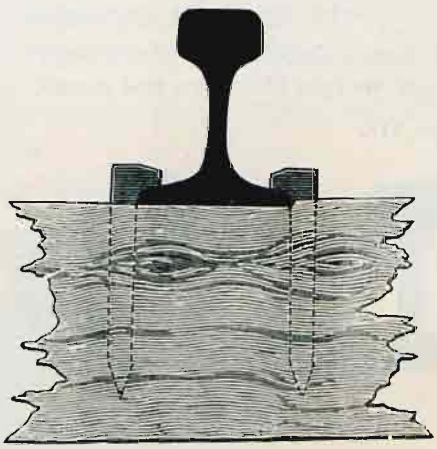
Oprócz ustroju podpór zwrócić należy uwagę również na materyał tychże, gdyż od niego zależy przeważnie sposób przymocowania szyny.

Rys. 124.



Lancashire-Yorkshire r. 1888.

Rys. 125.



Ze wszystkich ustrojów budowy wierzchniej najwięcej rozpowszechnił się obecnie tor z szyn Stephenson'a (rys. 124) lub Vignoles'a (rys. 125), ułożonych na podkładach poprzecznych drewnianych lub metalowych. Wskutek przyczyn, które będą przytoczone poniżej, układanie toru kolejowego na oddzielnych podporach, na legarach podłużnych oraz bezpośrednio na balaście należy uważać wogóle jako mniej celowe, aniżeli na podkładach poprzecznych, i dla tego wychodzi ono z użycia lub spotyka się tylko w razach wyjątkowych. Wobec tego ustroje budowy wierzchniej na podkładach poprzecznych, będąc praktycznie najważniejszymi, zasługują przedewszystkiem na uwagę. Inne ustroje będą opisane w krótkości w końcu niniejszego działu.

ROZDZIAŁ III.

Ogólny kształt toru kolejowego w planie i w profilu.

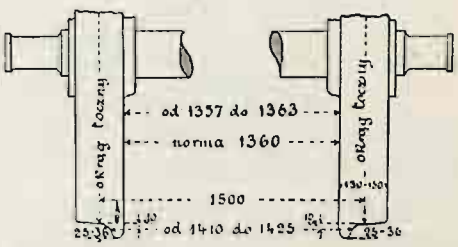
1. Szerokość toru w linii prostej. Luz między obrzeżem obręczy i szyną.

Stosownie do swego przeznaczenia tor kolejowy powinien nietylko podtrzymywać koło, lecz je również kierować.

Aby ruch zestawu kół po torze szynowym był ściśle określony, potrzebaby było, żeby odległość między zewnętrznemi krawędziami obrzeży dokładnie odpowiadała szerokości toru, t. j. odległości w świetle między główkami szyn. Warunek ten w rzeczywistości nie daje się zachować nietylko ze względu na szkodliwy opór dla ruchu, jakiby przy tem powstał, lecz również ze względu na nieuniknione niedokładności w nasadzeniu kół na osie i odchyleniu szyn od położenia normalnego, oraz wskutek tego, że obręcze i szyny wzajemnie się ścierają. Z powodów wyżej wymienionych między obrzeżem obręczy i szyną niezbędny jest *luz* i dla bezpieczeństwa ruchu potrzeba tylko, aby luz ten nie przekraczał pewnych granic.

Na drogach żelaznych o szerokości toru normalnej zagranicznej, należących do związku niemieckiego, normalna odległość w świetle między główkami szyn powinna wynosić w torze prostym 1435 *mm* (4′ 8½″), odległość zaś między krawędziami zewnętrznemi obrzeży obręczy może wahać się między 1425 *mm* i 1410 *mm* (rys. 126), w zależności od drobnych niedokładności w nasadzeniu obręczy i od bocznego zużycia obrzeży. Wynika stąd, że na tych drogach żelaznych w torze prostym, utrzymanym w dobrym stanie, luz między obrzeżem obręczy i szyną może się wahać w granicach od 10 do 25 *mm*.

Rys. 126.



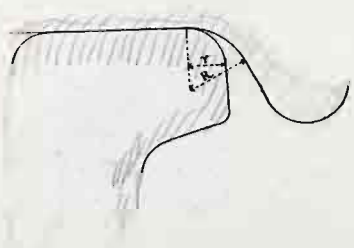
Dla dróg żelaznych o szerokości toru normalnej rosyjskiej, wynoszącej 1524 *mm* (5′), ustanowiono tylko normę odległości między krawędziami wewnętrznemi obręczy (1440 *mm* z dopuszczeniem uchybień wynikłych wskutek nieprawidłowości w nasadzeniu obręczy po 3 *mm* w każdą stronę), normy zaś grubości obrzeża i jego zużycia dozwolonego dotychczas nie są ustanowione. Wskutek tego wielkość luzu między obrzeżem i szyną waha się na drogach żelaznych rosyjskich w dość szerokich granicach. Jeżeli przyjąć, że normalna grubość obrzeża obręczy wynosi zwykle około 33 *mm*, zaś po największem zużyciu nie mniej jak 22 *mm*, to wynika stąd, że wielkość luzu w torze prostym zmienia się w przybliżeniu od 15 do 43 *mm*. Widzimy więc, że nietylko normalna wielkość luzu, lecz i zboczenia od niej są wogóle na drogach żelaznych rosyjskich większe niż na zagranicznych.

Wielkość luzu między obrzeżem obręczy i szyną staje się na drogach żelaznych rosyjskich jeszcze bardziej nieokreśloną wskutek tego, że górne zaokrąglenia boczne główki szyny i przylegającej do nich powierzchni obręczy nie są na wszystkich drogach jednakowe. Jeżeli promień R zaokrąglenia pachwiny obrzeża

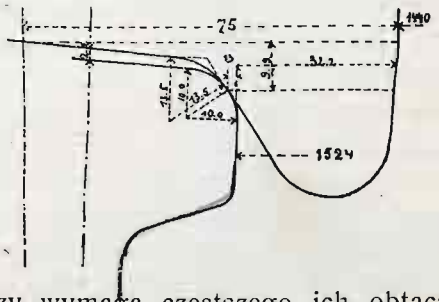
jest większy niż promień r górnego zaokrąglenia bocznego główki szyny, to w położeniu uwidocznionem na rys. 127 i 128 luz między szyną i obrzeżem jest tylko pozorny, gdyż koło musiałoby unieść się nad powierzchnią toczną szyny, aby mogło zbliżyć się do niej obrzeże.

Nie ulega wątpliwości, że jeżeli luz pomiędzy obrzeżem a szyną będzie mniejszy, to wahania boczne zestawu kół też się zmniejszą, a zatem i jazda po szynach będzie spokojniejsza. Pomimo to na niektórych drogach żelaznych zagranicznych luz normalny między obrzeżem obręczy a szyną jest jeszcze większy niż na drogach rosyjskich i naprz. na drogach żelaznych francuskich wynosi 22 do 25 *mm*. Wogóle należy uważać, że ważniejszem jest ograniczenie wahań w wielkości luzu, pochodzących wskutek zużycia lub przyczyn przypadkowych, aniżeli ograniczenie absolutnej jego wielkości normalnej, ponieważ ścisłe określenie wielkości luzu jest niezbędne, jak to zobaczymy później, dla celowego urządzenia toru w łukach i w rozjazdach.

Rys. 127.



Rys. 128.



Ograniczenie zużycia obrzeża obręczy wymaga częstszego ich obtaczania, a więc koszta tej roboty zależeć będą od dozwolonego zużycia obrzeża.

Zboczenia od normalnego nasadzenia obręczy na kołach dochodzą na drogach żelaznych rosyjskich i zagranicznych do 3 *mm* w każdą stronę.

Co się zaś tyczy zużycia bocznego główki szyny, to wogóle postępuje ono dość wolno i różnice w szerokości toru, powstałe z tej przyczyny, nikną przy usuwaniu zboczeń od normalnego położenia szyn, wywołanych ruchem pociągów.

Pod działaniem uderzeń bocznych i pionowego ciśnienia koła szyna może zmienić swoje położenie na podporach, do których jest przymocowana mniej lub więcej sztywno, a mianowicie może się przesunąć po nich, obrócić około osi podłużnej i wtłoczyć w podpory, o ile tym ruchom nie przeszkodzi umocowanie szyny na podporach. Wymienione powyżej przyczyny mogą wywołać poszerzenie toru, a w pewnych razach także i jego zwężenie. Dla usunięcia takich odkształceń konieczne jest poprawienie toru, polegające na doprowadzeniu szyn do położenia normalnego i na ponownem przymocowaniu ich do podpór. Zboczenia od normalnej szerokości toru, przy których jego poprawienie staje się niezbędnem, określają się odpowiednio do wskazówek praktyki. Na drogach żelaznych rosyjskich przyjęto dopuszczać poszerzenie toru do 6 *mm* i zwężenie do 2 *mm*, zaś na drogach żelaznych, należących do związku niemieckiego, poszerzenie nie powinno przekraczać 10 *mm*, a zwężenie 3 *mm*.

2. Poprzeczne pochylenie szyn.

W dziale I, rozdz. I, p. 2 podano przyczyny, dla których obręcze kół obtaczane są stożkowato. Odpowiednio do takiego obtaczania obręczy, oraz dla nadania szynom większej stałości przeciw parciu do zewnątrz toru pod działaniem bocznych uderzeń kół, szyny układane są z pochyleniem poprzecznem ku osi toru.

Pochylenie poprzeczne szyny wynosi zwykle od $^1/_{20}$ do $^1/_{16}$. W Rosyi, również jak zagranicą, najbardziej rozpowszechnione jest pochylenie $^1/_{20}$ i taka też stożkowatość przyjmuje się zwykle dla obręczy kół.

3. Położenie szyn na wysokość.

W torze prostym obie szyny powinny leżeć w jednym poziomie. Proponowane przez niektórych podwyższenie jednej szyny względem drugiej, dla otrzymania spokojniejszej jazdy, nie osiąga celu, jak przekonały spostrzeżenia, a nawet powinno być uznane za szkodliwe ze względu, że szyna położona niżej będzie więcej obciążona, a więc tor pracować będzie nierównomiernie.

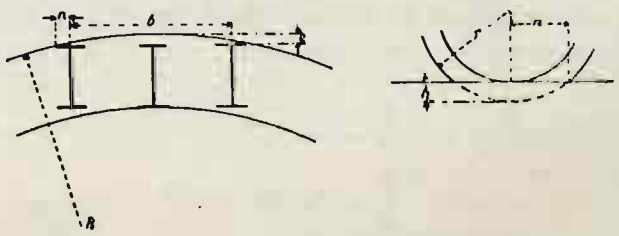
4. Szerokość toru w łukach.

Warunki ruchu po łukach były omówione w rozdziale I działu I-go.

Jeżeli wystawimy sobie (rys. 129) przecięcie poziome trzech zestawów kół wagonu trzyosiowego w płaszczyźnie toczenia się kół i oznaczymy przez R promień łuku, b rozstaw osi skrajnych nieruchomych, r promień obręczy po obwodzie obrzeża, h wysokość obrzeża obręczy, to aby przejście wagonu po łuku było możliwem, niezbędnem jest, aby luz między obrzeżem obręczy a szyną był nie mniejszy jak

$$E = \frac{(b + 2n)^2}{8R} = \frac{(b + 2\sqrt{2rh})^2}{8R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (107)$$

Rys. 129.



Rozstaw osi skrajnych w wagonach dróg żelaznych rosyjskich dochodzi do 7,5 m[1]). Promień koła i największą wysokość obrzeża można przyjąć $r = 0{,}55\ m$

[1]) W wagonach trzyosiowych, mających większy rozstaw osi skrajnych (do 9 m), osie te są po większej części ruchome.

i $h = 0{,}035\ m$. Jeżeli podstawimy te wielkości we wzór (107), to otrzymamy w przypuszczeniu, że oś środkowa nie może się przesuwać w swym kierunku,

$$E = \frac{8}{R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (108)$$

W tym wzorze E i R są wyrażone w metrach.

Osie środkowe parowozów i wagonów budowanych obecnie mogą przesuwać się w swym kierunku mniej więcej na 10 *mm*, wobec czego niezbędny luz jest o tyleż mniejszy od luzu określonego podług wzoru (108), czyli wynosi:

$$E = \frac{8}{R} - 0{,}01 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (109)$$

Ponieważ nadto luz w torze prostym wynosi co najmniej 10 *mm*, więc dla możliwości przejścia taboru nie potrzeba poszerzać toru w łuku, którego promień czyni zadość warunkowi

$$R \geqslant \frac{8}{0{,}01 + 0{,}01} \text{ albo } R \geqslant 400\ m$$

Określenie powyższe promienia krańcowego stosuje się do wypadku, kiedy koła zaledwie tylko że nie więzną w torze, a więc w praktyce nie może być dopuszczone. Pożądanem jest zaś, aby luz normalny, zachowywany w torze prostym, pozostał również w łukach. W tem ostatniem przypuszczeniu wzór (109) będzie wyrażał zamiast całkowitego luzu powiększenie jego w łukach lub, innemi słowy, *poszerzenie* e toru w łukach względnie do jego szerokości na prostej:

$$e = \frac{8}{R} - 0{,}01 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (110)$$

Promień krańcowy, przy którym to poszerzenie jest potrzebne, będzie:

$$R \geqslant 800\ m.$$

W rzeczywistości na niektórych drogach żelaznych rosyjskich tor poszerzany bywa, zaczynając od promienia 300 saż. = 640 *m*, czyli że na tych drogach przyjęto zadawalniać się na łukach mniejszym luzem niż w torze prostym.

Na drogach zagranicznych do oznaczenia wielkości luzu stosowane są wzory, podobne do powyżej przytoczonych. Tak naprz., na dr. żel. pruskich są w użyciu wzory:

$$\left.\begin{aligned} e &= \frac{6}{R} - 0{,}012 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \\ \text{lub} \qquad e &= \frac{6}{R} - 0{,}006 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \end{aligned}\right\} \quad (111)$$

Trzeba jednak zwrócić uwagę, że wielkości największego rozstawu osi skrajnych, promienia koła, wysokości obrzeża i bocznego przesuwu osi, wprowadzone do wzoru (107), nie są na wszystkich drogach jednakowe. Nadto, jak już zaznaczono wyżej, wielkość luzu zależy od bocznego zaokrąglenia główki szyny i obrzeża obręczy, które nie wszędzie są jednostajnie przyjęte. Przyczyny te wyjaśniają rozmaitość poszerzenia toru w łukach, stosowanego na różnych drogach żelaznych. Przytem poszerzenie toru w łukach, cokolwiek większe od nie-

zbędnego i dostatecznego, nie wpływa widocznie na spokój jazdy. Dla bezpieczeństwa ruchu niezbędnem jest tylko, aby poszerzenie to nie przekraczało pewnej granicy, zależnej od szerokości obręczy i główki szyny, na której obręcz się opiera.

Na drogach żelaznych rosyjskich granica poszerzenia toru w łukach nie jest ustanowiona, jednak nie należałoby dopuszczać poszerzenia ponad 20 *mm*, co, jak świadczy praktyka, jest zupełnie dostatecznem nawet przy najmniejszych promieniach łuków, stosowanych na drogach żelaznych o torze normalnym rosyjskim.

Na drogach żelaznych zagranicznych, należących do związku niemieckiego, na których luz normalny jest mniejszy niż na rosyjskich, poszerzenie toru w łukach dochodzi do 30 *mm*.

W ostatnich czasach wogóle przeważa zdanie, że najodpowiedniejsze poszerzenie toru w łukach, dla osiągnięcia spokojnej jazdy i najmniejszego zużycia szyn, powinno być wyznaczane doświadczalnie na zasadzie danych z praktyki i spostrzeżeń. Na drogach żelaznych, należących do związku niemieckiego, wszedł niedawno w użycie dla określania poszerzenia toru w łukach następujący wzór doświadczalny

$$e = \frac{(1000 - R)^2}{27000} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (112)$$

W tym wzorze R jest wyrażone w metrach, zaś e w milimetrach. Przy najmniejszym promieniu $R = 180$ *m*, jaki dopuszcza się w torach normalnych zagranicznych, otrzymuje się z powyższego wzoru

$$e = 25 \text{ mm}.$$

Przeciętna wielkość poszerzenia toru w łukach stosowana na drogach żelaznych rosyjskich, może być wyrażona wzorem podobnym do poprzedzającego:

$$e = \frac{(1000 - R)^2}{20000} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (113)$$

z tem jednakże zastrzeżeniem, że przy promieniach mniejszych niż 370 *m* należy przyjąć $e = 20$ *mm*.

Aby uniknąć drobnych różnic w szerokości toru, utrudniających jego układanie, zmiana poszerzenia toru w zależności od promieni łuków uskutecznia się zwykle stopniami, naprz. co 5 *mm*.

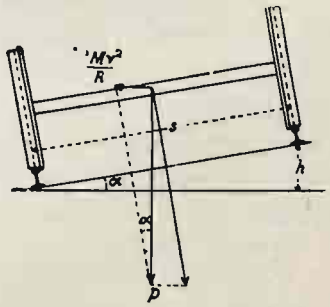
5. Podwyższenie szyny zewnętrznej w łukach.

W celu przeciwdziałania sile odśrodkowej, która się objawia przy przejściu taboru po łukach, przyjęto układać szynę zewnętrzną łuku wyżej od wewnętrznej.

Siła odśrodkowa S przy promieniu R, masie M i szybkości ruchu na sekundę v, wyraża się wzorem

$$S = \frac{Mv^2}{R}.$$

Rys. 130.



Jeżeli szyna zewnętrzna będzie podwyższona względnie do wewnętrznej o wielkość h (rys. 130), to ciężar Mg da siłę składową poziomą

$$Mg\,tg\alpha = \frac{Mgh}{s}.$$

W tym wzorze oznacza g przyspieszenie siły ciężkości i s odległość między osiami szyn. Jeżeli postawimy warunek, aby ta składowa pozioma w zupełności równoważyła siłę odśrodkową, t. j. aby

$$\frac{Mv^2}{R} = \frac{Mgh}{s},$$

to podwyższenie szyny zewnętrznej powinno wynosić:

$$h = \frac{sv^2}{gR} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (114)$$

Jeżeli wyrazimy szybkość w *km/godz.* zamiast w *m/sek.* i podstawimy $g = 9{,}81$ *m*, to podwyższenie h wyrazi się w *mm*:

dla toru rosyjskiego $s \infty 1590$ *mm*

$$h = 12{,}5 \frac{V^2}{R_m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (115)$$

i dla toru zagranicznego $s \infty 1500$ *mm*

$$h = 11{,}8 \frac{V^2}{R_m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (116)$$

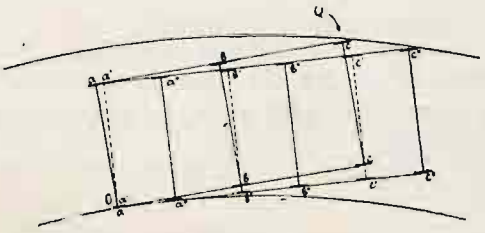
Jeżeli wyrazimy h w tysiącznych częściach sażena, R w sażenach i V w wiorstach, to wzór (115) przyjmie kształt następujący:

$$h = \frac{3V^2}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (117)$$

Wzór (117) jest stosowany na większości dróg żelaznych rosyjskich.

Gdyby podwyższenie h, określone podług jednego z powyższych wzorów, było niezbędne dla bezpieczeństwa ruchu, to pod szybkością V należałoby rozumieć szybkość największą, jaka się stosuje na danym łuku. Jednakże wtedy wszystkie pociągi, idące wolniej, będą silniej obciążały wewnętrzny (niższy) tok łuku, wywierając parcie boczne na szyny tegoż toku i starając się wywrócić je w kierunku do środka łuku, oraz powodując silne zużycie boczne tychże szyn.

Rys. 131.



Należy zauważyć, że we wzorze (114) nie brano pod uwagę tego, że sile odśrodkowej przeciwdziała oprócz podwyższenia szyny zewnętrznej również tarcie pomiędzy kołem i szyną, wynoszące co najmniej 0,1 ciśnienia koła. Z drugiej strony wiadomem jest, że ruch taboru po łukach zależy od innych jeszcze czynników, przeważnie zaś od równoległości osi, skutkiem której ciśnienie kół przednich na tok zewnętrzny znacznie się zwiększa.

Wystawmy sobie, że parowóz trzyosiowy o rozstawie osi $ab = bc = \frac{l}{2}$ (rys. 131) i ciężarze P, rozłożonym równomiernie na wszystkie trzy osie, toczy się po łuku. Przesunięcie się parowozu z położenia *abc* do położenia *a''b''c''* można sobie wystawić jako składające się z ruchu obrotowego około punktu O pod wpływem ciśnienia szyny zewnętrznej na koło przednie (por. str. 15), usiłującego skierować osie taboru w kierunku promienia łuku, przyczem parowóz przyjmuje położenie *a'b'c'*, oraz z ruchu postępowego z położenia *a'b'c'* do położenia *a''b''c''*. Aby obrócić

parowóz około punktu O, ciśnienie Q, działające w kierunku promienia ku środkowi łuku, powinno przezwyciężyć tarcie Pf obręczy kół o szyny i siłę odśrodkową

$$S = \frac{Mv^2}{R} = \frac{Pv^2}{gR},$$

przyczepioną do środka ciężkości parowozu. Równanie momentów tych sił będzie następujące:

$$\left.\begin{aligned} Ql &= \frac{P}{3}\left(l + \frac{l}{2}\right)f + S \cdot \frac{l}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \\ Q &= \frac{P}{2}f + \frac{S}{2} = \frac{P}{2}\left(f + \frac{v^2}{gR}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \end{aligned}\right\} \quad (118)$$

Jeżeli szyna zewnętrzna otrzyma podwyższenie podług wzoru (114), t. j. równoważące siłę odśrodkową, to ciśnienie dośrodkowe, wyrażone wzorem (118) będzie:

$$Q_1 = \frac{P}{2}f \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (119)$$

Współczynnik f tarcia obręczy o szyny wynosi co najmniej 0,1. Przyjmując naprz. szybkość $v = 14$ *m/sek* (50 *km/godz.*) i $R = 600$, otrzymamy:

$$\frac{v^2}{gR} = 0{,}033$$

$$\frac{Q_1}{Q} = \frac{0{,}1}{0{,}1 + 0{,}033} = 0{,}75$$

czyli że podwyższenie szyny zewnętrznej, obrachowane podług wzoru (114), zmniejsza boczne ciśnienie na tę szynę przedniego koła tylko o 25%.

Okazuje się więc, że podwyższenie szyny zewnętrznej w łuku. obrachowane podług wzoru (114) zmniejsza w pewnym tylko stopniu parcie przednich kół taboru na tę szynę, lecz nie usuwa go w zupełności. Podwyższenie zaś szyny zewnętrznej ponad wypadające z wzoru (114) nie może być dopuszczone, gdyż spowodowaćby mogło wywrót szyny wewnętrznej w kierunku ku środkowi łuku, oraz ze względu na niedogodności, związane z urządzeniem przejścia od normalnego położenia szyn w linii prostej do znacznego podwyższenia jednej z nich na łuku. W istocie, na długości rzeczonego przejścia powierzchnia, po której toczą się koła, jest skośna. Z tego powodu oraz wskutek sztywności ram parowozów i wagonów, przednie koła zewnętrzne przy wyjściu z łuku mogłyby wznieść się nad płaszczyznę toczną w razie zbiegu okoliczności nieprzyjaznych, zwłaszcza przy hamowaniu pociągu.

Z drugiej strony, jak to wyjaśniły doświadczenia i praktyka niektórych dróg zagranicznych, przy przechodzeniu pociągów po łuku, ułożonym bez podwyższenia szyny zewnętrznej, niebezpieczeństwo wykolejenia się nie grozi im nawet przy znacznych szybkościach ruchu.

Wobec tego w ostatnich czasach zauważyć się daje dążenie do zmniejszenia w łukach podwyższenia szyny zewnętrznej, określanego podług wzoru (114), do czego przyczynia się również i ta okoliczność, że w miarę wzrastania szybkości pociągów wzór ten daje wielkości, które nie mogą być dopuszczone z powodu wyżej wskazanych przyczyn. Ponieważ nadto niemożliwem jest tak wybrać podwyższenie szyny zewnętrznej, aby ono odpowiadało wielorakim i często się zmienia-

jącym warunkom szybkości pociągów, odległości między osiami, ich obciążeniu, współczynnikowi tarcia i t. p., więc dla wyznaczenia tego podwyższenia są obecnie w użyciu na drogach zagranicznych przeważnie wzory doświadczalne kształtu:

$$h = n \cdot \frac{V}{R} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (120)$$

We wzorze tym oznacza V największą dopuszczalną szybkość pociągu w *km/godz.* i R promień łuku w *m*. Współczynnik n przyjmuje się 0,5 do 0,7 w zależności od warunków miejscowych. Przy $V = 40$ do 60 *km/godz.* wzór ten daje rezultaty zbliżone do otrzymywanych podług wzoru (114), lecz przy dalszem zwiększaniu się prędkości wielkość podwyższenia wzrasta w mniejszym stosunku.

Z tego, co powiedziano wyżej, należy wyprowadzić wniosek, że na podwyższenie szyny zewnętrznej w łukach należy zapatrywać się nie jako na środek bezwzględnie nieodzowny dla bezpieczeństwa ruchu, lecz raczej jako na środek osiągnięcia możliwie równomiernej pracy obydwóch toków szynowych i spokojnej jazdy.

6. Przejście od normalnego położenia szyn w linii prostej do położenia przyjętego w łukach.

Podwyższenie szyny zewnętrznej oraz poszerzenie toru w łuku mogą być wykonane oczywiście tylko stopniowo. Powyżej wskazywano już na niebezpieczeństwo, jakie może grozić taborowi wskutek tego, że przy przejściu od prostej do łuku szyny przeciwległe nie są położone w jednej płaszczyźnie. Przyjmiemy, że największy rozstaw sztywnych osi wagonu wynosi 7,5 *m*, a wysokość obrzeża nowej obręczy 27 *mm*. Aby koło, które z jakiegokolwiek powodu zachowuje położenie niezmienne względem ramy pojazdu, zabezpieczone było od zejścia z toru przynajmniej 5 milimetrami wysokości obrzeża, niezbędnem jest, ażeby pochylenie szyny zewnętrznej przy przejściu od łuku do prostej wynosiło co najwyżej

$$\frac{0{,}027 - 0{,}005}{7{,}5} = \frac{1}{375}$$

Dla spokoju jazdy pochylenie to przyjmuje się zwykle 0,001 do 0,002.

Ponieważ już na początku łuku podwyższenie szyny zewnętrznej powinno odpowiadać jego promieniowi, więc przejście od normalnego położenia szyny do podwyższonego powinno być urządzone przed początkiem łuku, czyli w linii prostej przed punktem jej styczności z łukiem.

Podwyższenie szyny zewnętrznej możemy osiągnąć, albo utrzymując szynę wewnętrzną w położeniu normalnem, lub też opuszczając ją o połowę potrzebnego podwyższenia i podwyższając o tyleż szynę zewnętrzną. Ten ostatni sposób jest teoretycznie racyonalniejszy, ponieważ przy jego zastosowaniu środek ciężkości pojazdu nie zmienia wysokości przy przejściu z linii prostej na krzywą. Jednakże z powodu obniżenia szyny wewnętrznej zmniejsza się grubość warstwy balastu pod końcami podkładów położonymi z tejże strony, co źle wpływa na stateczność toru. Aby tego uniknąć, zwykle podwyższa się tylko szynę zewnętrzną, zostawiając wewnętrzną na wysokości normalnej.

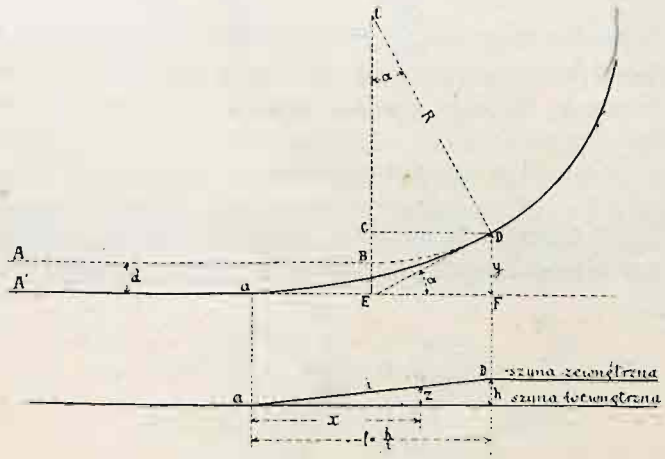
Co się tyczy poszerzenia toru, to otrzymuje się ono przez przesunięcie szyny wewnętrznej ku środkowi łuku. Szyna zewnętrzna, która nadaje kierunek kołom przednim, powinna zachowywać odległość normalną od osi łuku.

Poszerzenie toru, również jak i podwyższenie szyny zewnętrznej, powinny być całkowite już w punkcie styczności linii prostej z łukiem, a zatem przejście od szerokości toru normalnej do poszerzonej powinno być uskutecznione w linii prostej przed początkiem łuku na długości 2 — 3 szyn.

7. Krzywe przejściowe.

Opisane wyżej urządzenie toru, przy którem linia prosta jest styczną do łuku kołowego, a przejście do toru poszerzonego i do podwyższenia szyny zewnętrznej wykonane jest w linii prostej przed punktem jej styczności z łukiem, nie można

Rys. 132.



uznać za zupełnie prawidłowe. Pochylenie boczne taboru w linii prostej wskutek stopniowego podwyższenia szyny zewnętrznej wywołuje zwiększenie ciśnienia na szynę niżej położoną i w związku z poszerzeniem toru przed początkiem łuku wpływa ujemnie na spokój jazdy.

Niedogodności powyższych można uniknąć, jeżeli zmiana krzywizny toru przy przejściu od linii prostej do łuku będzie się dokonywać stopniowo i równocześnie z podwyższeniem szyny zewnętrznej i z poszerzeniem toru. Przypuśćmy, że przy przejściu z linii prostej na łuk o promieniu R (rys. 132) ułożono szynę zewnętrzną od a do D na długości l ze spadkiem i tak, że podwyższenie jej względem szyny wewnętrznej zwiększa się od 0 do h i w odległości x od początku podwyższenia wynosi $z = ix$. Dla pewnej określonej szybkości ruchu i promienia łuku R podwyższenie $h = il$ szyny zewnętrznej nad wewnętrzną, wyznaczone z jednego z wzorów (114) do (117) lub (120) otrzymuje się

$$h = \frac{k}{R},$$

przyczem $k = Ril$ jest wielkością stałą. Ażeby zmienny promień ρ krzywizny toru w planie przy przejściu od linii prostej, t. j. od $\rho = \infty$, do łuku kołowego o promieniu $\rho = R$ odpowiadał stopniowemu podwyższeniu szyny zewnętrznej, potrzeba, aby

$$\frac{k}{\rho} = z = ix$$

czyli

$$\frac{1}{\rho} = \frac{i}{k} x = \frac{x}{Rl} = \frac{x}{C}$$

gdzie C jest współczynnik stały,

albo

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{x}{C}$$

Oznaczając przez α kąt, który tworzy styczna z osią odciętych i biorąc pod uwagę, że przy $x = 0$ tg $\alpha = 0$

$$\frac{dy}{dx} = tg\,\alpha = \frac{x^2}{2C}$$

i ponieważ przy

$$x = 0, \quad y = 0$$

$$y = \frac{x^3}{6C} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (121)$$

Równanie (121) jest równaniem paraboli trzeciego stopnia, podług której powinna być wykreślona w planie krzywa przejściowa pomiędzy prostą i łukiem kołowym.

Przy $x = l$

$$y_l = \frac{l^2}{6R}$$

$$tg\,\alpha_l = \frac{l}{2R}$$

$$CD \sim R tg \alpha_l = \frac{l}{2}$$

Przy $x = \frac{l}{2}$

$$y_{\frac{l}{2}} = \frac{l^3}{48Rl} = \frac{l^2}{48R}$$

Zauważmy, że $BE = DF - CB.$

Ze względu na małą wielkość strzałki CB w stosunku do promienia R

$$CB = \frac{l^2}{8R},$$

a zatem

$$BE = \frac{l^2}{6R} - \frac{l^2}{8R} = \frac{l^2}{24R} = d.$$

Wynika stąd, że dla możliwości połączenia linii prostej z łukiem kołowym o promieniu R przy pomocy krzywej przejściowej o długości l potrzeba, aby linia pro-

sta była oddalona od okręgu koła o $d = \frac{l^2}{24R}$. Jeżeli poprowadzimy styczną do okręgu koła, równoległą do danej linii prostej, to początek i koniec krzywej przejściowej będą się znajdować w równych odległościach $\frac{l}{2}$ od punktu styczności i rzędna krzywej przejściowej naprzeciw tego punktu będzie się równała $\frac{d}{2}$.

Jeżeli poszerzenie toru powinno się zaczynać od punktu, w którym promień $\rho = \rho_0$, to odległość x_0 tego punktu od początku krzywej przejściowej otrzymamy z równania

$$x_0 = \frac{C}{\rho_0}.$$

Co się tyczy współczynnika $C = Rl = R\frac{h}{i} = \frac{k}{i}$, to ponieważ h pozostaje w stosunku odwrotnym do R i powiększa się w zależności od największej szybkości dopuszczalnej V, więc współczynnik ten powinien być tem większy, im większą jest szybkość i im mniejsze i. Z drugiej strony wraz ze zwiększeniem się C powiększa się też i długość krzywej przejściowej. Wynika stąd, że na liniach kolejowych magistralnych, po których przebiegają pociągi kuryerskie, współczynnik C powinien być przyjęty większy niż na liniach drugorzędnych i w zależności od tego należy przyjąć również długość wstawek prostych pomiędzy łukami kołowymi, niezbędnych dla urządzenia krzywych przejściowych. Jeżeli założymy podług wzoru (117)

$$h = \frac{3V^2}{R}, \text{ t. j. } k = \frac{3V^2}{1000},$$

$$V = 60 \text{ wiorst/godz.}, \; i = 0{,}001,$$

to

$$C = \frac{k}{i} = 10800.$$

Według warunków technicznych budowy dróg żelaznych magistralnych w Rosyi wymaganem jest (patrz str. 126), aby wstawki proste pomiędzy dwoma łukami kołowymi były obliczone w przypuszczeniu, że w następstwie będą urządzone krzywe przejściowe ze współczynnikiem (w sażenach) $C = 10000$, co odpowiada mniej więcej powyższym warunkom. Dla kolei dojazdowych o normalnej szerokości toru można przyjąć znacznie mniejszy współczynnik C, naprz. w przypadku, gdy $V = 25$ wiorst na godz. i $i = 0{,}002$, $C = 937{,}5$.

Krzywe przejściowe mają szczególnie ważne znaczenie dla łuków ostrych o promieniu 300 saż. i mniej. Przy dużych promieniach krzywa przejściowa mało odchyla się od łuku koła stycznego do prostej. Tak naprz., przy $R = 400$ saż. i $C = 5000$

$$d = \frac{l^2}{24R} = \frac{C^2}{24R^3} = \frac{25\,000\,000}{24 \cdot 64\,000\,000} = 0{,}016 \text{ saż.}$$

Im łuk jest ostrzejszy, tem dłuższe jest jego połączenie paraboliczne z prostą i tem większy wypada odstęp d pomiędzy prostą i łukiem kołowym. Ta ostatnia oko-

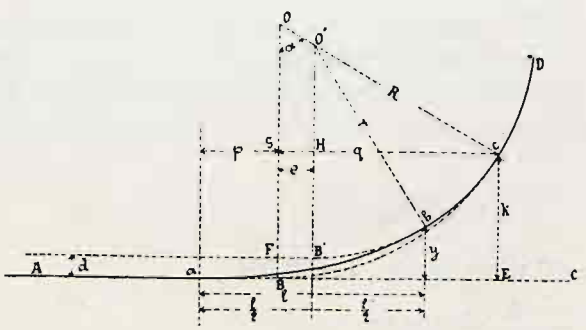
liczność czyni koniecznem odpowiednie wytykanie linii kolejowej przy jej budowie. Gdyby to było zaniedbane, należałoby w następstwie dla wytknięcia krzywych przejściowych zmniejszyć promienie łuków kołowych o wielkość d i tym sposobem przesunąć te łuki ku ich środkom, lub też odwrotnie odsunąć od nich linie proste. W obu przypadkach potrzebaby było poszerzać torowisko i urządzone w niem dzieła sztuki.

Z drugiej strony, wytykanie krzywych przejściowych już podczas budowy kolei, chociaż nie przedstawia szczególnych trudności, jest czasem niedogodne pod tym względem, że współczynnik C nie może być odpowiednio wybrany, ponieważ warunki ruchu nie są jeszcze dokładnie wiadome i wyjaśniają się zwykle dopiero podczas eksploatacyi.

Na istniejących drogach żelaznych w Państwie Rosyjskiem przeważnie nie przewidywano podczas ich budowy urządzenia krzywych przejściowych. Wyjątki pod tym względem są bardzo nieliczne.

Istnieje kilka sposobów, dających możność uniknięcia wymienionych wyżej niedogodności i urządzenia krzywych przejściowych na liniach kolejowych już wybudowanych. Sposoby te wymagają jednak w każdym razie zmniejszenia promienia łuku na większej lub mniejszej długości od punktu styczności linii prostej z łukiem, w celu otrzymania między nim i prostą niezbędnego odstępu d dla krzywej parabolicznej (rys. 133). Przy takiem urządzeniu unika się wprawdzie nagłej zmiany krzywizny przy przejściu od prostej do łuku, ale za to otrzymuje się nowy skok w punkcie c przy przejściu od promienia r do R, oraz zmniejszenie zasadniczego promienia krzywizny na długości bc.

Rys. 133.

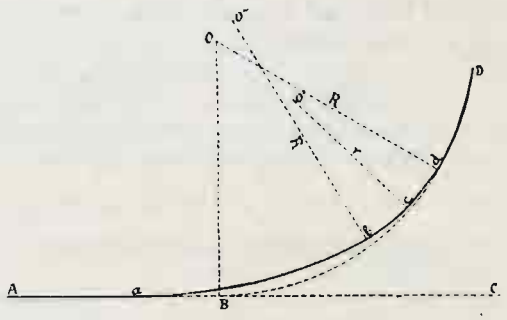


Aby osiągnąć stopniową zmianę krzywizny zalecano doprowadzać krzywą paraboliczną do pewnego promienia $r < R$ i odcinek jej bc (rys. 134) obrócić około osi $O'c$ tak, żeby w punkcie d promienie krzywej przejściowej i łuku kołowego przystały do siebie, mając jednakowy kierunek i wielkość. Jednakże przy tym sposobie promień r otrzymuje się o 19% mniejszy od R, gdy tymczasem podług sposobu, uwidocznionego na rys. 133, zmniejszenie promienia wynosi zaledwie 5% do 8%. Tak nieznaczne zmniejszenie krzywizny w punkcie C nie ma praktycznego znaczenia.

Wogóle nie należy zapominać, że układanie toru nie może się dokonywać z ścisłością matematyczną i że istotnym warunkiem skutecznego stosowania krzywych przejściowych jest możliwe uproszczenie ich wytykania, ażeby je uczynić

dostępnem dla pracowników kolejowych, mających dozór bezpośredni nad torem. Dla uniknienia wstrząśnień z powodu nagłej zmiany krzywizny w punkcie styczności prostej z łukiem kołowym, dozorcy drogowi przesuwają zwykle tor na oko ku środkowi łuku na pewnej długości, w obiedwie strony od punktu styczności. W większości przypadków dostatecznem będzie ściślej określić ten pożyteczny sposób, oznaczając wielkość przesunięcia w dwóch lub trzech punktach, oraz jego początek i koniec.

Rys. 134.



Przytem nie jest wcale koniecznem, aby pochylenie szyny zewnętrznej przy przejściu od jej położenia normalnego do podwyższonego w łuku było dla wszystkich łuków jednakowe. Aby uprościć wytykanie, można naprzykład postawić za warunek, aby długość krzywej przejściowej była jednakowa dla łuków wszystkich promieni i aby była tak wybrana, żeby pochylenie szyny zewnętrznej nie przekraczało pewnej granicy.

Przypuśćmy (rys. 133), że prosta AC, będąc styczną do łuku kołowego BeD, jest połączona z nim krzywą przejściową abc za pomocą zmniejszenia promienia R do r na długości bc. Równanie krzywej przejściowej jest:

$$y = \frac{x^3}{6C} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (121)$$

Odległość d koła o zmniejszonym promieniu r od prostej AC, długość krzywej przejściowej l i jej rzędne w odległościach $\frac{l}{2}$ i l od jej początku, mają następujące wyżej wyznaczone wartości:

$$d = \frac{l^2}{24r} = \frac{C^2}{24R^3},$$

$$l = \frac{C}{r},$$

$$y_{\frac{l}{2}} = \frac{d}{2} = \frac{C^2}{48r^3},$$

$$y_l = 4d = \frac{C^2}{6r^3}.$$

Położenie krzywej przejściowej względem punktu styczności B określa odległość $FB' = e$ pomiędzy środkami O i O' kół o promieniach R i r w kierunku stycznej AB

$$e = \sqrt{(R-r)^2 - (R-r-d)^2} = \sqrt{2(R-r)d - d^2}.$$

Współrzędne punktu styczności c kół o promieniach R i r względem pierwotnego punktu styczności B otrzymujemy z trójkątów GOc i $HO'c$:

$$BE = Gc = q = \frac{Re}{R-r}$$

$$Ec = k = R - GO;\ GO = \frac{R(R-r-d)}{R-r}$$

$$\frac{R-k}{r+d-k}=\frac{R}{r},$$

$$\text{skąd}\quad k=\frac{dR}{R-r}.$$

Jeżeli dla danej linii kolejowej przyjąć stały stosunek $r=nR$ i stałą długość krzywych przejściowych $l=N$, wybierając ją tak, aby pochylenie szyny zewnętrznej na tejże długości nie przekraczało pewnej granicy i, to wielkości e i q mogą być z dostatecznem przybliżeniem przyjęte za stałe, przez co osiąga się znaczne uproszczenia w wytykaniu. Przypuśćmy naprzykład, że na danej linii kolejowej najmniejszy promień łuku $R=400$ m, największa dopuszczalna szybkość pociągów $V=65$ *km/godz.* i w zależności od tego największe podwyższenie szyny zewnętrznej, obliczone podług wzoru $h=0{,}7\frac{V}{R}$, równa się $0{,}7\times\frac{65}{400}=0{,}114$ m. Jeżeli postawimy za warunek, że pochyłość szyny zewnętrznej na krzywej przejściowej nie powinna przekraczać 0,002, to długość tej krzywej będzie:

$$l=\frac{0{,}114}{0{,}002}=57,$$

$$C=lr=57r,$$

$$d=\frac{l^2}{24r}=\frac{135{,}375}{r}.$$

Jeżeli dopuścimy zmniejszenie promienia R łuku kołowego zasadniczego tylko o 5%, t. j. do $r=0{,}95\ R$, to

$$d=\frac{135{,}375}{0{,}95R}=\frac{142{,}5}{R}$$

$$e=\sqrt{2(R-r)\cdot\frac{142{,}5}{R}-\left(\frac{142{,}5}{R}\right)^2}=\sqrt{14{,}25-\left(\frac{142{,}5}{R}\right)^2};$$

przy $R=400$ m $\quad e=\sqrt{14{,}25-(0{,}356)^2}=3{,}758$

przy $R=1000$ m $\quad e=\sqrt{14{,}25-(0{,}1425)^2}=3{,}772.$

Wobec tak małej różnicy można przyjąć średnio:

$$e=3{,}765,$$

$$q=\frac{R}{R-r}\cdot e=20\,e=75{,}3,$$

$$k=\frac{R}{R-r}\cdot d=20d=\frac{2850}{R},$$

$$y_l=4d=\frac{570}{R},$$

$$y_{\frac{l}{2}}=\frac{d}{2}=\frac{71{,}25}{R}.$$

Rzędne krzywej przejściowej mogą być wyrażone w zależności od strzałki łuku o promieniu R, którą można zmierzyć bezpośrednio na miejscu. Jeżeli naprz. tor jest ułożony z szyn o długości 12 m, to strzałka łuku o długości dwóch szyn równa się

$$f=\frac{24^2}{8R}=\frac{72}{R}$$

i w zależności od niej:

$$y_l=\frac{570}{72}f\sim 8f,$$

$$y_{\frac{l}{2}}=\frac{71{,}25}{72}f\sim f.$$

Co się zaś tyczy k, to jest ono 5 razy większe od y_l, jednakże rzędnej tej nie potrzeba odkładać, ponieważ punkt c należy do łuku zasadniczego i znaleźć go można odkładając jej odciętą q=75,3. Tym sposobem wytykanie krzywych przejściowych sprowadza się w danym razie (rys. 133) do następujących czynności:

1) Odkłada się długości e, $\frac{l}{2}$ i q, które są stałe, bez względu na promień łuku R.

2) Mierzy się strzałkę f łuku o promieniu R i długości 24 m, przeciągając sznur pomiędzy przeciwległymi końcami dwóch szyn, stykających się za sobą, poczem w odległościach $\frac{l}{2}$ i l od punktu a odkłada się rzędne f i $8f$.

3) Poprawia się krzywiznę łuku pomiędzy punktami b i c tak, ażeby strzałka f' łuku o długości 2 szyn była o $^1/_{20}$ mniejsza od f.

8. Zaokrąglenia profilu podłużnego linii w punktach załamania.

Znaczenie zaokrągleń profilu podłużnego linii w punktach załamania było szczegółowo wyjaśnione przy rozpatrywaniu warunków technicznych projektowania linii kolejowej. Jeżeli oznaczymy (rys. 135) przez:

i i i' pochylenia, przecinające się w punkcie załamania profilu,

R promień zaokrąglenia,

f odległość zaokrąglenia od wierzchołka kąta załamania profilu,

t styczną zaokrąglenia,

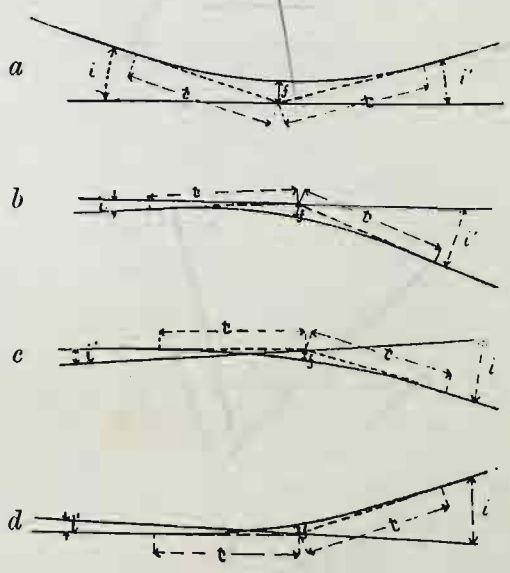
to podwyższenie lub obniżenie linii kolejowej w punktach załamania profilu, wynikające wskutek zaokrąglenia, może być w przybliżeniu obliczone podług wzoru:

$$f = \frac{t^2}{2R} = \frac{R}{8}(i \pm i')^2 \quad . \quad . \quad . \quad (122)$$

a długość, na jakiej to podwyższenie lub obniżenie powinno być sprowadzone do zera, podług wzoru:

$$t = \frac{R}{2}(i \pm i') \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (123)$$

Rys. 135.



Jak widzimy z rys. 135, we wzorach (122) i (123) pochylenia i i i' należy dodawać, gdy są skierowane w odwrotne strony (rys. 135 a i b), i odejmować gdy są skierowane w jedną i tę samą stronę (rys. 135 c i d).

ROZDZIAŁ IV.

1. Sprężystość toru kolejowego. Przyrządy do badania sprężystych odkształceń toru.

W torze kolejowym należycie zbudowanym wszystkie części składowe powinny pracować w granicach sprężystości. Odkształcenia stałe mogą wywołać zmiany