

2) Mierzy się strzałkę f łuku o promieniu R i długości 24 m , przeciągając sznur pomiędzy przeciwległymi końcami dwóch szyn, stykających się z 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 promieniu r , długości 2 szyn, była o $\frac{1}{20}$ większa od f .

Znaczenie *zaokrągleń przekroju podłużnego linii* w punktach złamania było szczegółowo wyjaśnione przy rozpatrywaniu warunków technicznych projektowaniu linii kolejowej. Jeżeli oznaczmy (rys. 159) przez:

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

R promień zaokrąglenia,

f odległość zaokrąglenia od wierzchołka kąta załamania przekroju,

l styczną zaokrąglenia,

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

$$f = \frac{l^2}{2R} = \frac{R}{8} (i \pm i')^2. \quad (122)$$

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

$$l = \frac{R}{2} (i \pm i') \quad (123)$$

Jak widzimy z rys. 159, we wzorach (122) i (123) pochylenia i i i' należy dodawać, gdy są skierowane w odwrotne strony (rys. 159 *a* i *b*), i odejmować gdy są skierowane w jedną i tę samą stronę (rys. 159 *c* i *d*).

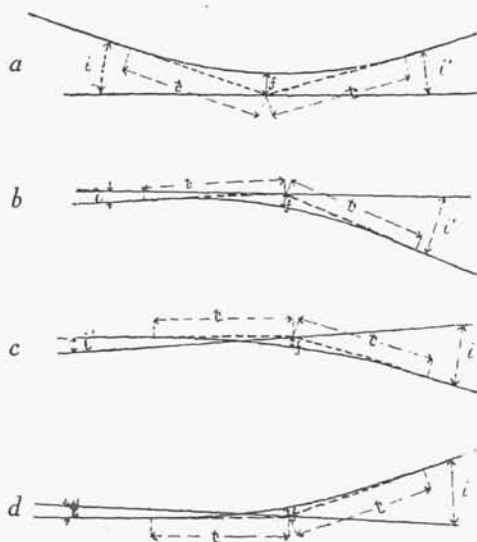
Przepisy o krzywych przejściowych i zaokrągleniu załomów przekroju podłużnego, obowiązujące na polskich drogach żelaznych, podano w p. 1 i 2 rozdz. V na str. 198 i 200.

ROZDZIAŁ IV.

Sprężystość budowy wierzchniej.

1. Sprężystość podparcia szyny; jej wpływ na pracę szyny. Przyrządy do badania sprężystych odkształceń toru. Badania fotograficzne na dr. żel. Warszawsko-Wiedeńskiej.

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



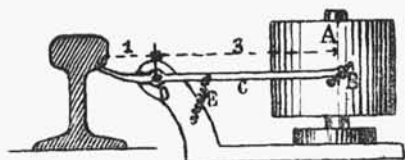
Rys. 159.

łać zmiany w szerokości toru lub w powierzchni toczenia się koła, albo też nadwyrężyć 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, dlatego 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, po jego zaś przejściu powracają do położenia pierwotnego. O ile tor znajduje się w porządku i podkłady są dobrze podbite, to jest leżą mocno w podsypce, zjawisko to pochodzi oczywiście ze sprężystości podłoża, na którym 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 mas, będących w ruchu.



Rys. 160.

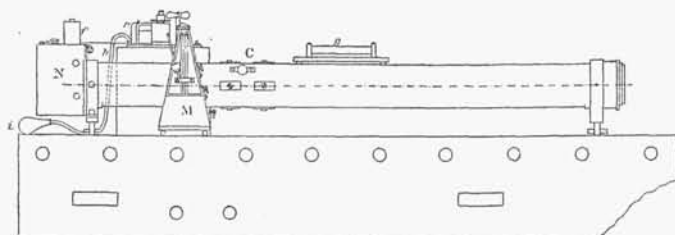
Zmiany w wysokościach podpór belki ciągłej tem silniej wpływają na naprężenia w niej, im są większe w stosunku do rozpiętości przęseł. Spostrzeżenia wykazały, że sprężyste osiadanie podkładów wynosi 3 do 5 mm, odległość zaś pomiędzy podkładami wynosi zwykle 75 do 85 cm.

Cyfry te najlepiej świadczą, jak zasadniczo różnią się warunki pracy szyny od warunków pracy innych belek 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, osiadanie podpór szyn pod ciśnieniem pochodzi wskutek sprężystego ściskania podsypki 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 przebiegu 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. 160), 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

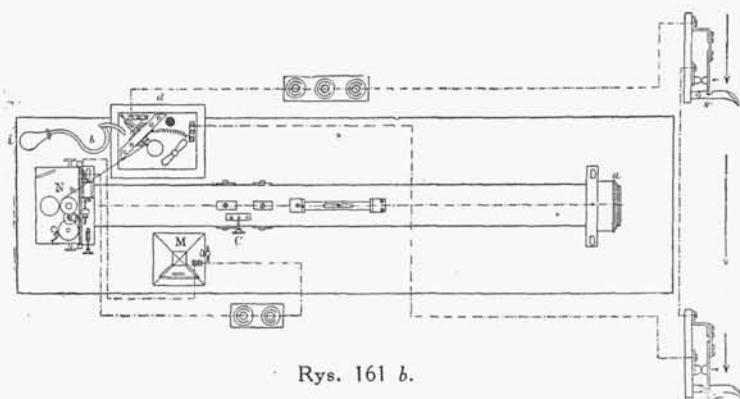
jest zaopatrzone w ołówek *B*, który kreśli wykres wahań w zwiększonej podziałce na walcu *A*. W walcu tym umieszczony jest mechanizm, który go wprowadza w ruch obrotowy. Walec i oś, około której obraca się dźwignia, są przymocowane do palika wbitego w balast. Oczywiście, że przy takim ustroju przyrządu daje on wykres tylko przesunięć względnych obserwowanego punktu w stosunku do palika, który wskutek uginania się gruntu nie pozostaje nieruchomym.



Rys. 161 a.

Prócz tego, przyrząd ten, wskutek bezwładności dźwigni, sprężynowego połączenia *E*, ruchów traconych i t. p., może wskazywać zupełnie niezgodnie z rzeczywistością przesunięciami obserwowanego punktu.

W celu osiągnięcia dokładniejszych wyników stosowano przyrządy o przewodach pneumatycznych i hydraulicznych. Zasadniczą częścią takich przyrządów jest długa rurka, zakryta z obu końców błonkami, z których jedna odbiera wahania danego punktu, druga zaś, powtarzając je, kreśli ich wykres zapomocą igielki, 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.

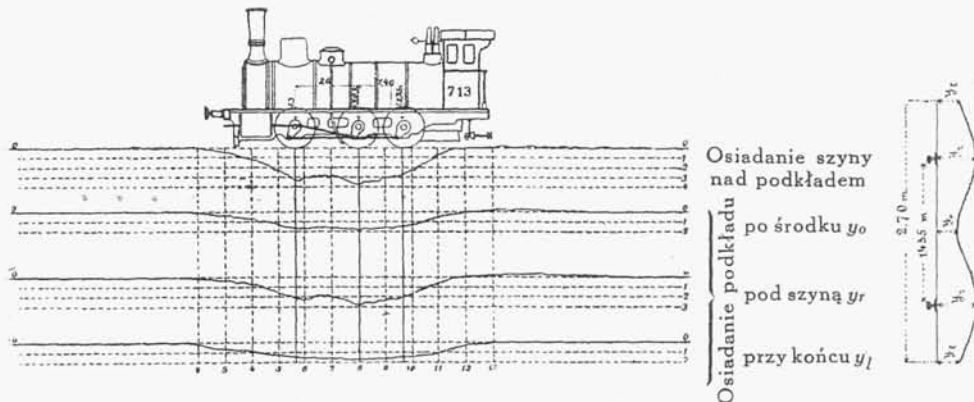


Rys. 161 b.

Rys. 161c.

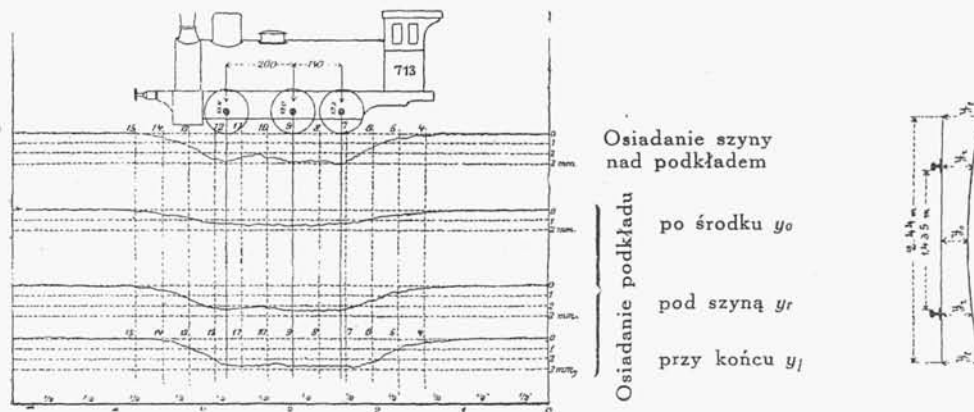
Na austriackiej dr. żel. Północnej zastosowano do tego rodzaju spostrzeżeń fotografie, używając zwyczajnej ciemni fotograficznej. Sposób ten, udoskonalony następnie przez inż. *Wasiutyńskiego*, zastosowany został do spostrzeżeń na dr. żel. Warszawsko-Wiedeńskiej. Przyrząd dr. żel. Warszawsko-Wiedeńskiej składa się z ciemni fotograficznej całkowicie metalowej (rys. 161 a, b) w postaci rury mosiężnej *ab* ze skrzynką *N*, w której błona czuła na światło przesuwa się przy

Jeżeli przy torze zapiścimy w ziemię rurę i, usunąwszy z niej ziemię, wbijemy w dno utworzonej w ten sposób studzienki drążek, to zauważymy, że przy przejściu pociągu drążek ten opuszcza się, idąc za ruchem gruntu, który ściska się pod działaniem obciążenia. Ruchy drążka są tem mniejsze, im studzienka jest głębsza (rys. 165).



Rys. 163.

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



Rys. 164.

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 powyższem możemy przyjąć w granicach sprężystości:

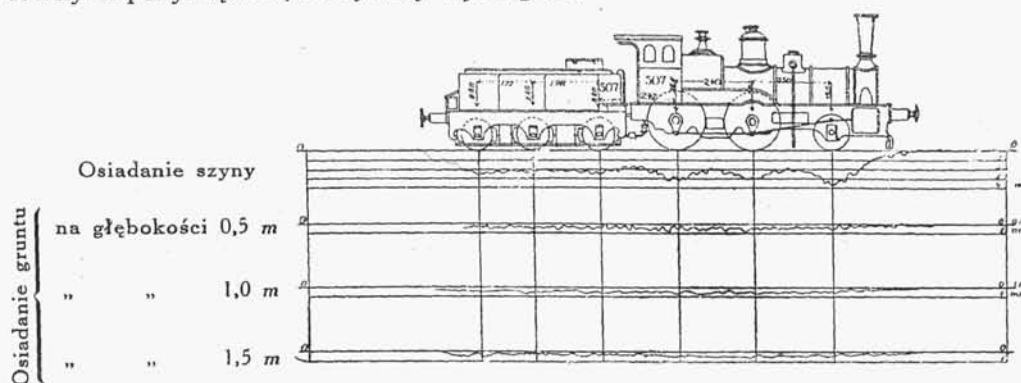
$$p = Cy \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (124)$$

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/cm^2 , 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 osiadanie pod nim podkładów w charakterystycznych punktach ich wygięcia: po środku, pod szyną i przy końcach, a więc jeżeli wiadome jest średnie osiadanie y każdego podkładu, to, znając płaszczyznę podstawy podkładu ω , można określić współczynnik C z równania:

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

Obserwowanie wszystkich podkładów, osiadających jednocześnie pod obciążeniem, sprawiłoby zbyt wielkie trudności ze względu na dużą ilość kosztownych przyrządów, którychby wymagało.



Rys. 165.

Jednakże osiadanie toru rozciąga się na odległość nie większą jak 2 m do 2,5 m od punktu obciążenia, t. j. od skrajnych osi taboru, ogólny zaś rozstaw osi jednostki taboru, użytej do obserwacji, np. trzyosiowego parowozu, może być ograniczony do 3 m lub 3,5 m. Jeżeli więc szyny są dość długie (12 m do 15 m), podkłady zaś jednakowych wymiarów, jednakowo podbite i rozstawione w równych odległościach na jednostajnym podłożu, to szyna, w środkowej swojej części, może być rozpatrywana jako belka nieskończenie długa, spoczywająca na jednakowo rozstawionych i jednakowo sprężystych podporach.

Wykres osiadania każdej z tych podpór pod obciążeniem ruchomem będzie oczywiście jednakowy.

W tych warunkach obserwacje, niezbędne do określenia współczynnika podłoża, mogą być znacznie uproszczone. Zamiast bowiem określać pod obciążeniem w spoczynku osiadanie wszystkich podkładów, które mu podlegają, można zdjąć wykres osiadania jednego podkładu (rys. 163 i 164) przy przesuwaniu

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

waniu obciążenia o tyle powolnem, aby nie zachodziła obawa jego zwiększenia dynamicznego. Rozpatrując ten wykres, jako wykres jednoczesnego osiadania podkładów przy pewnem położeniu obciążenia, można określić na nim położenie obciążenia oraz położenie podkładów.

Podziałka pozioma wykresu może być dokładnie oznaczona, jeżeli będą założone w torze, w wiadomem od siebie oddaleniu, dwa przyciski elektryczne s, s' (rys. 161b), któreby znaczyły na czulej błonie fotograficznej moment przejścia nad nimi przedniego koła, lub też prościej, porównywając na wykresie odległość między osiami taboru (miejscami największego osiadania podkładu).

Na podstawie tego rodzaju spostrzeżeń i obliczeń określili po raz pierwszy w r. 1887 i 1888 współczynnik podłoża ze szczególną dokładnością *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 podsypki i gruntu. *Zimmermann* przyjmuje przeciętnie

dla podsypki ze żwiru $C = 3$
 " " " " na warstwie narzutu kamiennego . . $C = 8$

Na drogach rosyjskich robił podobnego rodzaju spostrzeżenia 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. Na dr. żel. Warszawsko-Wiedeńskiej inż. *Wasiutyński* określał, oprócz osiadania podkładów, także osiadanie torowiska pod podstawą podsypki (rys. 165), co dało możliwość określenia ściśliwości warstwy podsypki niezależnie od ściśliwości torowiska. Przy grubości warstwy podsypki 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 podsypkę wynosi $p \text{ kg/cm}^2$, to można przyjąć, że przeciętne ciśnienie podsypki na torowisko wynosi $\frac{p}{n}$, gdzie $n = \frac{a}{b}$ wyraża stosunek odległości pomiędzy osiami podkładów do szerokości podstawy podkładu.

Dane te dają możliwość określenia *współczynnika podsypki* 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 podsypki na jednostkę kwadratową torowiska do osiadania tegoż torowiska, to pomiędzy współczynnikami C, K i N istnieć będzie zależność, wynikająca ze zrównania osiadania na jednostkę obciążenia p :

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

i jeżeli C i N będą określone z wykresów, podobnych do uwidocznionych na rys. 164 i 165, to z równania (126):

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

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:

w przypadku podsypki z piasku ze żwirem . . . $C = 5,4$
 „ „ „ z szabru granitowego. . . $C = 4,1$

W zależności od tego współczynnik podsypki wypadł przeciętnie:

dla piasku gruboziarnistego ze żwirem . . . $K = 8,1$
 „ szabru granitowego $K = 5,5$

Te ostatnie wielkości są jednocześnie krańcowymi wartościami współczynników podłoża przy wymienionych rodzajach podsypki.

Przytoczone wyniki spostrzeżeń wskazują, jak silny wpływ na wielkość współczynnika podłoża wywierają własności gruntów naturalnego i nasypowego, znajdujących się pod warstwą podsypki. Jeżeli grubość tej warstwy nie jest dostateczna, to torowisko ugina się jeszcze bardziej wskutek tego, że ciśnienie podsypki nie jest rozłożone równomiernie.

Wobec wszystkich przytoczonych przyczyn, współczynnik podłoża, niezbędny do obliczeń, dotyczących budowy wierzchniej, należy w zwykłych warunkach przyjmować nie większy jak 3 lub 4.

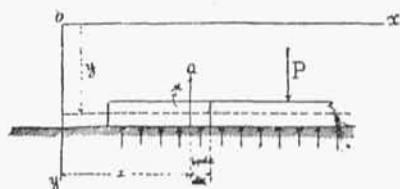
Co się tyczy innych materiałów, wchodzących w skład budowy wierzchniej, to współczynnik sprężystości stali szynowej wynosi według doświadczeń *Bach'a* 2200 t/cm², współczynnik zaś sprężystości drzewa sosnowego i dębowego przy gięciu wynosi według doświadczeń *Bauschinger'a* 100 do 108 t/cm².

ROZDZIAŁ V.

Zasady obliczania naprężeń i odkształceń budowy wierzchniej.

1. Równanie różniczkowe belki na ciągłym podłożu sprężystym. Belka nieskończenie długa obciążona ciężarem pojedynczym. Przypadek unoszenia się belki nad podłożem. Belka długości skończonej obciążona dwoma ciężarami w równych odległościach względem środka. Osiadanie podkładu kolejowego. Nacisk szyny w najprostszych przypadkach jej obciążenia.

Rozpatrując belkę o szerokości b (rys. 166), leżącą na ciągłym podłożu sprężystym i podlegającą obciążeniu pionowemu, które przechodzi przez jej oś



Rys. 166.

oś obojętną, oznaczmy przez Q siłę ścinającą w przekroju belki, znajdującym się w odległości x od początku współrzędnych, i przez M moment sił zewnętrznych względem tegoż przekroju. Jeżeli przez Q będziemy rozumieć sumę wszystkich sił pionowych, działających na belkę z tej strony przekroju, po której znajduje się początek współrzędnych, i przypuścimy, że