

g. Wpływ temperatury.

Lampa łukowa, oświetlająca wsporniczki lusterek, przymocowanych do szyny dla pomiaru naprężeń w niej ze zmiany odległości między lusterkami, podnosi niejednakowo przez czas obserwacji temperaturę tych wsporniczków a szyny ze względu na wielką różnicę ich masy.

Błąd w obliczeniu naprężenia n wyniesie na każdy stopień zmiany różnicy temperatury wsporniczków i szyny podczas zdjęcia $\Delta n = \alpha E$.

α współczynnik rozszerzalności materiału wsporniczków, E współczynnik sprężystości stali.

Przyjmując $\alpha = 0,000022$ (dla aluminium) i $E = 22\,000$ kg/mm² otrzymuje się $\Delta n = 0,484$ kg/mm².

Jakkolwiek trwanie zdjęcia nie przewyższało zwykle dwóch sekund, zdjęcie zaś lusterek w spoczynku starano się robić jak najkrócej przedtem, to jednak nie jest wyłączone, że zmiana temperatury wsporniczków w tym czasie mogła dochodzić do paru stopni, powodując błąd w naprężeniu dochodzący do jednego kilograma na mm².

Dla zmniejszenia wpływu temperatury próbowano przepuszczać światło lamp łukowych przez filtry wodne, co jednak rzadko dało się stosować ze względu na znaczne obniżenie siły światła.

II. Współczynnik podłoża.

1. Ważność badań nad współczynnikiem podłoża.

Badania odkształceń sprężystych szyny w celu określenia jej wytrzymałości mogą być skierowane bądź do bezpośredniego pomiaru naprężeń ze zmian długości włókien, bądź do uzyskania danych do teoretycznego określenia naprężeń w zależności od odkształceń szyny i jej podparcia, pozwalających wnioskować o siłach na nią działających. Jedno i drugie staje się w danym celu niezbędne z uwagi, że obciążenie toru, działające dynamicznie, nie jest z góry wiadome.

Podstawą obliczenia naprężeń w szynie pod obciążeniem statycznym musi być znajomość współczynników sprężystości materiałów nawierzchni, z których najmniej znany jest współczynnik C podłoża podkładów. Od tego współczynnika, wyrażającego stosunek nacisku p podstawy podkładu na podsypkę do osiadania y podkładu

$$C = \frac{p \text{ kg/cm}^2}{y \text{ cm}} \quad (1)$$

zależy głównie sprężystość podpór szyny, a więc również jej odkształcenia pod obciążeniem.

Z obserwacji na dr. żel. Warszawsko-Wiedeńskiej na starym nasypie piaszczysto-gliniastym wysokości 1,5 m otrzymano współczynnik podłoża: w przypadku podsypki z tłucznia $C = 4,1$ i w przypadku podsypki piaszczysto-żwirowej $C = 5,4$.

H. Zimmermann w dziele o obliczaniu nawierzchni¹⁾ opiera się na obserwacjach Haentschel'a na dr. żel. Alzacko-Lotaryńskich²⁾, według których otrzymano współczynniki podłoża średnio: w przypadku podsypki ze żwiru $C = 3$, w przypadku zaś podsypki ze żwiru na narzucie kamiennym $C = 8$, i udowadnia bardzo znaczny wpływ współczynnika podłoża na naprężenia w szynach. Z drugiej strony, jak widać ze sprawozdania P. P. Baumanna i Jaehna na Kongresie dróg żelaznych r. 1933 w Kairze, inżynierowie niemieccy są różnego zdania co do wpływu współczynnika podłoża na naprężenia obliczone w szynach, gdyż ze wzrostem tego współczynnika naprężenia maleją. Według metody obliczeń, poleconej w r. 1930 przez Związek zarządów dróg niemieckich, wpływ podsypki

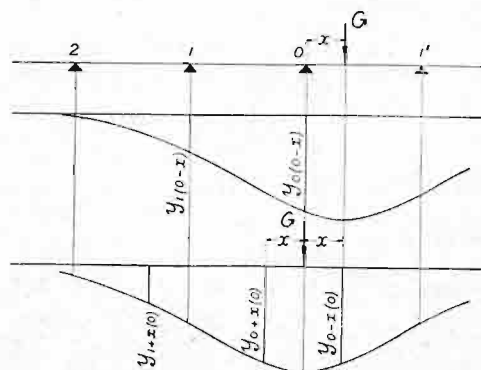
¹⁾ Berechnung des Eisenbahnoberbaues. 1888 i 1930, str. 119 i 219.

²⁾ Organ 1889, str. 141.

i podtorza nie jest brany w rachubę. Związek przedsięwziął doświadczenia w celu określenia wartości współczynnika podłoża różnego rodzaju. O ile wiadomo, według tych doświadczeń, które w owym czasie nie były jeszcze ukończone, wartość współczynnika podłoża była otrzymana w ogóle znacznie większa, niż to przyjmował Zimmermann. Te rozbieżności niezbędnym było wyjaśnić.

2. Zasady obliczenia współczynnika D podparcia szyny ze spostrzeżeń przy obciążeniu ruchomym.

W opisywanych obserwacjach współczynnik podłoża określano z osiadania przy przejściu pociągów oddzielnych punktów szyny nad podkładami i ze ściśniętości podkładów. Dla wyjaśnienia, w jaki sposób wykres osiadania obserwowanego punktu szyny nad podporą może posłużyć do określenia współczynnika podparcia szyny, będziemy rozpatrywać szynę jako belkę nieskończenie długą na podporach sprężystych, położonych



Rys. 15. Schemat osiadania punktu belki nieskończenie długiej na równoodległych podporach sprężystych przy przejściu po niej ciężaru pojedynczego.

w jednakowej odległości a jedna od drugiej, obciążając ją na początek pojedynczym ciężarem G .

Na zasadzie wzajemności rzędne odkształconej takiej belki w dwóch stanach jej równowagi: y_x w odległości x od podpory, gdy ciężar G znajduje się nad podporą i , i y_i nad podporą i , gdy ten sam ciężar znajduje się w odległości x od niej, są sobie równe. Wynika stąd, że osiadanie sprężyste dowolnego punktu szyny przy przesuwaniu po niej ciężaru G idzie śladem odkształconej w momencie znajdowania się ciężaru nad tym punktem.

Jeżeli nadto założymy, że sprężystość podpór jest jednakowa, wobec czego odkształcona ma kształt symetryczny względem osi pionowej, przechodzącej przez punkt przyłączenia ciężaru G , to z zasady wzajemności wynika następująca własność punktów.

położonych w równej odległości od podpór.

Oznaczmy na rys. 15 osiadanie szyny nad podporą literą y ze wskaźnikiem, odpowiadającym liczbie porządkowej podpory, osiadanie zaś szyny pomiędzy podporami literą y ze wskaźnikiem najbliższej podpory prawej plus odległość przekroju szyny od tej podpory, dodając do wskaźnika w obu przypadkach w nawiasie także oznaczenie punktu przyłączenia ciężaru.

Przy takim oznaczeniu osiadania szyny możemy napisać:

$$y_{0(0-x)} = y_{0-x(0)} = y_{0+x(0)}$$

$$y_{1(0-x)} = y_{0-x(1)} = y_{1+x(0)}$$

$$y_{2(0-x)} = y_{0-x(2)} = y_{2+x(0)}$$

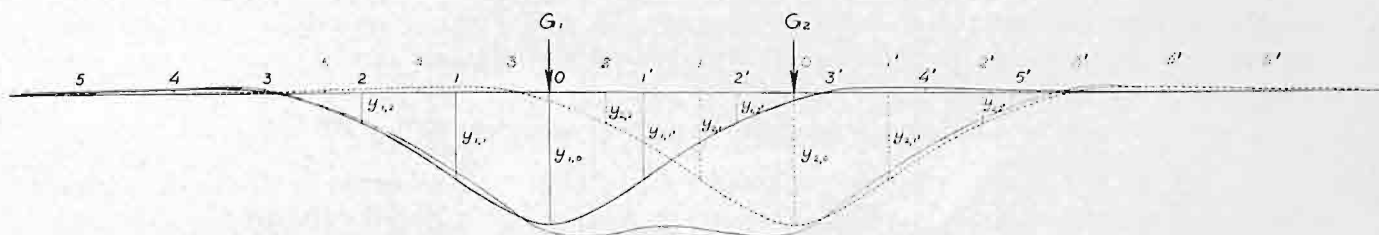
$$\text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---}$$

$$y_{i(0-x)} = y_{0-x(i)} = y_{i+x(0)}$$

stąd

$$\sum_{-\infty}^{+\infty} y_{i(0-x)} = \sum_{-\infty}^{+\infty} y_{i+x(0)}$$

Ponieważ suma osiadania wszystkich podpór, bez względu na położenie obciążenia, równa się ilorazowi tego obciążenia przez współczynnik podparcia D , więc także stałą wartość



Rys. 16. Schemat osiadania punktu belki nieskończenie długiej na równoodległych podporach sprężystych przy przejściu po niej układu ciężarów.

będzie miała suma osiadania wszystkich punktów, położonych w równej odległości od podpór:

$$\sum_{-\infty}^{+\infty} y_{i+x(0)} = \frac{G}{D} \quad (2)$$

Pole Ω zawarte pomiędzy osią belki nie odkształconej a odkształconej pod ciężarem nad jedną z podpór, będące sumą pól pomiędzy tymi osiami we wszystkich przęsłach belki, daje się wyrazić wzorem:

$$\Omega = \int_{-\infty}^{+\infty} y dx = \sum_{-\infty}^{+\infty} y_{i(0)} \int_0^a dx = \frac{Ga}{D}$$

stąd:

$$D = \frac{Ga}{\Omega} \quad (5)$$

Jeżeli belka będzie obciążona n ciężarami, to każdy ciężar będzie powodować osiadanie belki niezależnie od pozostałych (rys. 16) i osiadanie belki w każdym jej punkcie będzie przebiegało po krzywej, utworzonej przez sumowanie odkształconych od każdego ciężaru w momencie jego znajdowania się nad danym punktem, przesuniętych względem siebie na odległość równą odległości pomiędzy ciężarami. To samo będzie się odnosić do osiadania podpory. A więc i w tym przypadku można zastosować sposób obliczenia współczynnika D podobny do tego, jaki podano w przypadku obciążenia szyny pojedynczym ciężarem:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{i=-\infty}^{i=+\infty} y_{mi} = \frac{\sum_{i=1}^n G_m}{D} = \frac{\Omega_n}{a}$$

$$D = \frac{a \sum_{i=1}^n G_m}{\Omega_n} \quad (4)$$

gdzie $\sum_{i=1}^n \sum_{i=-\infty}^{i=+\infty} y_{mi}$ wyraża sumę osiadań, mierzonych osobno dla każdego ciężaru G_m w odstępach równych długości przęsła, zaś Ω_n wyraża pole wykresu osiadania pod wszystkimi ciężarami.

Opisany powyżej sposób określenia współczynnika podłoża za pomocą pomiaru pola wykresu osiadania oberwowanego punktu, nie zaś rzędnych wykresu, odpowiadają-

cych pewnemu położeniu podkładów ¹⁾. przyjęto dla uniknięcia niedokładności, mogących wynikać z rozstawienia podkładów na wykresie w stosunku do obciążenia.

3. Obliczenie średniej wartości współczynnika D .

Udział w podparciu szyny podkładów sąsiednich maleje bardzo szybko z ich odległością od podkładu pod ciężarem. Obliczenie wskazuje, że jeżeli osiadanie podkładów nie różni się zbyt znacznie, to w warunkach co do sztywności szyny i jej podparcia oraz rozstawienia podkładów, w jakich były robione spostrzeżenia, podkład pod ciężarem przyjmuje na siebie około 36% nacisku koła, dwa podkłady sąsiednie po 24%, następne zaś dwa zaledwie po 8% ²⁾. Wobec tego współczynnik podparcia szyny, określony w sposób opisany powyżej z wykresu osiadania szyny nad jednym z podkładów badanego odcinka toru, charakteryzuje sprężystość tej tylko podpory i pewnej ilości podpór sąsiednich. Niejednakowa sprężystość podpór sprawi, że odkształcona oś szyny nie będzie symetryczna względem pionowej, przechodzącej przez punkt przejścia koła; z uwagi jednak, że różnice w sprężystości podkładów następnych i poprzedzających podkład obserwowany będą się wahać w obu kierunkach, można uważać, że wartość współczynnika D , określonego według wzoru (3) będzie i w tym przypadku dostatecznie dokładnie wyrażać sprężystość podpory obserwowanej.

Wskutek nieuniknionych różnic w podbiciu podkładów osiadanie ich pod naciskiem kół toczących się po szynach nie może być jednakowe. Wobec tego dla

¹⁾ Przy opracowaniu spostrzeżeń na dr. żel. Warszawsko-Wiedeńskiej *) określano współczynnik podłoża z wykresów osiadania oddzielnych podkładów w torze, w założeniu, że każdy taki wykres wskazuje w pewnym momencie stan osiadania wszystkich innych podkładów i rozmieszczano na nim podkłady w odpowiedniej skali odległości, jak pokazano na rys. 18 e w zastosowaniu do zdjęć pod parowozem próbnym, robionych na post. dośw. Włochy. Dla uwzględnienia różnicy w osiadaniu podkładów, mnożono osiadanie γ_i każdego podkładu według wykresu przez stosunek rzeczywistego osiadania u_i tego podkładu na tonnę obciążenia do osiadania u_j na tonnę obciążenia podkładu, którego wykres był rozpatrywany, co wyraża wzór:

$$C = \frac{\sum G}{a \sum \gamma_i \frac{u_i}{u_j}} \quad (5)$$

Obliczenie współczynnika C według wzoru (5) ze zdjęć na posterunku Włochy pod obciążeniem parowozem Tp 4 (rys. 18 e) dało średnią wartość $C = 3,6$ nie różniącą się w tym pojedynczym przypadku od otrzymanej z pomiaru pól wykresów osiadania w tym samym okresie czasu wszystkich podkładów (tabl. V, zdjęcia osiadania podkładów z sierpnia 1933 r. i z czerwca 1934 r.). Jednakże sposób określenia współczynnika podłoża na danym odcinku toru z pól wykresów osiadania na tym odcinku wszystkich podkładów według wzorów (4) i (5) jest dokładniejszy, w zastosowaniu zaś do określenia współczynnika sprężystości podpór szyny w dowolnym punkcie dla porównania odkształceń zaobserwowanych z obliczonymi przy obciążeniu statycznym, znacznie prostszy, co skłoniło do wyłączonego jego zastosowania przy opracowaniu spostrzeżeń na posterunku Włochy.

²⁾ Nacisk na podkład szyny, obciążonej pojedynczym ciężarem, jest proporcjonalny do funkcji

$$\eta = e^{-\xi} (\cos \xi + \sin \xi)$$

$$\text{w której } \xi = \frac{x}{a} \sqrt{\frac{3}{2\gamma}} \quad \gamma = \frac{6EI}{a^3 D} \approx 4,5$$

E współczynnik sprężystości,

I moment bezwładności przekroju szyny,

a odległość między podkładami,

x odległość podkładu od podkładu pod ciężarem.

W danej nawierzchni $\gamma = 4,5$.

Przy $x = 0$	$\xi = 0$	$\eta = 1,000$	$\eta = 1,000$	36,2%
„ $x = a$	$\xi = 0,76$	$\eta = 0,657$	$2\eta = 1,314$	47,5%
„ $x = 2a$	$\xi = 1,51$	$\eta = 0,226$	$2\eta = 0,452$	16,3%
			2,766	100,0%

*) Note sur les déformations momentanées de la voie. Bulletin du Congrès, novembre 1898 p. 1454 i 1900 p. 2722.

TABLICA V.

Pomiary współczynnika podparcia szyny i współczynnika podłoża.

Dane dotyczące podkładu			Sierpień 1953 Podsypka granitowa						Czerwiec 1954 Podsypka bazaltowa						Wrzesień 1954 Podsypka bazaltowa											
Podkład Nr	Pole 1/2 podst. w cm ²	Wysokość podkładu h	Podkład Nr	Szyna D w t/cm	Wkręt D _w w t/cm	Nr zdjęcia	Data	Parowóz	Szybkość V w km/h	Podkład Nr	Szyna D w t/cm	Wkręt D _w w t/cm	Nr zdjęcia	Data	Parowóz	Szybkość V w km/h	Podkład Nr	Szyna D w t/cm	Wkręt D _w w t/cm	Nr zdjęcia	Data	Parowóz	Szybkość V w km/h			
5	3510	16,0	5	8,036	9,012	431	16.VIII	Os24	57,8	5	7,253	7,481	738	6.VII	Pk1	57,5	5	6,173	6,544	941	31.VIII	Ok127	55,9			
6	3485	16,6	6	9,107	10,722	430	"	Ok1	72,9	6	7,144	7,853	714	26.VI	"	55,2	6	6,600	6,895	969	4.IX	"	~20,0			
7	3510	16,7	7	9,307	—	405	8.VIII	Ok127	49,2	7	10,773	10,008	719	26.VI	Ok22	82,6	7	7,380	8,737	964	"	"	~20,0			
8	3550	16,0	8	9,745	12,901	429	16.VIII	Ok1	72,5	8	10,170	14,284	716	"	Ok127	49,6	8	9,759	13,848	967	"	"	29,0			
9	3605	16,6	9	10,414	12,959	428	11.VIII	"	56,0	9	12,278	15,156	721	27.VI	"	54,0	9	10,496	11,271	962	"	"	29,0			
10	3445	16,3	10	10,174	11,409	427	"	"	56,0	10	13,958	15,545	718	"	"	54,0	10	9,900	10,760	961	3.IX	"	19,6			
11	3510	15,5	11	12,247	—	421	"	Ok22	60,3	11	13,622	13,785	720	"	Pk1	63,0	11	8,577	8,675	959	"	"	19,5			
12	3510	16,3	12	11,454	12,958	385	2.VIII	Ok22	53,8	12	12,214	12,443	725	"	Ok127	53,5	12	8,414	—	—	954	"	19,5			
13	3578	16,0	13	10,890	13,550	397	3.VIII	"	54,9	13	9,595	12,150	747	12.VII	"	59,6	13	8,473	9,207	952	"	"	17,6			
14	3510	15,3	14	10,135	12,009	365	27.VII	P31	54,3	14	9,025	9,873	733	5.VII	"	43,3	14	9,220	—	—	957	"	17,6			
15	3510	15,5	15	10,639	11,892	426	11.VIII	Ok1	50,8	15	7,909	8,435	727	28.VI	"	53,8	15	9,105	10,877	951	4.IX	"	25,2			
16	3510	15,3	16	9,332	9,765	425	11.VIII	"	50,6	16	7,745	8,081	730	5.VII	"	43,3	16	8,300	8,892	946	"	"	25,2			
17	3510	15,7	17	9,504	11,946	444	17.VIII	Ok22	67,5	17	10,146	10,742	729	28.VI	Pk1	62,7	17	9,383	11,534	949	"	"	26,8			
18	3510	14,5	18	9,686	—	424	11.VIII	Ok127	59,8	18	9,243	11,554	726	"	Pk1	62,7	18	9,950	11,716	944	"	"	26,8			
średnio			10,052			11,736			średnio			10,020			11,095			średnio			8,695			9,896		
			D'			D' _w						D'			D' _w						D'			D' _w		
			10,962			11,736						10,924			11,095						9,568			9,896		
			C=3,51			C=3,75						C=3,50			C=3,55						C=3,00			C=5,17		

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{D'} + \frac{1}{D''}$$

$$\text{stad } D' = \frac{D}{1 - \frac{D}{D''}}$$

$$D' = \frac{D}{1 - 0,00826 D}$$

$$C = \frac{D'}{a \cdot w}$$

$$a \cdot w = 0,89 \cdot 5510 = 3124$$

*) podkładka

*) śruba
**) sworzeń

określenia średniej wartości współczynnika podparcia szyny na całym badanym odcinku toru należało otrzymać wykresy osiadania na nim wszystkich podkładów. Wykresy takie były zrobione, jednakże w obliczeniu średniej wartości współczynnika podparcia szyny pominięto po 4 podkłady w każdym końcu szyny, to jest uwzględniono tylko podkłady 5 do 18. Osiadanie szyny rozpoczynało się według spotrzeżeń nie wcześniej niż na 2 m przed kołem, można więc przypuszczać, że pomiędzy podkładami 5 i 18, położonymi w odległości 2,82 m od końców szyny, odpowiadała ona warunkowi ciągłości i jednostajności podparcia.

Zdjęcia osiadania podkładów i szyny nad nimi (rys. 18 a — 18 c)¹⁾ były wykonane w sierpniu r. 1933 oraz w czerwcu i wrześniu r. 1934. Jak już wspomniano w opisie posterunku, podsypkę z grubego tłucznia granitowego w torze badanym w r. 1933 zastąpiono wczesną wiosną r. 1934 podsypką z drobniejszego tłucznia bazaltowego.

Spostrzeżenia obejmowały osiadanie wszystkich podkładów i szyny nad nimi przy przejściu parowozów i tendrów w pociągach normalnego rozkładu (rys. 17 a, b, c, d, e), prócz tego zaś osiadanie szyny nad niektórymi podkładami środkowymi przy przejściu wybranych parowozów próbnych z zadaną szybkością (rys. 17 a, f, g, h).

Wyniki spostrzeżeń przy przejściu pociągów normalnego rozkładu podano w tabl. V, wyniki zaś spostrzeżeń przy przejściu parowozów próbnych w tabl. VI i VII.

Wyniki spostrzeżeń, podane w tabl. VII świadczą, że wielkość współczynnika podparcia szyny, określona w tym samym dniu z jej osiadania nad jednym i tym samym podkładem, nie zależy od szybkości, która się zmieniała od 9 do 107 km/godz. Z porównania zaś w tablicach V, VI i VII współczynników, otrzymanych w tym samym czasie i nad tymi samymi podkładami, lecz pod parowozami, różniącymi się znacznie co do rozstawu osi i ich obciążenia, wynika, że te okoliczności nie wpływają również na wielkość tego współczynnika.

Wobec tego liczby tabl. V mogą być porównywane bez względu na to, jaki był typ parowozu i jego szybkość, do których się odnoszą.

Średnia wielkość współczynnika podparcia szyny, określona ze spostrzeżeń r. 1933 nad torem na podsypce z grubego tłucznia granitowego i ze spostrzeżeń w czerwcu r. 1934 nad torem na podsypce z drobniejszego tłucznia bazaltowego, niewiele się różni i wynosi: ze spostrzeżeń nad osiadaniami szyny nad podkładem 10,0 t, z osiadania zaś wkręta 11,4 t. Średni współczynnik określony ze spostrzeżeń we wrześniu 1934 r. jest o około 18%

TABLICA VI.

Pomiary współczynnika podłoża pod parowozem próbnym Tp⁴ (bez tendra).

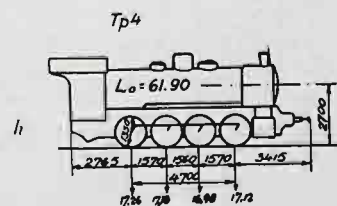
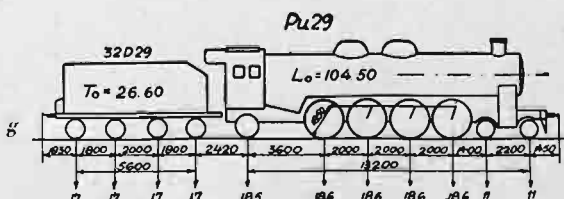
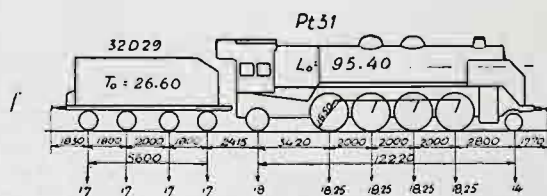
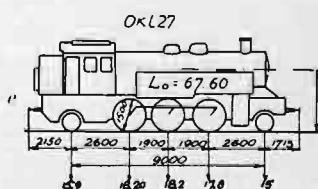
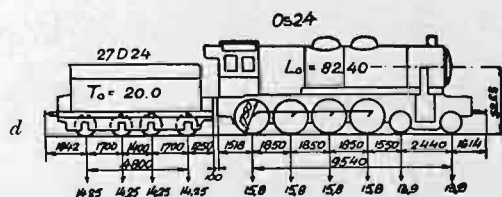
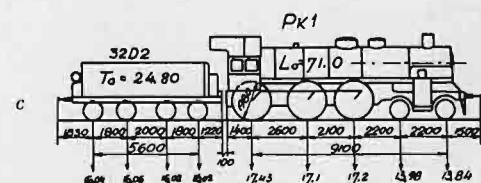
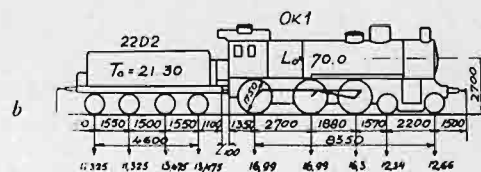
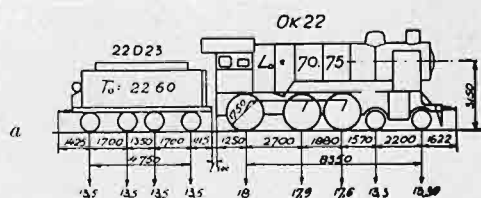
Sierpień 1933. Podsypka granitowa.							
Podkład Nr.	Szyna D t/cm	Wkręt D _w t/cm	Nr. zdjęcia	Data	Szybkość V km/h	$D' = \frac{D}{1 - 0,00826 D}$	$C = \frac{D'}{5124}$
10	10,741	12,229	433	16.VIII	30,8	11,787	3,77
11	11,255	11,965	435	„	25,2	12,406	3,97
12	10,357	12,552	437	„	27,7	11,326	3,63
Lipiec 1934. Podsypka bazaltowa.							
11	12,279	12,551	755	12.VII	33,5	13,665	4,37
12	11,232*	—	748	„	33,7	12,581	3,96
12	11,123*	—	750	„	33,5	12,248	3,92
13	10,020	12,559	751	„	19,7	10,924	3,50
14	10,045*	—	746	„	19,7	10,954	3,51

¹⁾ Na tych rysunkach podano tylko osiadanie szyny.

* podkładka.

TABLICA VII.
Współczynnik podparcia szyny
przy różnej szybkości.

Podkład 12, r. 1933.				
Nr. zdjęcia	Data	Parowóz	Szybkość km/h	D t/cm
383	2.VIII	Ok 22	29,2	11,650
385	"	"	53,8	11,454
387	"	"	83,6	11,910
389	"	"	107,2	11,342
Podkład 13, r. 1933.				
395	3.VIII	Ok 22	29,5	10,807
397	"	"	54,9	10,890
399	"	"	70,8	10,824
401	"	"	103,3	10,180
Podkład 13, r. 1934.				
858	1.VIII	Pu 29	9,0	9,049
856	"	"	31,7	8,884
854	"	"	64,7	8,920
852	"	"	103,5	9,287

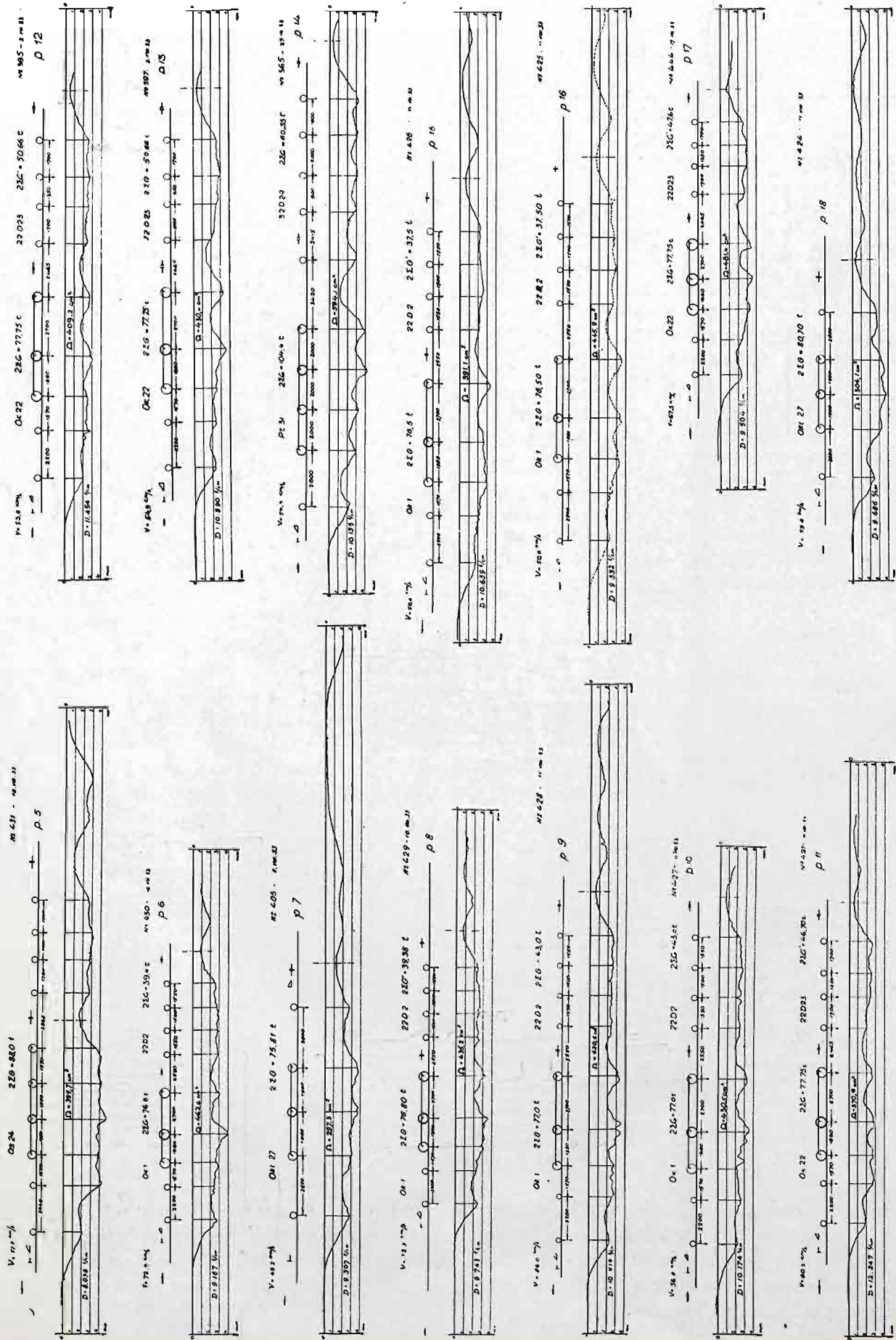


L_0 — ciężar parowozu
w stanie próżnym
 T_0 — ciężar tendra
w stanie próżnym

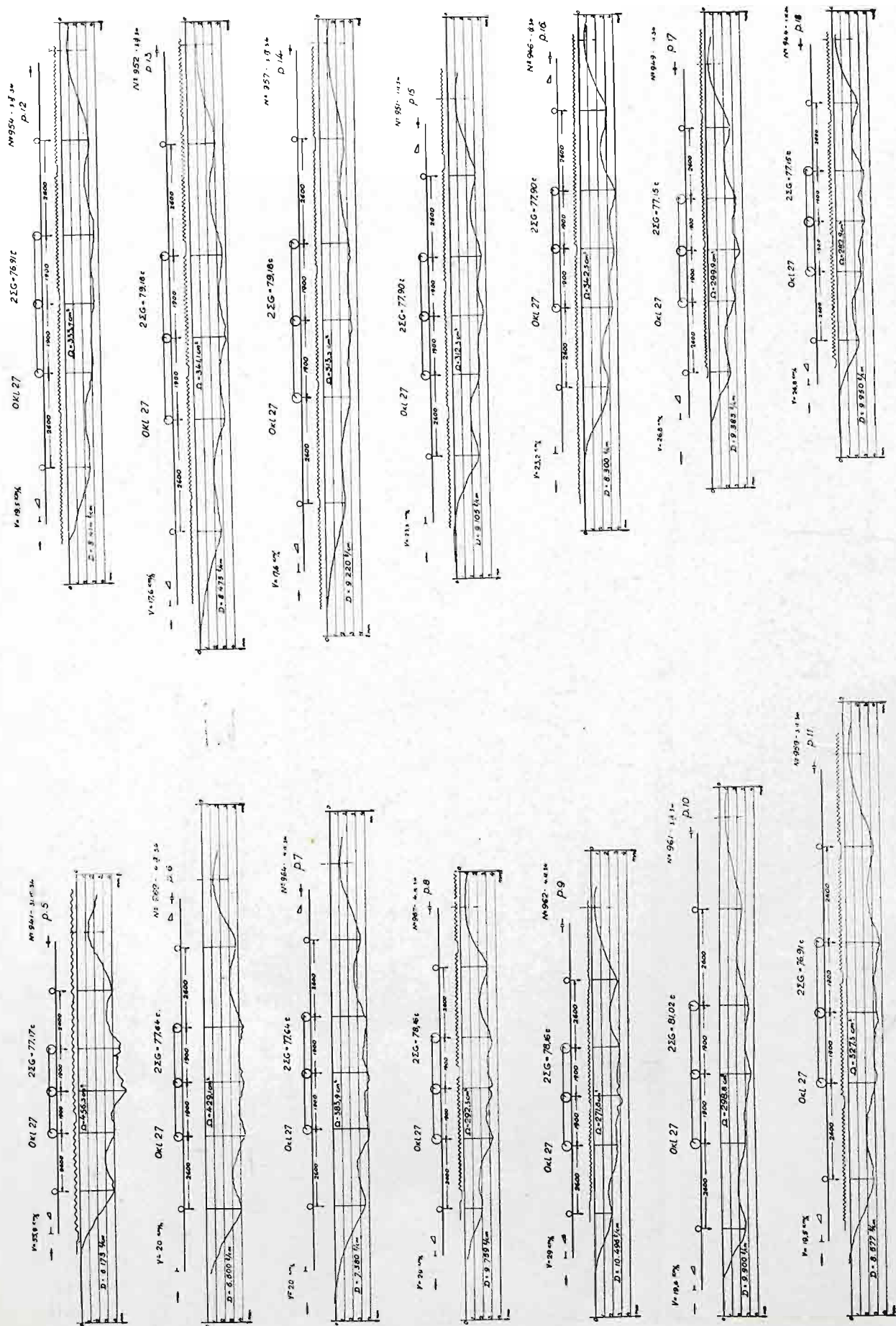
Naciski osi odpowiadają
pełnemu obciążeniu.

Rys. 17.
Schematy parowozów.

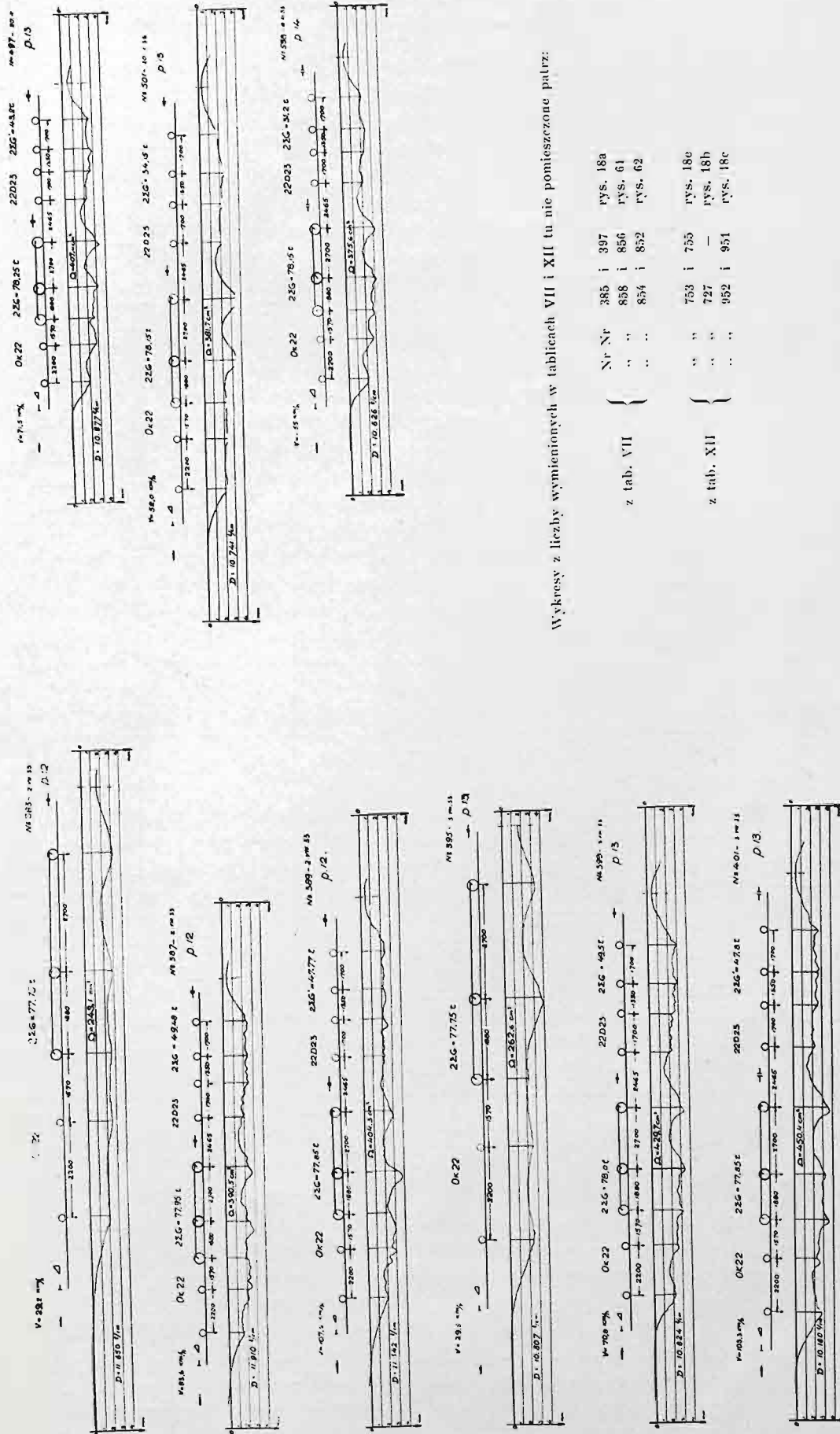
mniejszy, natomiast wahania wielkości współczynnika z osiadania oddzielnych podkładów zmniejszyły się, świadcząc o wyrównaniu sprężystości podłoża po upływie trzech miesięcy, prawdopodobnie nie bez związku z późniejszą, nieco dżdżystą porą roku, która ułatwiła drobne przesunięcia cząsteczek podsypki pod średnią częścią szyny w granicach dobrego podbicia podkładów.



Rys. 18a. Wykresy osiadczenia szyny nad podkładem według zdjęć z sierpnia 1933 r.



Rys. 18c. Wykresy osiadań szyny nad podkładem według zdjęć z września 1934 r.



Rys. 18d. Wykresy osiadania szyny nad podkładem do określenia wpływu szybkości (tab. VII) oraz do porównania z osiadaniami pod dźwignikami (tab. XII).

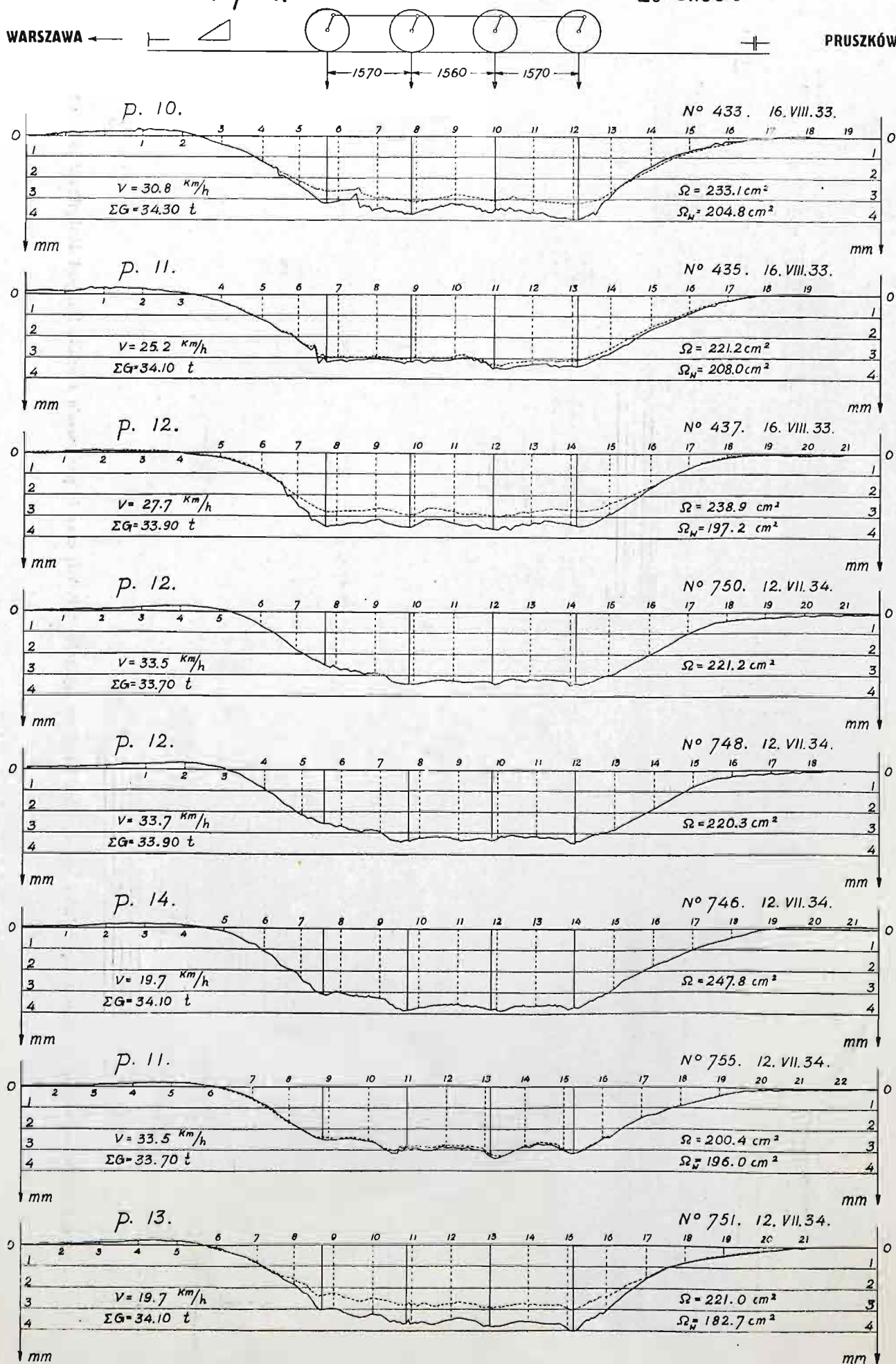
Lok. Tp. 4.

 $L_0 = 61.90 \text{ t}$

WARSZAWA ←

→ PRUSZKÓW

Linia przerywana — osiadanie szyny lub podkładki (patrz tabl. VI).



Rys. 18e. Wykresy osiadania szyny nad podkładem i podkładu pod parowozem Tp4 bez tendra.

4. Ścisłość podkładów.

Wartości współczynnika D , określone w tabl. V z zaobserwowanego osiadania szyny i wkręta, nie wyrażają ściśle współczynnika podparcia szyny. Wobec nieuniknionych luzów istniejących pomiędzy szyną a podkładką, współczynnik D , określony z osiadania szyny, będzie nieco mniejszy od ścisłej wartości współczynnika podparcia szyny, rozumianego jako wielkość nacisku na podkład szyny ściśle do niego przylegającej, niezbędnego do osadzenia podkładu na jednostkę głębokości. Współczynnik zaś D określony z osiadania wkręta, który tkwi głęboko w podkładzie, jest większy od ścisłej wartości współczynnika podparcia szyny, gdyż obejmuje nacisk na podkład, zużyty na jego ściskanie w górnej części przekroju, i może być w pewnym stopniu zależny od luzu pomiędzy szyną a podkładem.

Skoro jednak pewne najmniejsze luzy pomiędzy szyną a podkładką są właściwością każdej konstrukcji toru szynowego, nie dającą się uniknąć, można uznać, że wartość D określona z osiadania szyny, dobrze wyraża praktyczny współczynnik podparcia szyny w zastosowaniu do obliczeń jej odkształceń i jej wytrzymałości.

Inaczej się ma z określeniem, na podstawie współczynnika D , współczynnika podłoża podkładu. Sprężystość materiału podkładów, którą należy tu uwzględnić, była określona laboratoryjnie. Wyniki tych badań podano w tabl. II. Jednakże nie można z nich wnioskować bezpośrednio o ściśłości podkładu, w którym nacisk szyny, wywierany za pośrednictwem podkładki, rozkłada się na kilkakrotnie większą powierzchnię podstawy podkładu. W tych warunkach, pod naciskiem szyny P włókna górne podkładu pod podkładką będą ściskane na jednostkę powierzchni siłą

$$p_1 = \frac{P}{\omega_1}$$

dolne zaś, opierające się na podsypce, siłą

$$p_2 = \frac{P}{\alpha \omega_2}$$

gdzie ω_1 oznacza pole podkładki.

ω_2 „ „ połowę pola dolnej podstawy podkładu,

α „ „ stosunek średniego osiadania podkładu do jego osiadania pod szyną.

Można więc przyjąć, że ściskanie podkładu odbywać się będzie pod średnim ciśnieniem

$$\frac{p_1 + p_2}{2} = 0,5 P \left(\frac{1}{\omega_1} + \frac{1}{\alpha \omega_2} \right)$$

powodując dodatkowe osiadanie szyny na tonnę jej nacisku P

$$\frac{\Delta h}{P} = \frac{1}{D''} = \frac{h}{2 E''} \left(\frac{1}{\omega_1} + \frac{1}{\alpha \omega_2} \right) \quad (6)$$

gdzie h oznacza grubość podkładu,

D'' „ „ współczynnik ściśłości podkładu,

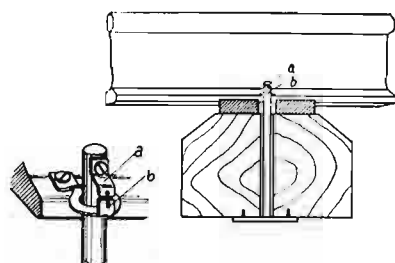
E'' „ „ współczynnik sprężystości drzewa na zginięcie prostopadle do włókien.

W celu określenia ściśłości podkładów w torze, wykonano osobne spostrzeżenia przy przejściu pociągów. Obserwowano jednocześnie ruchy podkładki pod szyną, albo ruchy szyny oraz spodu podkładu pod krawędzią zewnętrzną szyny, za pomocą sworznia przytwierdzonego do spodu podkładu, przez który sworznień był swobodnie przepuszczony (rys. 19). Wyniki spostrzeżeń podane są na rys. 20 i w tabl. VIII.

Dla porównania wyników tych spostrzeżeń z próbami laboratoryjnymi ściśłości drzewa (tabl. II), obliczono współczynnik ściśłości podkładów według wzoru (6) przyjmując $E'' = 2000 \text{ kg/cm}^2$. Otrzymano przy tym $D'' = 80,7 \text{ t/cm}$, podczas gdy według spo-

T A B L I C A VIII.

Ścisłość podkładów.



a — lusterko na sworzniu
b — „ „ stopce szyny

Rys. 19. Urządzenie do pomiaru ścisłości podkładu.

Nr. podkładu	Nr. zdjęcia	Data	Miejsce zdjęcia	$\frac{1}{D''}$ cm/t	D'' t/cm	E kg/cm ²
12	733	5.VII.34	Spód podkładu i stopka szyny	0,009499	105,2	2609
16	730	5.VII.34	Spód podkładu i stopka szyny	0,005372	186,1	4612
16	724	28.VI.34	Spód podkładu i podkładka	0,009547	104,7	2595
16	977	7.IX.34	„ „ „ „	0,006932	144,2	3574
16	946	1.IX.34	Spód podkładu i stopka szyny	0,008391	119,2	2954
Wielkości średnie:				0,007955	131,8	3269

strzeżeń znaleziona wartość tego współczynnika wynosi od 105 do 186 t/cm, co odpowiada współczynnikowi sprężystości drzewa od 2600 do 4600 kg/cm².

Licząc się z niejednakową ścisłością przylegania podkładek do podkładu i pewną nierównomiernością ich nacisku, przyjęto do dalszych obliczeń $D'' = 120$ t/cm, co odpowiada wartości E'' około 3000 kg/cm².

5. Współczynnik podparcia podkładów i współczynnik podłoża.

Znajomość współczynników: podparcia szyny D i ścisłości podkładów D'' daje możliwość określić współczynnik podparcia podkładów D' i współczynnik podłoża C . Na osiadanie bowiem szyny na podporach na jednostkę nacisku składa się także osiadanie spodu podkładu i jego ścisłość, to jest:

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{D'} + \frac{1}{D''} \quad (7)$$

stąd

$$D' = \frac{D}{1 - \frac{D}{D''}} \quad (8)$$

Przyjmując według wyników podanych w poprzednim punkcie $D'' = 120$ t, otrzymuje się wartość współczynnika podparcia podkładów D' od 10,9 do 9,4 t/cm, jak podano w tabl. V w wyniku oddzielnych grup spostrzeżeń.

Współczynnik podłoża C otrzymuje się według wzoru (5)

$$C = \frac{D'}{\alpha \omega} \quad (5)$$

w którym wyraża

ω — połowę pola dolnej podstawy podkładu.

$\alpha = \frac{P}{p_r \omega}$ — stosunek średniego osiadania podkładu do osiadania pod szyną,

p_r — ciśnienie podkładu pod szyną na podsypkę w kg/cm².

Mając dane wymiary podkładów:

szerokość podstawy $b = 26$ cm

długość $2l = 270$ cm

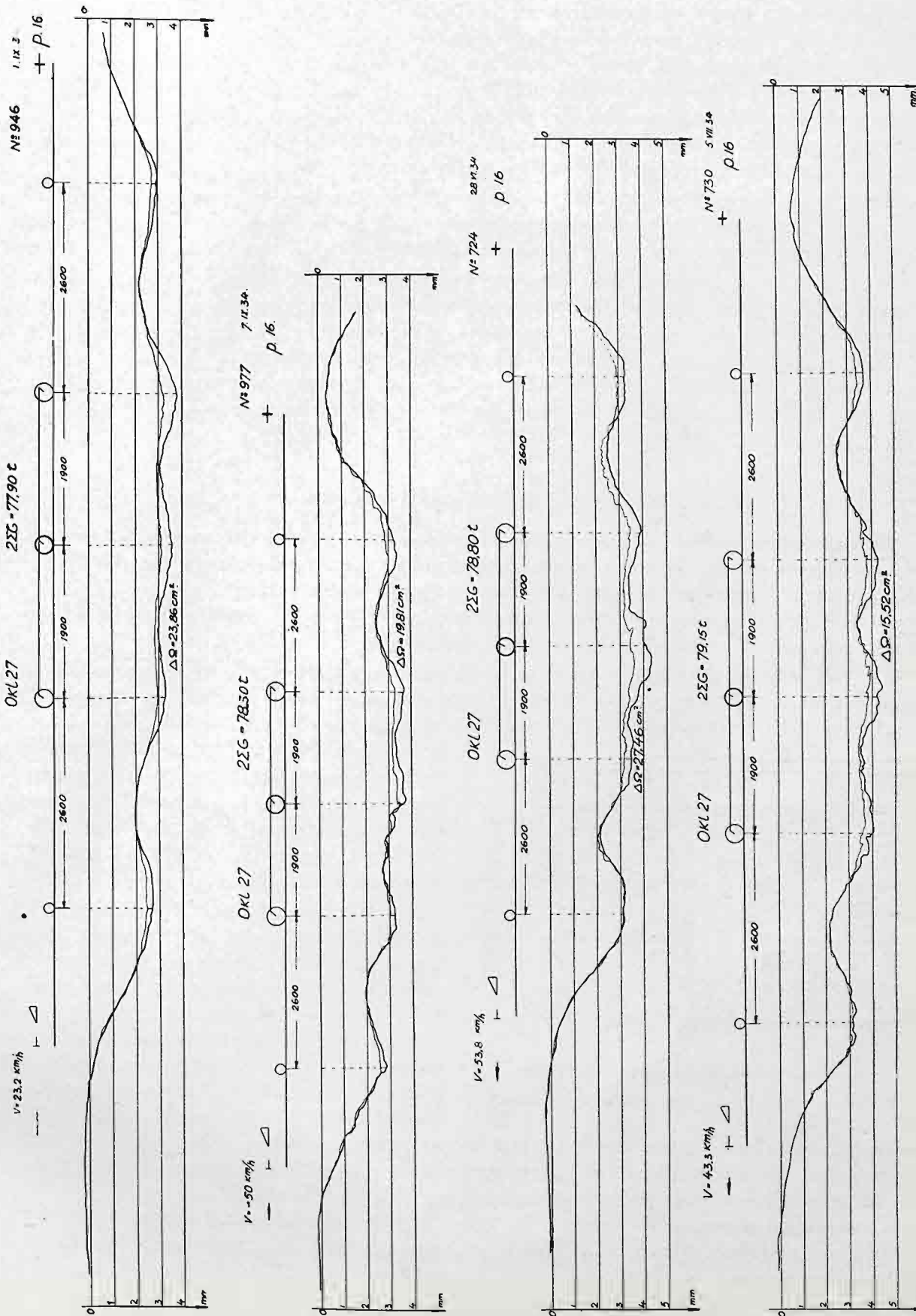
moment bezwładności przekroju $I = 8277$ cm⁴

i przyjmując sprężystość drzewa na zginanie $E = 118\,000$ kg/cm², otrzymuje się według tablic Zimmermann'a, w założeniu współczynnika podłoża

$$C = 3,2 \quad \alpha = 0,949$$

$$C = 3,6 \quad \alpha = 0,941$$

i



Linia cienka — osiadanie spodu podkładu.
Linia gruba — osiadanie szyny lub podkładki (tabl. VIII).

Rys. 20. Wykresy ściśliwości podkładu.

Jednakże zarówno spostrzeżenia tu opisywane, jak i dawniejsze¹⁾ pokazały, że osiadanie końców i środka podkładów drewnianych długości 2,70 m jest mniejsze, niż by to wypadło z teorii, wskutek czego stosunek α zbliża się do 0,85 i tylko w jednym przypadku wyniósł 0,92. Pochodzi to widocznie wskutek mniej równomiernego podbicia podkładów w różnych punktach ich długości niż to zakłada teoria, po części zaś także wskutek mniejszej sztywności podkładów. Licząc się z zaobserwowanymi odchyleniami wielkości α , przyjęto do obliczeń współczynnika podłoża wartość średnią $\alpha = 0,89$.

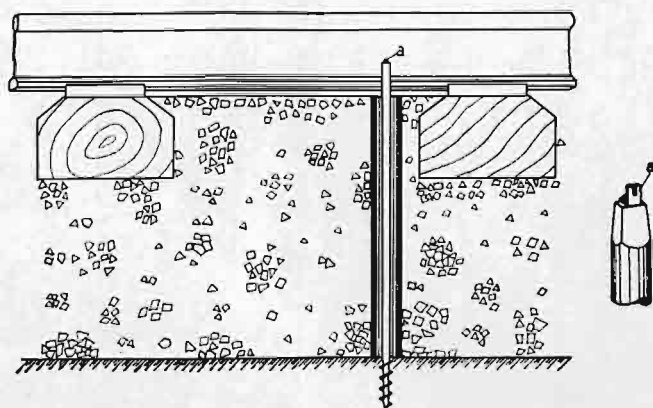
Przy tej wartości α otrzymano współczynnik podłoża ze spostrzeżeń nad osiadaniem szyny z uwzględnieniem ściśliwości podkładów $C = 3,5$ do $3,0 \text{ kg/cm}^3$, ze spostrzeżeń zaś nad osiadaniem wkrętów $C = 3,75$ do $C = 3,2 \text{ kg/cm}^3$.

W tabl. V podano obliczenie współczynnika podłoża ze spostrzeżeń nad osiadaniem szyny i wkrętów z uwzględnieniem w pierwszym przypadku ściśliwości podkładów. Obliczanie współczynnika podłoża z osiadania wkrętów i ściśliwości podkładów jest mniej słuszne, gdyż jak zauważono wyżej, osiadanie to zawiera już w sobie znaczną część ściśnięcia podkładów. Przyjąć więc należy, że w danych warunkach podtorza wartość współczynnika podłoża z tłuczni granitowego i bazaltowego waha się w granicach od $C = 3,5$ do $C = 3,0 \text{ kg/cm}^3$.

6. Współczynnik podtorza i podsypki.

Współczynnik podparcia podkładów i określony na jego podstawie współczynnik podłoża są zależne od sprężystości jednostajnej warstwy podsypki oraz od zmiennej sprężystości podtorza. Sprężystość samej warstwy podsypki nader ważnym jest wyjaśnić, bo wszak od niej zawisł spokój jazdy, podobnie jak od miękkości resorów zależy dobre łagodzenie wstrząszeń spowodowanych nierównościami toru.

Dla wyłączenia z osiadania podłoża podkładów tej jego części, która pochodzi od osiadania podtorza, wbito przy szynie pomiędzy podkładami rurę gazową na głębokość podsypki (rys. 21) i w utworzoną w ten sposób studzienkę wbito pręt żelazny na głębokość około 10 cm. Zdjęcia fotograficzne



α — oprawka z lusterkami.

Rys. 21 Urządzenie do pomiaru osiadania podtorza.

ruchów punktu błyszczącego, umieszczonego na tym pręcie, posłużyły do określenia współczynnika D_{55} podstawy podsypki na głębokości około 55 cm od wierzchu podkładu.

Według doświadczeń Schuberta²⁾, na głębokości 55 cm od podstawy podkładu, który był poddawany wielokrotnie ciśnieniu, odpowiadającemu naciskowi koła, warstwa plastycznej gliny zachowywała kształt płaski na szerokości co najmniej 35 cm w każdą stronę od osi podkładu. Pozwala to przyjąć w danych warunkach grubości warstwy podsypki

i rozstawienia podkładów, że podtorze jest mniej więcej równomiernie obciążone na całej szerokości ułożenia podkładów, prócz tego zaś na dwóch pasach poza czołem podkładów na szerokości równej połowie odległości pomiędzy podkładami.

Oznaczając utworzone w ten sposób pole obciążenia podtorza, przypadające na połowę jednego podkładu, przez ω_{55} , obliczono współczynnik D_{55} z wykresu osiadania (rys. 22) według wzoru

¹⁾ A. Wasiutyński. Note sur les déformations momentanées de la voie. Bulletin 1900, p. 2680.

²⁾ E. Schubert w Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1897, Heft 6 u. 7.

a, b, c	— osiadanie podtorza na głębokości 0,55 m koło podkładu 11-go.
d	— „ „ „ 1,60 m w przęśle 9—10.

$$D_{55} = \frac{\alpha \Sigma G}{\Omega_{55}} \quad (9)$$

w którym Ω_{55} oznacza pole wykresu osiadania pręta w studzience, stąd zaś współczynnik podtorza N

$$N = \frac{D_{55}}{\omega_{55}} \quad (10)$$

Współczynnik podsypki K , równy współczynnikowi podłoża C w przypuszczeniu zupełnie sztywnego podtorza może być określony z równania

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{K} + \frac{1}{n N} \quad (11)$$

W tym równaniu n oznacza stosunek pola obciążenia podtorza, przypadającego na jeden podkład, do pola podstawy podkładu z uwzględnieniem jego ugięcia:

$$n = \frac{\omega_{55}}{\alpha \omega} \quad nN = \frac{D_{55}}{\alpha \omega}$$

Stąd

$$K = \frac{n N C}{n N - C} = \frac{C D_{55}}{D_{55} - D'} \quad (12)$$

Wyniki obliczeń wartości współczynników podtorza i podsypki ze zdjęć wykonanych współcześnie ze zdjęciami, z których określono współczynnik C , podano w tabl. IX. Jak widać z tej tablicy, średnie wartości tych współczynników wynoszą:

$$D_{55} = 35,5 \text{ t/cm} \quad N = 3,1 \text{ kg/cm}^3 \quad \text{ i } \quad K = 6,1 \text{ kg/cm}^3.$$

Należy zauważyć, że współczynnik K zależy wyłącznie od wielkości otrzymanych ze spostrzeżeń.

Dla zbadania ściśliwości gruntu i rozkładu ciśnienia na większej głębokości zrobiono zdjęcia osiadania gruntu w dnie studzienki głębokości 1,5 m, urządzonej w ten sam sposób jak opisano wyżej. Pręt był wbity na 20 cm niżej dna, powtarzał więc osiadanie gruntu mniej więcej na głębokości 1,60 m niżej.

TABLICA IX.

Współczynniki D_{55} , N i K według osiadania w studzience obok podkładu Nr. 11.

Nr. zdjęcia	436	438	440	Średnio	Uwagi
Data	16.VIII.1933				
$D_{55} = \frac{\alpha \cdot \Sigma G}{\Omega_{55}}$	35,73	33,84	37,09	35,55	$\omega_{55} = \frac{1}{2} \times 73 \times (270 + 47) =$ $= 11570 \text{ cm}^2$
$N = \frac{D_{55}}{\omega_{55}}$	3,088	2,925	3,205	3,073	Wartość D' i C według osiadania podkładu 11:
$K = \frac{C \cdot D_{55}}{D_{55} - D'}$	6,083	6,269	5,967	6,106	$D' = 12,406 \text{ t/cm}$ $C = 3,971 \text{ kg/cm}^3$ (por. tablicę VI)

Współczynnik gruntu D_{160} na tej głębokości określony według wzoru podobnego do wzoru (9)

$$D_{160} = \frac{a \sum G}{\Omega_{160}} \quad (13)$$

w którym Ω_{160} oznacza pole wykresu osiadania, otrzymano

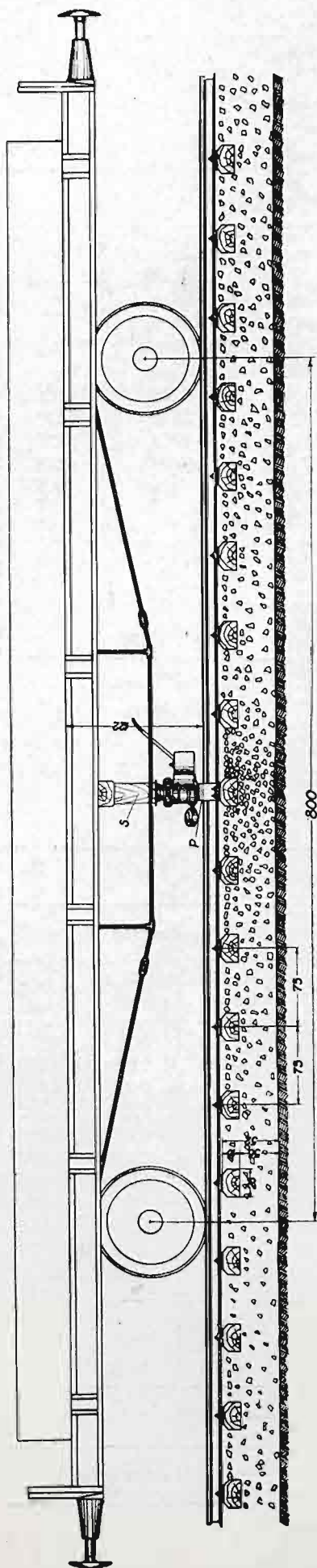
$$D_{160} = 92.0 \text{ t/cm.}$$

Jest on 2,6 razy większy od współczynnika D_{55} , świadcząc o bardzo szybkim rozkładaniu się nacisku na coraz większą powierzchnię gruntu w miarę zwiększenia głębokości.

7. Współczynnik podłoża ze spostrzeżeń nad osiadaniem podkładów pod naciskiem dźwigników.

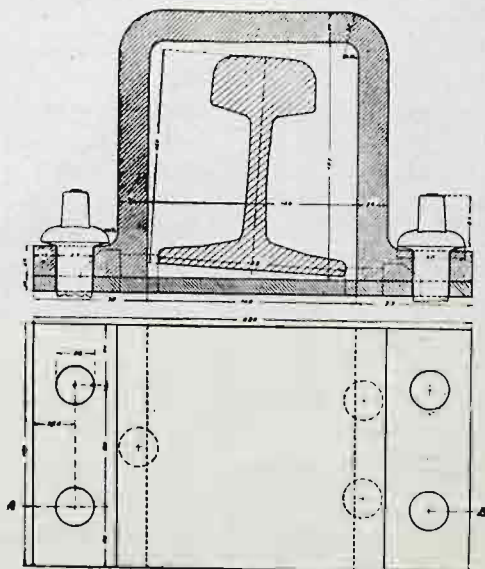
Opisany sposób określenia średniego współczynnika podłoża z osiadania wielu podkładów pod naciskiem szyn przy ich obciążeniu ruchomym nasunął myśl, czy nie dałoby się prościej określić ten współczynnik, wywierając określony nacisk bezpośrednio na oddzielny podkład.

W tym celu zastosowano urządzenie pokazane na rys. 23. Do obserwacji wybrano jeden z podkładów bliskich środka szyny badanego ogniwa, na które nasunięto naładowaną platformę o szerokim rozstawie osi, poczem z podkładu wybranego do obserwacji wyjęto wkręty i usunięto podkładki pod szyną. Podkład zwolniony w ten sposób od nacisku szyn poddano naciskowi dwóch dźwigników hydraulicznych podstawionych pod dźwigary platformy, którą mogły stopniowo unosić za pośrednictwem dwóch stęporów s . Do naciśnięcia na podkład zastosowano dwie podkowiaste podsady p (rys. 24), które obejmowały szyny bez dotyka-



Rys. 23. Urządzenie do statycznego obciążenia pojedynczego podkładu.

Rys. 24.
Podsada do obciążania podkładu.



TABLICA Xa

Osiadanie pojedynczego podkładu pod obciążeniem dźwignikami.

R. 1933. Podsypka granitowa.

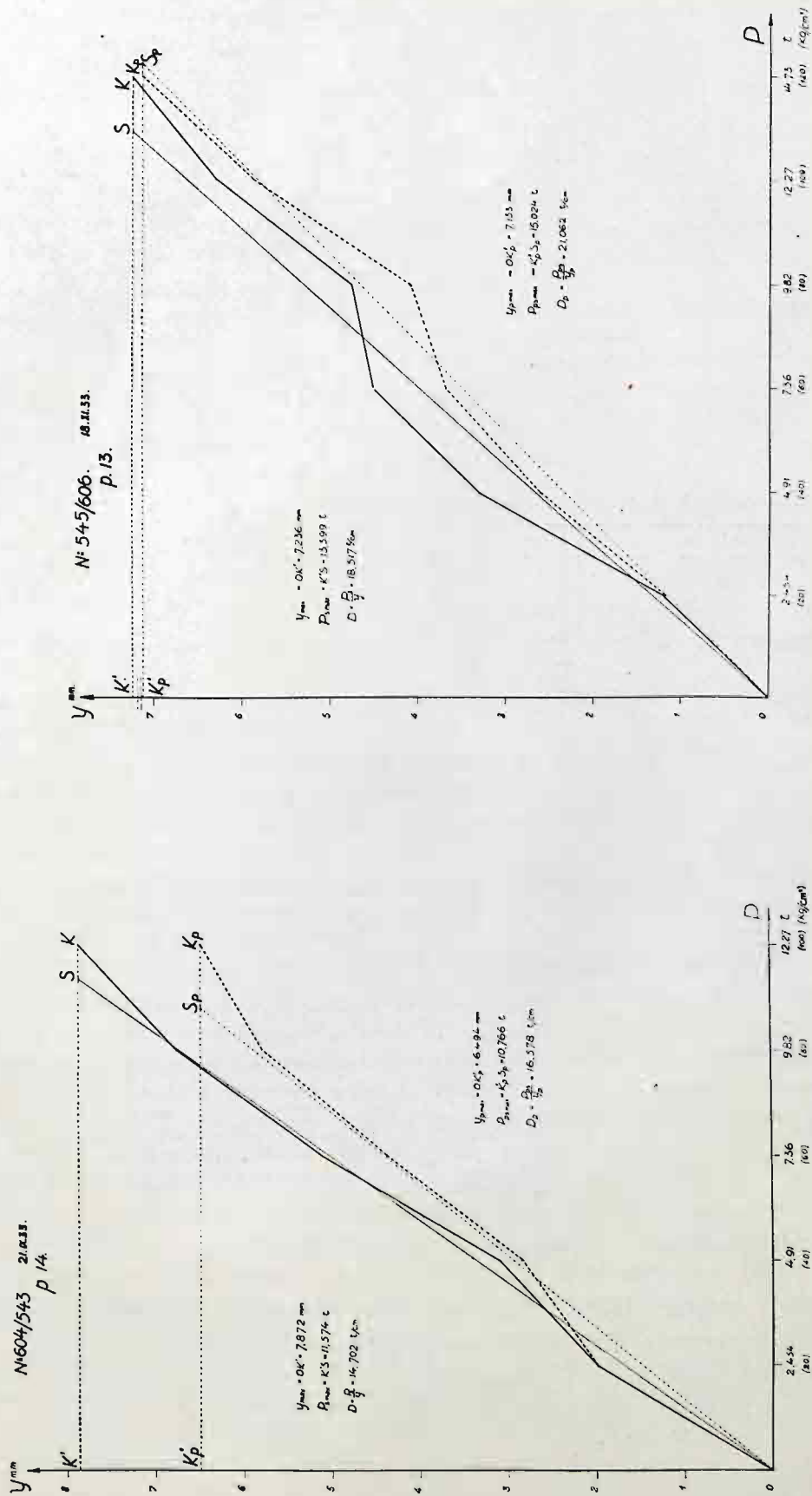
Siła pionowa		Osiadanie podkładu pod podsadą w mm.					
Ciśnienie kg/cm ² tłoka	Nacisk na podkład t	Podkład 13			Podkład 14		
		Podsada lewa	Podsada prawa	Średnio	Podsada lewa	Podsada prawa	Średnio
0	0	0	0	0	0	0	0
20	4,91	1,223	1,189	1,206	1,986	1,986	1,986
40	9,82	3,995	2,602	3,298	3,356	2,850	3,103
60	14,72	5,329	3,684	4,506	5,872	4,388	5,130
80	19,64	5,419	4,081	4,750	7,730	5,800	6,765
100	24,54	6,690	5,876	6,283	9,250	6,494	7,872
120	29,45	7,340	7,133	7,236	—	—	—
Nr. zdjęcia		606	545		604	543	
Data		21.IX.1933			18.XI.1933		

TABLICA Xb.

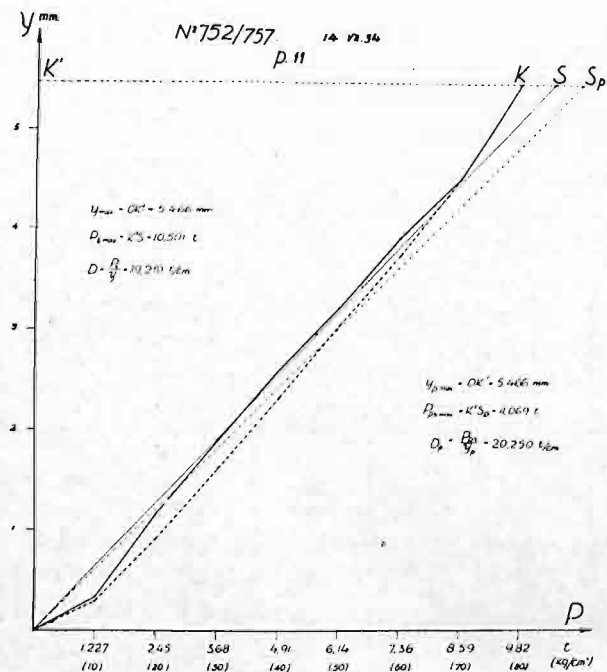
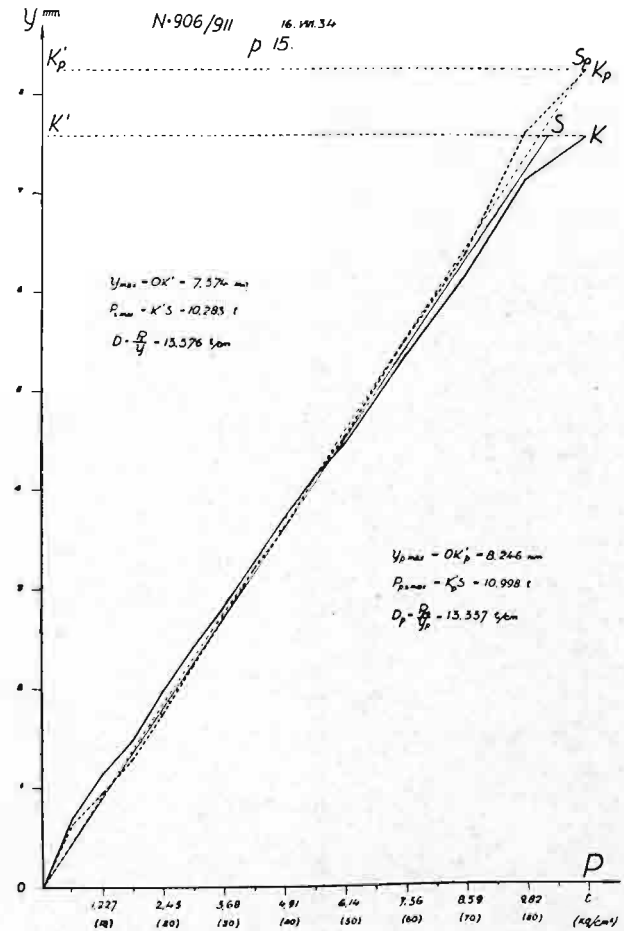
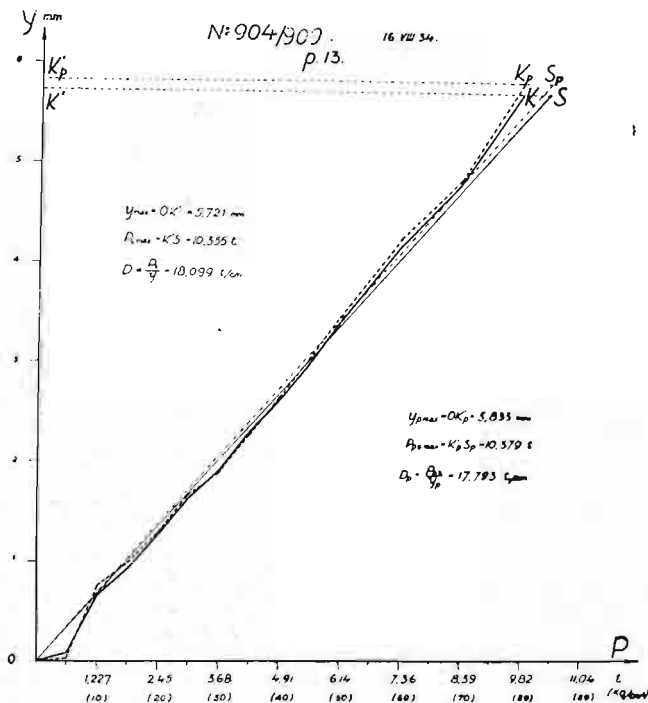
Osiadanie pojedynczego podkładu pod obciążeniem dźwignikami.

R. 1934. Podsypka bazaltowa.

Siła pionowa		Osiadanie podkładu pod podsadą w mm.								
Ciśnienie kg/cm ² tłoka	Nacisk na podkład t	Podkład 11			Podkład 13			Podkład 15		
		Podsada lewa	Podsada prawa	Średnio	Podsada lewa	Podsada prawa	Średnio	Podsada lewa	Podsada prawa	Średnio
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,23	—	—	—	0,136	0,041	0,088	0,756	0,629	0,692
10	2,45	0,375	0,293	0,334	0,563	0,760	0,661	1,323	0,956	1,139
15	3,68	—	—	—	0,866	0,998	0,932	1,665	1,289	1,477
20	4,91	1,424	0,907	1,165	1,243	1,294	1,268	2,188	1,745	1,966
25	6,13	—	—	—	1,606	1,669	1,637	2,574	2,238	2,407
30	7,36	2,182	1,602	1,892	1,926	1,908	1,917	2,937	2,700	2,818
35	8,59	—	—	—	2,336	2,284	2,310	3,337	3,205	3,271
40	9,82	2,846	2,320	2,583	2,608	2,670	2,639	3,795	3,633	3,714
45	11,04	—	—	—	2,967	3,050	3,008	4,140	4,106	4,123
50	12,27	3,398	3,047	3,222	3,377	3,472	3,424	4,379	4,540	4,459
60	14,72	4,086	3,750	3,918	4,123	4,262	4,192	5,184	5,502	5,343
70	17,18	—	4,508	—	4,778	4,858	4,818	5,909	6,396	6,152
80	19,64	—	5,466	—	5,609	5,833	5,721	6,661	7,615	7,138
90	22,08	—	—	—	—	—	—	6,902	8,246	7,574
Nr. zdjęcia		757	752		909	904		911	906	
Data		14.VIII.1934			16.VIII.1934			16.VIII.1934		



Rys. 25. Wykresy osiadania podkładu pod naciskiem dźwigników
(rok 1933).



Do rys. 25 i 25a.

Linia łamana ciągła OK — średnie osiadanie obu podsad na podstawie danych tablicy X.

Linia łamana przerywana OK_p — osiadanie prawej podsady.

Linie proste OS i OS_p — są to linie zastępujące odpowiednie łamane.

$y_{\max}, P_{s \max}$ — współrzędne punktu S .

$y_{p \max}, P_{ps \max}$ — współrzędne punktu S_p .

D — współczynnik podparcia szyny z osiadania obu podsad.

D_p — współczynnik podparcia szyny z osiadania prawej podsady.

W nagłówku każdego zdjęcia podano numer dwóch zdjęć współczesnych, na podstawie których sporządzono wykres, datę pomiaru oraz numer podkładu.

Rys. 25 a. Wykresy osiadania podkładu pod naciskiem dźwigników (rok 1934).

nia się do nich. Nacisk dźwignów doprowadzany do 12 t na jedną podsadę, mierzono na manometrach, utrzymując ich wskazania na jednakowym poziomie.

Jak widać z tablic X a i X b oraz z wykresów (rys. 25, 25 a), osiadanie podkładów obserwowanych przebiegało liniowo w stosunku do obciążenia. Po odciążeniu podkład nie zawsze powracał do pierwotnego położenia. Różnice w położeniu początkowym i po odciążeniu, zauważone w niektórych przypadkach, możnaby przypisać nie tylko odkształceniu stałemu, lecz też opóźnieniu w powrocie do położenia początkowego. Jednakże

TABL I C A XI.

Współczynnik podłoża C ze spostrzeżeń nad osiadaniem pojedynczych podkładów pod naciskiem dźwigników.

Rok	1933				1934					
Podkład Nr.	13		14		11		13		15	
Nr. zdjęcia i data	606/645 21.IX		604/643 18.XI		757/752 14.VII		909/904 16.VIII		911/906 16.VIII	
	podśada prawa	średnie z obu podśad	podśada prawa	średnie z obu podśad	podśada prawa	średnie z obu podśad	podśada prawa	średnie z obu podśad	podśada prawa	średnie z obu podśad
Osiadanie największe podśady γ_{\max} mm	7,133	7,236	6,494	7,872	5,466	5,466	5,833	5,721	8,246	7,574
Nacisk dźwignika odpowiadający γ_{\max} po sprostowaniu linii osiadania $P_{s \max}$	15,024	13,399	10,766	11,574	11,069	10,501	10,379	10,355	10,998	10,283
Współczynnik D t/cm podparcia podśady $D = P_{s \max} : \gamma_{\max}$	21,062	18,517	16,578	14,702	20,250	19,210	17,793	18,099	13,337	13,576
Współczynnik D' t/cm podparcia pod- kładu $D' = \frac{D}{1 - \frac{D}{D''}} \quad \frac{1}{D''} = 0,0099$	26,611	22,674	19,833	17,206	25,328	23,721	21,597	22,050	15,366	15,684
Współczynnik podłoża C kg/cm ³ $C = D' : \alpha \omega$ ($\alpha \omega = 3124$ cm ²)	8,517	7,260	6,349	5,509	8,107	7,593	6,914	7,060	4,920	5,020

proporcjonalność osiadania w stosunku do obciążenia, widoczna na wykresach, przemawia raczej za tą drugą przyczyną.

Dla określenia średniego stosunku nacisku na podkład do jego osiadania czyli współczynnika D (tab. XI) i przeprowadzenia w tym celu na wykresach prostej najlepiej wyrażającej ten stosunek, określano pole zawarte między krzywą osiadania a osią rzędnych i zamieniano je na równoważny trójkąt.

Obliczenie średniego osiadania podkładu wykonano pod obiema podśadami i osobno podkładu pod badaną szyną (podśada prawa) dla porównania tego osiadania z zaobserwowanym osiadaniem pod pociągami.

Przy określeniu ze współczynnika D współczynnika D' podparcia podkładu (tab. XI) obliczano ściśliwość podkładu na jednostkę nacisku ze wzoru (6), wprowadzając pole podkładki pod podśadą $\omega_1 = 16 \times 29 = 464$ cm² i przyjmując $E'' = 2000$ kg/cm² według prób wykonanych w laboratorium ze względu, że przy spostrzeżeniach pod dźwignikami przyleganie podkładki, wywierającej nacisk na podkład, mogło być zupełnie równomierne.

Współczynnik D' podparcia podkładów, otrzymany z opisanych wyżej spostrzeżeń pod dźwignikami, waha się od 15,7 do 23,7 t/cm, co odpowiada współczynnikowi C podłoża od 5,0 do 7,6 kg/cm³.

Do porównania tych cyfr z wielkością odpowiednich współczynników, otrzymanych ze spostrzeżeń pod pociągami, należało korzystać ze spostrzeżeń nad tymiż podkładami, wykonanych w tym samym czasie. Wyniki tych spostrzeżeń podano w tab. XII, w następnej zaś tab. XIII porównano je z wynikami spostrzeżeń nad osiadaniem podkładów pod naciskiem dźwigników.

Cyfry tab. XIII wskazują, że współczynnik podłoża, określony ze spostrzeżeń nad osiadaniem pojedynczego podkładu pod naciskiem dźwigników, jest przybliżenie dwa razy większy od współczynnika podłoża, określonego ze spostrzeżeń nad jednoczesnym osiadaniem grupy podkładów pod pociągami.

Tę zastanawiającą niezgodność wyników niezbędnym było wyjaśnić.

TABLICA XII.

Współczynnik podłoża C ze spostrzeżeń nad osiadaniem pod pociągami podkładów, badanych pod naciskiem dźwigników (Tablica XI).

Rok		1933			1934					
Podkład Nr.		13		14	11		13		15	
Nr. zdjęcia i data		497 20.IX	501 20.IX	588 8.XI	753 12.VII	755 12.VII	858 1.VIII	952 3.IX	727 28.VI	951 1.IX
Parowóz		Ok 22	Ok 22	Ok 22	Tp 4	Tp 4	Pu 29	Okł 27	Okł 27	Okł 27
Szybkość km/h		71,5	52,0	55,0	35,8	33,4	9,0	17,6	53,8	23,2
D	z oddzielnych zdjęć	10,877	10,741	—	12,423	12,279	9,049	8,473	7,909	9,105
	średnio	10,809		10,626	12,351		8,761		8,507	
$D' = D : \left(1 - \frac{D}{D''}\right)$ $\frac{1}{D''} = 0,00826$		11,869		11,648	13,754		9,444		9,150	
$C = D' : \alpha \omega$ $\alpha \omega = 3124 \text{ cm}^2$		3,799		3,729	4,403		3,023		2,929	

TABLICA XIII.

Porównanie współczynników podłoża według spostrzeżeń pod dźwignikami i pod pociągami (Tabl. XI i XII).

Rok	1933				1934					
Podkład Nr.	13		14		11		13		15	
Data doświadczenia z obciąż. statycznym	21.IX		18.XI		14.VII		16.VIII		16.VIII	
Współczynnik	D'	C	D'	C	D'	C	D'	C	D'	C
I. Dane z osiadania podkładów pod obciążeniem statycznym	26,611	8,517	19,833	6,349	25,328	8,107	21,597	6,914	15,366	4,920
II. Dane z osiadania podkładów pod pociągami	11,869	3,799	11,648	3,729	13,754	4,403	9,444	3,023	9,150	2,929
$\text{Stosunek } \varphi = \frac{D'_I}{D'_{II}} = \frac{C_I}{C_{II}}$	2,242		1,703		1,842		2,287		1,679	
Średnia wartość φ	1,951									

8. Osiadanie gruntu pod naciskiem płyty sztywnej.

Rozpatrując ściśliwość gruntu o stałym współczynniku sprężystości E pod naciskiem płyty sztywnej, obciążonej osiowo, przyjmijmy, że nacisk ten rozkłada się wgłąb pod stałym kątem φ , obciążając grunt jednostajnie w każdym przekroju płaskim, równoległym do płyty.

Założenie to nie zupełnie odpowiada rzeczywistości, gdyż do nacisku, jaki wywiera pewien punkt płyty na sprężyste podłoże, dochodzi nacisk punktów sąsiednich, a więc w sumie nacisk będzie pod środkową częścią płyty większy niż przy jej krawędziach. Jednakże do przybliżonego obliczenia ściśliwości gruntu założenie to może być przyjęte, wzięwszy pod uwagę, że w miarę zwiększenia powierzchni cisnącej i stosunku tej powierzchni do jej obwodu, ciśnienie w płaskich poziomych przekrojach gruntu stawać się będzie ze zwiększeniem głębokości coraz równomierniejsze. Wówczas wielkość Δdx zgniecia dowolnej warstwy grubości dx położonej na głębokości x otrzymuje się z równania:

$$\Delta dx = \frac{P_x}{E} dx = \frac{P \omega}{E \omega_x} dx$$

gdzie p — ciśnienie na górną warstwę podłoża w kg/cm^2 ,

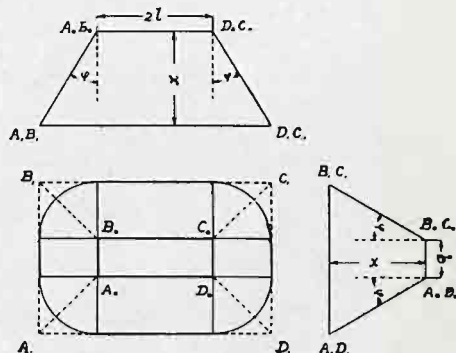
ω — pole powierzchni ciskącej w cm^2 ,

p_x — ciśnienie na głębokości x ,

ω_x — pole, na które rozkłada się ciśnienie na głębokości x .

Rozpatrując wypadek najprostszy, kiedy powierzchnia ciskąca ma kształt koła o promieniu r , otrzymuje się:

$$\Delta dx = \frac{p \pi r^2 dx}{E \pi (r + x \operatorname{tg} \varphi)^2} = \frac{p r^2}{E} \cdot \frac{dx}{(r + x \operatorname{tg} \varphi)^2}$$



całkowity osiad sprężysty powierzchni ciskącej wyniesie:

$$y = \int_0^{\infty} \Delta dx = \frac{p r^2}{E} \int_0^{\infty} \frac{dx}{(r + x \operatorname{tg} \varphi)^2} = \frac{p r}{E \operatorname{tg} \varphi} \quad (14)$$

a zatem osiadanie sprężyste przy tym samym ciśnieniu p na jednostkę pola jest tutaj wprost proporcjonalne do promienia r .

Rys. 26. Ostrosłup gruntu ściskanego.

Jeżeli powierzchnia ciskąca ma kształt prostokąta o wymiarach b i $2l$, to zamiast ściskania stożka jak w przypadku poprzednim, zachodzić będzie ściskanie pewnej bryły, którą dla uproszczenia rachunku zastąpić można ostrosłupem (rys. 26).

Otrzymuje się:

$$\Delta dx = \frac{p b \cdot 2l dx}{E [2bl + 2(b + 2l)x \operatorname{tg} \varphi + 4x^2 \operatorname{tg}^2 \varphi]}$$

czyli

$$y = \int_0^{\infty} \Delta dx = \frac{p b l}{2 E \operatorname{tg}^2 \varphi} \int_0^{\infty} \frac{dx}{x^2 + \frac{b + 2l}{2 \operatorname{tg} \varphi} x + \frac{b l}{2 \operatorname{tg}^2 \varphi}}$$

Ponieważ

$$\int \frac{dx}{x^2 + 2mx + n} = \frac{1}{2\sqrt{m^2 - n}} \ln \frac{x + m - \sqrt{m^2 - n}}{x + m + \sqrt{m^2 - n}} + \text{const.}$$

jeżeli $p^2 > q$, co ma miejsce w danym przypadku, więc

$$y = \frac{p b l}{E \operatorname{tg} \varphi (b - 2l)} \ln \frac{b}{2l} \quad (15)$$

Jeżeli $b = 2l$ to wypadnie wyrugować nieoznaczoność, po czym otrzymuje się

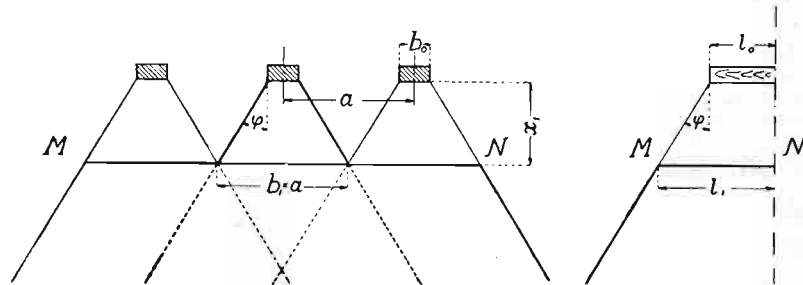
$$y = \frac{p b}{2 E \operatorname{tg} \varphi}$$

Ściśnięcie warstwy podłoża zawartej między x_i i x_{i+1} otrzymuje się ze wzoru

$$y_i = \int_{x_i}^{x_{i+1}} \Delta dx = \frac{p b l}{E (b - 2l) \operatorname{tg} \varphi} \left[\ln \frac{x + \frac{l}{\operatorname{tg} \varphi}}{x + \frac{b}{2 \operatorname{tg} \varphi}} \right]_{x_i}^{x_{i+1}} \quad (16)$$

9. Osiadanie gruntu pod naciskiem kilku płyt sztywnych.

Zastosowanie wzorów, wyprowadzonych wyżej dla pojedynczej płyty prostokątnej, można rozszerzyć do szeregu płyt równoległych (rys. 27), jednakowej wielkości, rozpatrując ich ciśnienie na grunt od takiej głębokości x_1 , na której rozłoży się ono na całą przestrzeń w obrębie ułożenia płyt. Osiadanie gruntu od tej głębokości może być rozpatry-



Rys. 27. Schemat rozkładu ciśnienia.

wane w założeniach, przyjętych dla jednej płyty, jako ściskanie nieskończenie wysokiego ostrosłupa ściętego, którego górna podstawa równa się sumie dolnych podstaw ostrosłupów ściętych gruntu wysokości x_1 , ścispanych przez każdą z płyt oddzielnie ¹⁾.

Przyjawszy następujące oznaczenia:

p — średnie ciśnienie podstawy podkładu na podłożu,
 y_0 — ściśnięcie ostrosłupa ściętego o podstawie górnej = podstawie podkładu i wysokości = x_1 ,
 y_1 — osiad podłoża na głębokości x_1 w przypadku obciążenia jednego podkładu,
 y_n — toż samo, w przypadku obciążenia n podkładów,
 $Y_1 = y_0 + y_1$, $Y_n = y_0 + y_n$ osiadanie podstawy podkładu w 1) i 2) przypadku,
 C_1 , C_n — odpowiednie współczynniki podłoża,
 można napisać:

$$C_1 = \frac{p}{Y_1} = \frac{p}{y_0 + y_1} \quad C_n = \frac{p}{Y_n} = \frac{p}{y_0 + y_n}$$

Wypada stąd, że:

$$\frac{C_1}{C_n} = \frac{Y_n}{Y_1} = \frac{y_0 + y_n}{y_0 + y_1} \quad (17)$$

Jak widać z rysunku

$$x_1 = \frac{a - b_0}{2 \operatorname{tg} \varphi}$$

Na mocy wzoru (16)

$$y_0 = \int_0^{x_1} \Delta dx = \frac{p b_0 l_0}{E (b_0 - 2 l_0) \operatorname{tg} \varphi} \left[\ln \frac{x + \frac{l_0}{\operatorname{tg} \varphi}}{x + \frac{b_0}{2 \operatorname{tg} \varphi}} \right]_0^{x_1}$$

Stąd po podstawieniu wartości x_1

$$y_0 = \frac{p b_0 l_0}{E (b_0 - 2 l_0) \operatorname{tg} \varphi} \left(\ln \frac{a - b_0 + 2 l_0}{a} + \ln \frac{b_0}{2 l_0} \right)$$

Na mocy wzoru (15) wyznaczyć można:

$$Y_1 = \frac{p b_0 l_0}{E (b_0 - 2 l_0) \operatorname{tg} \varphi} \ln \frac{b_0}{2 l_0}$$

¹⁾ Przyjęte założenie równomiernego rozkładu ciśnienia płyt na płaszczyznę do nich równoległą zbliża się do wyniku spostrzeżeń (str. 35) co do równomiernego osiadania torowiska pod podsypką, pod podkładami i pomiędzy nimi.

oraz

$$y_n = \frac{n p_x b_1 l_1}{E (n b_1 - l_1) \operatorname{tg} \varphi} \ln \frac{n b_1}{2 l_1}$$

Jak łatwo zauważyć z rysunku

$$b_1 = a; \quad 2 l_1 = 2 l_0 + a - b_0$$

poza tym niewątpliwie $p_x b_1 l_1 = p b_0 l_0$

stąd

$$y_n = \frac{n p b_0 l_0}{E [n a - (a - b_0 + 2 l_0)] \operatorname{tg} \varphi} \ln \frac{n a}{a - b_0 + 2 l_0}$$

Podstawiając te wartości do wzoru (17) otrzymuje się wzór ostateczny:

$$\frac{C_1}{C_n} = \frac{\lg \frac{b_0}{2 l_0} - \lg \frac{a}{a - b_0 + 2 l_0} + \frac{n (b_0 - 2 l_0)}{n a - (a - b_0 + 2 l_0)} \lg \frac{n a}{a - b_0 + 2 l_0}}{\lg \frac{b_0}{2 l_0}} \quad (18)$$

który jak widać, nie zawiera E ani φ ¹⁾.

Dla nawierzchni badanej:

$$b_0 = 26 \text{ cm}$$

$$2 l_0 = 270 \text{ cm}$$

$$a = 73 \text{ cm}$$

stąd

$$b_0 - 2 l_0 = -244 \text{ cm}$$

$$a - b_0 + 2 l_0 = +317 \text{ cm}$$

$$\lg \frac{b_0}{2 l_0} = \lg 26 - \lg 270 = -1,01639$$

$$\lg \frac{a}{a - b_0 + 2 l_0} = \lg 73 - \lg 317 = -0,63775$$

czyli ostatecznie:

$$\frac{C_1}{C_n} = 0,37253 + \frac{3,2886 n}{n - 4,3425} (\lg n - 0,63775) \quad (19)$$

Ze wzoru tego otrzymuje się:

dla $n =$	1	2	3	4	5...	10...
$\frac{C_1}{C_n} =$	1	1,3180	1,5530	1,7433	1,9035...	2,4782... i t. d.

10. Osiadanie gruntu pod naciskiem płyty okrągłej według matematycznej teorii sprężystości.

Założenia przyjęte w punkcie poprzedzającym są niezupełnie ścisłe co do rozkładu ciśnienia wewnątrz sfery sprężystej i mogłyby z tego powodu nasuwać wątpliwości co do otrzymanego wyniku. Dla uniknięcia tych wątpliwości zrobiono obliczenie osiadania gruntu pod podkładami na podstawie ścisłej teorii sprężystości.

¹⁾ Logarytmy naturalne zostały we wzorze (18) zastąpione proporcjonalnymi do nich logarytmami dziesiętnymi.

Zadanie osiadania gruntu pod naciskiem walca sztywnego ograniczonego płaszczyzną poziomą rozwiązał Boussinesque ¹⁾ następnie zaś inną drogą Riemann ²⁾.

Według tych danych osiad sprężysty gruntu pod walcem wynosi:

$$y_0 = \frac{\lambda + 2\mu}{8\mu(\lambda + \mu)} \cdot \frac{P}{r}$$

a w odległości R od walca

$$y_R = y_0 \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{r}{R}$$

przyczem $P = \pi r^2 p$ — całkowity nacisk cylindra,

r — promień cylindra,

R — odległość od osi cylindra ($R \geq r$)

λ i μ są to współczynniki sprężystości Lamégo, które z modułem Younga E i liczbą Poissona ψ są związane wzorami

$$\lambda = \frac{\psi E}{(1 + \psi)(1 - 2\psi)} \quad \mu = \frac{E}{2(1 + \psi)}$$

po podstawieniu otrzymuje się

$$y_0 = (1 - \psi^2) \frac{\pi}{2E} p r^3$$

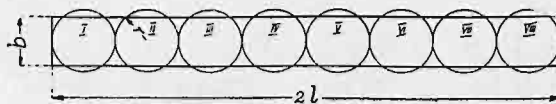
$$y_R = y_0 \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{r}{R}$$

Jeżeli oznaczyć $y_0 = 1$, to średni wpływ danego walca na osiadanie drugiego takiego walca odległego odeń o R (oś od osi) wyrazi się wzorem

$$y_R = \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{r}{R}$$

przy czym dla R dostatecznie dużego $\arcsin \frac{r}{R} \approx \frac{r}{R}$. W celu sprawdzenia wzoru (19)

zastąpiono podkład badany szeregiem równoważnych cylindrów, rozpatrując dla przejrzystości rachunku wypadek szczególny badanej nawierzchni typu S .



Rys. 28. Schemat zastąpienia podkładu szeregiem równoważnych cylindrów.

¹⁾ Application des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques § IV.

²⁾ H. Weber. Die partiellen Differentialgleichungen der mathematischen Physik (nach Riemanns Vorlesungen) Tom II. R. X.

³⁾ Wzór na osiadanie pojedynczego cylindra wyprowadzony poprzednio dawał

$$y_0 = \frac{1}{E \operatorname{tg} \varphi} p r$$

Staje się on identyczny ze wzorem Boussinesque'a przy $\operatorname{tg} \varphi = \frac{2}{\pi(1 - \psi^2)}$ czyli przy $\psi = 0,3$, $\varphi \approx 35^\circ$, co świadczy, że założenia uproszczone prowadzą do zupełnie prawdopodobnych rezultatów.

T A B L I C A X I V .

Osiedzenie pojedynczego podkładu O
bezpośrednio obciążonego.

Nr. wałca	r/R		$\gamma_R = \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{r}{R}$			
	I_0	I_0	II_0	III_0	IV_0	
I_0	1	1	0,5553	0,1608	0,1066	
II_0	$\frac{1}{2}$	0,5553	1	0,5553	0,1608	
III_0	$\frac{1}{4}$	0,1608	0,5553	1	0,5553	
IV_0	$\frac{1}{6}$	0,1066	0,1608	0,5553	1	
V_0	$\frac{1}{8}$	0,0795	0,1066	0,1608	0,5553	
VI_0	$\frac{1}{10}$	0,0657	0,0795	0,1066	0,1608	
VII_0	$\frac{1}{12}$	0,0551	0,0657	0,0795	0,1066	
$VIII_0$	$\frac{1}{14}$	0,0455	0,0551	0,0657	0,0795	
Osiedzenie wypadkowe oddzielnych wałców						
Osiedzenie średnie całego podkładu	2,1229					

Osiedzenie podkładu O, wywołane
obciążeniem podkładu 1.

Nr. wałca	r/R		$\gamma_R = \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{r}{R}$			
	I_0	I_0	II_0	III_0	IV_0	
I_1	0,2294	0,1475	0,1536	0,1080	0,0861	
II_1	0,2085	0,1536	0,1475	0,1536	0,1080	
III_1	0,1689	0,1080	0,1536	0,1475	0,1536	
IV_1	0,1548	0,0861	0,1080	0,1536	0,1475	
V_1	0,1097	0,0700	0,0861	0,1080	0,1536	
VI_1	0,0916	0,0584	0,0700	0,0861	0,1080	
VII_1	0,0782	0,0498	0,0584	0,0700	0,0861	
$VIII_1$	0,0681	0,0454	0,0498	0,0584	0,0700	
Osiedzenie wypadkowe oddzielnych wałców						
Osiedzenie średnie całego podkładu	0,8005					

Osiedzenie podkładu O, wywołane
obciążeniem podkładu 2.

Nr. wałca	r/R		$\gamma_R = \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{r}{R}$			
	I_0	I_0	II_0	III_0	IV_0	
I_2	0,1147	0,0752	0,0715	0,0665	0,0602	
II_2	0,1117	0,0715	0,0752	0,0715	0,0665	
III_2	0,1042	0,0665	0,0715	0,0752	0,0715	
IV_2	0,0944	0,0602	0,0665	0,0715	0,0752	
V_2	0,0845	0,0559	0,0602	0,0665	0,0715	
VI_2	0,0755	0,0480	0,0559	0,0602	0,0665	
VII_2	0,0674	0,0429	0,0480	0,0559	0,0602	
$VIII_2$	0,0606	0,0386	0,0429	0,0480	0,0559	
Osiedzenie wypadkowe oddzielnych wałców						
Osiedzenie średnie całego podkładu	0,4940					

Osiedzenie podkładu O, wywołane
obciążeniem podkładu 3.

Nr. wałca	r/R		$\gamma_R = \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{r}{R}$			
	I_0	I_0	II_0	III_0	IV_0	
I_3	0,0765	0,0487	0,0482	0,0466	0,0445	
II_3	0,0756	0,0482	0,0487	0,0482	0,0466	
III_3	0,0751	0,0466	0,0482	0,0487	0,0482	
IV_3	0,0695	0,0445	0,0466	0,0482	0,0487	
V_3	0,0655	0,0416	0,0445	0,0466	0,0482	
VI_3	0,0607	0,0387	0,0416	0,0445	0,0466	
VII_3	0,0565	0,0359	0,0387	0,0416	0,0445	
$VIII_3$	0,0522	0,0352	0,0359	0,0387	0,0416	
Osiedzenie wypadkowe oddzielnych wałców						
Osiedzenie średnie całego podkładu	0,5552					

Osiedzenie podkładu O, wywołane
obciążeniem podkładu 4.

Nr. wałca	r/R		$\gamma_R = \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{r}{R}$			
	I_0	I_0	II_0	III_0	IV_0	
I_4	0,0574	0,0566	0,0565	0,0556	0,0546	
II_4	0,0570	0,0565	0,0566	0,0565	0,0556	
III_4	0,0559	0,0556	0,0565	0,0566	0,0565	
IV_4	0,0545	0,0546	0,0556	0,0565	0,0566	
V_4	0,0521	0,0532	0,0546	0,0556	0,0565	
VI_4	0,0498	0,0517	0,0532	0,0546	0,0556	
VII_4	0,0475	0,0501	0,0517	0,0532	0,0546	
$VIII_4$	0,0447	0,0285	0,0501	0,0517	0,0532	
Osiedzenie wypadkowe oddzielnych wałców						
Osiedzenie średnie całego podkładu	0,2759					

Osiedzenie podkładu O, wywołane
obciążeniem podkładu 5.

Nr. wałca	r/R		$\gamma_R = \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{r}{R}$			
	I_0	I_0	II_0	III_0	IV_0	
I_5	0,0459	0,0292	0,0291	0,0287	0,0281	
II_5	0,0457	0,0291	0,0292	0,0291	0,0287	
III_5	0,0451	0,0287	0,0291	0,0292	0,0291	
IV_5	0,0442	0,0281	0,0287	0,0291	0,0292	
V_5	0,0431	0,0274	0,0281	0,0287	0,0291	
VI_5	0,0417	0,0265	0,0274	0,0281	0,0287	
VII_5	0,0402	0,0256	0,0265	0,0274	0,0281	
$VIII_5$	0,0386	0,0246	0,0256	0,0265	0,0274	
Osiedzenie wypadkowe oddzielnych wałców						
Osiedzenie średnie całego podkładu	0,2245					

Objaśnienie tablicy. Kolumny γ_R dają osiedzenie pojedynczych wałców podkładu „O” (I_0, II_0, III_0, \dots), wywołane osiedzeniem kolejnych wałców podkładu „I” (I_1, II_1, III_1, \dots). Osiedzenie wypadkowe pojedynczych wałców podkładu „O” jest sumą osiedzeń w odpowiedniej kolumnie. Osiedzenie średnie podkładu jest średnią arytmetyczną osiedzeń wypadkowych wszystkich jego wałców. Za jednostkę osiedzenia przyjęto osiedzenie pojedynczego wałka, osobno stojącego. Obciążenie na jednostkę powierzchni wszędzie jednakowe. r — promień wałka. R — odległość między osiami oddzielnych wałców. ($R_{\min} = r$).

Podkład badany (rys. 28)

$$b = 26 \text{ cm} \quad 2l = 270 \text{ cm} \quad 2bl = 7020 \text{ cm}^2$$

r — promień cylindra, n — ilość cylindrów

$$n\pi r^2 = 7020 \text{ cm}^2 \quad 2nr = 270 \text{ cm}$$

stąd

$$r = \frac{52}{\pi} = 16,55 \text{ cm}; \quad n = 8,16$$

przyjęto $n=8$, a zatem $\pi r^2 = \frac{7020}{8} = 877,5 \text{ cm}^2$

$$r = \sqrt{\frac{877,5}{\pi}} \approx 16,75 \text{ cm.}$$

będzie zatem 8 cylindrów, każdy o średnicy 33,5 cm.

Obliczano wpływ każdego cylindra podkładów sąsiednich na każdy cylinder podkładu badanego. Jako średnie osiadanie podkładu badanego przyjęto średnią z osiadań jego cylindrów składowych. Wpływ każdego podkładu na podkład badany zestawiono w tablicy XIV.

11. Średni współczynnik podłoża przy obciążeniu jednego do pięciu podkładów.

Przyjęto następujące oznaczenia:

y_{ni} — osiadanie podkładu i w grupie n podkładów obciążonych.

y_{ns} — średnie osiadanie wszystkich podkładów danej grupy.

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= C_{1s} = \frac{P}{\omega y_{1,0}} \\ C_{ns} &= \frac{P}{\omega y_{ns}} \end{aligned} \right\} \text{współczynniki podłoża odpowiadające osiadaniam średniemu.}$$

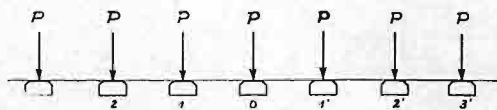
Przyjawszy za jednostkę osiadania, jak poprzednio, osiadanie pojedynczego walca osobno stojącego (oznaczenia podkładów jak na rys. 29), otrzymuje się na podstawie danych tablicy XIV:

1) *Osiadanie podkładu pojedynczego* (0).

$$y_{1,0} = 2,1229; \quad \dots C_1.$$

2) *Osiadanie 2-ch podkładów* (1, 0)

$$\begin{aligned} y_{2,0} &= y_{2,1} = 2,1229 + 0,8005 = 2,9232 \\ y_{2s} &= 2,9232 \quad C_{2s} = \frac{2,1229}{2,9232} C_1 = 0,726 C_1 \\ C_1 &= 1,377 C_{2s}. \end{aligned}$$



Rys. 29. Schemat numeracji podkładów.

3) *Osiadanie 3-ch podkładów* (1, 0, 1').

$$y_{3,0} = 2,1229 + 2 \times 0,8005 = 3,7235$$

$$y_{3,1} = y_{3,1'} = 2,1229 + 0,8005 + 0,4940 = 3,4172$$

$$y_{3s} = \frac{1}{3} (y_{3,0} + y_{3,1} + y_{3,1'}) = 3,5193$$

$$C_{3s} = \frac{2,1229}{3,5193} C_1 = 0,604 C_1 \quad C_1 = 1,657 C_{3s}.$$

4) Osiadanie 4-ch podkładów (2, 1, 0, 1')

$$y_{4,0} = y_{4,1} = 2,1229 + 2 \times 0,8003 + 0,4940 = 4,2175$$

$$y_{4,2} = y_{4,1'} = 2,1229 + 0,8003 + 0,4940 + 0,5552 = 3,9724$$

$$y_{4,s} = \frac{1}{4} (2 y_{4,1} + 2 y_{4,2}) = 3,9950$$

$$C_{4s} = \frac{2,1229}{3,9950} C_1 = 0,532 C_1; \quad C_1 = 1,881 C_{4s}$$

5) Osiadanie 5-ciu podkładów (2, 1, 0, 1', 2')

$$y_{5,0} = 2,1229 + 2 \times 0,8003 + 2 \times 0,4940 = 4,7115$$

$$y_{5,1} = y_{5,1'} = 2,1229 + 2 \times 0,8003 + 0,4940 + 0,5552 = 4,5727$$

$$y_{5,2} = y_{5,2'} = 2,1229 + 0,8003 + 0,4940 + 0,5552 + 0,2759 = 4,0483$$

$$y_{5,s} = \frac{1}{5} (y_{5,0} + 2 y_{5,1} + 2 y_{5,2}) = 4,3905$$

$$C_{5s} = \frac{2,1229}{4,3905} C_1 = 0,4835 C_1; \quad C_1 = 2,07 C_{5s}$$

Wyniki tego obliczenia zestawione są w tablicy XV-tej.

Obliczenie oparte na założeniu przybliżonym równomiernego rozkładu ciśnienia w warstwach poziomych gruntu, również jak obliczenie dokładniejsze oparte na matematycznej teorii sprężystości podłoża, wskazują, że współczynnik podłoża podkładów ze wzrostem ilości podkładów obciążonych maleje.

Według spostrzeżeń, współczynnik podłoża, określony z osiadania wszystkich podkładów osiadających pod ciężarem parowozu, jest około dwóch razy mniejszy od współczynnika, otrzymanego z osiadania pojedynczego podkładu pod naciskiem dźwigników. Według teorii sprężystości takie zmniejszenie współczynnika podłoża otrzymuje się już, gdy zamiast osiadania pojedynczego podkładu będzie rozpatrywane osiadanie grupy pięciu podkładów. Zwiększenie ilości podkładów coraz mniej wpływa na stosunek współczynników, który przy dziesięciu podkładach zwiększa się do 2,5. Należy więc uważać, że zgodność wyników spostrzeżeń z teorią jest zupełnie dostateczna.

TABLICA XV.

Średni współczynnik podłoża grupy podkładów jednakowo obciążonych w porównaniu do współczynnika podłoża pojedynczego podkładu C_1 , dla jednego do pięciu podkładów w grupie.

Ilość podkładów w grupie	Symbol współczynnika	$\frac{C_{ns}}{C_1}$	$\frac{C_1}{C_{ns}}$	Osiadanie podkładów skrajnych w ‰ od osiadania średniego	Osiadanie podkładów środkowych w ‰ od osiadania średniego	$\frac{C_1}{C_{ns}}$ według wzoru (19)
1	$C_{1s} = C_1$	1	1	100‰	100‰	1
2	C_{2s}	0,726	1,38	100	100	1,318
3	C_{3s}	0,604	1,66	97	106	1,553
4	C_{4s}	0,532	1,88	94	106	1,743
5	C_{5s}	0,484	2,07	92	107	1,904

Odpowiedź na pytanie, który ze współczynników podłoża należy przyjąć do obliczeń nawierzchni, nie może wzbudzać wątpliwości. Jest bowiem oczywiste, że współczynnik określony ze spostrzeżeń nad osiadaniem pojedynczego podkładu pod naciskiem dźwigników zupełnie nie odpowiada warunkom pracy nawierzchni i może służyć tylko do rozważań teoretycznych.

12. W n i o s k i.

I. Badania nad sprężystością podparcia szyny w nawierzchni obserwowanego typu (szyny typu S, 42,5 kg/m, podkłady drewniane o przekroju 16×26 cm, długości 2,70 m, ułożone na podsypce z tłucznia o grubości warstwy 36 cm pod podkładem, spoczywającej bezpośrednio na piaszczystym gruncie naturalnym), wykonane podczas ruchu pociągów, doprowadzają do następujących wniosków:

1. Współczynnik D podparcia szyny wynosi średnio 10,0 do 8,7 t/cm; współczynnik zaś D' podparcia podkładu po uwzględnieniu jego ściśliwości 11,0 do 9,4 t/cm;
2. Różnic w wartości współczynnika D w zależności od szybkości pociągów do 107 km/godz. nie zauważono;
3. Różnice w wartości współczynnika D w zależności od stopnia normalnego podbicia podkładów dochodzą do 30%;
4. Współczynnik D'' ściśliwości podkładu w stanie dobrym, średnio zawilgoconego, wynosi około 120 t/cm;
5. Współczynnik C podłoża podkładów po uwzględnieniu ich ściśliwości wynosi średnio 3,5 do 3 kg/cm³;
6. Współczynnik podtorza w postaci piaszczystego gruntu naturalnego mało się różni od współczynnika podłoża, wynosząc w danym przypadku średnio 3,1 kg/cm³;
7. Współczynnik K podsypki, równy współczynnikowi C podłoża w przypadku zupełnie sztywnego podtorza, wynosi średnio 6,1 kg/cm³.

II. Badania nad współczynnikiem podłoża pojedynczego podkładu pod naciskiem dźwigników hydraulicznych dowiodły, że ten współczynnik jest przybliżenie dwa razy większy od współczynnika C podłoża wielu podkładów przy przejściu pociągów i że, jako nie uwzględniający oddziaływania na sprężystość oddzielnych podpór szyny nacisku na podłoża podpór sąsiednich, nie może służyć za podstawę do określenia odkształceń szyny i naprężeń w szynach.

III. Odkształcenia pionowe szyny.

1. Zakres spostrzeżeń i podstawy teoretyczne do oceny ich wyników.

Badania odkształceń pionowych szyny miały na celu określenie wpływu, jaki wywiera na osiadanie szyny, a stąd pośrednio na naprężenia w niej, ruch ciężkich parowozów z różnym rozstawem osi, prowadzących pociągi z dużą szybkością, i uzyskanie danych do określenia nawierzchni, odpowiadającej pewnym warunkom obciążenia. Z tem zagadnieniem wiązała się potrzeba wyjaśnienia oddziaływania silnika parowego na nawierzchnię również pod innymi względami, jako to pod względem zmienności nacisku koła, drgań własnych szyny i in.

Za podstawę do oceny oddziaływania obciążenia ruchomego na osiadanie szyny, niezbędnym było przyjąć osiadanie pod obciążeniem statycznym badanych jednostek taboru. Znajomość sprężystości podparcia szyny na badanym odcinku, średniej i właściwej różnym punktom tego odcinka, ułatwiła obliczenie osiadania statycznego szyny, jednakże dokładność tego obliczenia zależała od przyjętych w nim założeń.

Rozpatrywanie szyny przy obliczaniu jej odkształceń pionowych jako belki na wielu podporach sprężystych, obciążonej układem ciężarów, najlepiej odpowiada rzeczy-