

Co się zaś tyczy k , to jest ono 5 razy większe od y_1 , jednakże rzędnej tej nie potrzeba odkładać, ponieważ punkt c należy do łuku zasadniczego i znaleźć go można odkładając jej odcinek $\eta=75,3$. 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 $\frac{1}{20}$ 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 oznaczmy (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:

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

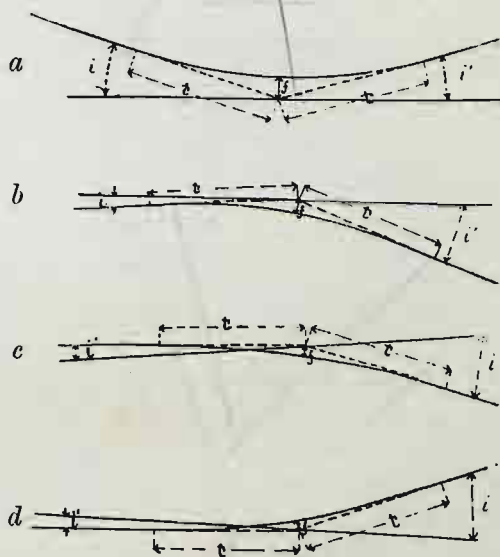
a długość, na jakiej to podwyższenie lub obniżenie powinno być sprowadzone do zera, podług wzoru:

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

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*).

Rys. 135.



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

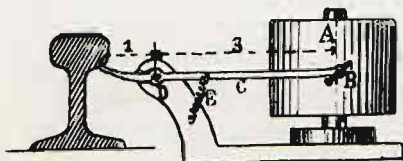
w szerokości toru lub w powierzchni toczenia się koła, albo też nadwyreżyć stałość poszczególnych części budowy wierzchniej lub wywołać w nich naprężenia niebezpieczne. Z tego powodu odkształcenia stałe powinny być dopuszczane tylko w granicach zużycia normalnego, którego wielkość przyjęto w rachubę przy obliczaniu wymiarów budowy wierzchniej.

Największe siły działają na tor kolejowy w kierunku pionowym, dla tego też szczególnie ważne jest poznanie jego własności sprężystych w tymże kierunku.

Obserwując tor, gdy po nim wolno przechodzi pociąg, można zauważyć, że poprzecznice czyli tak zwane podkłady, na których opierają się szyny, opuszczają się pod ciśnieniem koła, zaś po jego przejściu powracają do położenia pierwotnego. O ile tor znajduje się w porządku i podkłady są dobrze podbite, t. j. leżą mocno w balastie, zjawisko to pochodzi oczywiście ze sprężystości posady, na której podkłady spoczywają.

Sprężystość ta wywiera duży wpływ na pracę szyn i podkładów. Szyna spoczywa na wielu podporach i naprężenia, występujące w niej pod działaniem obciążenia, zależą od różnic w wysokości tych podpór. Podkłady zaś, spoczywając na podłożu sprężystym, pod działaniem obciążenia podlegają przegięciu. Sprężyste osiadanie toru wywiera również wpływ na wielkość samego obciążenia, wywołując wahania pionowe środka ciężkości mas, będących w ruchu.

Rys. 135.



Zmiany w wysokościach podpór belki ciągłej tem silniej wpływają na jej natężenia, im są większe w stosunku do rozpiętości przęsł. Spostrzeżenia wykazały, że sprężyste osiadanie podkładów wynosi 3 do 5 mm, odległość zaś pomiędzy podkładami wynosi zwykle 75 do 85 cm. Cyfry te najlepiej świadczą, jak zasadniczo różnią się warunki pracy szyny od warunków pracy innych be-

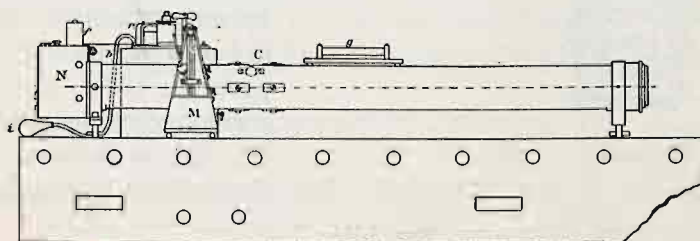
lek żelaznych, stosowanych w praktyce inżynierskiej.

Sprężystości podłoża, na którym spoczywają podkłady, nie można wyznaczyć sposobem laboratoryjnym, lecz tylko bezpośrednio na miejscu, ponieważ, jak świadczą spostrzeżenia, opuszczanie się szyn pod ciśnieniem pochodzi wskutek sprężystego ściskania balastu oraz gruntu nasypowego i naturalnego na znaczną głębokość. Przyrządy, przeznaczone do spostrzeżeń nad odkształceniami toru, powinny odznaczać się wielką dokładnością, jakkolwiek bowiem osiadanie podkładów, ugięcie szyn i t. p. są stosunkowo znaczne w porównaniu z odległością pomiędzy podporami szyny, to jednak wielkość bezwzględna tych odkształceń jest bardzo mała. Oprócz tego, przyrządy te powinny być oczywiście odosobnione od wpływu drgań gruntu w czasie przebiegania pociągów. Są one po większej części tak urządzone, że same zapisują przesunięcia wybranych punktów pod wpływem obciążenia, kreśląc wykresy tych przesunięć.

Przyrząd Flamache'a (rys. 136), jeden z najprostszych, składa się z dźwigni nierównoramiennej *DCB*, której ramię krótsze może być założone pod główkę szyny lub złączone z innym obserwowanym punktem toru, ramię zaś dłuższe

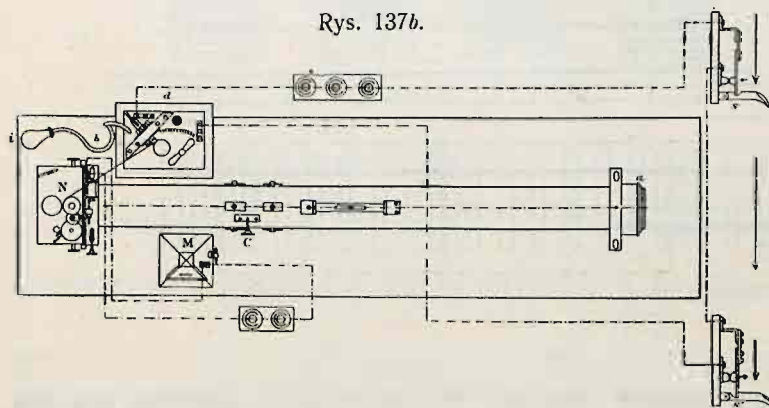
jest zaopatrzone w ołówek *B*, który kreśli wykres wahań w zwiększonej podziałce na walcu *A*. W walcu tym umieszczony jest mechanizm, który go wprawia w ruch obrotowy. Walec i oś, około której obraca się dźwignia, są przymocowane do palika wbitego w balast. Oczywiście, że przy takim ustroju przyrządu daje on wykres tylko przesunięć względnych obserwowanego punktu w stosunku do palika, który wskutek uginania się gruntu nie pozostaje nieruchomym. Prócz tego przyrząd ten, wskutek bezwładności dźwigni, sprężynowego połączenia *E*, ruchów traconych i t. p., może wskazywać zupełnie niezgodnie z rzeczywistymi przesunięciami obserwowanego punktu.

Rys. 137a.



W celu osiągnięcia dokładniejszych wyników stosowano przyrządy z przenośnikami pneumatycznymi i hydraulicznymi. Zasadniczą częścią takich przyrząd-

Rys. 137b.



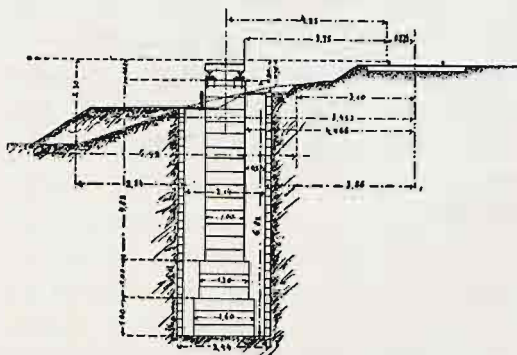
Rys. 137c.



dów jest długa rurka, zakryta z obu końców błonkami, z których jedna odbiera wahania danego punktu, druga zaś, powtarzając je, kreśli ich wykres za pomocą igiełki, która jest do niej przymocowana. Ponieważ i w tych przyrządach ogniwo odbierające wahania obserwowanego punktu musi mieć podporę w bezpośredniej jego bliskości, przeto i one, chociaż w mniejszym stopniu, podlegają tymże niedokładnościom, co i przyrząd Flamache'a.

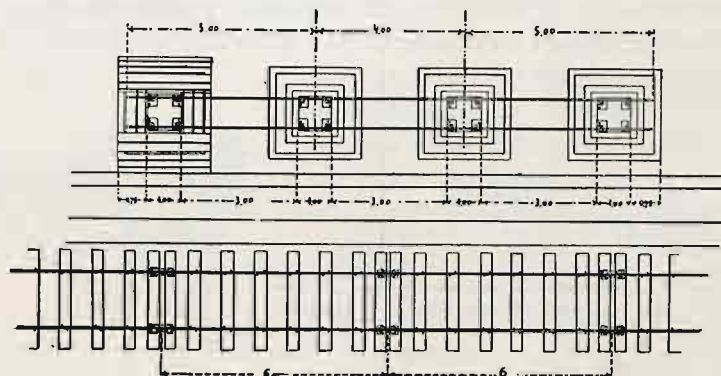
Na austriackiej dr. żel. Północnej zastosowano do tego rodzaju spostrzeżeń fotografię. Sposób ten, udoskonalony następnie przez inżyniera Wasiutyńskiego, zastosowany został do spostrzeżeń na dr. żel. Warszawsko-Wiedeńskiej. Przyrząd

dr. żel. Warszawsko-Wiedeńskiej składa się z ciemni fotograficznej (rys. 137 *a, b*) w postaci rury mosiężnej *ab* ze skrzynką *N*, w której błona czuła na światło przesuwana

Rys. 138*a*.

Wymiary w metrach.

przy pomocy przyrządu zegarowego *d*. W obserwowanym punkcie przymocowuje się mała wypolerowana kulka metalowa (rys. 137 *c*), której obraz daje na błonie czulej wykres wahań tego punktu pod działaniem obciążenia pociągów w podziałce trzy razy większej od wielkości naturalnej. Przyrząd ten był umieszczony w odległości około 4 m od toru na murowanych słupach (rys. 138 *a, b*), swobodnie postawionych w głębokich studniach, w celu odosobnienia ich od drgań wierzchnich warstw gruntu.

Rys. 138*b*.

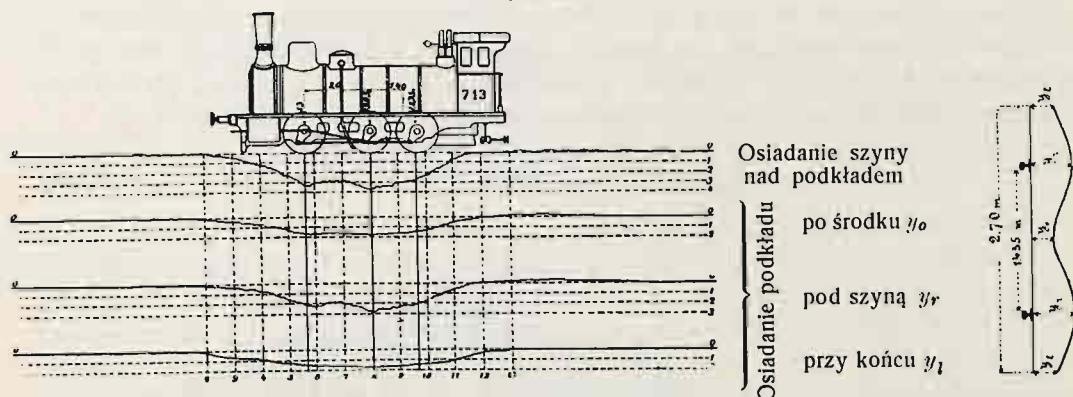
2. Ścisłość balastu i gruntu. Współczynniki podłoża, balastu i torowiska. Współczynnik sprężystości stali szynowej i drzewa.

Spostrzeżenia nad ruchem podkładu w torze pod działaniem obciążenia pociągów wykazują, że podkład osiada w przybliżeniu w stosunku prostym do obciążenia i po przejściu pociągu wraca do położenia pierwotnego. Przytem, wskutek wyginania się podkładu, oddzielne punkty na jego długości osiadają niejednakowo. Przy normalnej szerokości toru podkład o długości 2,70 m, podbity jednostajnie, osiada w końcach prawie tyle, co i po środku (rys. 139). Gdy podkłady są krótsze, to końce ich osiadają więcej niż środek (rys. 140).

Jeżeli przy torze zapuścimy w ziemię rurę i, usunawszy z niej ziemię, wbijemy

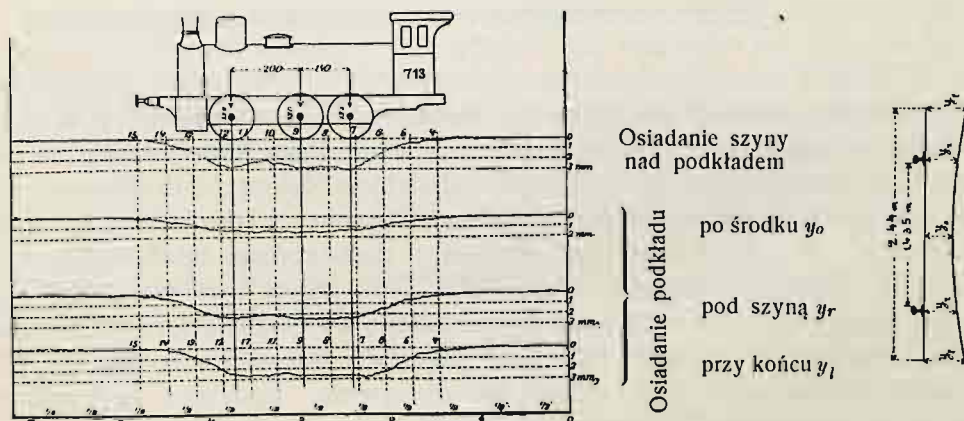
w dno utworzonej w ten sposób studzienki drążek, to zauważymy, że przy przejściu pociągu drążek ten opuszcza się (rys. 140), idąc za ruchem gruntu, który ściska się pod działaniem obciążenia. Ruchy drążka są tem mniejsze, im studzienka jest głębsza (rys. 141).

Rys. 139.



Widocznem jest więc, że osiadanie podkładu pochodzi ze ściskania się balastu i gruntu nasypowego i naturalnego do głębokości, przy której ciśnienie podkładu, rozszerzając się na coraz większą powierzchnię, praktycznie przestaje istnieć.

Rys. 140.



Jeżeli oznaczymy przez p ciśnienie, wywierane przez podkład w pewnym punkcie jego podstawy na jednostkę kwadratową podłoża, i przez y osiadanie podłoża podkładu, odpowiadające ciśnieniu p , to zgodnie z powyższym możemy przyjąć w granicach sprężystości:

$$p = Cy \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (124)$$

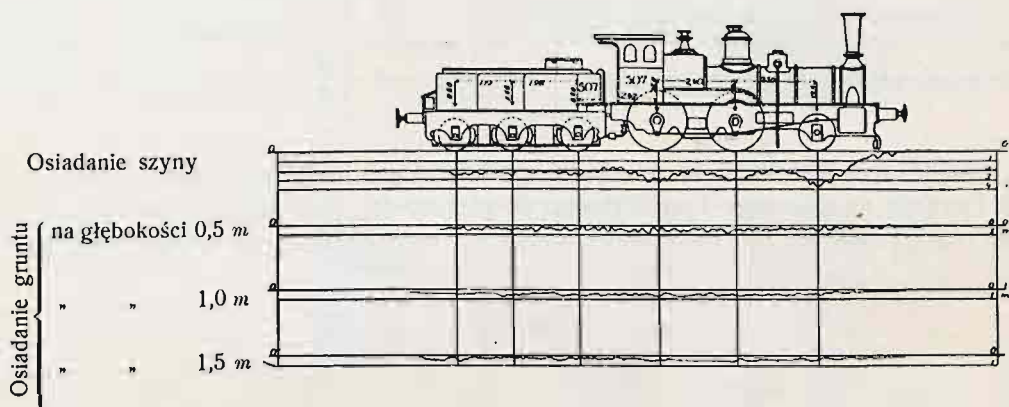
gdzie C jest współczynnik zależny od własności materiałów, znajdujących się pod podkładem. Współczynnik C oznacza stopień sztywności podłoża podkładów

i może być nazwany *współczynnikiem podłoża*¹⁾. Wielkość p zwykle wyraża się w kg , zaś y w cm i wtedy C wyraża ciśnienie na centymetr kwadratowy podłoża podkładu, wywołujące osiadanie jego o 1 centymetr w przypuszczeniu, że przy tem ciśnieniu osiadanie nie przestaje być sprężystem.

Jeżeli dla wiadomego obciążenia P (np. osobno ustawionego parowozu) określono spowodowane tem obciążeniem osiadanie podkładów w charakterystycznych punktach ich wygięcia: po środku, pod szyną i przy końcach, a więc jeżeli wiadomem jest przeciętne osiadanie y każdego podkładu, to, znając płaszczyznę podstawy podkładu ω , można określić współczynnik C z równania:

$$\Sigma C\omega y = C\Sigma\omega y = P \dots \dots \dots (125)$$

Rys. 141.



Jeżeli obciążenie działa tylko na środkową część szyny, którą w takim razie możemy rozpatrywać jako belkę nieskończenie długą, spoczywającą na podporach jednakowo sztywnych i jednakowo od siebie oddalonych, to osiadanie każdego podkładu przy pewnem względem niego położeniu obciążenia będzie również jednakowem. W takich warunkach jest więc dostatecznem mieć wykres osiadania tylko jednego podkładu (rys. 139 i 140), zdjęty przy powolnem przesuwaniu obciążenia (dla uniknięcia dynamicznego zwiększenia tegoż) i nakreślić na tym wykresie w równych odstępach położenie wszystkich podkładów, które osiadają jednocześnie pod działaniem obciążenia. Podziałka pozioma wykresu może być dokładnie oznaczona, jeżeli będą założone w torze w pewnem od siebie oddaleniu dwa przyciski elektryczne s, s' (rys. 137b), któreby znaczyły na czułej błonie fotograficznej moment przejścia nad nimi przedniego koła, lub też prościej, porównyując na wykresie odległość między osiami taboru (miejscami największego osiadania podkładu).

¹⁾ W literaturze napotyka się dla C nazwę współczynnika balastu, którą należy uznać za nieodpowiednią, jak o tem przekonamy się niżej.

Na podstawie tego rodzaju spostrzeżeń i obliczeń współczynnik podłoża określili po raz pierwszy ze szczególną dokładnością w r. 1887 i 1888 Zimmermann i Haentzschel na dr. żel. alzacko-lotaryńskich. Współczynnik podłoża otrzymany na podstawie tych spostrzeżeń waha się od 2 do 9, w zależności od rodzaju balastu i gruntu. Zimmermann przyjmuje przeciętnie

$$\begin{aligned} \text{dla balastu ze żwiru.} & \dots \dots \dots C=3 \\ \text{dla balastu ze żwiru na warstwie narzutu kamiennego} & C=8. \end{aligned}$$

Na drogach rosyjskich podobnego rodzaju spostrzeżenia prowadził inż. Steciewicz, przyczem otrzymane przez niego wyniki mało różnią się od wyników, otrzymanych na dr. żel. alzacko-lotaryńskich.

Znaczne wahania współczynnika podłoża należy przypisać przeważnie niejednakowej ściśliwości budowy spodniej i gruntu naturalnego. Inż. Wasiutyński określał na dr. żel. Warszawsko-Wiedeńskiej oprócz osiadania podkładów też osiadanie torowiska pod podstawą balastu (rys. 141), co dało możność określenia ściśliwości warstwy balastu niezależnie od ściśliwości torowiska. Przy grubości warstwy balastu około 35 cm, licząc od podstawy podkładów, ciśnienie tychże, jak świadczą spostrzeżenia, rozkłada się na torowisko mniej więcej równomiernie. Jeżeli więc przeciętne ciśnienie podkładu na balast wynosi $p \text{ kg/cm}^2$, to można przyjąć, że przeciętne ciśnienie balastu na torowisko wynosi $\frac{p}{n}$, gdzie $n = \frac{a}{b}$ wyraża stosunek odległości pomiędzy osiami podkładów do szerokości podstawy podkładu.

Dane te dają możność określenia *współczynnika balastu* K , rozumiejąc pod tą nazwą współczynnik podłoża w przypadku, gdy torowisko jest zupełnie sztywne i nieściśliwe. W istocie, jeżeli nazwiemy *współczynnikiem torowiska* N stosunek (w kg/cm^2) ciśnienia balastu na jednostkę kwadratową torowiska do osiadania tegoż torowiska, to pomiędzy współczynnikami C , K i N istnieje zależność:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{K} + \frac{1}{nN} \dots \dots \dots (126)$$

i jeżeli C i N będą określone z wykresów, podobnych do uwidocznionych na rys. 140 i 141, to z równania (126):

$$K = \frac{nNC}{nN - C} \dots \dots \dots (127)$$

Spostrzeżenia na dr. żel. Warszawsko-Wiedeńskiej były robione na ściśle zleżałym nasypie piaszczysto-gliniastym o wysokości 1,5 m, przyczem otrzymano współczynnik torowiska $N=5$. W takich warunkach i przy $n = \frac{a}{b} = \frac{80}{25} = 3,2$ współczynnik podłoża otrzymano przeciętnie:

$$\begin{aligned} \text{w przypadku balastu z piasku ze żwirem} & \dots \dots C=5,4 \\ \text{" " " z szabru granitowego} & \dots \dots C=4,1. \end{aligned}$$

W zależności od tego współczynnik balastu wypadł przeciętnie:

Jeżeli oznaczymy przez I' moment bezwładności przekroju belki względem osi poziomej, przechodzącej przez środek ciężkości przekroju, i przez E' współczynnik sprężystości materiału belki, to jak wiadomo:

$$M = - E' I' \frac{d^2 y}{dx^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (130)$$

W drugiej części równania (130) postawiony jest znak ujemny, ponieważ jako dodatnie przyjęto siły działające ku górze, t. j. w kierunku rzędnych ujemnych. Działaniu w tym kierunku sił dodatnich odpowiada takie wygięcie belki, przy którym jej strona wklęsła zwrócona jest ku osi odciętych. Podstawiając wyrażenie momentu (130) w równanie (129), otrzymamy:

$$E' I' \frac{d^4 y}{dx^4} = - b p \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (131)$$

Ciśnienie podłoża belki na jej podstawę, w zależności od osiadania belki i od materiału podłoża, wyraża się równaniem (124)

$$p = C y,$$

a więc równanie różniczkowe linii sprężystej otrzyma ostatecznie postać:

$$\boxed{E' I' \frac{d^4 y}{dx^4} = - C b y} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (132)$$

Jeżeli wprowadzimy oznaczenia:

$$\sqrt[4]{\frac{4 E' I'}{b C}} = L \quad \text{ i } \quad \frac{x}{L} = \xi,$$

to zamiast równania (132) możemy napisać:

$$\frac{d^4 y}{d\xi^4} = - 4 y \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (133)$$

Całka równania (133) ma kształt następujący:

$$y = \frac{1}{2} \{ (U_1 e^{\xi} + U_2 e^{-\xi}) \cos \xi + (V_1 e^{\xi} + V_2 e^{-\xi}) \sin \xi \} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (134)$$

W tem równaniu U_1 , U_2 , V_1 , V_2 oznaczają wielkości stałe, które winny być określone w zależności od sposobu obciążenia belki. Dla belki nieskończenie długiej, obciążonej pojedynczym ciężarem skupionym P , równanie (134) daje po określeniu stałych następujące znaczenia osiadania belki y i momentu M w punkcie przyczepienia ciężaru:

$$y = \frac{P}{2 C b L} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (135)$$

$$M = \frac{P L}{4} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (136)$$

Jeżeli wystawimy sobie belkę zupełnie sztywną długości $2L$, spoczywającą na ciągłym podłożu sprężystym i obciążoną po środku pojedynczym ciężarem skupionym P , to przy tejże szerokości belki b i współczynniku podłoża C osiadanie jej, również jak moment w punkcie przyczepienia ciężaru, będą miały oczywiście te same znaczenia (135) i (136), co i belka sprężysta długości nieskończonej. Wiel-

kość $L = \sqrt[4]{\frac{4E'I'}{Cb}}$ oznacza więc połowę długości belki zupełnie sztywnej, spoczywającej na podłożu sprężystym i obciążonej po środku ciężarem pojedynczym, przy takiej bowiem długości osiadanie tej belki i największy moment w punkcie przyczepienia ciężaru mają takie same wartości, jak dla belki sprężystej i nieskończenie długiej, wyrobionej z takiego samego materiału i mającej takż sam przekrój i podłoże.

2. Osiadanie i ugięcie podkładów.

Dla belki sprężystej o długości $2l$, obciążonej symetrycznie dwoma ciężarami P , oddalonymi od siebie o $2r$ (rys. 143), osiadanie y_l końców belki oraz osiadania y_r , y_o i momenty M_r , M_o w punktach przyczepienia ciężarów i po środku, wyrażają się przy zachowaniu poprzednich oznaczeń jak następuje:



Rys. 143.

$$\left. \begin{aligned} y_l &= \frac{P}{CbL} \cdot [\eta_l] \\ y_r &= \frac{P}{CbL} \cdot [\eta_r] \\ y_o &= \frac{P}{CbL} \cdot [\eta_o] \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (137)$$

$$\left. \begin{aligned} M_r &= \frac{PL}{2} \cdot [\mu_r] \\ M_o &= \frac{PL}{2} \cdot [\mu_o] \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (138)$$

W wyrazach tych $[\eta_l]$, $[\eta_r]$, $[\eta_o]$, $[\mu_r]$ i $[\mu_o]$ są to funkcje zmiennych l , r i L . Znaczenia liczebne tych funkcji, wobec zawiłego ich kształtu, prościej jest określać z tablic, ułożonych przez Zimmermann'a ¹⁾.

Rozpatrywany przykład odpowiada warunkom pracy podkładu kolejowego w przypuszczeniu, że $2l$ oznacza jego długość, $2r$ odległość między osiami szyn, zaś P nacisk szyny na podkład.

Wzory (137) i (138) pozwalają wyznaczyć osiadanie i ugięcie podkładu oraz naprężenie jego materiału. Obliczenie wskazuje, że przy normalnej szerokości toru i przy współczynnikach podłoża podkładów, jakie się napotyka w praktyce, osiadanie podkładu po środku y_o i przy końcach y_l otrzymuje się jednakowem, gdy jego długość $2l$ wynosi około 2,70 m, co stwierdzają wyniki spostrzeżeń przytoczone powyżej. Szczególnie ważnem dla obliczenia natężeń w szynach oraz ogólnej sztywności toru jest wyznaczenie osiadania podkładu pod szyną. Jeżeli oznaczmy

$$\frac{CbL}{[\eta_r]} = D \dots \dots \dots (139)$$

¹⁾ Dr. H. Zimmermann. Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues. 1888.

to

$$y_r = \frac{P}{CbL} [\eta_p] = \frac{P}{D} \dots \dots \dots (140)$$

Dla $y_r = 1$, $D = P$, a więc D oznacza ciśnienie szyny na podkład, powodujące osiadanie tegoż pod szyną na 1 cm.

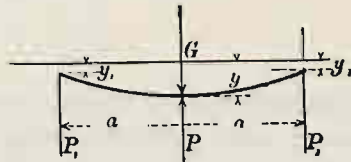
Jeżeli l i r mają wartości określone, to $[\eta_p]$ będzie zależne wyłącznie od L . Tak naprz., dla toru normalnego rosyjskiego i podkładów o długości 2,70 m, przyjętej w liniach magistralnych, $[\eta_p]$ może być wyrażone z dokładnością do $1/2\%$ następującym wzorem doświadczalnym:

$$[\eta_p] = 0,4 + 0,000038 L^2 \dots \dots \dots (141)$$

3. Nacisk szyny.

We wzorach (137), (138) i (140) pozostaje dotąd nieokreślona wielkość P nacisku, jaki szyna wywiera na podkład. Wielkość tę otrzymamy, określając oddziaływania podpór szyny, rozpatrywanej jako belka ciągła na podporach sprężystych, jak wskazano poniżej na str. 220. W pewnych przypadkach obciążenia nacisk szyny może być określony bezpośrednio. Przypuśćmy, że obciążenie koła udziela się trzem podkładom, i rozpatrujemy szynę jako *belkę, spoczywającą swobodnie na trzech podporach sprężystych*, rozstawionych w odległości a jedna od drugiej, i obciążoną ciężarem pojedynczym G nad podporą środkową (rys. 144). Jeżeli na podporę środkową działa nacisk P , to nacisk na każdą z podpór skrajnych będzie

Rys. 144.



$$P' = \frac{1}{2} (G - P)$$

i w zależności od tego osiadanie podpór wyniesie:

$$y = \frac{P}{D} \quad \text{i} \quad y_1 = \frac{G - P}{2D},$$

zaś ugięcie szyny:

$$y - y_1 = \frac{P}{D} - \frac{G - P}{2D} = \frac{3P - G}{2D} \dots \dots \dots (142)$$

Jeżeli oznaczmy przez B siłę, która, będąc przyłączoną do środka belki, spoczywającej swobodnie na dwóch podporach rozstawionych w odległości $2a$, spowoduje ugięcie tejże belki o 1 cm, to

$$y - y_1 = \frac{G - P}{B} \dots \dots \dots (143)$$

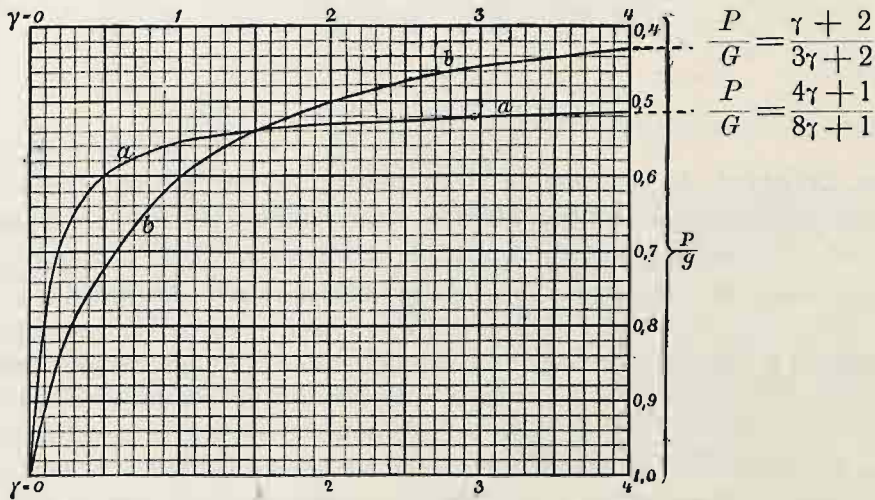
Z równań (142) i (143), oznaczając $\frac{B}{D} = \gamma$, otrzymamy:

$$P = \frac{\gamma + 2}{3\gamma + 2} \cdot G \dots \dots \dots (144)$$

Stosownie do określenia przyjętego powyżej

$$B = \frac{6EI}{a^3} \dots \dots \dots (145)$$

Rys. 146.
Nacisk szyny w stosunku do obciążenia koła.



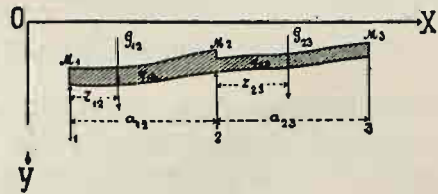
4. Ugięcie szyny.

Dla belki na kilku podporach niejednakowej wysokości momenty M_1 , M_2 , M_3 nad każdymi trzema podporami po sobie idącymi (rys. 147) związane są równaniem:

$$M_1 a_{12} + 2M_2 (a_{12} + a_{23}) + M_3 a_{23} = -6EI \left\{ \frac{y_1 - y_2}{a_{12}} - \frac{y_2 - y_3}{a_{23}} \right\} - \frac{\Sigma G_{12} z_{12} (a_{12}^2 - z_{12}^2)}{a_{12}} - \frac{\Sigma G_{23} (a_{23} - z_{23}) \{a_{23}^2 - (a_{23} - z_{23})^2\}}{a_{23}} - \frac{1}{4} (q_{12} a_{12}^3 + q_{23} a_{23}^3) \quad (147)$$

w którym y_1 , y_2 , y_3 wyrażają pionowe odległości podpór od osi OX ; G_{12} , G_{23} ciężary skupione, zaś q_{12} i q_{23} jednostajnie rozłożone obciążenie na jednostkę długości belki, odpowiednio w przęsłach 1—2 i 2—3. Przed wyrazem, zawierającym EI , postawiony jest znak ujemny, ponieważ i w tym przypadku, również jak przedtem przy rozpatrywaniu ugięcia podkładu, za dodatnie przyjęto uważać siły skierowane ku górze.

Rys. 147.



Jeżeli oznaczymy przez A_2' i A_2'' części oddziaływania A_2 podpory 2 pod wpływem przęseł 1—2 i 2—3, to wielkości tych części można określić z równań momentów:

$$M_1 = M_2 + A_2' a_{12} - \Sigma G_{12} z_{12} - \frac{q_{12} a_{12}^2}{2} \quad (148)$$

$$M_3 = M_2 + A_2'' a_{23} - \Sigma G_{23}(a_{23} - z_{23}) - \frac{q_{23} a_{23}^2}{2} \quad (149)$$

skąd

$$A_2 = A_2' + A_2'' = \frac{M_1 - M_2}{a_{12}} - \frac{M_2 - M_3}{a_{23}} + \frac{\Sigma G_{12} z_{12}}{a_{12}} + \frac{\Sigma G_{23}(a_{23} - z_{23})}{a_{23}} + \frac{q_{12} a_{12}}{2} + \frac{q_{23} a_{23}}{2} \quad (150)$$

Łatwo zauważyć, że w równaniu (150) wyrazy zależne od obciążenia oznaczają tę część oddziaływania podpór, która występowałaby wyłącznie, gdyby belka składała się z oddzielnych przęseł, swobodnie spoczywających na podporach.

Z uwagi, że ciężar szyny jest bardzo nieznaczny w porównaniu z naciskiem koła, przy obliczaniu szyny można ją rozpatrywać jako belkę, znajdującą się pod działaniem wyłącznie tylko ciężarów skupionych. Z wyjątkiem podkładów, znajdujących się w bliskości końców szyn, wszystkie pozostałe rozmieszcza się zwykle w równych odległościach, które są wogóle mniejsze od rozstawu osi taboru, a więc szyna podlegać może działaniu nie więcej jak jednego ciężaru w każdym przęśle. Z wymienionych względów przy obliczaniu szyny równanie trzech momentów da się przedstawić w następującej postaci:

$$M_1 a + 4M_2 a + M_3 a = -6EI \left\{ \frac{y_1 - 2y_2 + y_3}{a} \right\} - \frac{G_{12} z_{12}(a^2 - z_{12}^2)}{a} - \frac{G_{23}(a - z_{23})\{a^2 - (a - z_{23})^2\}}{a} \quad (151)$$

zaś oddziaływanie jakiegokolwiek podpory, naprz. podpory 2:

$$A_2 = \frac{M_1 - 2M_2 + M_3}{a} + \frac{G_{12} z_{12}}{a} + \frac{G_{23}(a - z_{23})}{a} \quad (152)$$

Jeżeli za oś odciętych przyjmiemy oś obojętną belki w stanie nieobciążonym, to w przypadku podpór sprężystych rzędne y_1 , y_2 , y_3 będą wyrażać osiadanie podpór, które winno być proporcjonalnem do wywieranego na nie nacisku.

Zgodnie z równaniem (140):

$$y_1 = \frac{A_1}{D}; \quad y_2 = \frac{A_2}{D}; \quad y_3 = \frac{A_3}{D},$$

a więc, posługując się wzorem (152), osiadanie każdej z podpór może być wyrażone w zależności od trzech momentów, a mianowicie nad daną podporą i nad dwiema sąsiednimi, oraz w zależności od obciążenia dwóch przęseł, sąsiadujących z daną podporą. Podstawiając wartości y_1 , y_2 i y_3 w równanie (151), otrzymamy zależność pomiędzy momentami nad pięcioma podporami po sobie idącymi i obciążeniem przęseł, między nimi się znajdujących. Dla belki na n podporach ilość takich równań będzie $n-2$, które razem z dwoma równaniami $M_1 = 0$ i $M_n = 0$, oznaczającymi, że na podporach skrajnych belka leży swobodnie, dają możliwość określenia momentów nad podporami, a zatem nacisków na te podpory i ich osiadania.

Moment w dowolnym przekroju belki między podporami, naprz. między pod-

porą 2 i punktem przyłączenia ciężaru G_{23} , znajdującym się w odległości x od podpory, można określić posiłkując się równaniem $M = M_2 + A_2'' x$:

$$\begin{aligned} M &= M_2 + (M_3 - M_2) \frac{x}{a} + G_{23} (a - z_{23}) \frac{x}{a} = \\ &= M_2 \frac{a - x}{a} + M_3 \frac{x}{a} + G_{23} (a - z_{23}) \frac{x}{a} \quad . \quad . \quad . \quad (153) \end{aligned}$$

Ostatni wyraz, zależny od obciążenia, jest momentem dla tegoż przekroju w przypuszczeniu, że belka spoczywa na podporach swobodnie.

Po uskutecznieniu wskazanych powyżej podstawień, równania, wyrażające zależność momentów nad pięcioma po sobie idącymi podporami belki ciągłej, poczynawszy od podpory $m + 1$ -ej, otrzymają następującą postać ogólną:

$$\gamma M_{m+1} + \beta M_{m+2} + \alpha M_{m+3} + \beta M_{m+4} + \gamma M_{m+5} = Z_{m+3} \quad . \quad . \quad . \quad (154)$$

Jeżeli na podporach skrajnych belka leży swobodnie, t. j. jeżeli $M_1 = 0$ i $M_n = 0$, to w równaniach tych ilość momentów będzie wzrastać od trzech na początku belki do pięciu i o tyleż zmniejszać się w jej końcu. Tak naprz., dla belki na siedmiu podporach równania momentów nad podporami będą następujące:

$$\left. \begin{aligned} \alpha M_2 + \beta M_3 + \gamma M_4 &= Z_2 \\ \beta M_2 + \alpha M_3 + \beta M_4 + \gamma M_5 &= Z_3 \\ \gamma M_2 + \beta M_3 + \alpha M_4 + \beta M_5 + \gamma M_6 &= Z_4 \\ \gamma M_3 + \beta M_4 + \alpha M_5 + \beta M_6 &= Z_5 \\ \gamma M_4 + \beta M_5 + \alpha M_6 &= Z_6 \end{aligned} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (155)$$

W równaniach tych γ ma znaczenie przyjęte powyżej (str. 217):

$$\gamma = \frac{B}{D}; \quad B = \frac{6EI}{a^3}; \quad D = \frac{CbL}{[\eta_e]}$$

Współczynniki α i β są również zależne od γ , a mianowicie:

$$\alpha = 4 + 6\gamma; \quad \beta = 1 - 4\gamma.$$

Strony prawe równań (155) zależne są dla danej belki wyłącznie od ciężarów G i ich odległości z od lewych podpór, t. j.

$$Z = f(G, z)$$

Dla uproszczenia tych funkcji rozpatrzmy z osobna wpływ na ugięcie belki każdego z poszczególnych ciężarów.

Jeżeli na belkę działa jeden tylko ciężar skupiony, to po stronie prawej równań (155) wszystkie Z , za wyjątkiem czterech, winny się równać zeru. W istocie, strona prawa każdego z tych równań jest funkcją tych tylko ciężarów, które znajdują się w czterech przęsłach, a mianowicie pomiędzy temi podporami, nad którymi działają momenty, umieszczone po lewej stronie równań. Oznaczmy te cztery wartości funkcji Z przez Z_1 , Z_2 , Z_3 i Z_4 . W zależności od przęsła, w którym znajduje się ciężar skupiony, strony prawe równań (155) będą miały następujące wartości, które, jakkolwiek podane są poniżej tylko dla belki na 7 podporach, z łatwością mogą być określone przez podobieństwo dla wszelkiej innej ilości podpór.

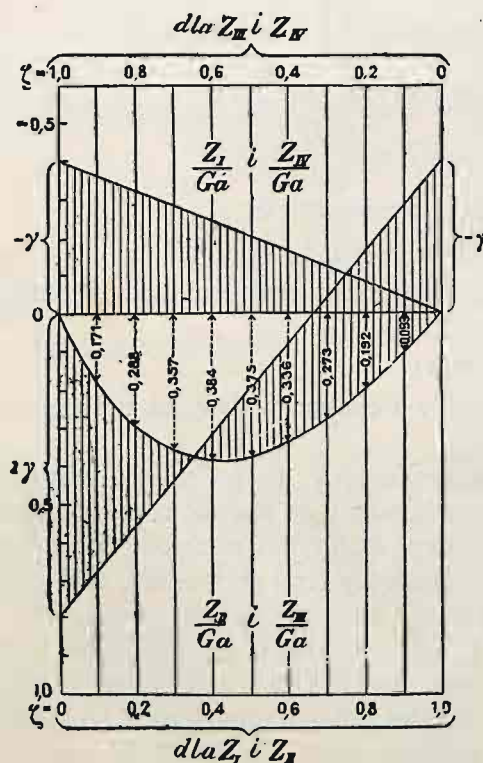
Ciężar skupiony znajduje się w przęśle:	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7
$Z_2 =$	Z_{III}	Z_{II}	Z_I	0	0	0
$Z_3 =$	Z_{IV}	Z_{III}	Z_{II}	Z_I	0	0
$Z_4 =$	0	Z_{IV}	Z_{III}	Z_{II}	Z_I	0
$Z_5 =$	0	0	Z_{IV}	Z_{III}	Z_{II}	Z_I
$Z_6 =$	0	0	0	Z_{IV}	Z_{III}	Z_{II}

Wielkości Z_I , Z_{II} , Z_{III} i Z_{IV} mają następujące znaczenia:

$$\left. \begin{aligned} Z_I &= Ga \{-\gamma + \gamma\zeta\} \\ Z_{II} &= Ga \{(2 - 3\zeta)\gamma - 2\zeta + 3\zeta^2 - \zeta^3\} \\ Z_{III} &= Ga \{(3\zeta - 1)\gamma - \zeta + \zeta^3\} \\ Z_{IV} &= Ga \{-\gamma\zeta\} \end{aligned} \right\} \dots \dots (156)$$

Rys. 148.

w których $\zeta = \frac{z}{a}$.



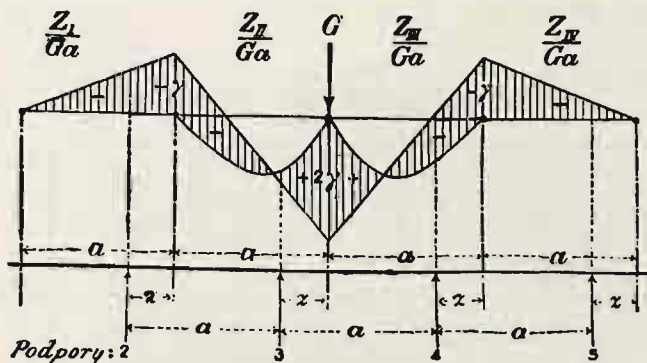
Dla danej budowy wierzchniej γ jest wielkością stałą i w tym przypadku wielkości (156) mogą być przedstawione wykreślnie, rozpatrując oddzielnie wyrazy zależne i niezależne od γ . Pierwsze z nich, zawierające ζ w stopniu pierwszym, przedstawiają linie proste, których pochylenie znajduje się w zależności od γ , pozostałe zaś wyrazy, zawierające ζ , przedstawiają krzywą trzeciego stopnia, przecinającą oś odciętych przy $\zeta = 0$ i $\zeta = 1$. Łatwo się przekonać, że jeżeli ζ zmienia się stopniowo od 0 do 1, to wielkości Z_I i Z_{II} otrzymują odpowiednio także same znaczenia, jak Z_{IV} i Z_{III} przy zmienianiu się ζ od 1 do 0.

Na rys. 148 uwidocznione są wielkości $\frac{Z_I}{Ga}$, $\frac{Z_{II}}{Ga}$, $\frac{Z_{III}}{Ga}$ i $\frac{Z_{IV}}{Ga}$ w zależ-

ności od ζ , przyczem dla przykładu przyjęto $\gamma = 0,4$. Na rys. 149 też same wielkości wykreślone są obok siebie jedna za drugą.

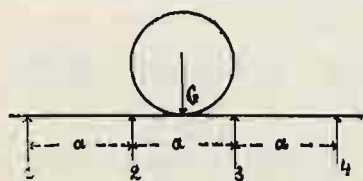
Jeżeli za jednostkę do wymierzania odciętych przyjmijemy odległość pomiędzy podporami i, oznaczwszy te podpory pod wykresem w tejże od siebie odległości, przypuścimy, że środek wykresu G odpowiada punktowi przyłączenia ciężaru, to

Rys. 149.



linie pionowe, przechodzące przez podpory, będą odcinać na wykresie wielkości Z prawych stron równań (155) z temiż numerami, co i podpory. Przesuwając wykres wzdłuż belki, można otrzymać dla dowolnego położenia ciężaru skupionego G odpowiadające mu wartości Z .

Rys. 150.



Rozpatrując dla przykładu najprostszyp przypadk belki na czterech podporach sprężystych (rys. 150), otrzymamy dla momentów nad podporami następujące równania:

$$\alpha M_2 + \beta M_3 = Z_2$$

$$\beta M_2 + \alpha M_3 = Z_3$$

Jeżeli ciężar położony jest w prześle środkowym 2 — 3, to $Z_2 = Z_{II}$ i $Z_3 = Z_{III}$.

Jeżeli wreszcie ciężar ten położony jest po środku przęśła środkowego, to $M_2 = M_3$ i moment nad jedną z podpór środkowych otrzymuje się z równania:

$$(\alpha + \beta) M_2 = Z_{II} = Ga \{ 2\gamma - (3\gamma + 2)\zeta + 3\zeta^2 - \zeta^3 \}$$

przyczem:

$$\zeta = \frac{z}{a} = \frac{1}{2}$$

$$M_2 = \frac{Ga}{\alpha + \beta} \left\{ \frac{\gamma}{2} - \frac{3}{8} \right\} = \frac{4\gamma - 3}{4\gamma + 10} \cdot \frac{Ga}{4} \quad \dots \quad (157)$$

Moment M pośrodku belki, t. j. w punkcie przyłączenia ciężaru:

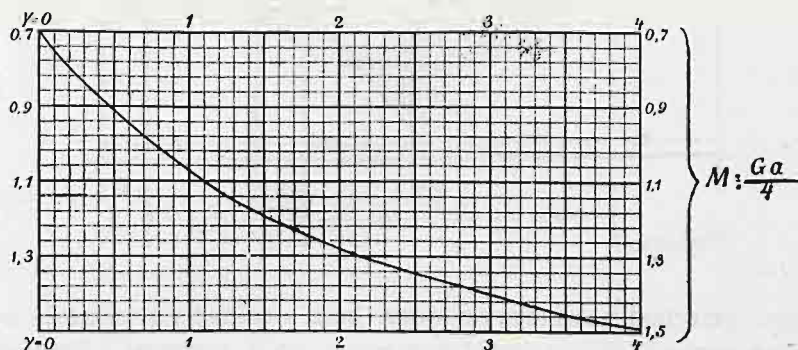
$$M_0 = \frac{1}{2} (M_2 + M_3) + \frac{Ga}{4} = \frac{8\gamma + 7}{4\gamma + 10} \cdot \frac{Ga}{4} \quad \dots \quad (158)$$

Wzór (158) daje wartości zbliżone do tych, jakie się otrzymuje w razie obciążenia belki wieloprzęśłowej kilkoma ciężarami, położonymi we wzajemnej odległości, równej potrójnej odległości między podporami lub większej. Wraz ze zmniej-

szeniem się odległości pomiędzy ciężarami, t. j. pomiędzy osiami taboru, największy moment także się zmniejsza. Ciężar własny szyny również zmniejsza momenty o 5% do 10%. Wobec tego wzór (158), zwany wzorem Zimmermann'a, może być stosowany do przybliżonego wyznaczenia wartości największego momentu, działającego na szynę.

Rys. 151.

Moment zginający dla szyny na podkładach.



Na wykresie (rys. 151) uwidoczniono stosunek momentu, określonego według wzoru (158), do momentu, jaki otrzymuje się dla belki, spoczywającej swobodnie na dwóch podporach, w zależności od γ . Wykres ten uwidocznia wpływ sztywności podpór na zmniejszenie momentu, działającego na szynę.

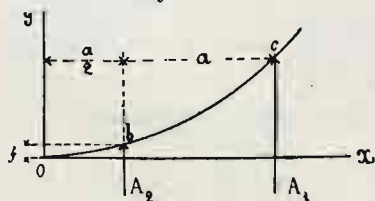
5. Osiadanie szyny pomiędzy podporami i nad niemi. Ogólna sprężystość toru.

W przypadku obciążenia, uwidocznionym na rys. 150, osiadanie podpór może być określone w zależności od ich oddziaływania według wzoru (152):

$$y_1 = \frac{A_1}{D} = \frac{M_2}{aD} = \frac{4\gamma - 3}{4(4\gamma + 10)} \cdot \frac{G}{D} \quad \dots \quad (159)$$

$$y_2 = \frac{A_2}{D} = \left\{ \frac{G}{2} - \frac{M_2}{a} \right\} \frac{1}{D} = \frac{4\gamma + 23}{4(4\gamma + 10)} \cdot \frac{G}{D} \quad \dots \quad (160)$$

Rys. 152.



Całkowite osiadanie szyny w punkcie przyczepienia ciężaru określimy, gdy do osiadania podpory średniej, obliczonego podług wzoru (160), dodamy strzałkę ugięcia szyny pomiędzy podporami 2 i 3. Tę strzałkę możemy znaleźć przyjąwszy pod uwagę (rys. 152), że dla belki *obc* moment M na długości *ob* wyraża się:

$$M = A_1 \left(\frac{3}{2} a - x \right) + A_2 \left(\frac{a}{2} - x \right) = EI \frac{d^2 y}{dx^2}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{EI} \left\{ A_1 \left(\frac{3}{2} ax - \frac{x^2}{2} \right) + A_2 \left(\frac{a}{2} x - \frac{x^2}{2} \right) \right\}$$

$$y = \frac{1}{EI} \left\{ A_1 \left(\frac{3}{4} ax^2 - \frac{x^3}{6} \right) + A_2 \left(\frac{a}{4} x^2 - \frac{x^3}{6} \right) \right\}$$

$$\text{Przy } x = \frac{a}{2}$$

$$f' = \frac{a^3}{6EI} \left\{ A_1 + \frac{1}{4} A_2 \right\} = \frac{G}{B} \left\{ \frac{4\gamma - 3}{4(4\gamma + 10)} + \frac{4\gamma + 23}{16(4\gamma + 10)} \right\} =$$

$$= \frac{G}{B} \cdot \frac{20\gamma + 11}{16(4\gamma + 10)} = \frac{G}{D} \cdot \frac{20\gamma + 11}{16\gamma(4\gamma + 10)} \quad \dots \quad (161)$$

$$y = y_2 + f' = \frac{G}{D} \left\{ \frac{4\gamma + 23}{4(4\gamma + 10)} + \frac{20\gamma + 11}{16\gamma(4\gamma + 10)} \right\} =$$

$$= \frac{16\gamma^2 + 112\gamma + 11}{16\gamma(4\gamma + 10)} \cdot \frac{G}{D} \quad \dots \quad (162)$$

Osiadanie szyny i podkładu w przypadku, jeżeli ciężar umieszczony jest nad podporą, wyraża się: $y_r = \frac{P}{D}$, przyczem P może być określone według jednego z wzorów (144) lub (146), dającego większą wartość.

Porównanie wielkości y i y_r przy różnych wartościach γ wykazuje, że wielkości te mało się różnią, bo największa różnica między nimi wynosi zaledwie 0,1 do 0,2 mm. Można więc przyjąć, że podczas ruchu pociągu koła toczą się po linii prawie równoległej do linii toru w stanie nieobciążonym.

Ogólna sprężystość toru ma bardzo ważne znaczenie przy ocenianiu danej budowy wierzchniej, ponieważ wpływa ona nie tylko na naprężenie w szynie i jej podporach, jak to już widzieliśmy, lecz do pewnego stopnia także i na wielkość obciążenia dynamicznego. Wpływ sprężystości toru w tym ostatnim kierunku stanie się zrozumiałym, gdy weźmiemy pod uwagę, że niewątpliwie powoduje ona przeciążenie osi i kół podobnie, jak sprężystość resorów.

Miarą sprężystości toru może służyć jego osiadanie ϵ na tonnę nacisku koła

$$\epsilon = \frac{P}{DG} \quad \dots \quad (163)$$

Wielkość tę przyjęto nazywać *współczynnikiem sprężystości toru*.

ROZDZIAŁ VI.

Działanie dynamiczne taboru na tor kolejowy.

1. Siły pionowe.

Wszystkie poprzednie obliczenia robione były w przypuszczeniu, że szyna znajduje się pod działaniem obciążenia statycznego. Największe obciążenie osi

napędnej, które w pierwszych latach istnienia dróg żelaznych nie przekraczało 6 t, dochodzi obecnie w warunkach normalnych do 15 t na drogach żelaznych w Państwie Rosyjskiem i do 14 t na drogach żelaznych, należących do Związku niemieckiego. Wymagania dotyczące składu pociągów i ich szybkości ciągle wzrastają, wskutek czego obciążenie to przekroczyło już pomienioną normę na niektórych drogach żelaznych rosyjskich, na zagranicznych zaś dochodzi już do 20 t.

Nacisk pionowy koła pozostającego w spoczynku zmienia się podczas ruchu wskutek rozmaitych przyczyn, nawet gdy tor i tabor kolejowy znajdują się w zupełnym porządku. Te zmiany nacisku koła zwiększają się jeszcze wskutek nieprawidłowości powierzchni tocznych koła i szyny.

Na wielkość dynamicznego nacisku koła wpływają głównie następujące przyczyny:

- 1) bezwładność koła, które toczy się po szynie, uginającej się pod działaniem obciążenia;
- 2) pionowa składowa siły odśrodkowej, działającej na masę koła, ze względu, że masa ta w kołach napędnych parowozów rozmieszczona jest niesymetrycznie względem osi obrotu koła; działanie tejże siły ujawnia się wskutek niejednostajnego zużycia obręczy i szyn, stałego przegięcia tych ostatnich, niejednakowej wysokości szyn w złączach i t. p.;
- 3) bezwładność pudła pojazdu i jego ładunku, które wahają się na resorach.

a) Uginanie się szyn.

Gdy koło toczy się po szynie, która się ugina, położenie jego środka ciężkości zmienia się w kierunku pionowym i wskutek tego jego masa nabiera przyspieszenia. Jednocześnie otrzymują przyspieszenie masa szyny na długości ugięcia oraz masa podkładów, osiadających pod szyną. Wskutek bezwładności wszystkich tych mas ugięcie szyny jest inne niż to, jakieby się otrzymało przy obciążeniu statycznym.

Ciężar części szyny i podkładów, osiadających pod naciskiem koła, jest w przybliżeniu 10 razy mniejszy od ciężaru koła i połowy osi. Z drugiej strony, przyspieszenie szyny i podkładów nie jest we wszystkich punktach jednakowe i średnie ich przyspieszenie jest mniejsze od przyspieszenia koła, które na nie ciśnie. Z tego względu wpływ bezwładności budowy wierzchniej na ugięcie szyny może być pominięty.

Oznaczmy przez q ciężar koła wraz z połową osi i przez nq obciążenie koła za pośrednictwem resoru, który ugina się pod nim w stanie spoczynku na wielkość l . Jeżeli wskutek ugięcia szyny koło obniży się o wielkość y i o tyleż zmniejszy się ugięcie resoru, to jego ciśnienie na oś koła wyniesie $nq \frac{l-y}{l}$.

Siły pionowe, działające na koło, określa z jednej strony jego masa $\frac{q}{g}$ i przyspieszenie $\frac{d^2y}{dt^2}$, z drugiej zaś jego ciężar q , nacisk resoru $nq \frac{l-y}{l}$ i oddziaływa-

nie szyny, które oznaczmy przez Q . Równanie różniczkowe pionowego przesunięcia punktu styczności koła z szyną będzie więc:

$$\frac{q}{g} \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} = q + nq \frac{l-y}{l} - Q \dots \dots \dots (164)$$

Zimmermann dowiódł, że równanie (164) daje się całkować tylko w tym przypadku, jeżeli będziemy rozpatrywać szynę jako belkę spoczywającą na dwóch podporach nieruchomych. Jednakże warunek, aby podpory były nieruchome, nie odpowiada rzeczywistości. Wobec tego prof. Petrow zaproponował bardzo pomysłowy sposób oznaczania poszczególnych punktów trajektorii stykania się koła z szyną według odpowiednich punktów, określonych przy obciążeniu statycznym. Przyjmijmy, że obniżenie się punktu styczności koła z szyną względnie do położenia tegoż punktu, gdy szyna nie jest obciążona, jest zawsze proporcjonalne do nacisku koła na szynę i oznaczmy przez h obniżenie się szyny pod działaniem obciążenia spokojnego $(1+n)q$. Obniżenie się y tegoż punktu pod działaniem ciężaru Q otrzyma się z proporcji:

$$y : h = Q : (1+n)q$$

skąd

$$Q = q(1+n) \frac{y}{h} \dots \dots \dots (165)$$

Po podstawieniu tego wzoru w równanie (164) otrzymamy:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = g(1+n) - \frac{ng}{l} y - g(1+n) \frac{y}{h} \dots \dots \dots (166)$$

Całkując to równanie sposobem przybliżonym, w granicach dowolnie blizkich, dla określenia zaś wielkości stałych przyjmując za wiadome wielkość osiadania i szybkość pionową koła w punkcie, przyjętym za punkt początkowy, prof. Petrow przechodzi stopniowo od jednego punktu do następnego i określa w ten sposób trajektorię stykania się koła z szyną przy rozmaitych szybkościach postępowego ruchu koła.

Obliczenia prof. Petrowa wykazują, że przy prędkościach do 125 wiorst na godzinę zwiększenie ciśnienia koła wskutek ugięcia szyny dochodzi do 70% i jest tem większe, im szyna jest sztywniejsza.

b) Rozmieszczenie niesymetryczne masy koła względem osi obrotu.

Rozmieszczenie niesymetryczne masy koła względem osi obrotu istnieje głównie w kołach napędnych parowozów, które to koła zaopatrzone są w tak zwane *odciążki*.

Odciażki a (rys. 153) służą do zrównoważenia bezwładności czopa, korby i t. p. części mechanizmu, mających ruch obrotowy, oraz drągów korbowych, tłoków i innych części, poruszających się w kierunku poziomym, przez siłę odśrodkową, powstającą przy obracaniu się koła, aby uniknąć tym sposobem wężykowatego ruchu parowozu. Jednakże siła odśrodkowa odciażków wywołuje oprócz sił poziomych również i pionowe, które znacznie zwiększają nacisk koła.

Według obliczeń prof. Petrowa zwiększenie dynamicznego nacisku koła o średnicy $2m$, przy odległości pomiędzy środkami bezwładności i obrotu koła równej $0,05 m$ i szybkości 125 wiorst na godzinę ($133 km/godz.$), wynosi 75% .

Dla uniknięcia zwiększenia nacisku koła wskutek pomienionej przyczyny, należy przyjąć za zasadę, ażeby odciążki w parowozach kuryerskich były przeznaczone wyłącznie do zrównoważenia bezwładności mas, mających ruch obrotowy, i przeciwdziałać wężykowaniu parowozów, pomieszczając cylindry wewnątrz ramy lub, jeszcze lepiej, stosując cztery cylindry zamiast dwóch.

Nieprawidłowy kształt powierzchni tocznych koła i szyny ma także wpływ na wielkość nacisku koła, jak i niejednakowe położenie środków bezwładności i obrotu koła, a mianowicie wywołuje pionowe przesunięcia jego środka bezwładności i pionowe przyspieszenia masy. Z tego powodu przy określaniu trajektorii koła można przyjąć w obu razach, jak i powyżej, że koło prawidłowego kształtu i bez mimośrodkowości toczy się po szynie, mającej zagłębienia i wyniosłości.

Według prof. Petrowa niejednostajne zużycie się obręczy wskutek hamowania, występujące w postaci miejsc płaskich na ich powierzchni tocznej, jeżeli powstałe stąd zagłębienie wynosi $2 mm$ i szybkość 125 wiorst na godzinę ($133 km/godz.$), wywołuje zwiększenie dynamicznego obciążenia koła o 95% . Nieznaczne odchylenia od linii prostej, jakie napotykają się na powierzchni tocznej szyn nowych i zużytych poza złączami, zwiększają jego zdaniem dynamiczny nacisk koła względnie nieznacznie.

c) Wahanie resorów.

Widzieliśmy wyżej, że nierówności na powierzchni, po której toczy się koło, wywołują zmianę w ugięciu resoru, wskutek której zmienia się również obciążenie osi. Jednakże wszelkie odchylenie ugięcia resoru od wielkości, odpowiadającej obciążeniu statycznemu, pociągać musi za sobą wahanie się tegoż obciążenia, t. j. pudła z ładunkiem, na resorze. Jeżeliby po jednym całkowitem wahnieniu resoru koło napotkało na swej drodze drugą nierówność, któraby zmieniła jego ugięcie w tym samym kierunku, co i pierwsza, to spowodowałoby to zwiększenie obszerności (amplitudy) wahań resoru, a więc i odpowiednie zmiany w nacisku koła na szynę.

Wynikałoby stąd, że w pewnych warunkach powtarzania się nierówności obszerność wahań resoru mogłaby wzrastać nieograniczenie. Temu przypadkowi fa-

i wówczas:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{v^2}{r^2} \cdot e \dots \dots \dots (169)$$

Naprzykład przyjmując

$v = 37 m/sek$ (125 wiorst na godzinę); $r = 1 m$; $e = 0,05 m$:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = 68,4 m/sek.$$

To przyspieszenie jest 7 razy większe od przyspieszenia siły ciężkości. Przyjmując, że ciężar pary kół z osią jest równy $\frac{1}{8}$ części ich obciążenia, otrzymany, że powyższa różnica w położeniu środka bezwładności i osi obrotu koła zwiększa jego nacisk statyczny $\frac{1}{8} \cdot 7 + \frac{7}{8} = 1,75$ razu.

dem środka wahanía pudła był większy niż moment siły odśrodkowej względem tegoż środka, oraz aby tarcie w przyrządach, ułatwiających boczną przesuwność osi i półwozków, było większe niż siła odśrodkowa.

Oprócz wymienionych wyżej przyczyn, zależnych od toru, wahanie resorów powoduje również ustrój samego taboru. Bezładność tłoków, poruszających się w tył i naprzód, naprzemian to z jednej, to z drugiej strony środka ciężkości parowozu, oraz stożkowatość obręczy powodują ruch wężykowaty parowozu, zaś bezładność innych części parowozu, będących w ruchu, powoduje kołysanie się parowozu około osi poziomych, podłużnej i poprzecznej.

Wahanía resorów, których przyczyny wskazano powyżej, powodują przeciążenie oddzielnych osi i kół, którego wielkość, jak widzieliśmy, zależna jest od ustroju i stanu zarówno toru, jak i taboru. Według spostrzeżeń Brière'a zwiększenie strzałki wygięcia resorów parowozowych w stanie spoczynku dochodzi podczas ruchu do 76%, zmniejszenie zaś do 77%. Przyjmując, że ciężar osi z kołami jest w przybliżeniu 5 razy mniejszy od ich obciążenia, ze spostrzeżeń tych wynika, że $\frac{1}{5}$ nacisku koła pozostaje niezmienną, pozostałe zaś $\frac{4}{5}$ podlega zwiększeniu do 1,76 i zmniejszeniu do 0,23 swej wartości w stanie spoczynku, to jest że nacisk koła wskutek wahanía resorów zmienia się w granicach

$$\text{od } \frac{1}{5} + 1,76 \times \frac{4}{5} = 1,64 \quad \text{do } \frac{1}{5} + 0,23 \times \frac{4}{5} = 0,36$$

nacisku koła w stanie spoczynku.

Ogólne zwiększenie dynamiczne nacisku koła względnie do nacisku statycznego według Ast'a (który miał na względzie szybkości nie przekraczające 100 km/godz.) osiągnąć może następującej wielkości:

wskutek ugięcia szyn	21%
„ działania odciążków, niejedno-	
stajnego zużycia obręczy i t. d. . .	50%
„ wahanía resorów	63%
razem	134%

czyli dodając 100% nacisku statycznego Ast przyjmuje okrągło, że nacisk dynamiczny koła osiągnąć może 2,4 nacisku statycznego.

2. Siły poziome.

Wskutek stożkowatości obręczy koła taboru działają na tor szynowy na podobieństwo klinów, t. j. rozszerzają go i wywołują *boczny nacisk kół na szyny*, nawet w stanie spoczynku. Podczas biegu pociągu działanie tłoków parowozu, poruszających się na przemiany jeden w tył, drugi naprzód, wywołuje jego obrót około osi pionowej raz w jedną, to znów w drugą stronę, skutkiem czego powstają uderzenia boczne kół o szyny. Różne przyczyny przypadkowe, jak naprz. wiatr, obniżenie jednego toku szyn względem drugiego i t. p., powodują również boczny nacisk kół. Nacisk ten, jak już widzieliśmy powyżej, daje się szczególnie odczuwać na łukach, wskutek równoleżności osi, siły odśrodkowej, różnicy w długości obu toków szynowych i t. p.

Toczące się koła taboru wytwarzają *siły, działające na szyny wzdłuż osi tychże*. Pod naciskiem kół szyny uginają się, tworząc jak gdyby fale, przesuwające się w kierunku ruchu. Wskutek tego koła, wciskając się w tor sprężysty, pociągają za sobą szyny w tymże kierunku. Takież skutek spowodzają uderzenia kół w końce szyn przy przechodzeniu złączy. Podczas hamowania pociągu tak zwane *uciekanie szyn* ma miejsce również w kierunku ruchu pod wpływem siły żywej pociągu i tarcia kół o szyny. W pewnych przypadkach uciekanie szyn występuje w kierunku przeciwnym ruchowi pociągów, co należy przypisać przyczepności kół napędnych parowozu do szyn oraz oporowi pociągu.

Pochylenie i krzywość toru sprawiają, że wspomniane zjawiska występują silniej i stają się bardziej złożonemi.

Z tego, co powiedziano powyżej, wynika, że siły, którym podlega tor szynowy pod działaniem taboru, mogą być rozłożone na trzy siły składowe, działające w kierunkach: pionowym ku dołowi, oraz poziomym prostopadłym i poziomym równoległym do osi toru. Siły działające w dwóch pierwszych kierunkach na szynę, rozpatrywaną jako belka spoczywająca na kilku podporach, wywołują jej ugięcie w płaszczyznach pionowej i poziomej. Siły te z powodu bocznego nachylenia szyny nie przechodzą przez jej oś obojętną, wskutek czego tworzą one moment działający w płaszczyźnie prostopadłej do tejże osi, powodujący skręcanie oraz wywracanie szyny. Wreszcie siły, działające na szynę wzdłuż jej osi, starają się przesunąć ją w tymże kierunku.

Siły poziome, działające na tor podczas ruchu pociągu, są jeszcze trudniejsze do obliczenia, niż siły pionowe. Aby przesunięcie boczne zestawu kół po szynach było możliwem, siła pozioma, wykonywająca to przesunięcie, winna przewyżczyć siłę tarcia, która przy współczynniku tarcia obręczy o szyny $f = 0,2$ wynosić ma 0,4 nacisku koła. Według spostrzeżeń Wöhler'a i obliczeń Göhring'a rzeczona siła, spowodzająca boczne przesunięcie zestawu kół, wynosi przeciętnie około 0,5 i dochodzi do 0,75 nacisku koła. Engesser i Zimmermann mniemają na zasadzie różnych rozważań, że przytoczone wielkości sił poziomych są wogóle przesadzone i że w zwykłych warunkach siły te wynoszą średnio około 0,20 do 0,25 nacisku koła.

Według spostrzeżeń drogi żelaznej Warszawsko-Wiedeńskiej (patrz rozdział IV), które wykonywano na linii prostej i poziomej, przy szybkościach ruchu dochodzących do 60 wiorst na godzinę (64 *km/godz.*), zwiększenie statycznego nacisku koła dosięgało następujących granic:

wskutek przyczyn, związanych z taborem (gra resorów, odciażki i t. p.)	35%
wskutek przyczyn, związanych z torem (niejednostajność osiadania, stałe ugięcie szyn i t. p.)	50%
Razem	85%

Przy wspomnianych szybkościach (nie przekraczających 60 wiorst na godzinę) nie zauważono, aby zmiana szybkości miała wpływ na nacisk dynamiczny koła.

Z tychże spostrzeżeń okazało się, że pod wpływem bocznego nacisku koła szyny ślizgają się po podporach w kierunku prostopadłym do osi toru, o ile umocowanie szyn na podporach nie przeciwdziała temu przesuwaniu. Wynika stąd, że boczny nacisk koła może przewyżczyć tarcie szyny o podpory oraz tarcie o szynę drugiego koła tejże osi. Jeżeli oznaczymy przez f_1 współczynnik tarcia obręczy o szynę i przez f_2 współczynnik tarcia szyny o podporę, to przyj-

podkładów, w miarę ich osiadania, odczuwano od początku budowy kolei żelaznych i oceniano ważne znaczenie tej składowej części wierzchniej budowy toru.

2. Materyały używane na balast i ich właściwości.

Doświadczenie wykazało, że najlepszymi materyałami na balast są: szaber, tłuczony z twardego kamienia, żwir i gruby piasek, lecz bez domieszki gliny.

Twardy szaber, złożony z kamyków, których wymiar największy nie przekracza 5 cm, posiada wszelkie przymioty, jakich wymaga się od dobrego balastu. Przepuszcza on doskonale wodę, a chropowate powierzchnie i ostre krawędzie pojedynczych kamyków posiadają znaczne tarcie, wskutek czego szaber nie daje się wyprzeć z pod podkładów, które długo zachowują właściwe położenie. Szaber zbyt gruby utrudnia podbicie podkładów i z tego powodu należy go unikać. Szaber z kamienia wapiennego lub zwietrzałego rozpada się i miazdży przy podbijaniu i pod ciśnieniem podkładów i staje się nieprzepuszczalnym.

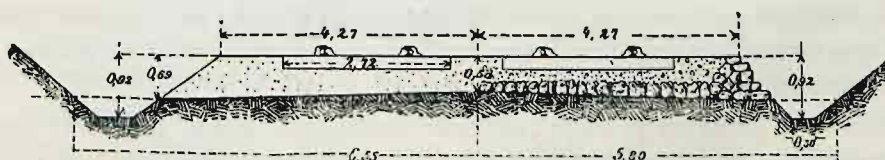
Zagranicą stosują dość często na balast szaber z zuzli, otrzymywanych z wielkich pieców, oraz szaber z gliny wypalanej. Materyały te, w szczególności zuzel, dają bardzo dobry balast.

Należy zaznaczyć, że podkłady z miękkich gatunków drzewa psują się w szabrze wskutek wrzynania się w drzewo ostrych kamyków. Podkłady podbite szabrem dobrze stoją, za to samo podbijanie jest trudniejsze niż podbijanie balastem drobniejszym, jako to piaskiem lub żwirkiem.

W miejscowościach obfitujących w kamień urządzają czasem balast na podstawie z warstwy kamieni, a także ogradzają go z boków ściankami z kamienia, bez zapełniania spoin, aby woda mogła swobodnie ściekać (rys. 157).

Spoistość między cząsteczkami żwiru, zwłaszcza rzeczno, jest bardzo słaba, wskutek czego żwir gorzej zachowuje podbicie niż szaber. Żwir kopalny, zwykle zmieszany z grubym piaskiem, jest bardzo dobrym materyałem na balast, o ile nie zawiera znacznej domieszki gliny, zmniejszającej jego przepuszczalność.

Rys. 157.



Piasek drobny jest materyałem nieodpowiednim na balast, ponieważ ciśnienie łatwo wypiera go z pod podkładów, oraz unosi go wiatr i woda. Unoszenie przez wiatr jest wadą ważną nie tylko ze względu na ubytek materyału, lecz również ze względu na psucie się z tego powodu taboru, grzanie się osi i t. p.

Ponieważ jednak brak lepszego materyału odczuwać się daje w znacznej czę-

ści Rosyi Europejskiej, w okolicach tych z konieczności wypada używać na balast bardzo poślednich gatunków piasku, pokrywając go w miarę możności grubszym materiałem. Na wielu drogach żelaznych rosyjskich praktykowane jest pokrywanie balastu piaskowego cienką warstwą szabru, ochraniającą piasek od wiatru i rozmycia. Ustrój ten przedstawia pewne niedogodności pod tym względem, że przy podbijaniu podkładów należy za każdym razem zdejmować wierzchnią warstwę szabru, który przy tej robocie miesza się z piaskiem dolnej warstwy balastu.

Szaber na balast otrzymuje się przez tłuczenie ręczne lub maszynowe grubszego kamienia polnego lub otrzymywanego z kamieniołomów. Maszyny do tłuczenia kamienia stosowane są w krajach, gdzie praca ręczna jest bardzo kosztowną.

Do wydobywania piasku rzeczno-gruntowego stosują się niekiedy podnośnice szuflowe. U nas jednakże żwir dobywany jest prawie wyłącznie sposobem ręcznym, przeważnie z kopalń położonych w bliskości linii kolejowej, dokąd przeprowadza się tory, po których żwir wywozi się pociągami.

Jeżeli za balast, w braku lepszego, ma służyć zwykły piasek gruboziarnisty, to często można go otrzymać przy robotach ziemnych z ukopów, tuż przy linii położonych. W wykopach piaszczystych pozostawiają w takich razach niewybraną warstwę, odpowiadającą grubości dolnego balastu do poziomu spodu podkładów, przyczem dla nadania tej warstwie większej przepuszczalności wzrusza się ją łopatami.

3. Sprężystość balastu.

W rozdziale IV-tym omówiono wpływ, jaki posiada sztywność toru na zmniejszenie pracy części składowych budowy wierzchniej oraz na wielkość obciążenia dynamicznego. Wobec tego zachodzi pytanie, jaką rolę odgrywa pod tym względem balast i o ile należy oddawać pierwszeństwo temu lub innemu rodzajowi balastu, zależnie od jego sprężystości.

Jeżeli przypuścimy, że na balast zastosowano materiał bezwzględnie sztywny, to oczywiście sprężystość toru będzie w tym przypadku pozostawać w wyłącznej zależności od sprężystości torowiska, która będzie ciągle się zmieniać, zależnie od rodzaju budowy spodniej i od właściwości gruntu. Z tego względu i dla uniknięcia nagłych zmian sprężystości toru, które musiałyby wpływać szkodliwie na spokój jazdy, balast nie powinien być bezwzględnie sztywnym, lecz winien posiadać pewną sprężystość, która, pozostając stałą, osłabiałaby wpływ niejednostajnego osiadania torowiska.

Sprawa ta jednakże posiada znaczenie teoretyczne tylko, ponieważ materiały stosowane na balast posiadają wogóle dość znaczną sprężystość, co do której dane przytoczono powyżej. W granicach zaś, w których sprężystość balastu się zmienia, nie może ona służyć za podstawę do oceny jego dobroci. Jakkolwiek możliwie większa i jednostajna sztywność toru jest pożądaną, jednakże inne powyżej wymienione własności dobrego balastu należy uznać za ważniejsze od drobnych różnic w jego sprężystości, bowiem od przepuszczalności, należytej odporności na wpływy atmosferyczne i mechaniczne oraz od znacznego tarcia między czę-

steczkami balastu zależy głównie zmniejszenie odkształceń *stałych* toru, od których zawisły jego stałość i wytrzymałość, a więc i wydatki na naprawę.

4. Przekrój poprzeczny warstwy balastu.

Wymiary warstwy balastu w przekroju poprzecznym winny przedewszystkiem czynić zadość warunkowi, aby ciśnienie na torowisko było o ile można jak najjednostajniej rozłożone w celu zmniejszenia wielkości tegoż ciśnienia. Z tego względu grubość warstwy balastu pod spodem podkładów powinna odpowiadać odległości między nimi oraz własnościom gruntu.

Rys. 158.



Rys. 159.



Wskutek niejednostajnego ciśnienia balastu na torowisko, w tem ostatniem tworzą się w miejscach największego nacisku nieckowate wgłębienia (rys. 158 i 159), które pociągają za sobą zastawanie się wody i wszystkie niepożądane stąd skutki. Według spostrzeżeń Schubert'a torowisko przestaje podlegać jakimkolwiek odkształceniom nawet w razie najgorszego gruntu, gdy grubość balastu pod podkładem równa się odległości w świetle między sąsiednimi podkładami, powiększonej o 20 *cm*. Zgodnie z tem prawidłem, gdy odległość między osiami podkładów wynosi 85 *cm*, a szerokość każdego z nich równa się 25 *cm*, to grubość warstwy balastu pod podkładem ma być: $85 - 25 + 20 = 80$ *cm*. Usypanie warstwy balastu o tak znacznej grubości kosztowałoby jednak bardzo drogo i w rzeczywistości nigdzie się nie praktykuje. Należy zaznaczyć, że wspomniane spostrzeżenia dokonywane były w warunkach wyjątkowo nieprzyjaznych.

Według innych spostrzeżeń tegoż Schubert'a, już gdy grubość warstwy balastu wynosiła 35 *cm*, znajdująca się pod nim warstwa miękkiej gliny garncarskiej pozostawała prawie zupełnie poziomą, a w każdym razie ściśnięcie gliny pod naciskiem balastu występowało na szerokości nie mniejszej niż 35 *cm*, licząc w każdą stronę od osi podkładu. Na zasadzie swych spostrzeżeń Schubert wyprowadza wniosek, że przy odległości pomiędzy podkładami 95 do 75 *cm*, licząc oś od osi, grubość warstwy balastu powinna w każdym razie wynosić nie mniej jak 40 do 30 *cm*, zaś przy odległości 75 do 55 *cm* nie mniej jak 30 do 20 *cm*. Jakkolwiek warstwa balastu takiej grubości nie może oczywiście zabezpieczyć torowisko od przemarzania i odkształceń, które ono powoduje, to jednak można uznać na zasadzie praktyki, że przytoczone normy dostatecznie zapewniają w zwykłych warunkach jednostajny rozkład ciśnienia na torowisko.

Według warunków technicznych budowy dróg żelaznych magistralnych w Rosyi całkowita grubość warstwy balastu w miejscu, gdzie przechodzi szyna, winna wynosić co najmniej 0,25 saż. (0,53 *m*) w wykopach suchych i na nasypach o wysokości nie większej jak 1 saż. (2,13 *m*), jeżeli grunt jest piaszczysty (patrz rys. 163); w mokrych zaś wykopach oraz na nasypach wyższych niż 1 saż. grubość ta winna wynosić co najmniej 0,27 saż. (0,58 *m*). W torach stacyjnych

i na międzytorzu grubość warstwy balastu może być zmniejszona do 0,23 saż. (0,49 m). Jeżeli przyjmiemy, że grubość podkładów równa się 15 cm., to odpowiednie normy grubości warstwy balastu pod podkładem będą:

- a) w warunkach zwykłych 38 cm
- b) w wykopach mokrych i na nasypach wysokich 43 cm.
- c) w torach stacyjnych 34 cm.

Jeżeli balast jest ze żwiru lub drobnego szabru, to powyższe grubości warstwy balastu mogą być zmniejszone o 0,05 saż. (10,5 cm). Na budujących się drogach żelaznych pozwala się, aby grubość warstwy balastu w pierwszych latach po ukończeniu budowy była o 0,07 saż. (15 cm) mniejsza niż powyżej wskazana z warunkiem, że grubość ta będzie uzupełniona podczas eksploatacji. Normy powyższe zostały wprowadzone dopiero w ostatnich czasach, na większości zaś istniejących dróg żelaznych w Państwie Rosyjskiem grubość warstwy balastu jest wogóle mniejsza i wynosi pod podkładem około 0,08 saż. (17 cm).

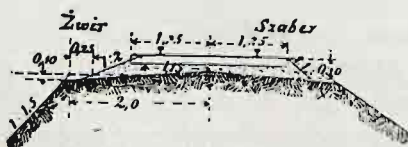
Na kolejach dojazdowych w Rosyi (patrz rys. 164) grubość warstwy balastu winna wynosić pod podkładem 0,06 do 0,10 saż. (13 do 21 cm).

Na drogach żelaznych zagranicznych najmniejsza grubość warstwy balastu pod podkładami przyjmuje się zwykle 20 cm. Należy zaznaczyć, że materiał, który się na tych drogach na balast stosuje, jest znacznie lepszy niż na drogach żelaznych w Rosyi.

Podobnie do tego, jak grubość warstwy balastu winna być określona zależnie od odległości pomiędzy podkładami dla osiągnięcia równomiernego ciśnienia na torowisko, również i szerokość tej warstwy winna odpowiadać ich długości. Na zasadzie spostrzeżeń Schubert'a można przyjąć, że pryzma balastu, przenosząca nacisk podkładu na torowisko, jest ograniczona stokami, których stromość jest nieco większa niż 1:1. Ponieważ pochylenie stoków balastu przyjmuje się zwykle 1:1½ lub 1:2, przeto zwiększenie szerokości warstwy balastu u góry po nad długość podkładów nie ma żadnego wpływu przy przenoszeniu ich nacisku na torowisko.

W praktyce na liniach magistralnych przyjęto zasypywać sztorce podkładów materiałem podtorza na szerokość 0,2 do 0,4 m. Zasypywanie to nie jest jednakże niezbędne dla stałości toru, gdyż nie ono, lecz tarcie podkładów o balast zabezpiecza tor od przesunięć bocznych. Tarcie to jest o wiele razy większe od oporu małej pryzmy balastu, o którą opierają się sztorce podkładów i która ma znaczenie jako warstwa, ochraniająca torowisko od przemarzania, a podkłady od pękania.

Rys. 160.



Rys. 161.



Wymiary w metrach.

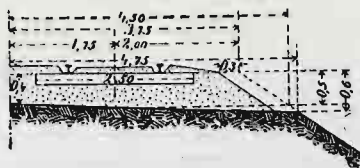
Na kolejach drugorzędnych w Prusach szerokość warstwy balastu po górze bywa równą lub nawet cokolwiek mniejszą od długości podkładów (rys. 160), w Ameryce zaś na wielu kolejach szerokość warstwy balastu osiąga długości podkładów zaledwie tylko na poziomie ich spodu (rys. 161).

Zasypanie balastem przestrzeni pomiędzy podkładami do ich wierzchu znacznie zwiększa stałość toru, ponieważ przeciwdziała uciekaniu szyn oraz podno-

szeniu się podkładów. W celu przeciwdziałania uciekaniu szyn, łączy się je z podkładami za pomocą urządzeń, o których będzie mowa poniżej. Tym sposobem podłużnemu przesuwaniu się szyn opiera się cała masa balastu, zawartego pomiędzy podkładami. Tarcie boków podkładów o balast oraz ich ciężar przeciwdziałają podnoszeniu podkładów przez szyny przy zbliżaniu się taboru. Ruchy pionowe podkładów psują ich podbicie i rozdrabniają balast, ważnem jest więc przeciwdziałać tym ruchom nie tylko ze względu na spokojną jazdę, lecz również dla zmniejszenia kosztów utrzymania toru.

Na wielu drogach żelaznych zagranicznych praktykuje się sypanie balastu powyżej wierzchu podkładów (Rys. 162), w celu ochrony ich o ile można od

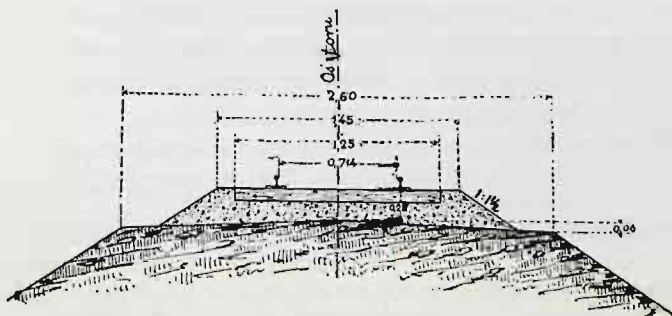
Rys. 162.



Wymiary w metrach.

Rys. 163.

Normalny przekrój poprzeczny warstwy balastu dla linii magistralnych.

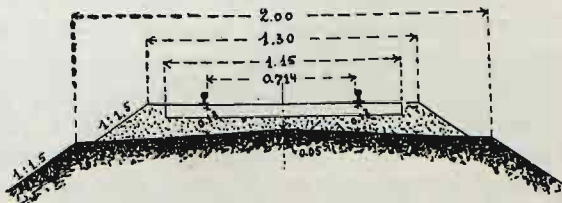


Wymiary w sażnach.

zmian temperatury i od wilgoci. Celowość podobnego zabezpieczenia podkładów nie jest dostatecznie stwierdzona, zaś pokrywanie podkładów balastem utrudnia oględziny złączy szynowych. Jednakże nie ulega wątpliwości, że taki ustrój zwiększa stałość podkładów, a więc w typach budowy wierzchniej o szynach dwugłowych, ułożonych na wysokich siodelkach i wznoszących się dostatecznie wysoko nad balastem, który w ten sposób nie przeszkadza dobijaniu klinów, pokrycie podkładów balastem może okazać się pożytecznem.

Rys. 164.

Normalny przekrój poprzeczny warstwy balastu dla linii drugorzędnych i kolei dojazdowych.



Wymiary w sażnach.

Normalne przekroje poprzeczne warstwy balastu, stosowane na drogach żelaznych w Państwie Rosyjskiem, uwidocznione są na rysunkach 163 i 164.

ROZDZIAŁ VIII.

Podkłady.

1. Podkłady drewniane. Ich wymiary i obróbka.

Długość podkładów jest zależną od szerokości toru, od ciśnienia podkładu na balast i od jego odkształcenia przy wygięciu pod naciskiem kół. Teoria wykazuje (p. str. 216), że przy normalnej szerokości toru, dla uniknięcia odkształcenia tegoż, długość podkładów winna wynosić około 2,7 m. Spostrzeżenia i długoletnia praktyka kolejowa stwierdziły, że wymiar ten jest odpowiedni. W Anglii od samego początku budowy dróg żelaznych parowozowych przyjęto długość podkładów na 9' (2,74 m). Na innych kolejach zagranicznych oraz w Rosyi długość podkładów wynosiła do ostatnich czasów przeważnie około 8' (2,44 m.)

Podkłady krótkie, w celu uniknięcia niestalego położenia oraz większego osiadania na końcach niż po środku, wypada podbijać nierównomiernie, a mianowicie na końcach i pod szyną mocniej, niż po środku. Z tego powodu największe ciśnienie na balast otrzymuje się przy krótkich podkładach znacznie większe niż przy długich, co jest przyczyną częstego osiadania toru.

W Rosyi długość podkładów w torach głównych linii magistralnych winna wynosić obecnie 1,25 saż. (2,67 m), zaś podkłady długości 1,15 saż. (2,44 m) mogą być stosowane tylko na liniach drugorzędnych oraz w torach stacyjnych linii magistralnych.

Na kolejach dojazdowych wąskotorowych długość podkładów określa się warunkiem, aby odległość pomiędzy krawędzią zewnętrzną podstawy szyny i końcem podkładu wynosiła nie mniej jak 0,15 saż. (32 cm).

Wymiary poprzecznego przekroju podkładu winny być takie, ażeby: a) ciśnienie jego na balast nie przekraczało pewnych granic, przy których zachowaniu należyta stateczność toru i trwałość podbicia podkładu, w zależności od gatunku balastu, byłyby zapewnione; b) nacisk szyny na podkład nie wywoływał zgniecenia drzewa, w razie zaś ułożenia szyn na podkładkach lub siodełkach, aby szerokość podkładu po wierzchu była dostateczną do ich pomieszczenia; c) sztywność podkładu była o tyle dostateczną, aby nie pozwalała na zbyt jego wygięcie pod wpływem obciążenia i aby rozkład ciśnienia na balast nie był zbyt nierównomierny.

a) Na liniach kolejowych magistralnych rosyjskich i zagranicznych *szerokość dolnej podstawy podkładów* wynosi od 22 do 28 cm. Szersze podkłady kosztowałyby zbyt drogo i podbijanie ich byłoby utrudnione.

Według warunków technicznych budowy dróg żelaznych magistralnych w Rosyi ciśnienie podkładu na balast, obliczone w przypuszczeniu, że podkład przyjmuje całkowity nacisk statyczny osi nad nim położonej i przenosi go na balast równomiernie całą swą dolną podstawą, nie powinno przekraczać jednego puda na cal kwadr. (2,54 kg/cm²) ¹⁾.

¹⁾ Dla większości typów budowy wierzchniej dróg żelaznych w Rosyi $\gamma = 1,5$ do 3, a więc nacisk szyny (patrz rys. 146) wynosi około 0,55 nacisku koła. Jeżeli przyjmiemy według Ast'a,