

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  $16 \times 26$  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/cm<sup>3</sup>;
6. Współczynnik podtorza w postaci piaszczystego gruntu naturalnego mało się różni od współczynnika podłoża, wynosząc w danym przypadku średnio 3,1 kg/cm<sup>3</sup>;
7. Współczynnik  $K$  podsypki, równy współczynnikowi  $C$  podłoża w przypadku zupełnie sztywnego podtorza, wynosi średnio 6,1 kg/cm<sup>3</sup>.

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 podłoże 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-

wistym warunkom jej pracy. Teoria odkształceń, jakim w tych warunkach podlega szyna pod działaniem statycznym ciężarów, jest oddawna szczegółowo opracowana<sup>1)</sup>, tablice zaś momentów nad podporami przy różnym stosunku sztywności szyny i jej podparcia i różnym położeniu ciężaru<sup>2)</sup> ułatwiają obliczenia. Jednakże i przy tych ułatwieniach obliczenie odkształceń, wymagające prób z różnym rozstawieniem ciężarów względem podpór, jest bardzo żmudne i niedogodne do częstego stosowania.

Obliczenie szyny znacznie się upraszcza, jeżeli według pomysłu prof. Timoszenki<sup>3)</sup> rozpatrywać ją jako belkę nieskończenie długą na ciągłym podłożu sprężystym, cisnącą na nie podstawą wyobrażalną szerokości  $b_s$  odpowiadającą warunkowi

$$C \cdot b_s = \frac{D}{a} \quad (20)$$

gdzie  $C$  jest współczynnik podłoża podkładów w  $\text{kg/cm}^3$ .

$D$  — współczynnik podparcia szyny w  $\text{kg/cm}$  (por. wzór (7)).

$a$  — rozstaw podkładów.

Wprowadzając wielkość  $b_s$  do znanego wzoru belki nieskończenie długiej na ciągłym podłożu sprężystym, obciążonej dowolnym układem ciężarów pionowych, otrzymuje się:

$$y = \frac{1}{2 C b_s L_s} \sum G \eta = \frac{1}{2 D} \sqrt{\frac{3}{2 \gamma}} \sum G \eta \quad (21)$$

$$\text{gdzie } L_s = \sqrt{\frac{4 E J}{C \cdot b_s}} = a \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \gamma}; \quad \gamma = \frac{B}{D}; \quad B = \frac{6 E I}{a^3}$$

$E$  — współczynnik sprężystości stali szynowej;

$I$  — moment bezwładności przekroju szyny.

$$\eta = e^{-\xi} (\cos \xi + \sin \xi); \quad \xi = \frac{x}{L_s}$$

$x$  — odległość ciężaru od rozpatrywanego przekroju szyny;

$\sum G \eta$  — suma iloczynów ciężarów przez odpowiednie  $\eta$ .

Powyższe przybliżone założenia w obliczeniu osiadania szyny w niczym nie wpływają na obliczenie ugięcia podkładu i naprężeń, którym on podlega według ścisłej teorii belki na podłożu ciągłym, którego sprężystość określono według spostrzeżeń.

Na rys. 31 i 32 podano wykresy osiadania obserwowanej szyny typu S, rozpatrywanej jako belka na oddzielnych podporach i jako belka na podłożu ciągłym, w warunkach sprężystości jej podparcia, otrzymanych ze spostrzeżeń.

Porównanie tych wykresów świadczy, że zarówno pod obciążeniem pojedynczym ciężarem jak i pod układem ciężarów różnice w osiadaniu szyny, rozpatrywanej jako belka na oddzielnych podporach lub jako belka na podłożu ciągłym, są bardzo nieznaczne i nie przewyższają 0,5%.

Taki wynik obliczeń upoważnił do oceny oddziaływania obciążenia ruchomego na osiadanie szyny, porównyując je z osiadaniem pod obciążeniem statycznym, otrzymanym według wzoru (21), co znakomicie ułatwia sporządzenie wykresów porównawczych.

<sup>1)</sup> H. Zimmermann. Berechnung des Eisenbahnoberbaues. 1888. § 28. L. Karasiński. Przegl. Techn. 1926. str. 714, 1927, str. 212.

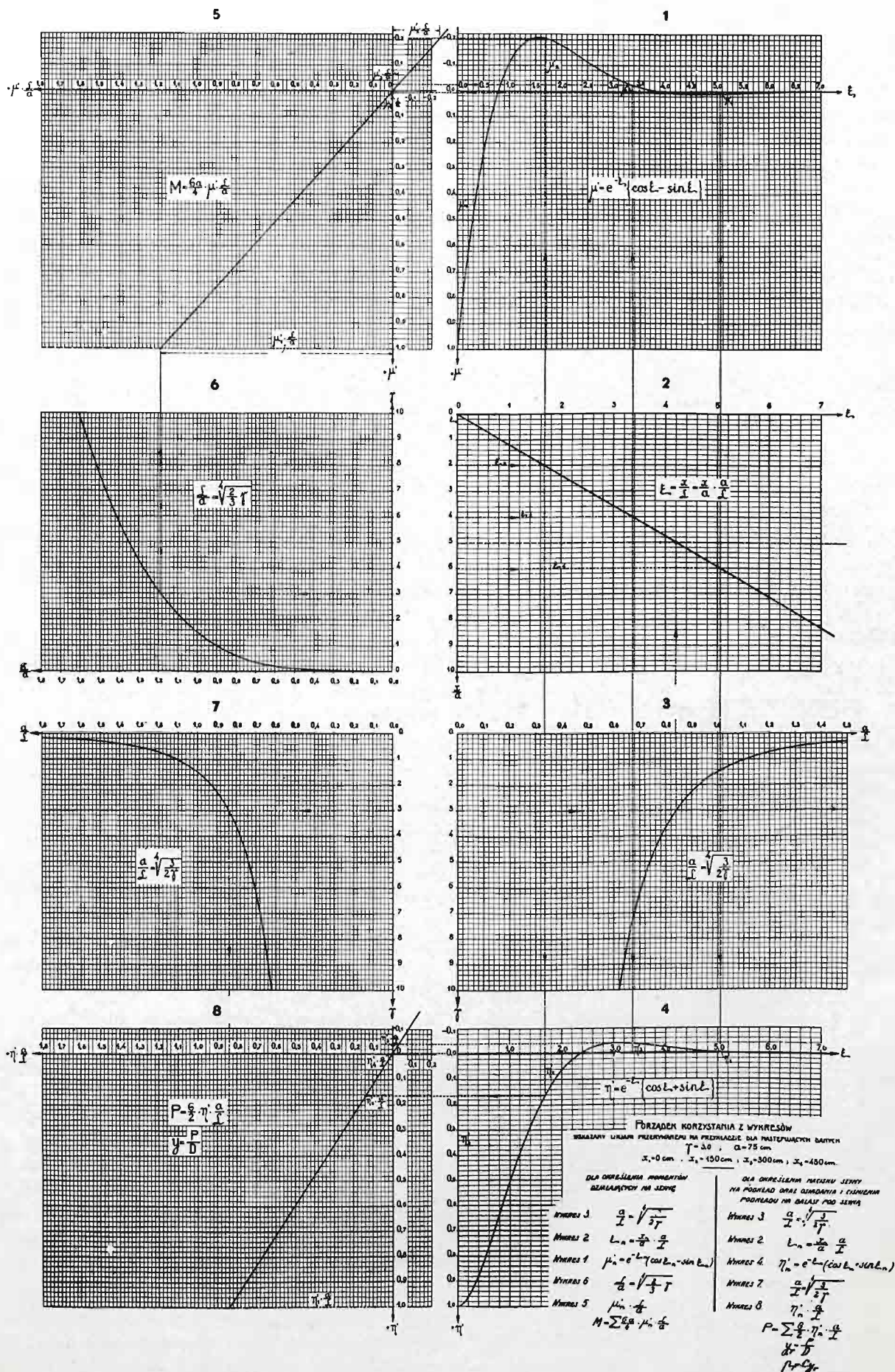
<sup>2)</sup> Z. Wasiutyński. Tablica momentów dla szyny. Przegl. Tech. 1927, str. 570.

<sup>3)</sup> S. Timoszenko. K woprosu o procznosti rels. 1915.

A. Wasiutyński. Drogi żelazne. 1925. str. 299—300.

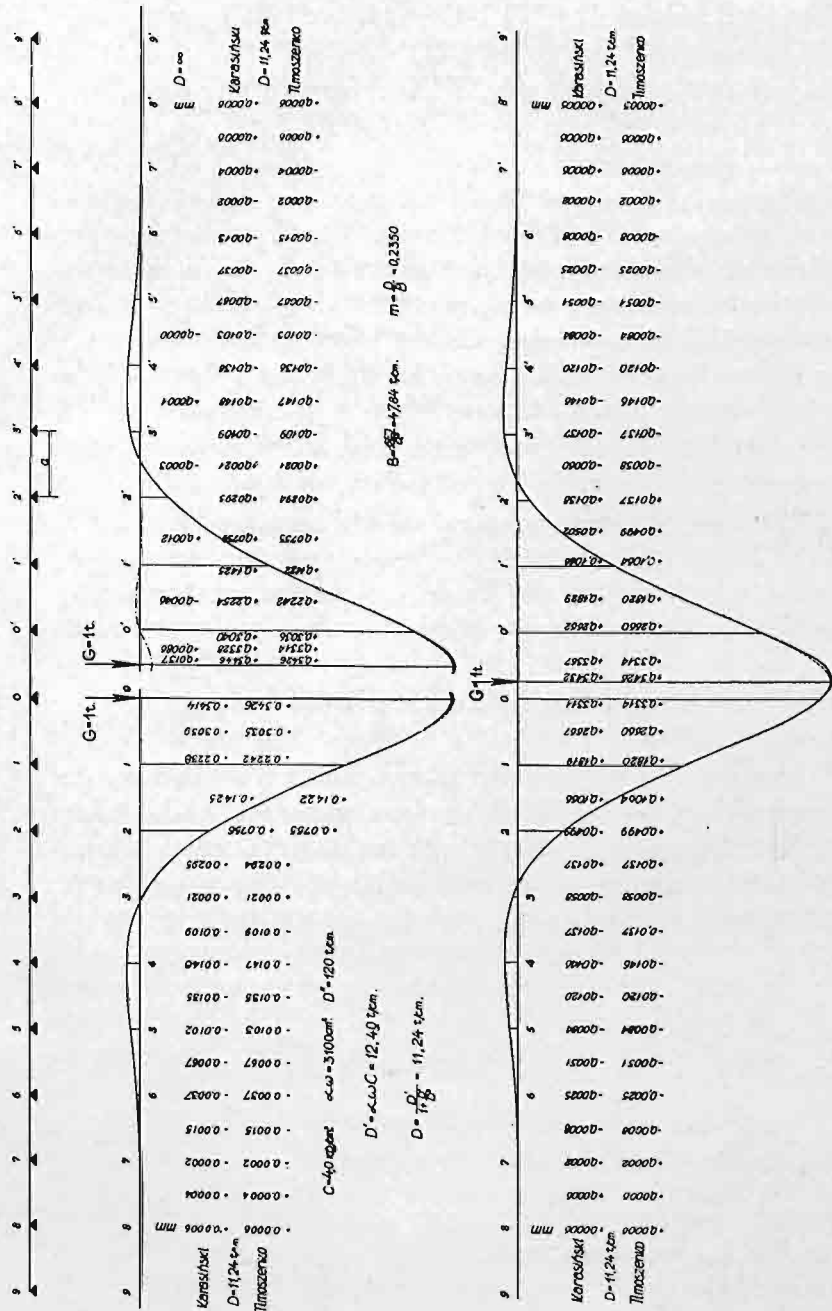
Obliczenie nawierzchni, oparte na podanym tu założeniu, stosowane jest od r. 1920 w ćwiczeniach słuchaczy Wydziału Inżynierii Politechniki Warszawskiej, którzy dla ułatwienia tej pracy korzystają z wykresów, których podobiznę ze wskazaniem biegu obliczenia podano na rys. 30.



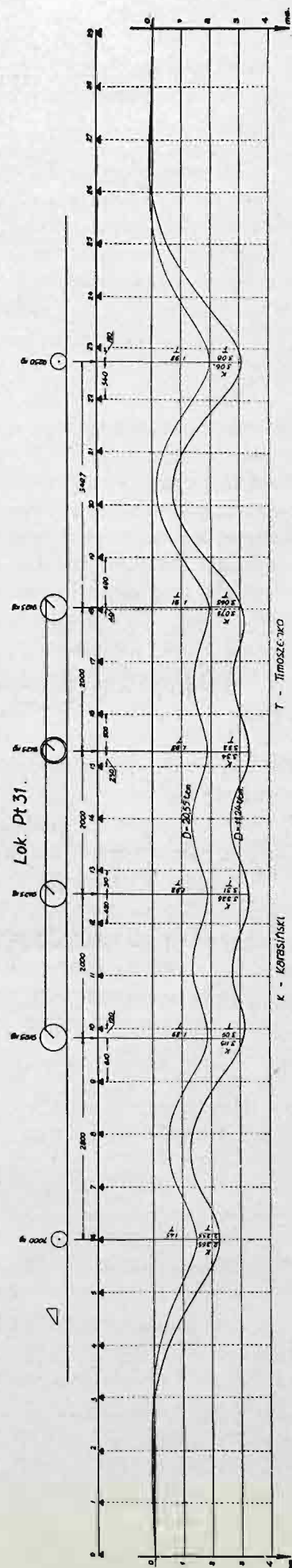


Rys. 30. Wykresy do obliczenia ugięć szyn i momentów na nie działających od układu ciężarów.





Rys. 31. Osiadanie szyny pod ciężarem pojedynczym.



Rys. 32. Osiadanie szyny pod układem ciężarów.

## 2. Osiadanie szyny w zależności od szybkości i innych przyczyn.

### a. *Pomiary wykonane.*

W celu ujawnienia wpływu szybkości i innych przyczyn na osiadanie szyny, pomierzono na wykonanych zdjęciach ruchów pionowych szyny, osiadanie jej przy przejściu każdej osi badanych trzech typów parowozów w pociągach przepuszczanych z różną szybkością. Spostrzeżenia wykonane w tym celu odnoszą się do środkowej części obserwowanej szyny w przesłach między podkładami 12 — 13 i 13 — 14, oraz nad podkładami 12, 13 i 14.

Wyniki pomiarów zestawiono w tablicach XVI do XXIX cyfrowo i w postaci wykresów, oddzielnie dla każdego typu parowozu, okresu spostrzeżeń i miejsca pomiaru.

Każda z tych tablic zawiera w górnej części, w pierwszym wierszu pod nagłówkiem, wartości teoretyczne osiadania szyny w mm pod każdym kołem parowozu, pod obciążeniem statycznym, obliczone według wzoru (21). Do obliczenia przyjęto współczynnik podparcia szyny określony doświadczalnie dla danego miejsca obserwacji. W następnych wierszach podano zaobserwowane wartości osiadania szyny przy przejściu każdej osi parowozu w milimetrach i w procentach osiadania pod obciążeniem statycznym, obliczonego teoretycznie. Wiersz ostatni górnej części każdej tablicy zawiera średnie wartości osiadania w ‰ pod oddzielnymi osiami parowozu bez różnicy szybkości.

W dolnej części tablic podano średnie wartości osiadania pod każdą z trzech grup osi: potocznych, napędnych i tendrowych, przy przejściu z różną szybkością.

Wykresy ilustrujące wyniki spostrzeżeń, pomieszczone w tablicach XVI do XXIX, wskazują w ‰ względem osiadania szyny pod obciążeniem statycznym zaobserwowane średnie osiadanie szyny oraz krańcowe jego wartości dla każdej osi parowozu bez względu na szybkość oraz dla trzech grup osi: potocznych, napędnych i tendrowych z uwzględnieniem szybkości.

W tablicy XXX podano średnie wyniki z tablic XVI do XXIX dla każdego z trzech badanych parowozów i każdej ich osi z osobna.

Tablice XVI do XXX dają orientację co do ruchów pionowych szyny pod osiami parowozów różnych typów, biegnących z różną szybkością, lecz nie dają całkowitego obrazu tych ruchów jakim jest fotograficzne ich zdjęcie. W celu uzyskania takiego obrazu nałożono na teoretyczne wykresy osiadania szyny pod badanymi parowozami wykresy osiadania szyny pod nimi, otrzymane fotograficznie, podczas prowadzenia przez nie pociągów próbnych z różną szybkością (rys. 33 do 36). Każda z grup spostrzeżeń, nałożonych na jeden wykres, odnosi się do tegoż punktu i do obserwacji wykonanych w tym samym czasie. Szybkość pociągów próbnych zmieniała się od 8 do 112 km/godz. Wykresy teoretyczne sporządzono przy odpowiednim, doświadczalnie określonym współczynniku sprężystości podpór szyny.

### b. *Wpływ szybkości jazdy.*

Rozpatrując wyniki spostrzeżeń nad osiadaniem szyny pod parowozami Ok 22, Pt 31 i Pu 29 zawarte w tabl. XVI do XXIX i w zestawieniu najogólniejszym na wykresach tablicy XXX daje się zauważyć co następuje co do wpływu na osiadanie szybkości jazdy.

Pod kołami napędnymi wszystkich trzech wymienionych typów parowozów średnie osiadanie szyny, naogół biorąc, wzrasta nieco wraz z szybkością i przy największej szybkości 100 do 110 km/godz. wzrost osiadania dochodzi odpowiednio do 7,5‰, 12,5‰ i 13,5‰ osiadania przy małej szybkości. Począwszy od szybkości 80 do 90 km/godz. wzrost osiadania jest większy niż przy mniejszej szybkości. Jednakże z tablic szczegółowych zauważyć można, że na pewnych grupach zdjęć (tabl. XVI i XIX) osiadanie szyny nie wzrasta ze zwiększeniem szybkości, zwłaszcza gdy ona nie przewyższa 80 km, a czasem nawet osiadanie maleje,



gdy szybkość wzrasta do największej (tabl. XXII). Rozpiętość wahań osiadania jest przy dużej szybkości naogół większa niż przy małej. Jednakże zdarzają się przypadki odwrotne (tabl. XVI, XVIII, XX).

Pod kołami potocznymi parowozu zwiększenie osiadania szyny oraz rozpiętości wahań osiadania wraz ze zwiększeniem szybkości jest jeszcze mniej wyraźne.

Pod osiami tendra szyna osiada mniej więcej tak samo jak pod osiami potocznymi parowozu, lecz rozpiętość wahań ugięcia pod osiami tendra jest większa.

*c. Wpływ innych przyczyn prócz szybkości.*

Średnie osiadanie szyny pod kołami parowozów wszystkich trzech typów i wahań w tym osiadaniu, podane w tabl. XXX wskazują na następujące cechy charakterystyczne tych parowozów:

1. Co do oddziaływania kół napędnych parowozów:

- a. Prawie stałe odciążenie pierwszej osi dowiązanej i przeciążenie osi dowiązanej ostatniej oraz nieco mniejsze przeciążenie osi silnikowej. Odciążenie pierwszej osi dowiązanej jest wogóle większe, niż przeciążenie ostatniej osi dowiązanej, które jest we wszystkich trzech parowozach mniej więcej jednakowe, podczas gdy odciążenie jest w parowozie Ok 22 (2-3-0) nieledwie trzykrotne, w parowozie zaś Pu 29 (2-4-1) półtora raza większe niż przeciążenie osi ostatniej. Najmniejsza różnica pomiędzy przeciążeniem a odciążeniem osi silnikowej występuje w parowozie Pt 31 (1-4-1).
- b. Wahań w osiadaniu szyny pod osią silnikową wszystkich trzech typów parowozów większe niż pod skrajnymi osiami dowiązanymi, przy czym wahań pod parowozem Ok 22 są pod osiami dowiązanymi półtora raza, pod osią zaś silnikową przeszło dwa razy większe niż pod odpowiednimi osiami pozostałych dwóch parowozów.
- c. Największą wielkość przeciążenia kół napędnych nie przewyższającą 28% z wyjątkiem przeciążenia pod osią silnikową parowozu Ok 22, którego zaobserwowana wielkość dochodziła w jednym przypadku do 32% i w jednym do 51% (rys. 37).

2. Co do oddziaływania kół potocznych parowozów:

- a. Średnie osiadanie szyny pod tymi kołami niewiele różniące się od tego, jakie wynika z ich oddziaływania statycznego.
- b. Wahań w osiadaniu pod pierwszą osią potoczną większe niż pod pozostałymi osiami potocznymi.
- c. Absolutną wielkość przeciążenia osi potocznych nie przewyższającą 26% z wyjątkiem jednego przypadku, w którym zaobserwowano przeciążenie pierwszej osi potocznej parowozu Pu 29 dochodzące do 46% (rys. 38).

3. Co do oddziaływania kół tendrów:

- a. Średnie oddziaływanie tych kół niezbyt różniące się od oddziaływania statycznego i występujące w postaci przeciążenia o 10 do 20% tylko pod osiami skrajnymi tendrów parowozów typów Ok 22 i Pu 29 i pod osią tylną parowozu typu Pt 31.
- b. Znaczne wahań w osiadaniu pod wszystkimi kołami tendrów, dochodzące do 45%.
- c. Znaczną największą wielkość przeciążenia wszystkich kół tendrów parowozów typów Ok 22 i Pu 29, dochodzącego w pierwszym z nich do 47% i w drugim do 34%, oraz tylnej osi tendra parowozu typu Pt 31 do 30%.

Zdjęcia fotograficzne (rys. 33 do 36) ujawniają, prócz wymienionych cech osiadania szyny, okresowe wahań szyny: większe małej częstotliwości, w bliskości pewnych grup kół, i drobniejsze prawie na całej długości linii osiadania.

TABLICA XVI.

Osiadanie szyny S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

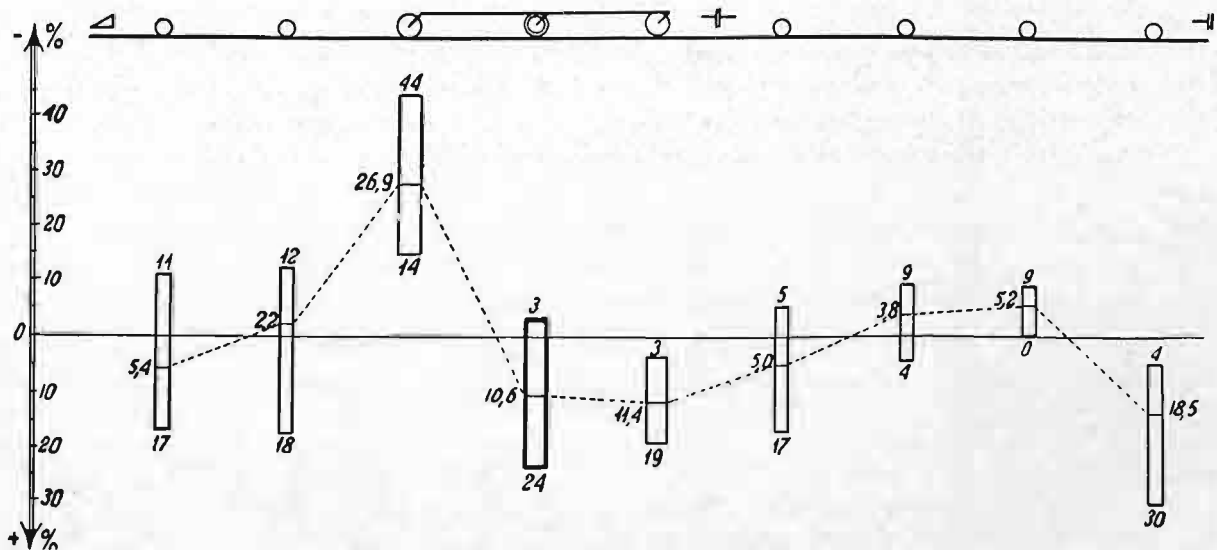
Parowóz Ok 22.

r. 1933.

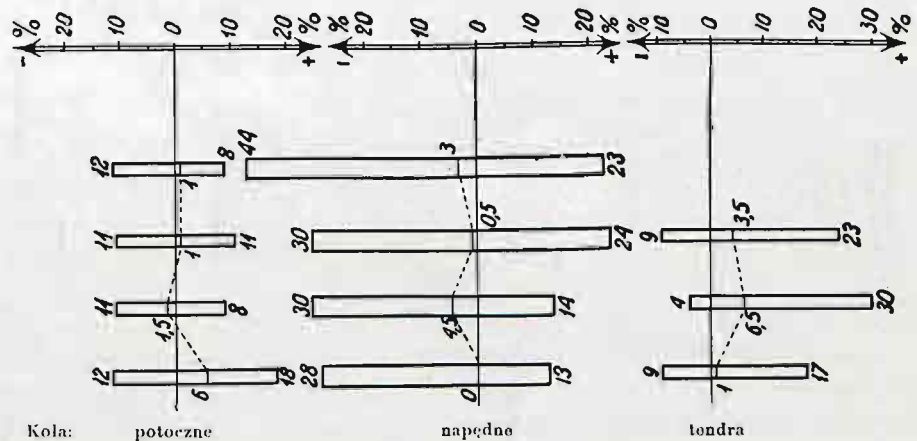
$D = 11590 \text{ kg/cm}$

Punkt obserwowany w prześle 12 — 13.

Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Koła potoczne				Koła napędne						Koła tendra							
		1		2		1		2		3		1		2		3		4	
		mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰
0	—	2,175	100	2,65	100	3,45	100	2,975	100	2,80	100	od 2,06 do 2,20	100	od 2,64 do 2,83	100	od 2,67 do 2,86	100	od 2,13 do 2,28	100
29,2	384	2,32	107	2,68	101	2,67	77	3,05	103	3,34	119	—	—	—	—	—	—	—	—
29,5	396	2,35	108	2,53	88	1,93	56	3,65	123	2,89	103	—	—	—	—	—	—	—	—
53,8	386	2,19	101	2,69	102	2,50	72	3,20	108	2,96	106	2,52	115	2,58	91	2,62	92	2,60	114
54,9	398	2,42	111	2,35	89	2,42	70	3,68	124	3,32	119	2,07	95	2,78	99	2,82	100	2,78	123
83,6	388	1,94	89	2,71	102	2,43	70	2,88	97	3,09	110	2,16	100	2,88	104	2,68	96	2,77	124
70,8	400	2,35	108	2,52	95	2,80	81	3,27	110	3,20	114	2,21	104	2,64	96	2,70	97	2,87	130
107,2	390	2,23	103	3,12	118	2,47	72	3,32	112	2,99	107	2,45	117	2,57	96	2,52	93	2,52	116
103,3	402	2,54	117	2,33	88	2,96	86	3,27	110	3,17	113	2,04	99	2,40	91	2,42	91	2,21	104
			105,4		97,8		73,1		110,6		111,4		105,0		96,2		94,8		118,5



Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Średnia w grupach kół		
		potocz.	napęd.	tendra
		‰	‰	‰
29,2	384	104	100	—
29,5	396	98	94	—
53,8	386	102	95	103
54,9	398	100	104	104
83,6	388	95	89	106
70,8	400	102	102	107
107,2	390	110	97	106
103,3	402	102	103	96



T A B L I C A XVII.

Osiadanie szyny S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

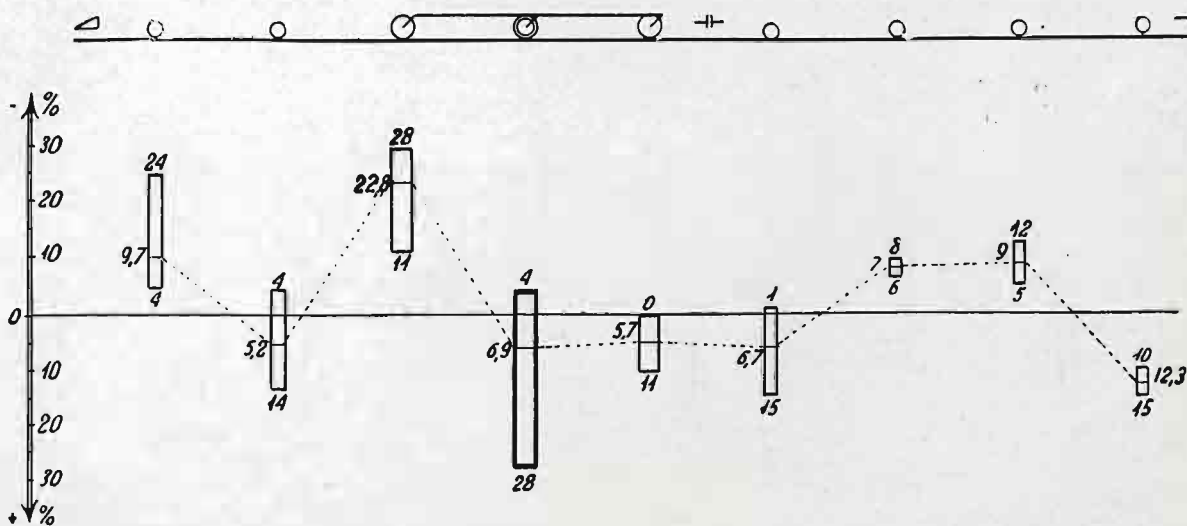
Parowóz Ok 22.

r. 1933.

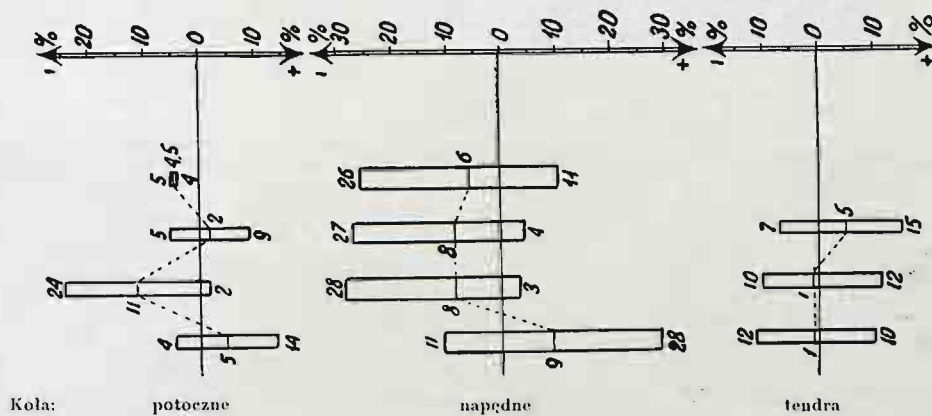
$D = 11590 \text{ kg/cm}$

Punkt obserwowany nad podkładem 12.

Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Koła potoczne				Koła napędne						Koła tendra							
		1		2		1		2		3		1		2		3		4	
		mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰
0	—	2,175	100	2,65	100	3,45	100	2,975	100	2,80	100	od 2,10 do 2,20	100	od 2,69 do 2,83	100	od 2,72 do 2,86	100	od 2,17 do 2,28	100
29,2	383	2,06	95	2,55	96	2,56	74	2,85	96	3,12	111	—	—	—	—	—	—	—	—
53,8	385	2,06	95	2,88	109	2,53	73	3,09	104	2,80	100	2,55	115	2,65	93	2,73	95	2,65	115
83,6	387	1,66	76	2,70	102	2,50	72	2,98	100	2,88	103	2,13	99	2,61	94	2,53	90	2,50	112
107,2	389	2,08	96	3,02	114	3,07	89	3,80	128	3,04	109	2,25	106	2,48	92	2,38	88	2,38	110
			90,3		105,2		77,2				105,7		106,7		93,0		91,0		112,3



Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Średnia w grupach kół		
		potocz.	napęd.	tendra
		‰	‰	‰
29,2	383	95	94	—
53,8	385	102	92	105
83,6	387	89	92	99
107,2	389	105	109	99





TABLICA XVIII.

Osiadanie szyny S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

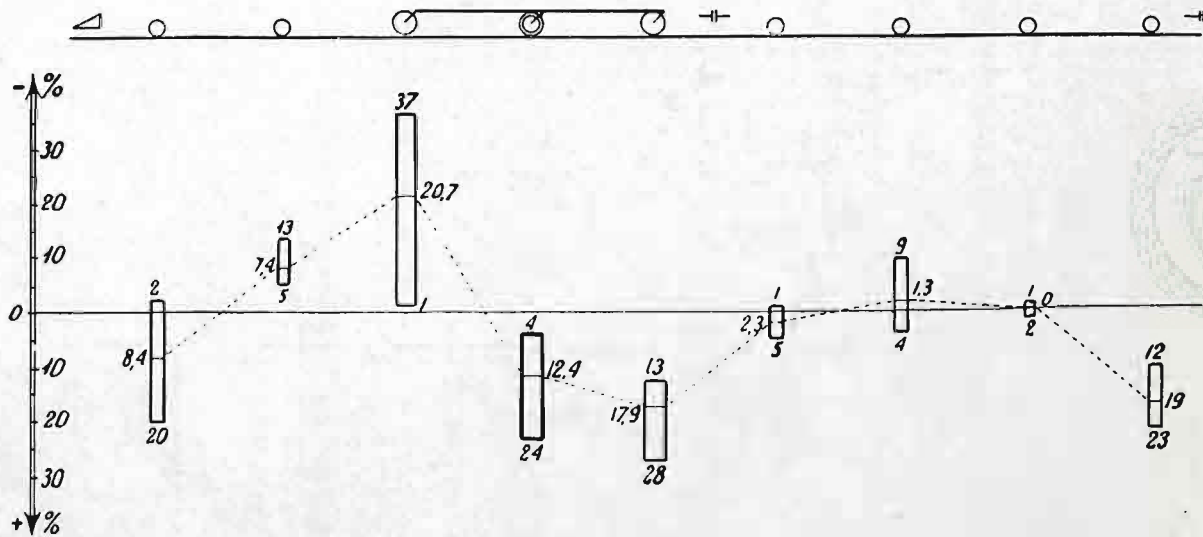
Parowóz Ok 22.

r. 1933.

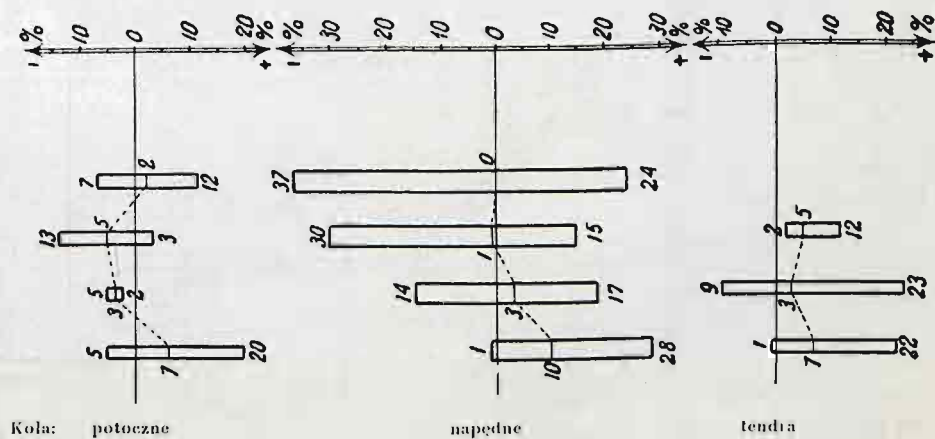
Punkt obserwowany nad podkładem 13.

$D = 10675 \text{ kg/cm}$

Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Koła potoczne				Koła napędne						Koła tendra							
		1		2		1		2		3		1		2		3		4	
		mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰
0	—	2,33	100	2,87	100	3,74	100	3,24	100	2,99	100	od 2,23 do 2,36	100	od 2,85 do 3,02	100	od 2,90 do 3,07	100	od 2,29 do 2,43	100
29,5	395	2,61	112	2,67	93	2,35	63	4,02	124	3,37	113	—	—	—	—	—	—	—	—
54,9	397	2,40	103	2,51	87	2,62	70	3,74	115	3,38	113	2,42	103	2,89	104	3,12	102	2,73	112
70,8	399	2,29	98	2,73	95	3,20	86	3,45	106	3,51	117	2,29	99	2,67	91	2,98	99	2,92	123
103,3	401	2,80	120	2,72	95	3,69	99	3,36	104	3,84	128	2,34	105	2,87	101	2,87	99	2,80	122
			108,4		92,6		79,3		112,4		117,9		102,3		98,7		100,0		119,0



Szybkość km/h	Nr zdjęcia	średnia w grupach kół		
		potocz.	napędn.	tendra
		‰	‰	‰
29,5	395	102	100	—
54,9	397	95	99	105
70,8	399	97	103	103
103,3	401	107	110	107



Koła: potoczne

napędne

tendra

TABLICA XIX.

Osiadanie szyny S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

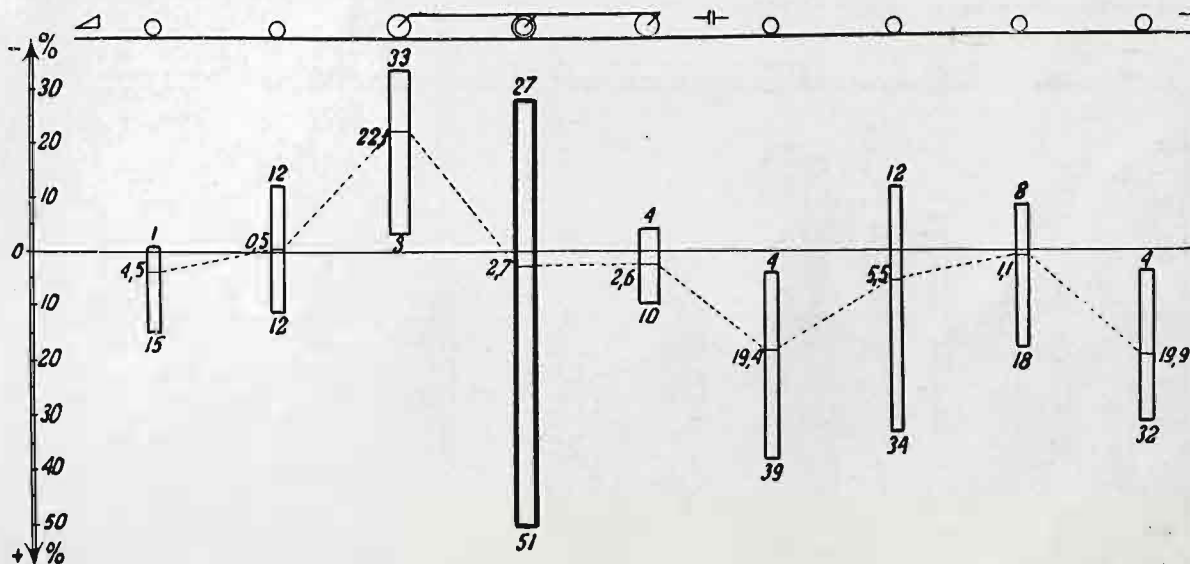
Parowóz Ok 22.

r. 1934.

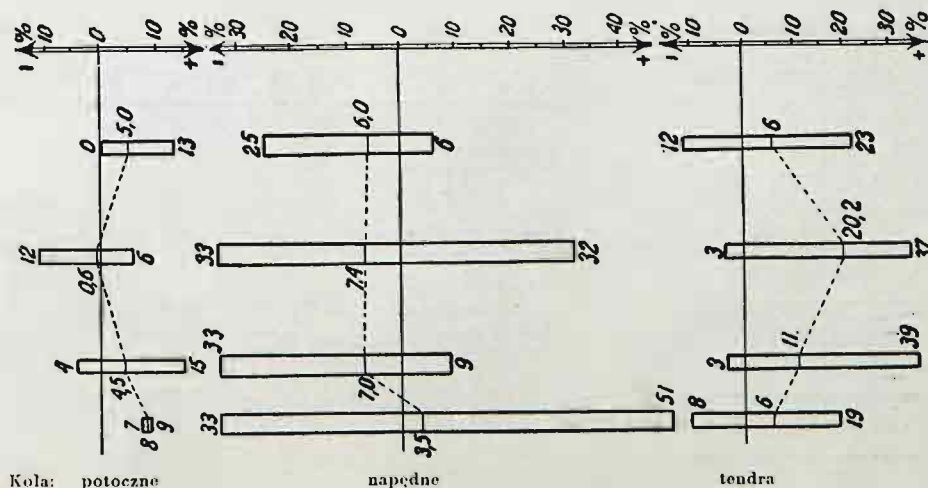
Punkt obserwowany w prześle 12 — 13.

$D = 9680 \text{ kg/cm}$

Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Koła potoczne				Koła napędne						Koła tendra							
		1		2		1		2		3		1		2		3		4	
		mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰
0	—	2,52	100	3,15	100	4,09	100	3,57	100	3,25	100	od 1,89 do 2,61	100	od 2,43 do 3,22	100	od 2,47 do 3,28	100	od 1,94 do 2,57	100
28,6	754	2,51	100	3,38	107	3,05	75	3,34	94	3,43	106	2,66	106	2,84	88	3,07	94	2,95	115
31,3	772	2,84	113	3,19	101	3,11	76	3,74	105	3,45	106	2,57	116	2,68	102	2,74	103	2,57	123
58,0	932	2,68	106	2,78	88	2,75	67	3,98	111	3,58	110	2,58	137	3,25	134	—	—	—	—
60,0	756	2,53	100	2,96	94	3,11	76	3,12	87	3,16	97	2,54	104	3,08	98	3,12	97	2,92	116
60,0	776	—	—	3,35	106	2,92	71	3,72	104	3,12	96	2,82	118	3,28	107	3,18	102	3,12	127
60,1	950	2,49	99	3,18	101	3,06	75	3,58	100	3,13	96	2,58	131	—	—	—	—	—	—
60,5	770	2,63	104	3,18	101	3,45	84	4,70	132	3,00	92	2,45	118	2,86	108	2,80	103	2,80	132
63,0	966	2,57	102	2,89	92	3,52	86	3,36	94	3,39	104	2,62	133	2,94	116	3,05	118	—	—
63,0	970	2,62	104	2,82	90	3,05	75	2,60	73	3,50	108	—	—	—	—	—	—	—	—
79,2	958	2,89	115	3,03	96	2,76	67	3,40	95	3,37	104	2,34	109	2,68	97	2,73	97	2,29	104
79,2	968	2,50	99	3,40	108	3,95	97	3,05	85	3,55	109	3,10	139	3,00	105	3,12	107	2,95	129
100,0	768	—	—	—	—	2,76	67	3,65	102	3,23	99	2,33	111	2,69	100	2,52	92	2,47	114
100,0	758	2,70	107	3,44	109	3,93	96	5,40	151	3,45	106	2,60	111	3,15	105	3,00	98	2,87	119
			104,5		99,5		77,9		102,7		102,6		119,4		105,5		101,1		119,9



Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Średnia w grupach kół		
		potocz.	napęd.	tendra
		‰	‰	‰
28,6	754	103	92	101
31,3	772	107	96	111
58,0	932	97	96	135
60,0	756	97	87	104
60,0	776	106	90	114
60,1	950	100	92	131
60,5	770	102	103	115
63,0	966	97	95	122
63,0	970	97	85	—
79,2	958	105	89	102
79,2	968	104	97	120
100,0	768	—	89	104
100,0	758	108	118	108



Koła: potoczne

napędne

tendra



TABLICA XX.

Osiadanie szyny S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

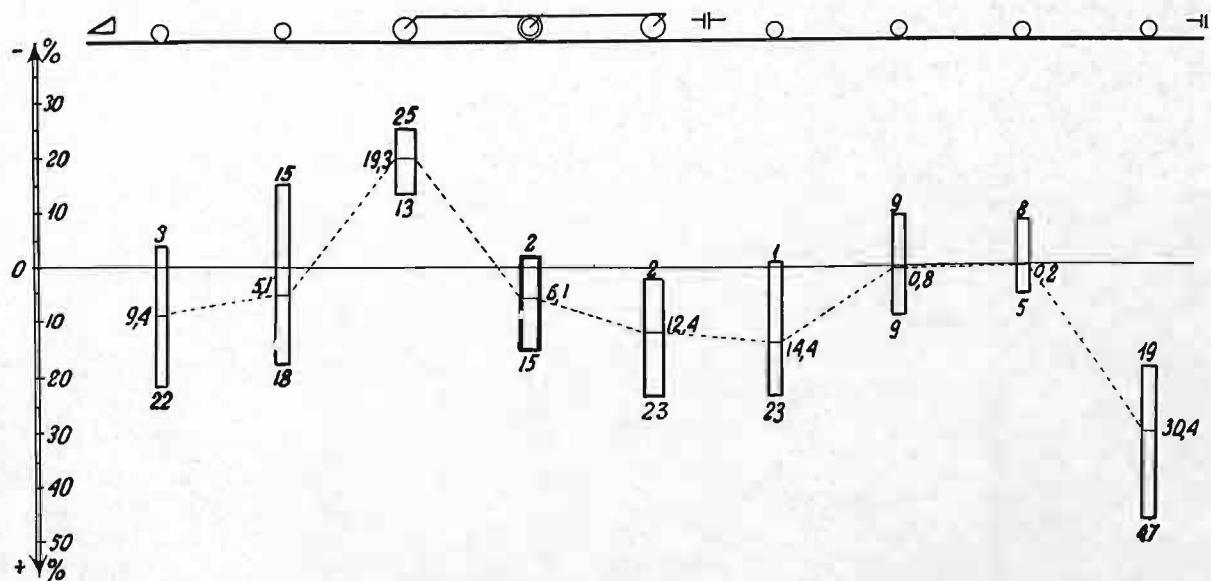
Parowóz Ok 22.

r. 1934.

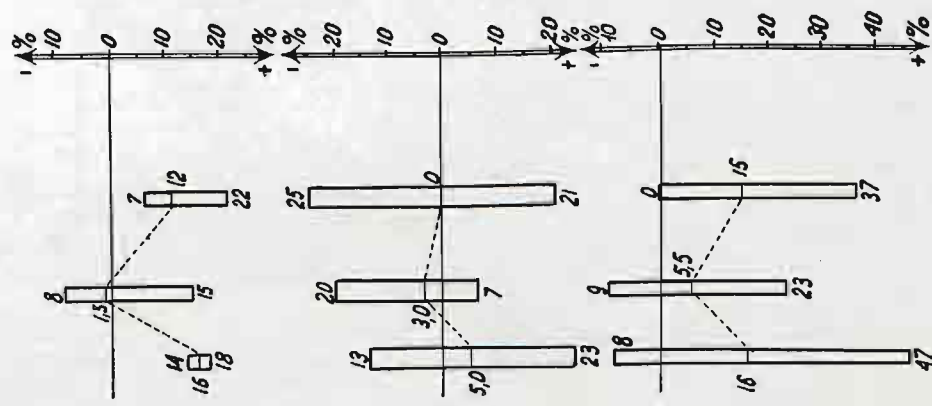
$D = 8740 \text{ kg/cm}$

Punkt obserwowany w przęśle 13 — 14.

Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Koła potoczne				Koła napędne						Koła tendra							
		1		2		1		2		3		1		2		3		4	
		mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰
0	—	2,72	100	3,48	100	4,48	100	3,85	100	3,48	100	od 2,29 do 2,60	100	od 2,96 do 3,35	100	od 3,02 do 3,41	100	od 2,33 do 2,64	100
30,6	764	2,90	107	3,72	107	3,38	75	4,02	105	3,78	109	3,05	117	3,65	109	3,48	102	3,32	126
31,1	760	3,32	122	3,85	111	3,36	75	4,44	115	4,21	121	2,94	123	3,07	100	3,31	105	3,32	137
81,5	940	2,93	108	3,64	105	3,57	80	4,10	106	3,72	107	2,72	116	2,88	95	3,08	100	2,95	123
87,0	948	2,63	97	2,95	85	3,88	87	3,79	98	3,56	102	2,37	99	2,81	91	3,21	102	2,89	119
103,8	762	3,10	114	4,12	118	3,88	87	4,08	106	4,28	123	2,68	117	3,22	109	2,78	92	3,42	147
			109,4		105,1		80,7		106,1		112,4		114,4		100,8		100,2		130,4



Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Średnia w grupach kół		
		potocz.	napęd.	tendra
		‰	‰	‰
30,6	764	107	96	114
31,1	760	117	104	116
81,5	940	106	98	108
87,0	948	91	96	103
103,8	762	116	105	116



Koła: potoczne

napędne

tendra

T A B L I C A   X X I.

*Osiadanie szyny S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.*

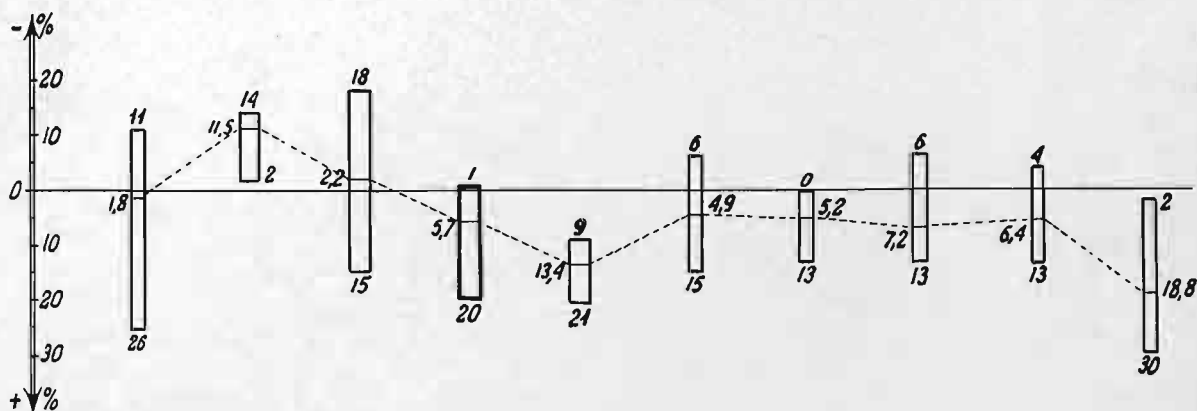
Parowóz Pt 31.

r. 1933.

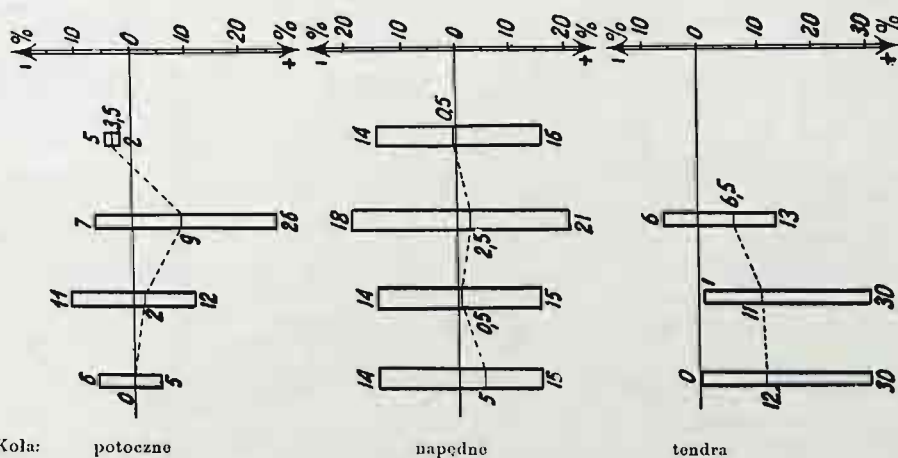
$D = 10675 \text{ kg/cm}$

Punkt obserwowany w przęśle 13—14.

Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Koło potoczne przednie		Koła napędne								Koło potoczne tylne		Koła tendra							
				1		2		3		4				1		2		3		4	
		mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰		
0	—	2,375	100	3,25	100	3,45	100	3,45	100	3,25	100	3,025	100	od 2,60 do 2,85	100	od 2,74 do 3,26	100	od 2,74 do 3,26	100	od 2,66 do 3,21	100
27,9	364	2,33	98	2,82	87	3,31	96	3,56	103	3,78	116	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30,5	376	2,26	95	2,78	86	3,30	96	3,48	101	3,60	111	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
54,3	366	2,20	93	3,19	98	3,22	93	4,14	120	3,93	121	3,13	103	3,01	106	3,06	94	3,13	96	3,26	102
55,5	378	2,99	126	2,94	90	2,82	82	3,60	104	3,67	113	3,48	115	2,94	113	3,10	113	3,06	112	3,01	113
87,1	368	2,52	106	2,78	86	3,36	97	3,54	103	3,54	109	3,40	112	2,98	106	3,35	113	3,08	104	3,46	119
90,0	370	2,12	89	2,82	87	3,65	106	3,41	99	3,75	115	3,01	100	2,78	101	3,05	106	3,25	113	3,65	130
112,0	372	2,50	105	2,81	86	3,97	115	3,79	110	3,53	109	2,84	94	2,61	100	3,03	110	2,94	107	3,49	130
			101,8		88,5		97,8		105,7		113,4		104,9		105,2		107,2		106,4		118,8



Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Średnia w grupach kół		
		pociąg.	napęd.	tendra
		‰	‰	‰
27,9	364	98	100	—
30,5	376	95	99	—
54,3	366	98	108	100
55,5	378	120	97	113
87,1	368	109	99	110
90,0	370	95	102	112
112,0	372	100	105	112





TABLICA XXII.

Osiadanie szyny S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

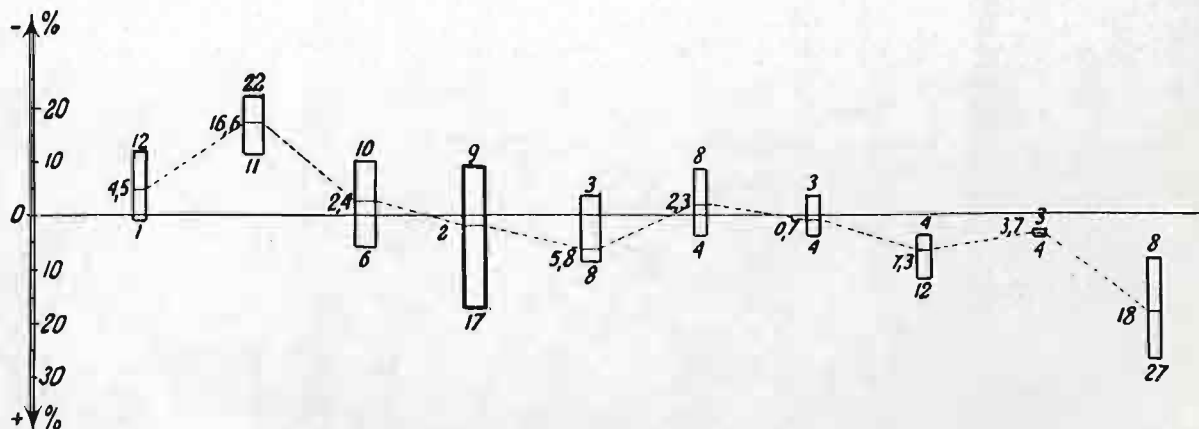
Parowóz Pt 31.

r. 1933.

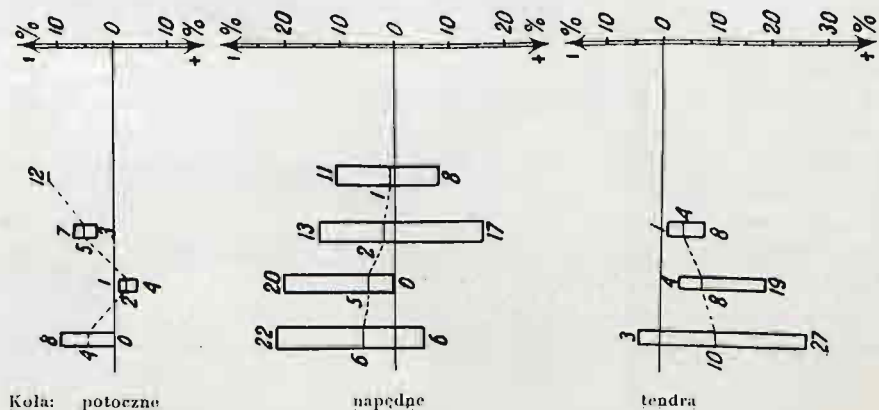
$D = 10180 \text{ kg/cm}$

Punkt obserwowany nad podkładem 14.

Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Koła pociągowe przednie		Koła napędne								Koło pociągowe tyłne		Koła tendra							
				1		2		3		4				1		2		3		4	
		mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	mm	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰
0	—	2,47	100	3,41	100	3,64	100	3,63	100	3,40	100	3,14	100	od 2,74 do 2,98	100	od 2,88 do 3,14	100	od 2,89 do 3,14	100	od 2,80 do 3,06	100
27,9	363	2,17	88	3,05	89	3,48	96	3,66	101	3,66	108	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
54,3	365	2,29	93	2,95	87	3,26	90	4,23	117	3,94	97	3,06	97	3,02	101	3,25	104	3,27	104	3,29	108
87,1	367	2,50	101	2,74	80	3,62	99	3,64	100	3,38	99	3,26	104	3,07	104	3,29	106	3,19	103	3,57	119
112 0	371	2,47	100	2,66	78	3,85	106	3,31	91	3,41	100	2,88	92	2,66	97	3,21	112	3,00	104	3,55	127
			95,5		83,4		97,6		102,0		105,8		97,7		100,7		107,3		103,7		118,0



Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Średnia w grupach kół		
		potocz.	napęd.	tendra
		‰	‰	‰
27,9	363	88	99	—
54,3	365	95	98	104
87,1	367	102	95	108
112,0	371	96	94	110



T A B L I C A XXIII.

Osiadanie szyny S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

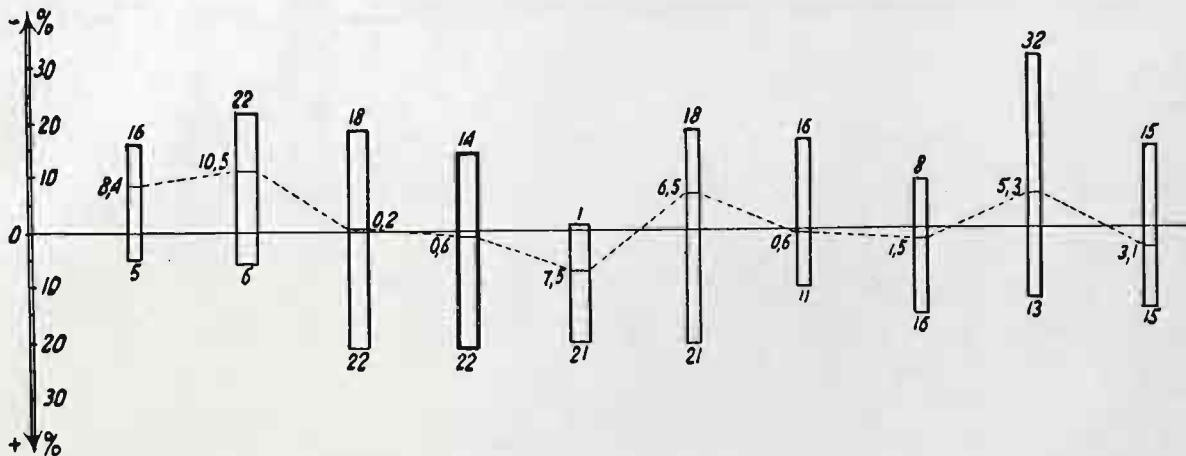
Parowóz Pt 31.

r. 1934.

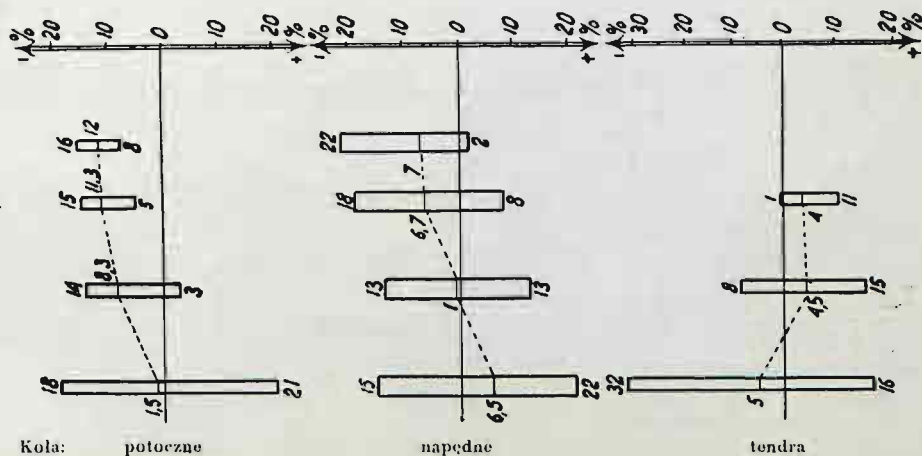
$D = 9680 \text{ kg/cm}$

Punkt obserwowany w prześle 12—13.

Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Kolo potoczne przednie		Kola napędne								Kolo potoczne tylne		Kola tendra							
				1		2		3		4				1		2		3		4	
		mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰
0	—	2,56	100	3,58	100	3,83	100	3,84	100	3,55	100	3,25	100	do 2,75 do 3,26	100	do 2,86 do 3,40	100	do 2,90 do 3,44	100	do 2,79 do 3,30	100
5,0	804	2,36	92	2,96	83	3,81	99	3,75	98	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,0	812	2,14	84	2,79	78	3,74	98	3,65	95	3,61	102	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30,1	802	2,22	87	3,06	85	3,65	95	3,63	95	3,84	108	2,84	87	2,96	100	3,07	99	3,39	108	—	—
31,8	818	2,25	88	3,00	84	3,15	82	3,32	86	3,75	106	3,10	95	3,24	103	3,27	99	3,42	102	3,51	109
34,0	810	2,30	90	3,06	85	3,49	91	3,66	95	3,80	107	2,75	85	2,89	105	3,00	105	3,17	109	3,11	111
68,8	786	2,20	86	3,12	87	3,65	95	3,73	97	3,65	103	2,78	86	3,00	97	2,96	92	3,01	92	3,11	99
65,9	800	—	—	3,27	91	3,85	101	4,08	106	3,95	111	3,13	96	3,28	107	3,40	106	3,38	104	3,55	113
65,0	808	2,29	89	3,38	94	3,61	94	3,84	100	3,80	107	2,88	89	2,93	105	3,05	105	3,35	113	3,03	107
69,2	816	2,28	89	3,38	94	3,55	93	3,83	100	4,00	113	3,35	103	3,40	106	3,45	103	—	—	3,75	115
106,5	784	2,54	99	3,05	85	3,94	103	3,60	94	3,53	99	2,82	87	2,91	93	3,06	93	2,25	68	2,70	85
108,0	798	2,52	98	3,29	92	4,35	114	3,90	102	3,75	106	2,67	82	2,65	84	3,08	94	2,26	68	2,90	91
102,5	806	—	—	3,80	106	4,23	110	4,68	122	4,28	121	3,18	98	3,18	111	3,45	116	—	—	—	—
105,5	814	2,70	105	3,53	99	4,68	122	4,55	118	3,85	108	3,93	121	3,13	96	3,53	104	3,05	88	3,23	98
			91,6		89,5		99,8		100,6		107,5		93,5		100,6		101,5		94,7		103,1



Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Średnia w grupach kół		
		potocz.	napędn.	tendra
		‰	‰	‰
5,0	804	92	93	—
5,0	812	84	93	—
30,1	802	87	96	102
31,8	818	91	90	103
34,0	810	88	94	107
68,8	786	86	95	95
65,9	800	96	102	108
65,0	808	89	99	107
69,2	816	96	100	108
106,5	784	93	95	85
108,0	798	90	104	84
102,5	806	98	115	114
105,5	814	113	112	97





T A B L I C A XXIV.

Osiadanie szyny S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

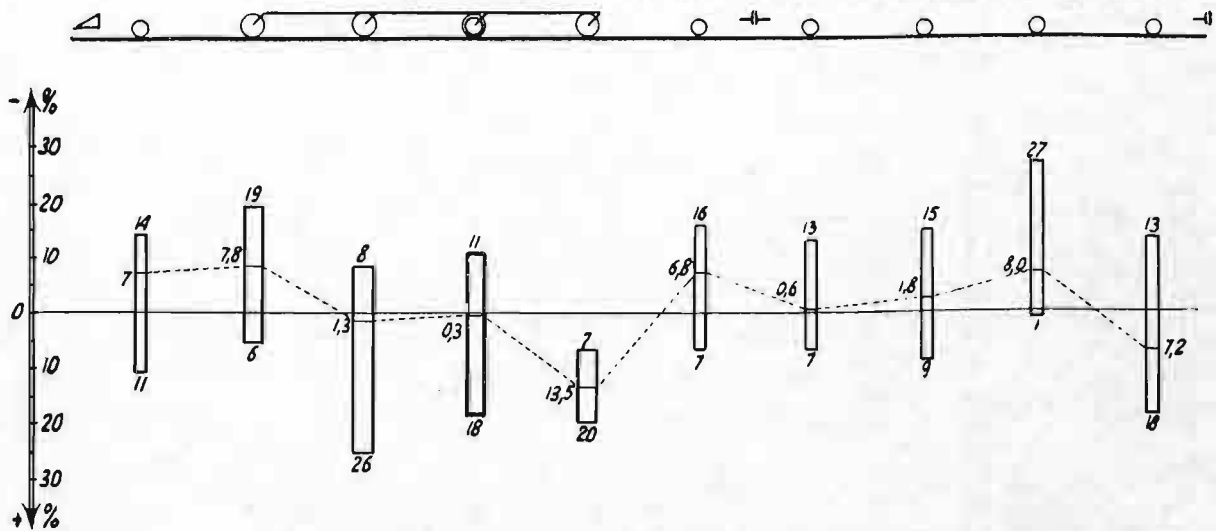
Parowóz Pt 31.

r. 1934

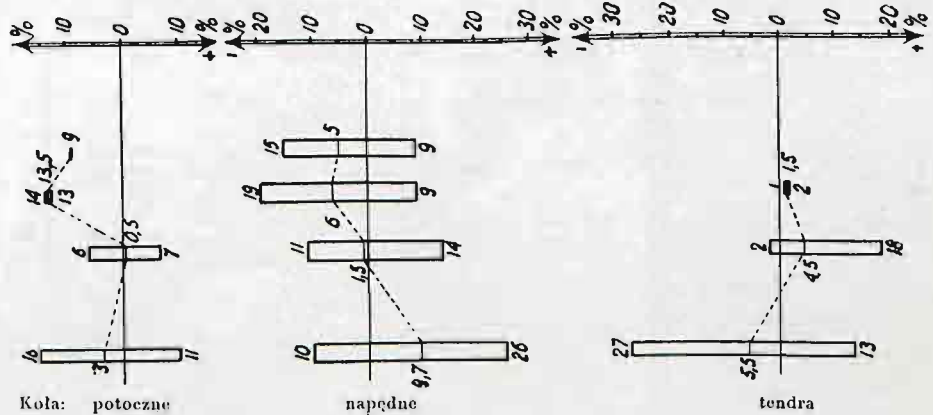
$D = 8740 \text{ kg/cm}$

Punkt obserwowany w prześle 13—14.

Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Koło potoczne przodnie		Koła napędne								Koło potoczne tyłne		Koła tendra							
				1		2		3		4				1		2		3		4	
		mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰		
0	—	2,74	100	3,85	100	4,20	100	4,22	100	3,79	100	3,45	100	od 3,07 do 3,64	100	od 3,22 do 3,82	100	od 3,16 do 3,91	100	od 3,21 do 3,65	100
7,3	830	2,48	91	3,28	85	4,03	96	3,82	91	4,13	109	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31,5	828	2,55	86	3,12	81	3,98	95	3,78	90	4,12	109	2,99	87	3,13	102	3,25	101	—	—	—	—
68,0	834	2,61	95	—	—	3,98	95	4,00	95	4,33	114	3,25	94	3,57	101	3,65	98	3,82	101	3,95	111
68,9	824	—	—	3,74	97	3,85	92	3,76	89	4,06	107	3,68	107	3,21	100	—	—	3,51	101	3,81	118
101,0	826	3,03	111	3,60	94	4,50	107	4,60	109	4,45	117	3,13	91	—	—	—	—	—	—	—	—
102,1	832	2,55	93	3,48	90	4,17	99	4,68	111	4,48	118	2,89	84	3,17	87	3,25	85	2,85	73	3,16	87
102,5	822	2,93	107	4,08	106	5,28	126	5,00	118	4,53	120	3,55	97	3,53	107	3,75	109	3,28	93	3,73	113
			93,0		92,2		101,3		100,3		113,5		93,2		99,4		98,2		92,0		107,2



Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Średnia w grupach kół		
		potocz.	napęd.	tendra
		‰	‰	‰
7,3	830	91	95	—
31,5	828	87	94	101
68,0	834	94	101	103
68,9	824	107	96	106
101,0	826	101	107	—
102,1	832	88	105	85
102,5	822	102	117	106



T A B L I C A XXV.

Osiadanie szyny S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

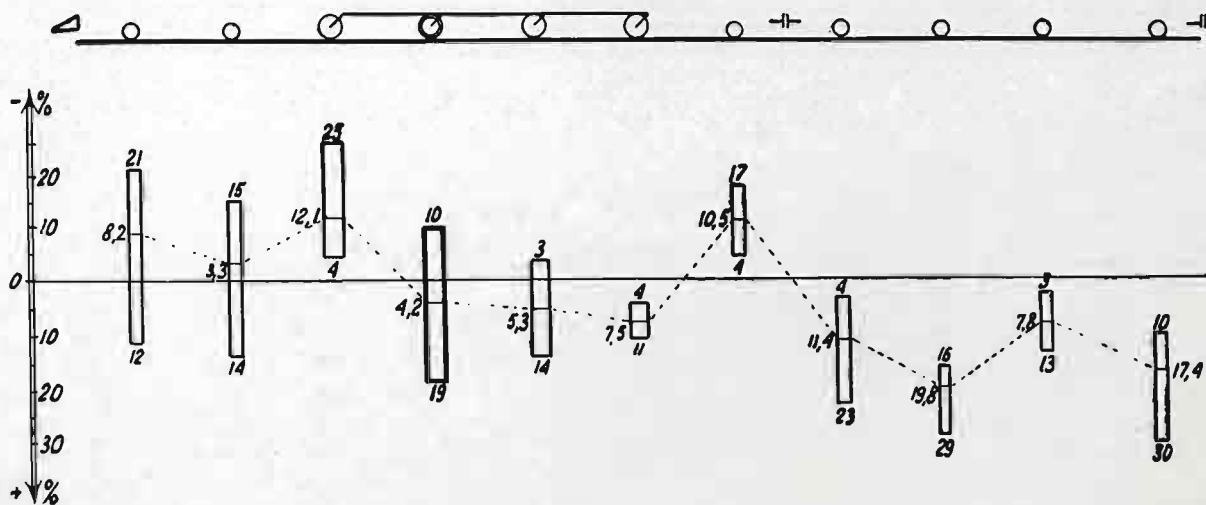
Parowóz Pu 29.

r. 1933.

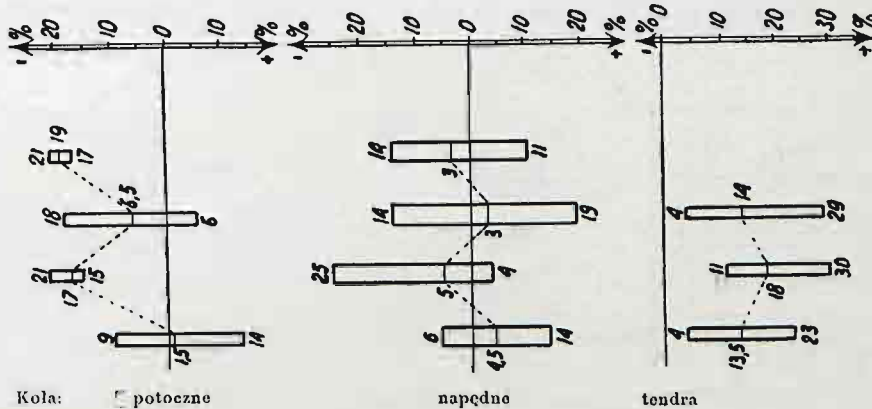
$D = 11590 \text{ kg/cm}$

Punkt obserwowany w prześle 12—13.

Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Koła potoczne				Koła napędne								Koło potoczne tylne		Koła tendra							
		1		2		1		2		3		4				1		2		3		4	
		mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰
0	—	1,775	100	2,40	100	3,525	100	3,25	100	3,30	100	3,10	100	2,95	100	od 2,09 do 2,54	100	od 2,13 do 2,56	100	od 2,14 do 2,58	100	od 2,16 do 2,60	100
30,7	354	1,40	79	1,98	83	3,02	86	2,92	90	3,41	103	3,44	111	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
56,4	350	1,88	106	2,35	98	3,18	90	3,86	119	3,65	111	3,44	111	2,82	96	2,82	111	3,30	129	2,92	113	3,10	119
57,6	356	1,45	82	2,29	95	3,03	86	3,34	103	3,21	97	3,35	108	2,46	83	2,30	104	2,60	116	2,33	103	2,69	117
81,0	358	1,41	79	2,04	85	2,64	75	3,16	97	3,39	103	3,23	104	2,52	85	2,46	113	2,61	118	2,48	111	2,93	130
108,6	352	1,98	112	2,73	114	3,40	96	3,60	111	3,76	114	3,30	106	2,73	93	3,00	123	2,92	118	2,68	108	2,78	111
105,5	360	1,66	94	2,53	105	3,32	94	3,43	106	3,42	104	3,24	105	2,67	91	2,42	116	2,52	118	2,22	104	2,37	110
			91,8		96,7		87,9		104,2		105,3		107,5		89,5		111,4		119,8		107,8		117,4



Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Średnia w grupach kół		
		potocz.	napęd.	tendra
		‰	‰	‰
30,7	354	81	97	—
56,4	350	100	108	118
57,6	356	87	98	110
81,0	358	83	95	118
108,6	352	106	107	115
105,5	360	97	102	112





TABLICA XXVI.

Osiadanie szyny S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

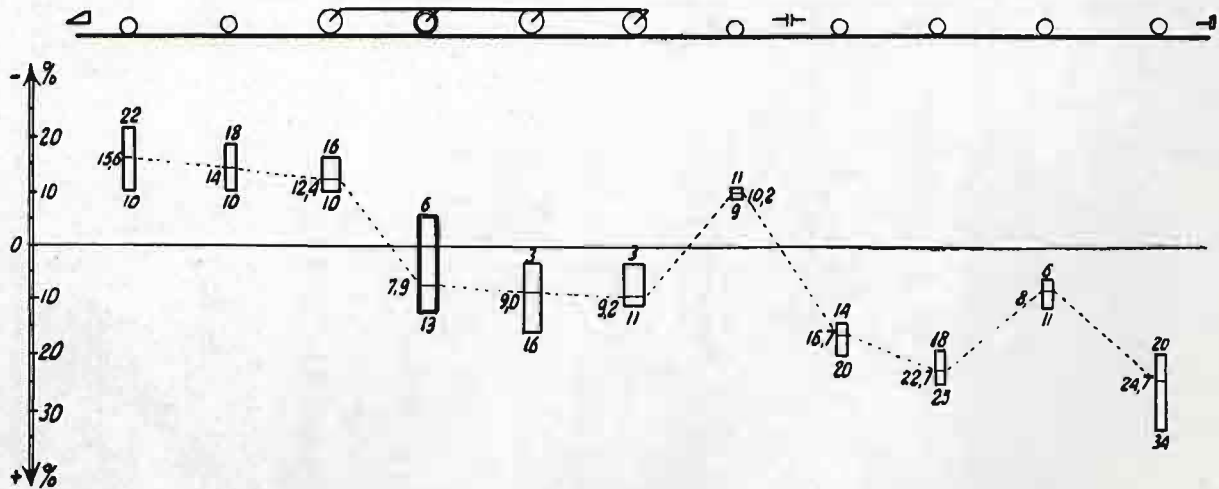
Parowóz Pu 29.

r. 1933.

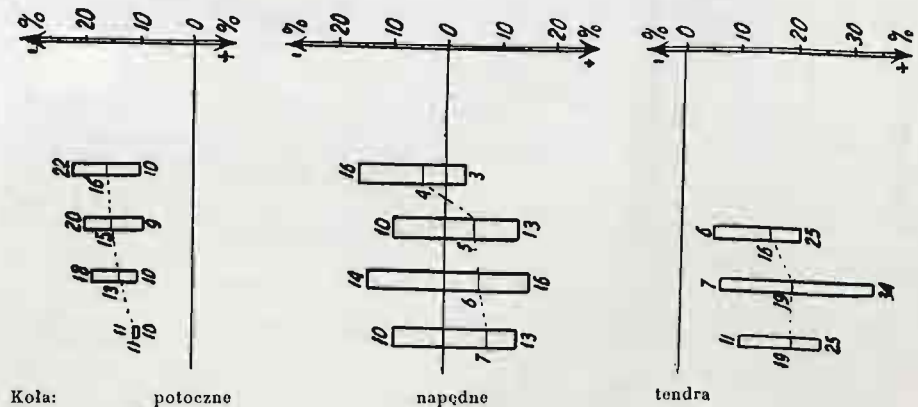
Punkt obserwowany nad podkładem 13.

$D = 10675 \text{ kg/cm}$

Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Koła potoczne				Koła napędne								Kolo potoczne tylne		Koła tendra							
		1		2		1		2		3		4				1		2		3		4	
		mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰
0	—	1,97	100	2,65	100	3,86	100	3,56	100	3,53	100	3,46	100	3,27	100	od 2,21 do 2,35	100	od 2,32 do 2,46	100	od 2,31 do 2,46	100	od 2,28 do 2,43	100
30,7	355	1,53	78	2,38	90	3,24	84	3,35	94	3,65	103	3,58	103	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
57,6	357	1,58	80	2,22	84	3,49	90	4,04	113	3,67	104	3,84	111	2,97	91	2,68	114	3,08	125	2,61	106	2,92	120
81,0	359	1,77	90	2,16	82	3,32	86	3,98	112	4,09	116	3,82	110	2,94	90	2,66	116	2,86	118	2,57	107	3,20	134
105,5	361	1,77	90	2,36	89	3,48	90	3,99	112	3,98	113	3,87	112	2,90	89	2,65	120	2,91	125	2,57	111	2,75	120
			84,4		86,0		87,6		107,9		109,0		109,2		89,8		116,7		122,7		108,0		124,7



Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Średnia w grupach kół		
		potocz.	napęd.	tendra
		‰	‰	‰
30,7	355	84	96	—
57,6	357	85	105	116
81,0	359	87	106	119
105,5	361	89	107	119



T A B L I C A XXVII.

Osiadanie szyny S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

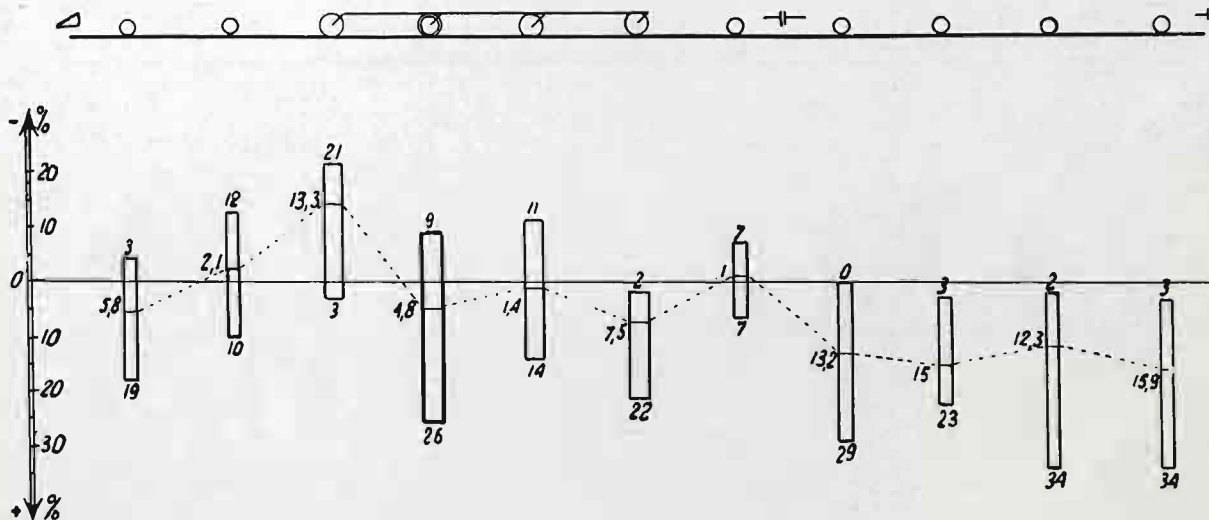
Parowóz Pu 29.

r. 1934.

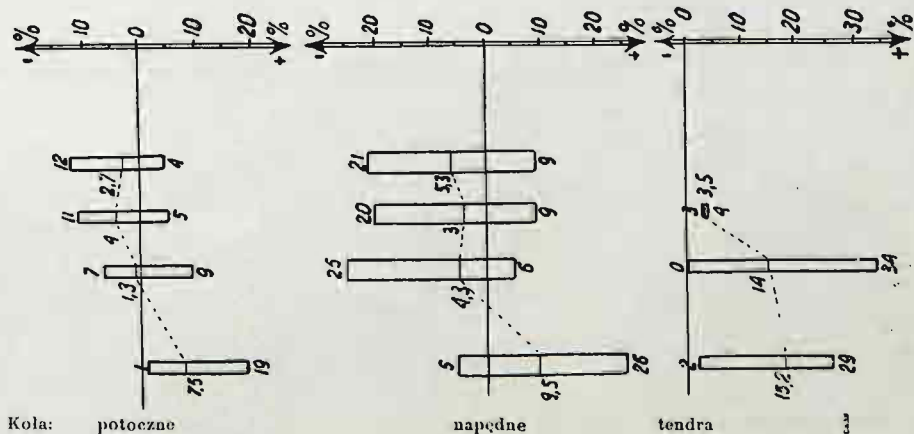
$D = 9680 \text{ kg/cm}$

Punkt obserwowany w prześle 12—13.

Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Koła potoczne				Koła napędne								Koło potoczno tylne		Koła tendra							
		1		2		1		2		3		4				1		2		3		4	
		mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰
0	—	2,10	100	2,90	100	4,18	100	3,88	100	3,92	100	3,67	100	3,43	100	od 2,44 do 3,25	100	od 2,54 do 3,31	100	od 2,57 do 3,35	100	od 2,47 do 3,22	100
8,0	892	2,12	101	2,56	88	3,45	82	3,78	97	—	—	3,78	103	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8,4	884	2,18	104	2,83	97	3,48	83	4,00	103	3,83	98	3,83	104	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8,9	866	2,10	100	2,71	93	3,30	79	3,80	98	3,70	94	4,00	109	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28,7	864	2,20	105	2,57	89	3,35	80	3,77	97	3,75	96	3,81	104	3,24	94	2,97	104	—	—	—	—	—	—
29,0	890	2,10	100	2,58	89	3,55	85	4,24	109	4,01	102	3,87	105	3,33	97	3,35	103	—	—	—	—	—	—
63,0	862	2,17	104	3,15	109	3,13	75	3,58	92	3,88	99	3,73	102	3,20	93	2,90	100	3,23	107	3,18	106	3,28	112
66,5	888	2,03	97	2,75	95	3,73	89	4,10	106	3,88	99	3,79	103	3,28	96	3,28	105	3,36	103	3,52	107	3,71	117
68,0	882	2,17	104	2,75	95	3,58	86	3,80	98	3,88	99	3,75	102	3,28	96	2,98	122	3,10	122	3,45	134	3,30	134
96,0	880	—	—	—	—	—	—	4,70	121	4,48	114	4,02	110	3,50	102	3,23	129	3,20	123	3,12	119	3,12	123
98,5	860	2,48	118	3,08	106	3,98	95	4,88	126	4,28	109	4,48	122	3,62	106	3,55	120	3,43	111	3,20	102	3,15	105
103,0	868	2,50	119	3,05	105	3,98	95	3,82	98	3,78	96	4,02	109	3,45	101	3,18	120	3,25	118	3,00	108	2,75	103
109,0	886	2,38	113	3,20	110	4,32	103	4,28	110	4,28	109	4,32	118	3,68	107	3,68	116	4,00	121	3,68	110	3,78	117
			105,8		97,9		86,7		104,8		101,4		107,5		99,0		113,2		115,0		112,3		115,9



Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Średnia w grupach kół		
		potocz.	napędn.	tendra
		‰	‰	‰
8,0	892	95	94	—
8,4	884	100	97	—
8,9	866	97	95	—
28,7	864	96	94	104
29,0	890	95	100	103
63,0	862	102	92	106
66,5	888	96	99	108
68,0	882	98	96	128
96,0	880	102	115	123
98,5	860	110	113	110
103,0	868	108	100	112
109,0	886	110	110	116





T A B L I C A XXVIII.

Osiadanie szyny S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

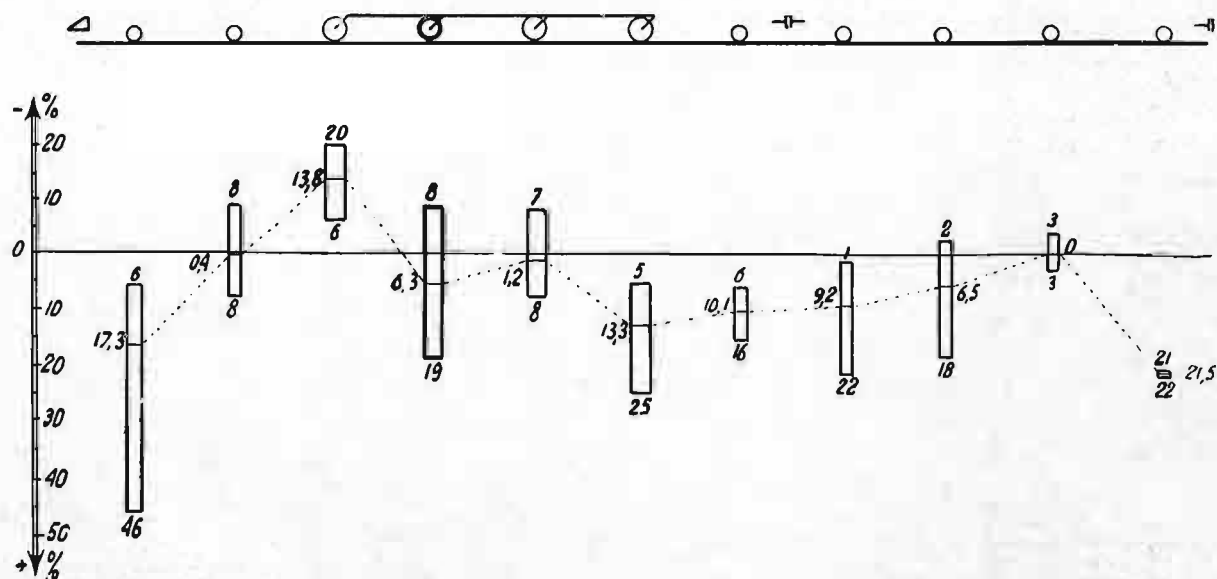
Parowóz Pu 29.

r. 1934.

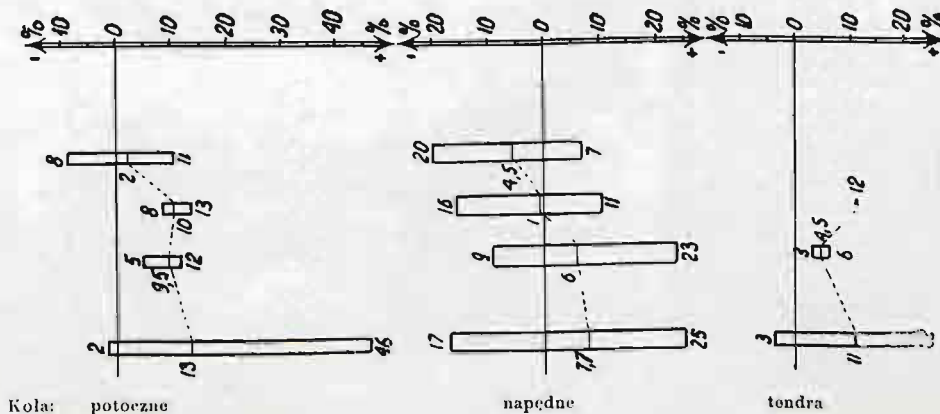
Punkt obserwowany w prześle 13—14.

$D = 8740 \text{ kg/cm}$

Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Koła potoczne				Koła napędne								Koło potoczne tyłne		Koła tendra							
		1		2		1		2		3		4				1		2		3		4	
		mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰
0	—	2,24	100	3,16	100	4,50	100	4,21	100	4,30	100	3,89	100	3,59	100	od 2,92 do 3,22	100	od 3,06 do 3,38	100	od 3,13 do 3,46	100	od 2,93 do 3,24	100
7,5	902	2,37	106	2,92	92	3,80	84	3,88	92	4,32	100	4,18	107	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8,8	876	2,49	111	3,11	98	3,61	80	4,21	100	3,99	93	4,10	105	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29,6	874	2,52	113	3,42	108	3,80	84	4,50	107	4,12	96	4,32	111	3,90	109	3,47	112	—	—	—	—	—	—
60,0	898	—	—	—	—	4,22	94	4,62	110	4,38	102	4,50	116	3,95	110	3,32	106	3,57	103	—	—	—	—
65,5	872	2,48	111	3,32	105	4,08	91	4,48	106	4,58	107	4,78	123	4,02	112	—	—	—	—	—	—	—	—
100,0	896	—	—	—	—	—	—	4,45	106	4,65	108	4,88	125	4,15	116	3,88	122	3,95	118	—	—	—	—
100,0	878	3,28	146	3,10	98	3,75	83	5,02	119	4,48	104	4,38	113	3,88	108	3,08	105	5,28	107	3,22	103	3,58	122
102,0	870	—	—	—	—	—	—	4,65	110	4,28	100	4,12	106	3,82	106	3,20	101	3,52	98	3,35	97	3,92	121
			117,3		100,4		86,2		106,3		101,2		113,3		110,1		109,2		106,5		100,0		121,5



Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Średnia w grupach kół		
		potocz.	napędn.	tendra
		‰	‰	‰
7,5	902	99	96	—
8,8	876	105	95	—
29,6	874	110	99	112
60,0	898	110	105	105
65,5	872	109	107	—
100,0	896	116	113	120
100,0	878	117	105	109
102,0	870	106	105	104



TABLICA XXIX.

Osiadanie szyny S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

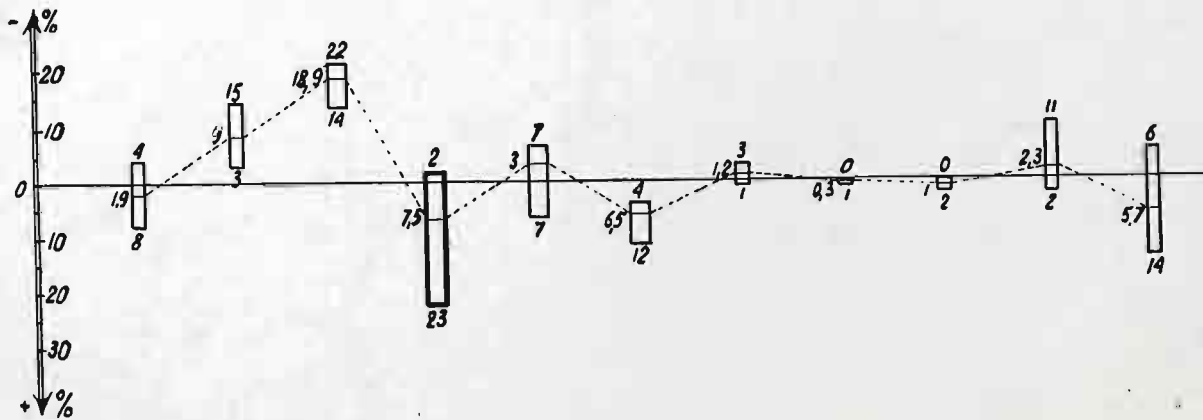
Parowóz Pu 29.

r. 1934.

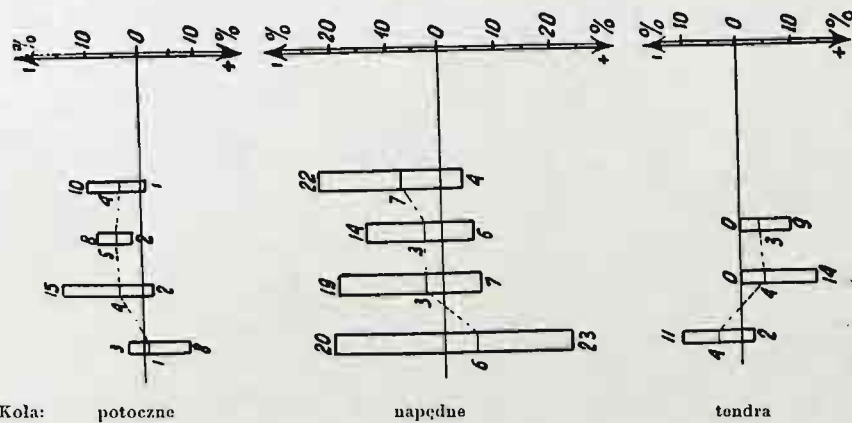
$D = 8740 \text{ kg/cm}$

Punkt obserwowany nad podkładem 13.

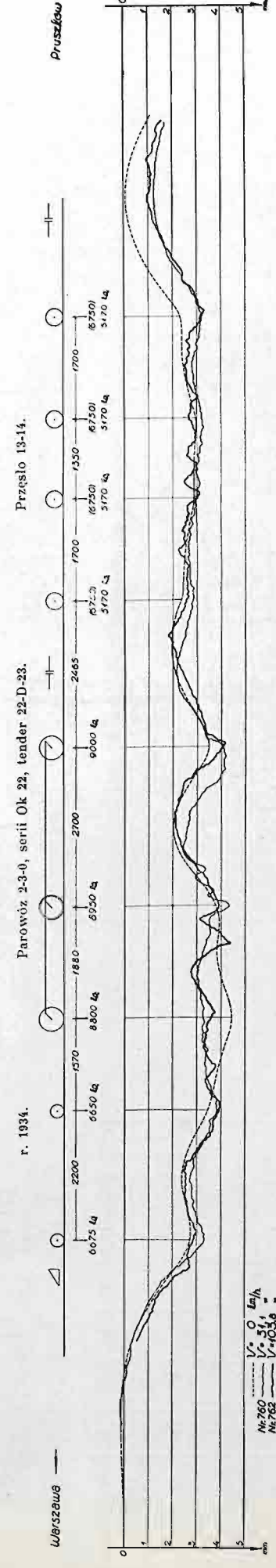
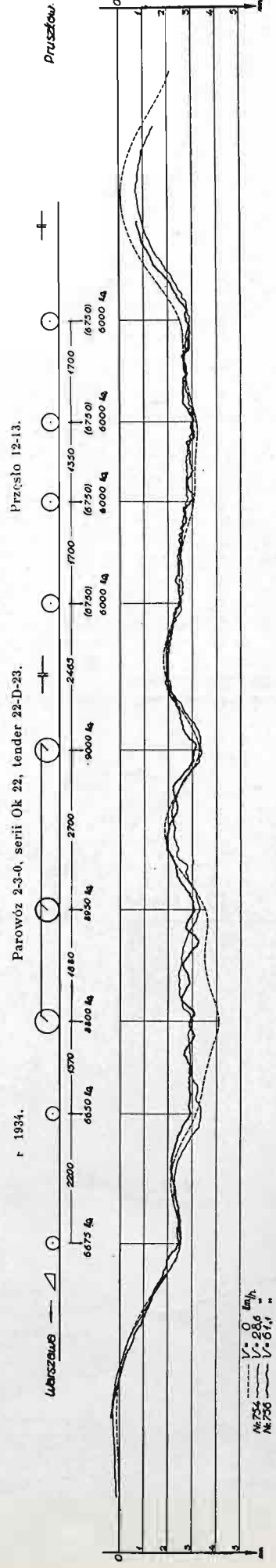
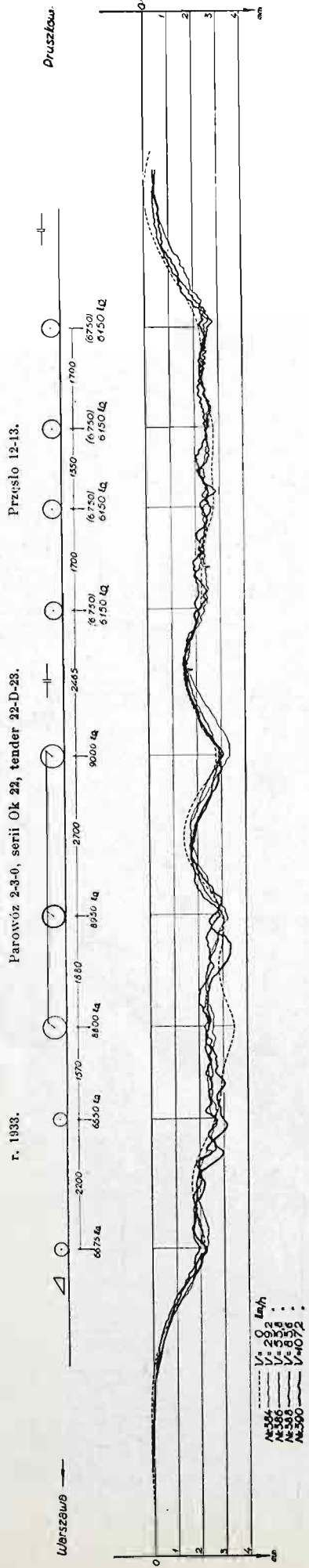
Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Koła potoczne				Koła napędne								Koło potoczne tylne		Koła tendra							
		1		2		1		2		3		4		tylne		1		2		3		4	
		mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰	mm	‰
0	—	2,24	100	3,16	100	4,50	100	4,21	100	4,30	100	3,89	100	3,59	100	od 3,39 do 3,54	100	od 3,56 do 3,72	100	od 3,64 do 3,80	100	od 3,40 do 3,56	100
9,0	858	2,26	101	2,85	90	3,51	78	4,13	98	3,99	93	4,06	104	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31,7	856	2,15	96	2,90	92	3,87	86	4,32	103	4,02	93	4,13	106	3,53	98	3,38	100	3,55	100	3,56	102	3,69	109
64,7	854	2,29	102	2,70	85	3,63	81	4,50	107	4,08	95	4,04	104	3,61	101	3,45	100	3,67	101	3,78	102	3,94	114
103,5	852	2,43	108	3,05	97	3,59	80	5,16	123	4,59	107	4,34	112	3,50	97	3,57	101	3,66	102	3,40	89	3,33	94
			101,9		91,0		81,1		107,5		97,0		106,5		98,8		100,3		101,0		97,7		105,7



Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Średnia w grupach kół		
		potocz.	napęd.	tendra
		‰	‰	‰
9,0	858	96	93	—
31,7	856	95	97	103
64,7	854	96	97	104
103,5	852	101	106	96







Rys. 33. Osiedzenie szyny S 42,5 kg/m zaobserwowane przy różnych szybkościach w porównaniu z osiadaniami statycznym według obliczenia.

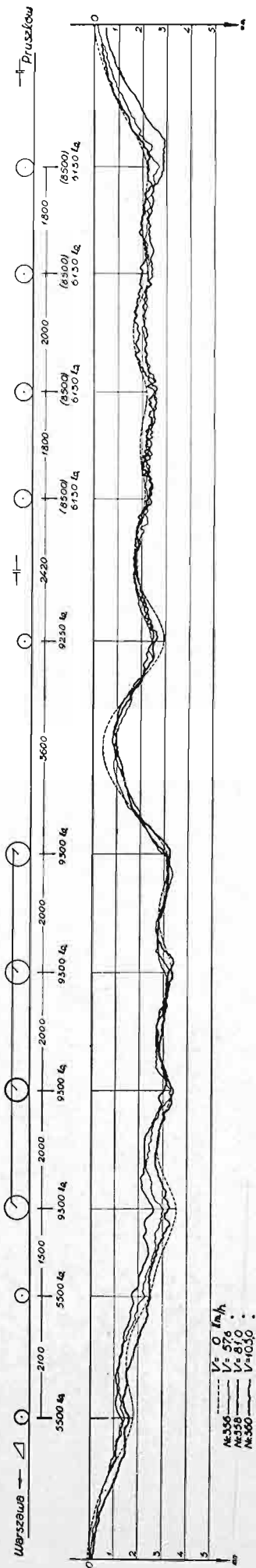




r. 1933.

Parowóz 2-4-1, serii Pu 29, z tendrem 32-D-29.

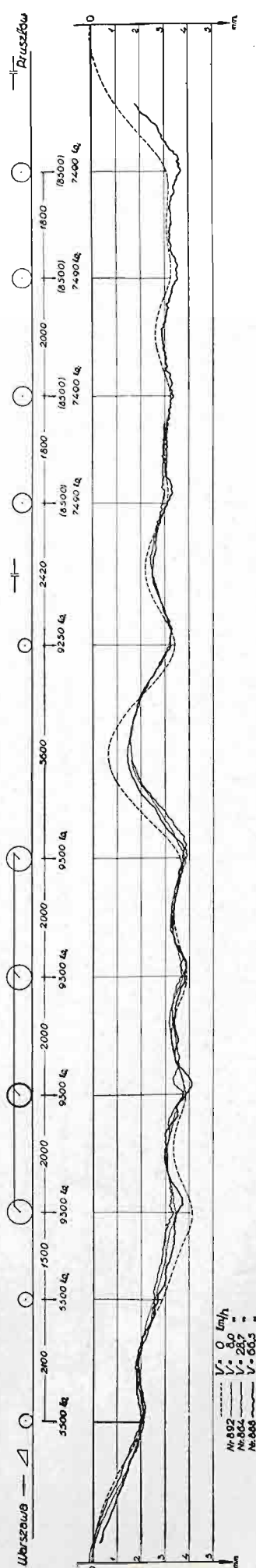
Przebieg 12-13.



r. 1934.

Parowóz 2-4-1, serii Pu 29, z tendrem 32-D-29.

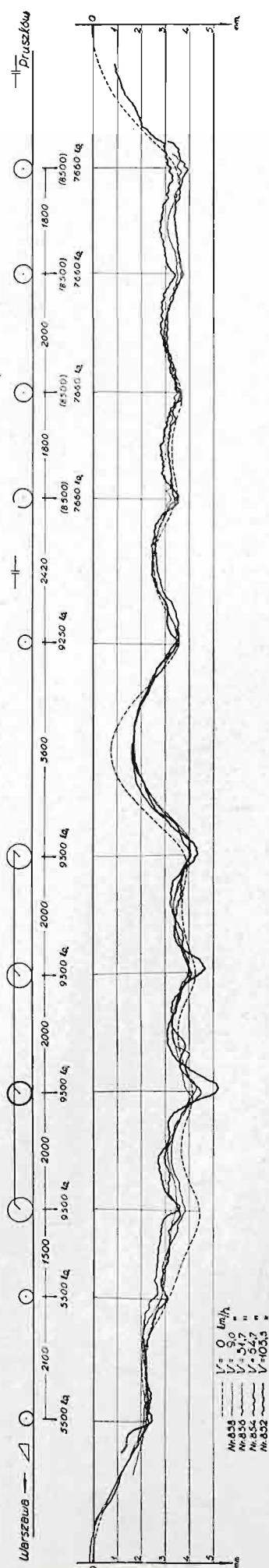
Przebieg 12-13.



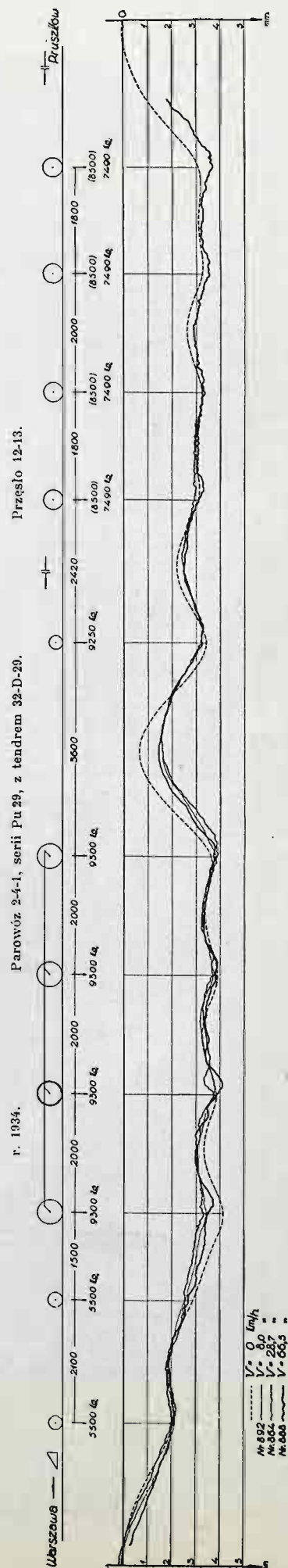
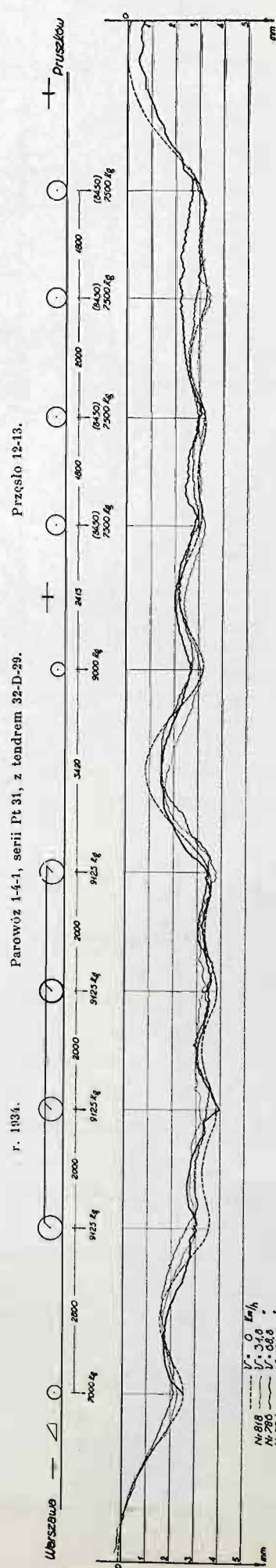
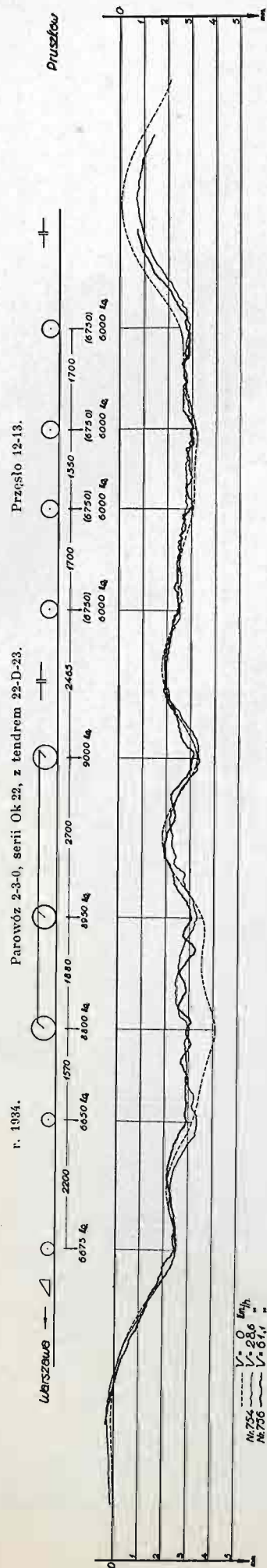
r. 1934.

Parowóz 2-4-1, serii Pu 29, z tendrem 32-D-29.

Nad podkładem 13.



Rys. 35. Osiadanie szyny S 42,5 kg/m zaobserwowane przy różnych szybkościach w porównaniu z osiadaniami statycznym według obliczenia.

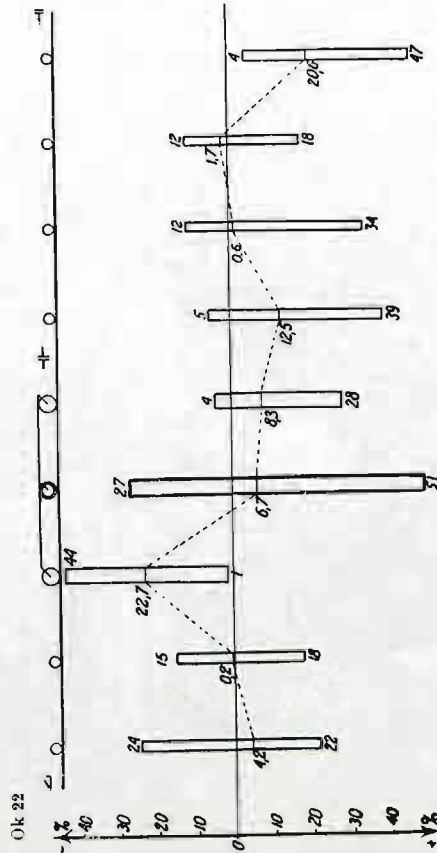


Rys. 36. Osiedlenie szyny S 42,5 kg/m zaobserwowane przy różnych szybkościach w porównaniu z osiedleniem statycznym według obliczenia.

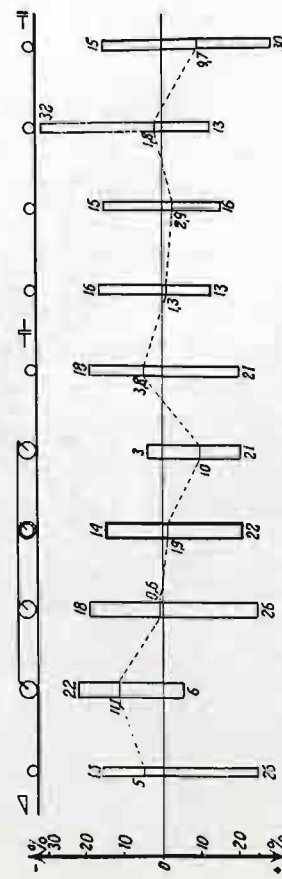


TABLICA XXX a.

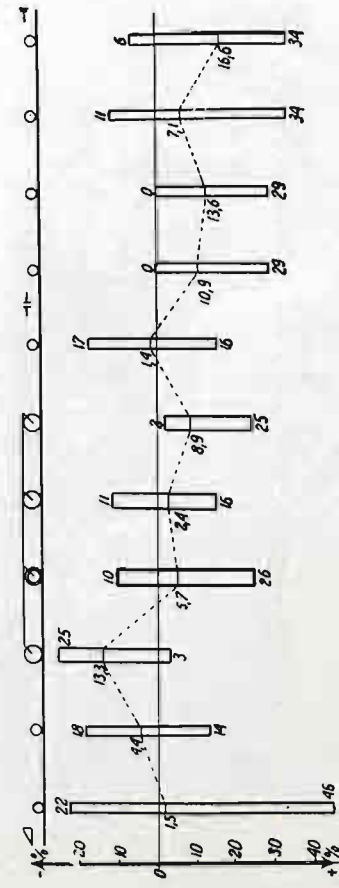
Wykresy osiadaniaszyny pod oddzielnymi kołami parowozów i tendrów porównanego procentowo z obliczonym osiadanieniem statycznym.



Pt 31

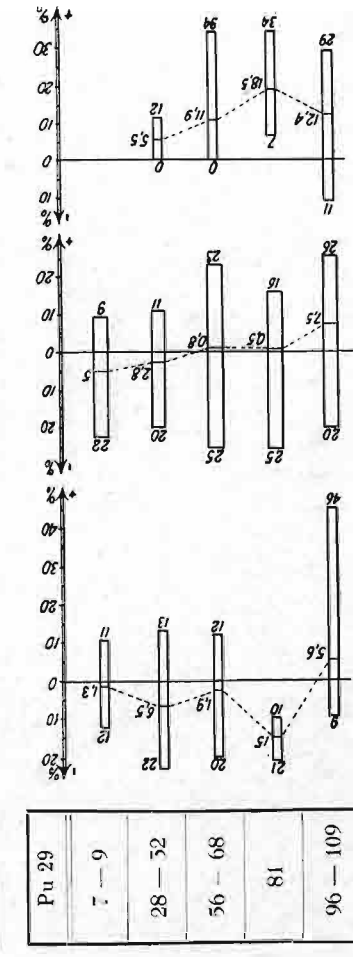
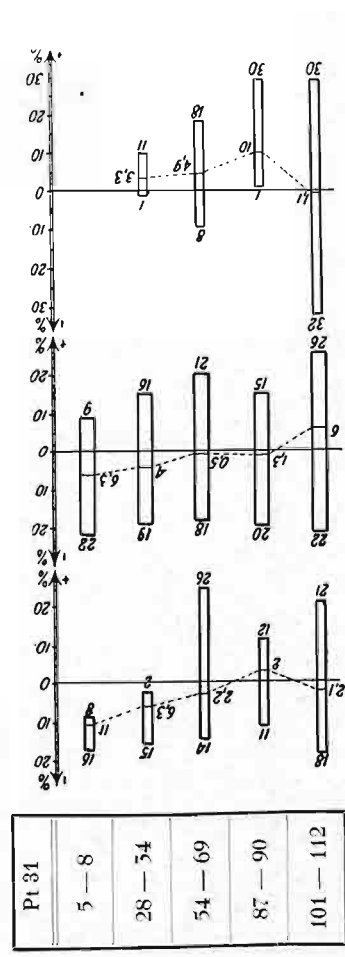
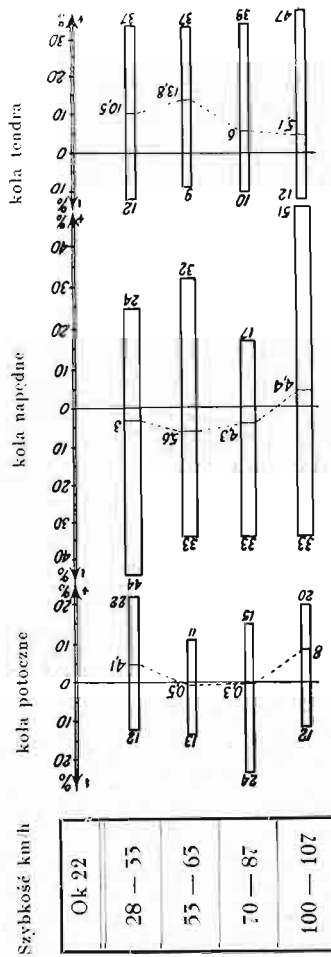


Pu 29



TABLICA XXX b.

Wykresy osiadaniaszyny pod kołami napędowymi i potocznymi parowozów i pod kołami tendrów przy różnej szybkości, porównanego procentowo z osiadanieniem statycznym według obliczeń.



*Zaobserwowane osiadanie szyny pod oddziaływaniami kolami parowozów i tendrów, porównane procentowo z obliczonym osiadaniami stałym.*

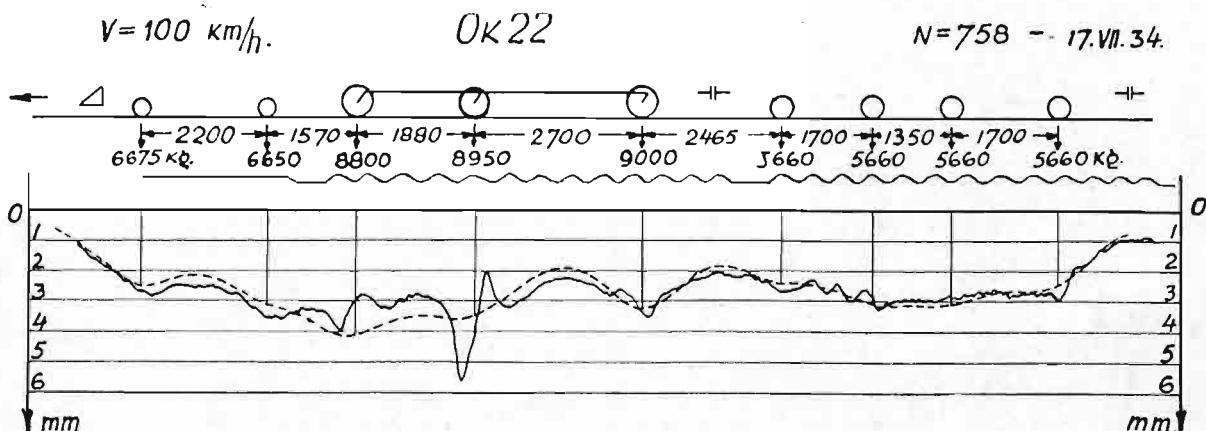
Parowóz	Koła potoczne przednie						Koła napędowe												Koła potoczne tylne											
	I			II			Dowiązane przednie						Dowiązane tylne																	
							pierwsze			drugie			silnikowe			przedostatnie			ostatnie											
	średnie	max.	min.	wahania	średnie	max.	min.	wahania	średnie	max.	min.	wahania	średnie	max.	min.	wahania	średnie	max.	min.	wahania										
Ok 22	+4,2	+22	-24	46	-0,2	+18	-15	33	-22,7	-1	-44	43	—	—	—	—	-6,7	+31	-24	78	—	—	—	+8,3	+28	-4	32	—	—	
Pt 31	-5,0	+26	-16	42	—	—	—	—	-11,1	+6	-22	28	-0,6	+26	-18	44	+1,9	+22	-14	36	—	—	—	+10,0	+21	-3	24	-3,8	+2,1	
Pu 29	+1,5	+46	-22	68	-4,4	+14	-18	32	-15,3	+3	-25	28	—	—	—	—	-5,7	+26	-10	36	+2,4	+16	-11	+2,7	+8,9	+25	+2	23	-1,4	+16
średnio	+0,2	+31	-21	52	-2,3	+16	-16,5	32,5	-15,7	+2,7	-30,3	33	-0,6	+26	-18	44	+4,7	+33	-17	50	+2,4	+16	-11	+2,7	+9,1	+25	-1,7	26	-2,6	+18,5

TABLICA XXXb.

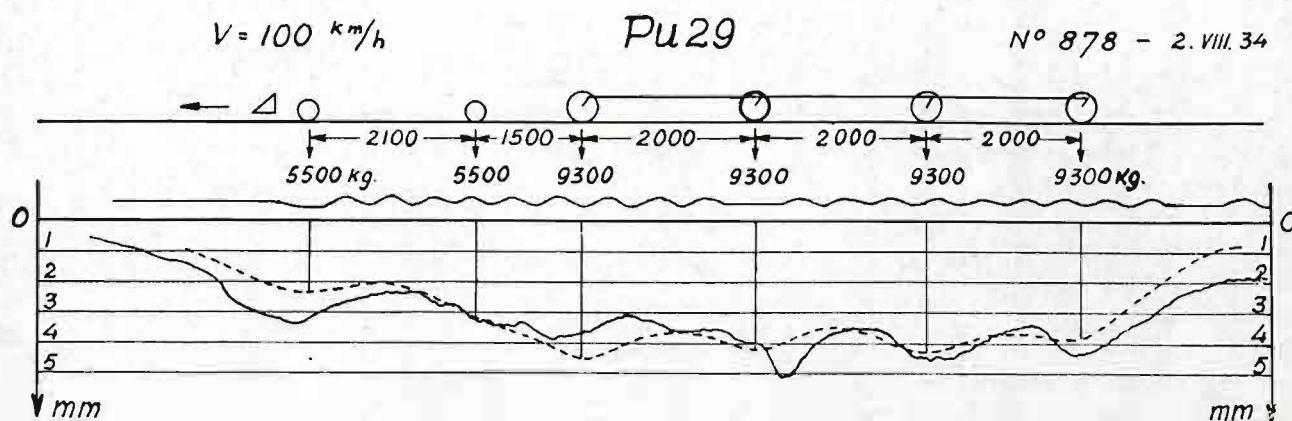
Zaobserwowane osiadanie szyny pod kołami potocznymi i napędnymi parowozów i pod kołami tendrów przy różnej szybkości, porównane procentowo z osiadaniami statycznym według obliczeń.

Parowóz		Kola tendra																
		I			II			III			IV							
		średnie	max.	min.	wahania	średnie	max.	min.	wahania	średnie	max.	min.	wahania					
Ok 22	+12,5	+59	-5	44	+	0,6	+34	-12	46	+1,7	+18	-12	50	+20,6	+47	+4	43	
Pt 31	+1,3	+13	-16	29	+	2,9	+16	-15	31	-1,8	+13	-32	45	+	9,7	+30	-15	45
Pu 29	+10,9	+29	0	29	+	13,6	+29	0	29	+7,1	+34	-11	45	+	16,6	+34	-6	40
średnio	+8,2	+27	-7	34	+	5,7	+26	-9	35	+2,5	+22	-18	40	+	15,7	+37	-6	43

Parowóz	Szybkość 28 — 34 km/h			Szybkość 53 — 69 km/h			Szybkość 71 — 90 km/h			Szybkość 96 — 112 km/h		
	średnie	max.	min.	średnie	max.	min.	średnie	max.	min.	średnie	max.	min.
1. Pod kołami napędnymi parowozów												
Ok 22	— 3,0	+24	—44 68	— 5,6	+32	—33 05	— 4,3	+17	—33 50	+ 4,4	+51	—33 84
Pu 31	— 4,0	+16	—19 35	— 0,5	+21	—18 39	— 1,3	+15	—20 35	+ 6,0	+26	—22 48
Pu 29	— 2,8	+11	—20 51	+ 0,8	+23	—25 48	+ 0,5	+16	—25 41	+ 7,5	+26	—20 46
średnio	— 3,5	+17	—28 45	— 1,8	+25	—25 50	— 1,7	+16	—26 42	+ 6,0	+34	—25 59
2. Pod kołami potocznymi parowozów												
Ok 22	+ 4,1	+22	—12 34	— 0,5	+11	—13 24	— 0,3	+15	—24 39	+ 8,0	+20	—12 32
Pu 31	— 6,3	— 2	—15 13	— 2,2	+26	—14 40	+ 2,0	+12	—11 23	— 2,1	+21	—18 39
Pu 29	— 6,5	+13	—22 55	— 1,9	+12	—20 32	—15,0	—10	—21 11	+ 5,6	+46	— 9 53
średnio	— 2,9	+11	—16 27	— 1,5	+16	—16 32	— 4,4	+ 5	—19 24	+ 3,8	+29	—15 42
3. Pod kołami tendrów												
Ok 22	+10,5	+37	—12 49	+13,8	+37	— 9 46	+ 6,0	+39	—10 49	+ 5,1	+47	—12 59
Pu 31	+ 3,3	+11	— 1 12	+ 4,9	+18	— 8 26	+10,0	+30	+ 1 29	— 1,1	+30	—32 62
Pu 29	+ 5,5	+12	0 12	+11,9	+34	0 34	+18,5	+34	+ 7 27	+12,4	+29	—11 40
średnio	+ 6,4	+20	— 4 24	+10,2	+30	— 6 36	+11,5	+34	+ 1 35	+ 5,5	+36	—18 54



Rys. 37. Przykład dużego odchylenia osiadania szyny pod kołem silnikowym parowozu Ok 22. (+ 51%).



Rys. 38. Przykład dużych odchyśleń osiadania szyny pod kołami: pierwszym potocznym, pierwszym napędnym i silnikowym parowozu Pu 29. (+ 46%, - 17%, + 19%).

### 3. Oddziaływanie konstrukcji parowozów.

Rozpatrzenie tablic XVI do XXX pozwala stwierdzić, że szybkość toczenia się kół parowozów i tendrów w przytoczonych granicach wywiera mały wpływ na osiadanie szyny oraz, że oddzielne osie posiadają pewne właściwości co do ich wpływu na osiadanie szyny, nie dało jednak wyjaśnienia przyczyn, powodujących znaczne różnice w osiadaniu szyn w oddzielnych przypadkach.

Dla wyjaśnienia tych przyczyn niezbędne jest rozpatrzyć właściwości konstrukcji badanych parowozów pod względem działania silnika, zawieszenia kotła oraz pod względem zrównoważenia w nich mas będących w ruchu obrotowym i postępowo-powrotnym.

#### a. Nacisk pary na koła silnikowe.

Na rysunku 39 podano wykresy indykatora przy napełnieniach cylindrów parowozu Ok 22:  $\varepsilon = 0.2$  i  $\varepsilon = 0.3$ , stanowiących granice napełnienia, stosowanego przy jazdach próbnych z pociągami, które prowadziły te parowozy, oraz oparte na tych wykresach wykresy pionowej składowej  $N_i$  nacisku pary, sprowadzonego do osi koła silnikowego. Na rysunku zaś 40 podano posiadane wykresy indykatora przy napełnieniach cylindrów parowozu Pt 31:  $\varepsilon = 0.27$  i  $\varepsilon = 0.38$  oraz oparte na nich wykresy siły  $N_i$ , która przy porównywaniu obu typów parowozów może być sprowadzona do tychże napełnień cylindrów co w parowozie Ok 22 przez interpolację.



*b. Nacisk krzyżulca na równoleżniki.*

Ciśnienie pary, które wskutek skończonej długości drąga korbowego daje pionową składową, zwiększającą nacisk koła silnikowego, powoduje nacisk krzyżulca na równoleżniki tejże wartości, lecz w odwrotnym kierunku. Ten nacisk odciąża przednie osie parowozu, kosztem tylnych i wywołuje wahania resorów, którego skutki należy rozpatrzeć.

*c. Wahania resorów.*

Resory piórowe nad osiami napędnymi badanych parowozów mają długość  $l = 1200$  mm i składają się z  $n = 12$  arkuszy szerokości  $b = 120$  mm i grubości  $h = 13$  mm. Ugięcie resoru, obciążonego w każdym końcu ciężarem  $P$  wyrazi się:

$$s = \frac{6P}{Enb} \cdot \left( \frac{l}{2h} \right)^3$$

Stąd współczynnik  $K$  sprężystości resoru, wyrażający obciążenie w każdym jego końcu, powodujące ugięcie na jeden cm:

$$K = \frac{Enb}{6} \cdot \left( \frac{2h}{l} \right)^3$$

Przyjmując współczynnik sprężystości stali  $E = 2200000$  kg/cm<sup>2</sup>, otrzymuje się

$$K = \frac{2200000 \times 12 \times 12,0}{6} \times \left( \frac{2 \times 1,3}{120} \right)^3 = 538 \text{ kg/cm}$$

Obciążenie statyczne resoru nad osią silnikową wynosi

$$\frac{18000 - 4500}{2} = 6750 \text{ kg.}$$

Stąd ugięcie resoru statyczne

$$s = \frac{6750}{538 \times 2} = 6,27 \text{ cm.}$$

Okres wahań własnych resoru wyrazi się

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{s}{g}} = 6,283 \sqrt{\frac{6,27}{981}} = 0,502''$$

Największy nacisk pionowy krzyżulca na równoleżniki pod działaniem pary, powodujący wahania wymuszone resoru, powtarza się w okresie  $\tau_1$  półobrotu koła, którego średnica jest w parowozie Ok 22 1,75 m, w parowozie zaś Pt 31 1,85 m, a więc okres półobrotu koła wynosi:

$$\left. \begin{array}{l} \text{w parowozie Ok 22: } \tau_1 = 0,875 \cdot \frac{\pi}{\nu} = \frac{2,749}{\nu} \\ \text{w parowozie Pt 31: } \tau_1 = 0,925 \cdot \frac{\pi}{\nu} = \frac{2,906}{\nu} \end{array} \right\} \quad (22)$$

gdzie  $\nu$  jest szybkość toczenia się koła w m/sek.

Stosunek amplitudy wahań wymuszonych resoru (rozumianej jako największe odchylenie od stanu równowagi pod wpływem siły wymuszającej) do jego ugięcia statycznego pod siłą wymuszającą wyraża wzór<sup>1)</sup>:

$$\frac{1}{1 - \left(\frac{\tau}{\tau_1}\right)^2} \quad (23)$$

Ze wzorów (22) i (23) wynika, że szybkość krytyczna, mogąca spowodować zbieżność wahań resoru, następuje przy  $\tau_1 = \tau$ , a więc wynosi:

$$\text{parowozu Ok 22: } v = \frac{0,875}{0,502} \cdot \pi = 5,48 \text{ m/sek} = 19,7 \text{ km/g.}$$

$$\text{parowozu Pt 31: } v = \frac{0,925}{0,502} \cdot \pi = 5,79 \text{ m/sek} = 20,8 \text{ km/g.}$$

Ponieważ tłumienie wahań resoru następuje wskutek tarcia, które można przyjąć jako stałe i niezależne od szybkości, więc nie zmieni ono okresu wahań resoru i przesunie tylko środek wahań na odległość  $\delta = F:2K$  w kierunku działania oporu, gdzie  $F$  jest siłą tarcia resoru,  $K$  jest współczynnik sprężystości resoru. Zmniejszenie zaś amplitudy wahań wyniesie  $2\delta$  w ciągu półokresu wahań<sup>2)</sup>.

Współczynnik tarcia resoru, sprowadzonego do punktu jego przyczepienia do maszyny, określi równanie

$$f = 2\varphi(n-1)\frac{h}{l}$$

gdzie  $\varphi$  współczynnik tarcia stalowych piór resoru, ze względu na małą szybkość tarcia można przyjąć 0,2

$$f = 0,4(12-1)\frac{13}{1200} = 0,0477$$

Zmniejszenie amplitudy wahań resoru, którego obciążenie statyczne wynosi 6750 kg, stanowić będzie w ciągu półokresu wahań własnych resoru, wynoszącego 0,251",

$$2\delta = \frac{2F}{2K} = \frac{2 \times 0,0477 \times 6750}{2 \times 538} = 0,598 \text{ cm}$$

Biorąc nadto pod uwagę przesunięcie środka wahań resoru o  $\delta = 0,299$  cm, otrzymuje się, że w ciągu jednego okresu wahań własnych resoru, wynoszącego  $\tau = 0,502''$ , tarcie zmniejszy amplitudę jego wahań o wielkość:

$$5\delta = 0,299 \times 5 = 1,495 \text{ cm}$$

wynoszącą  $149,5:6,27 = 23,8\%$  ugięcia statycznego.

Jeżeli więc przy szybkości krytycznej około 20 km/godz. przeciążenie resoru nie przewyższy 23,8%, to tarcie stłumi powstałe stąd zwiększenie jego ugięcia statycznego zanim powtórzy się przyczyna wymuszająca zwiększenie tego ugięcia. Przy mniejszej szybkości, stłumienie wahań, powstałego z tej przyczyny, nastąpi jeszcze wcześniej, czyli że nawet większe przeciążenie resoru nie wywoła zbieżności wahań.

<sup>1)</sup> Timoshenko, Vibration Problems in Engineering, I.3. (20).

<sup>2)</sup> Tamże, I.9. (40).

Obliczenia powyższe pozwalają stwierdzić, że konstrukcja resorów parowozów badanych typów zabezpiecza je od zbieżności wahań, wywołanych działaniem silnika.

*d. Zmiany w obciążeniu kół wskutek wahań resorów.*

Jeżeli szybkość ruchu badanych parowozów będzie większa niż 20 km/g, przy czym okres  $\tau_1$  siły wymuszającej wahania resoru, równy półobrotowi koła, będzie mniejszy od okresu  $\tau$  wahań własnych resoru, to, jak wskazuje wzór (25), stosunek amplitudy wahań wymuszonych resoru do statycznego jego ugięcia staje się ze wzrostem szybkości coraz mniejszy. Jeżeli więc szybkość parowozu będzie bardzo duża, to resor ugięty będzie trwał bez wahań w swym położeniu.

Przy szybkości 100 km/godz.  $\approx 28$  m/sek amplituda wahań wymuszonych resoru pod naciskiem krzyżulca na równoleżniki, w stosunku do ugięcia statycznego resoru, określi się jak następuje:

Okres wahań własnych resoru  $\tau = 0,502''$ .

Okres wahań wymuszonych resoru według wzoru (22) wynosi:

$$\text{w parowozie typu Ok 22} \quad \tau_1 = \frac{2,749}{28} = 0,098''$$

$$\text{" " Pt 51} \quad \tau_1 = \frac{2,906}{28} = 0,104''$$

czyli średnio 0,101.

Stosunek amplitudy wahań wymuszonych resoru do ugięcia statycznego pod siłą wymuszającą, wynosi według wzoru (25):

$$\frac{1}{1 - \left(\frac{\tau}{\tau_1}\right)^2} = \frac{1}{1 - \left(\frac{0,502}{0,101}\right)^2} \approx - \frac{1}{24}$$

Pionowa składowa największego nacisku pary, sprowadzona do osi koła silnikowego i równy jej nacisk krzyżulca na równoleżniki wynosi przy napełnieniu  $\varepsilon = 30\%$ :

$$\begin{array}{ll} \text{w parowozie typu Ok 22} & 1,565 \text{ t czyli } 17,5\% \\ \text{" " Pt 51} & 2,074 \text{ t czyli } 22,7\% \end{array}$$

od statycznego nacisku tych kół.

Wynika stąd, że w wymienionych warunkach amplituda wahań wymuszonych resoru będzie wynosić nie więcej jak 0,7% do 0,9% nacisku statycznego koła, że więc praktycznie biorąc, resor ugięty trwać będzie bez ruchu w położeniu, do jakiego go doprowadzi siła wymuszająca nacisku krzyżulca na równoleżniki.

Odnosi się to zarówno do wszystkich resorów bądź odciążonych, bądź przeciążonych pod działaniem pary, jeżeli silnik będzie pracował jednostajnie.

*e. Nadmiar odciążków.*

Obliczenie nadmiaru mas odciążków w parowozach typów Ok 22 i Pt 51 w celu zrównoważenia bezwładności mas w ruchu postępowo-powrotnym oraz obliczenie pionowej składowej siły odśrodkowej tych mas, w każdym z kół napędnych z osobna wykonano na podstawie danych fabrycznych według wzoru:

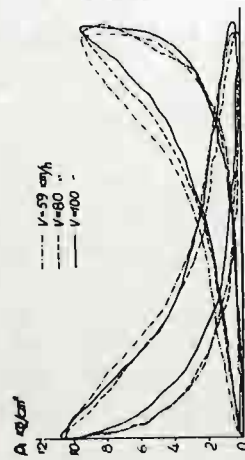
$$N_2 = m r \omega^2 \sin \alpha$$

w którym oznacza:

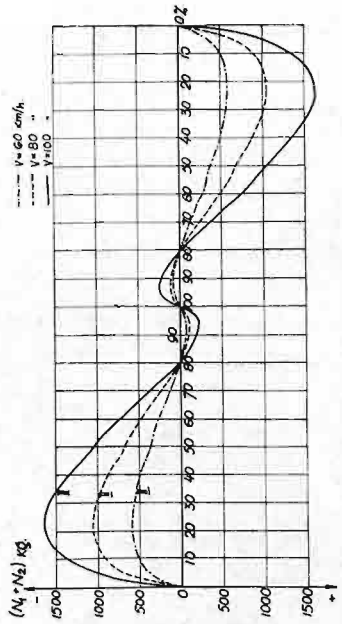
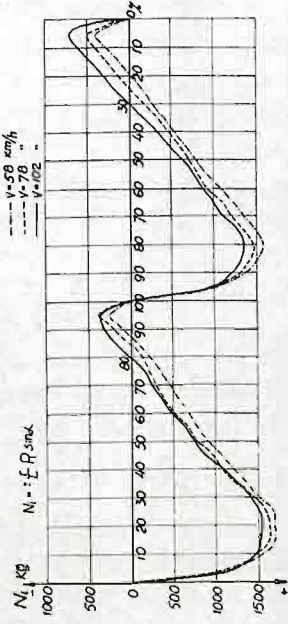
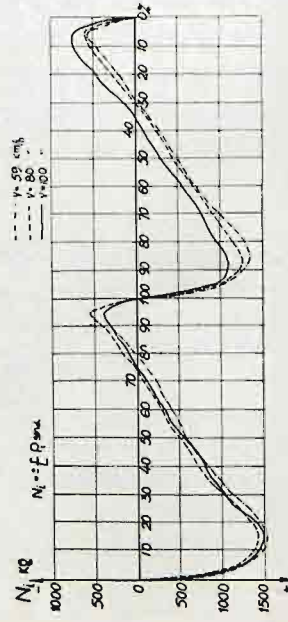
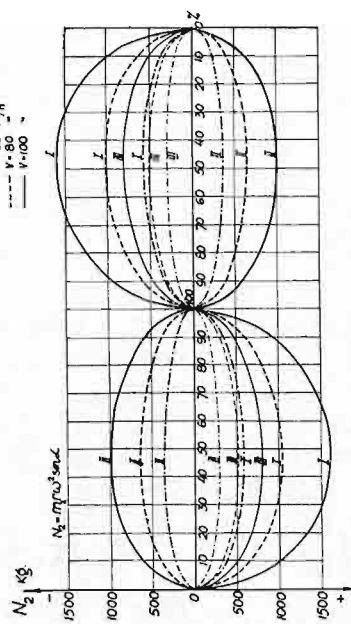
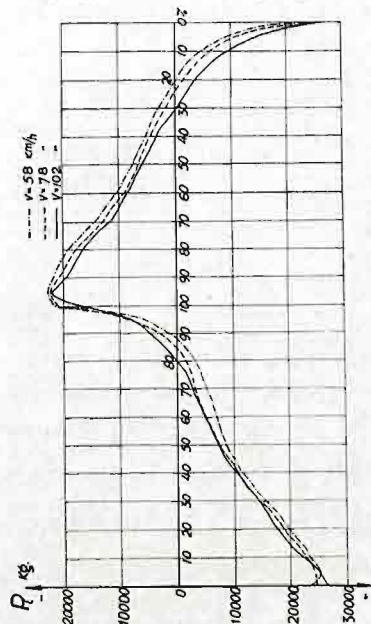
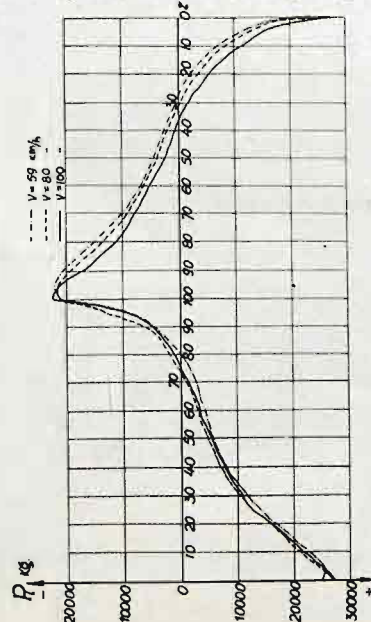
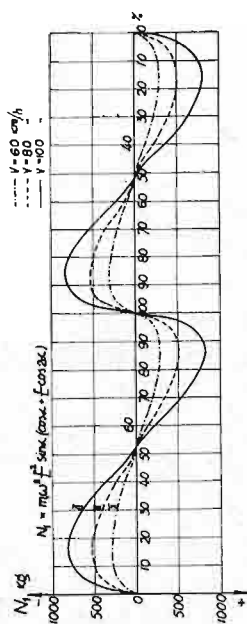
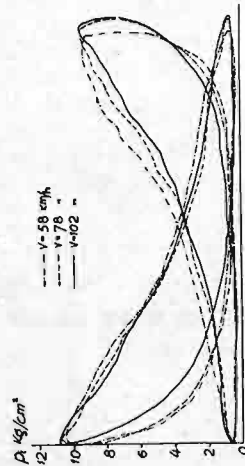
- $m$  masę nadmiaru odciążków.
- $r$  promień korby.
- $\omega$  szybkość kątową mas,
- $\alpha$  kąt korby z poziomem.



$\varepsilon = 20\%$



$\varepsilon = 30\%$



$\varepsilon$  — napężenie cylindrów

$p_i$  — ciśnienie wskazane parę w  $\text{kg/cm}^2$

$P_i$  — nacisk parę na tłok cylindra w  $\text{kg}$

$N_i$  — pionowa składowa nacisku parę na kole silnikowym

$r$  — ramię korby

$L$  — długość drąga korbowego

$\alpha$  — kąt korby z poziomem

$N_1$  — pionowa składowa sił bezwładności mas w ruchu postę-

powo-powrotnym na kole silnikowym

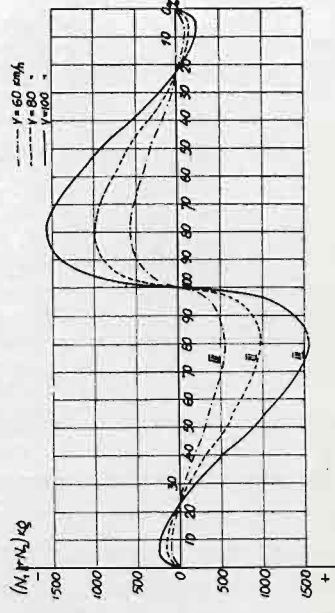
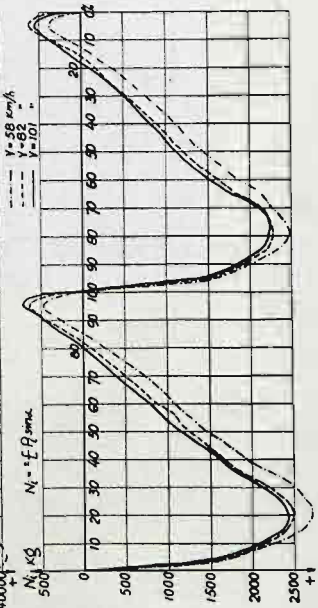
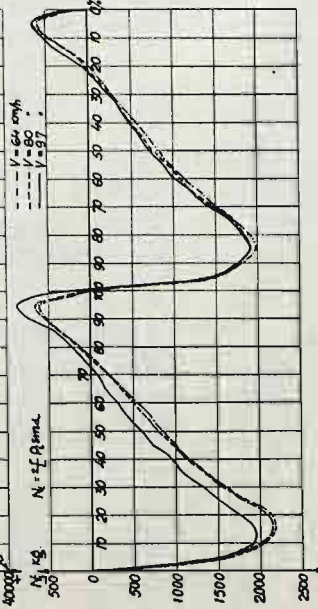
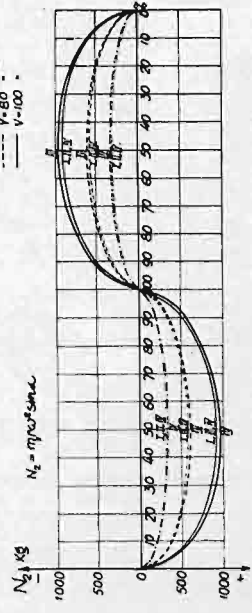
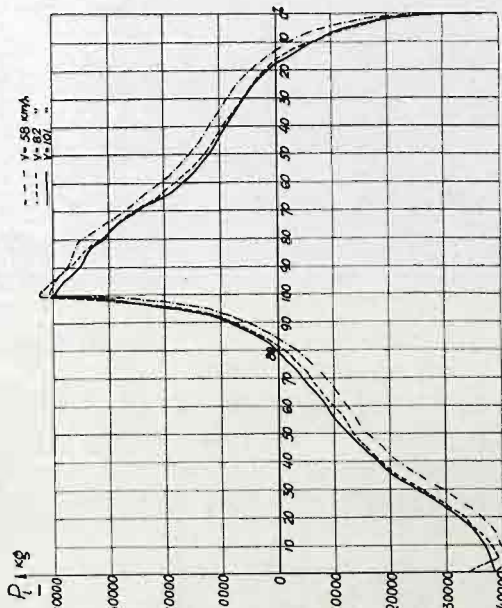
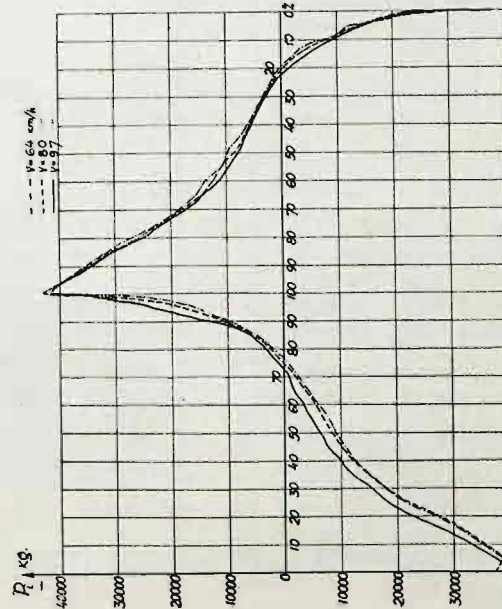
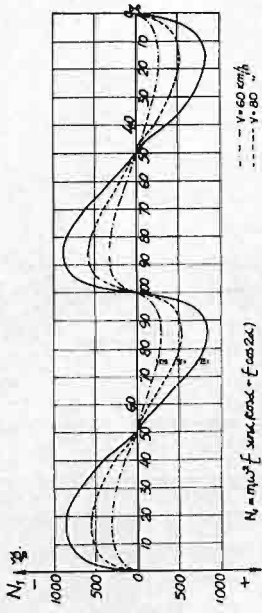
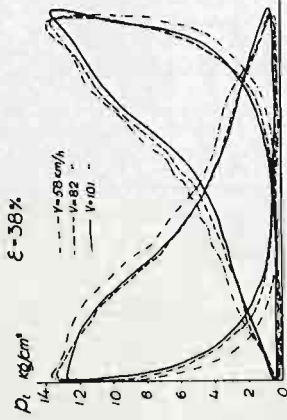
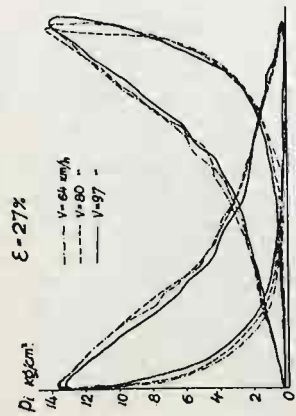
$N_2$  — pionowa składowa siły odśrodkowej nadmiaru odciazków

I, II, III — numery porządkowe kół napędnych

$m_1, m_2$  — masy w ruchu postępowo-powrotnym i masy nadmiaru odciazków

$\omega$  — szybkość kątowa

Rys. 39. Oddziaływanie mechanizmu parowozu Ok 22 na nacisk kół napędnych.



Oznaczenia jak na rys. 39.

Rys. 40. Oddziaływanie mechanizmu parowozu Pt 31 na nacisk kół napędnych.



T A B L I C A XXXI.

Maksimum pionowych składowych sił bezwładności nadmiaru odcieżków  $N_2$  i mas w ruchu postępowo-powrotnym  $N_1$ .

Typ parowozu	Koło silnikowe		Koła d o w i ą z a n e			
	$N_2$ kg	$N_1 + N_2$ kg	I	II	III	IV
			$N_2$ kg	$N_2$ kg	$N_2$ kg	$N_2$ kg
Ok 22	$\pm 1000$	$\pm 1600$	$\pm 1600$	—	$\pm 800$	—
Pt 31	$\pm 950$	$\pm 1550$	$\pm 900$	$\pm 900$	—	$\pm 900$

T A B L I C A XXXII.

Wpływ bezwładności mas w ruchu obrotowym i postępowo-powrotnym na zwiększenie nacisku kół napędnych parowozów Ok 22 i Pt 31 przy  $V = 100$  km/h

Typ parowozu	Koło silnikowe				K o ł a d o w i ą z a n e															
	Pionowa składowa sił bezwładności $N_1 + N_2$	W % od obciążenia statycznego	Amplituda wahań w stoku do osiadanias statycznego pod $N_1 + N_2$	Zwiększenie statycznego nacisku koła	I				II				III				IV			
					Pionowa składowa sił bezwładności $N_2$	W % od obciążenia statycznego	Amplituda wahań w stoku do osiadanias statycznego pod $N_2$	Zwiększenie statycznego nacisku koła	Pionowa składowa sił bezwładności $N_2$	W % od obciążenia statycznego	Amplituda wahań w stoku do osiadanias statycznego pod $N_2$	Zwiększenie statycznego nacisku koła	Pionowa składowa sił bezwładności $N_2$	W % od obciążenia statycznego	Amplituda wahań w stoku do osiadanias statycznego pod $N_2$	Zwiększenie statycznego nacisku koła	Pionowa składowa sił bezwładności $N_2$	W % od obciążenia statycznego	Amplituda wahań w stoku do osiadanias statycznego pod $N_2$	Zwiększenie statycznego nacisku koła
Ok 22	$\pm 1600$	17,9	1,07	19,2	$\pm 1600$	18,2	1,06	19,3	—	—	—	—	$\pm 800$	8,9	1,06	9,4	—	—	—	—
Pt 31	$\pm 1550$	17,0	1,06	18,0	$\pm 900$	9,9	1,05	10,4	$\pm 900$	9,9	1,05	10,4	—	—	—	—	$\pm 900$	9,9	1,05	10,4

T A B L I C A XXXIII.

Osiadanie szyny i podkładów na jednostkę nacisku koła w zależności od położenia koła względem podkładu.

r. 1933

r. 1934

Nr. podkładu	Osiadanie podkładów przy położeniu koła			Osiadanie szyny nad podkładem przy położeniu koła		
	nad podkładem	między danym podkładem i		nad podkładem	między danym podkładem i	
		poprzedzającym	następującym		poprzedzającym	następującym
2	0,257	0,230	0,242	0,369	0,323	0,335
3	0,388	0,342	0,360	0,432	0,366	0,377
4	0,392	0,334	0,363	0,482	0,404	0,447
5	0,405	0,370	0,390	0,453	0,403	0,421
6	0,272	0,252	0,253	0,358	0,318	0,322
7	0,290	0,270	0,272	0,378	0,332	0,354
8	0,265	0,233	0,245	0,364	0,304	0,320
9	0,287	0,260	0,270	0,378	0,324	0,342
10	0,273	0,258	0,264	0,337	0,300	0,322
11	0,224	0,206	0,205	0,264	0,243	0,245
12	0,260	0,231	0,229	0,343	0,295	0,299
13	0,234	0,191	0,207	0,323	0,243	0,269
14	0,301	0,269	0,282	0,371	0,314	0,330
15	0,266	0,231	0,261	0,317	0,278	0,297
16	0,342	0,307	0,331	0,368	0,325	0,345
17	0,252	0,234	0,241	0,344	0,302	0,322
18	0,286	0,267	0,274	0,362	0,323	0,352
19	0,319	0,291	0,305	0,350	0,316	0,322
20	0,193	0,169	0,194	0,315	0,258	0,306
21	0,212	0,189	0,211	0,269	0,224	0,260
średnio	0,286	0,258	0,269	0,359	0,310	0,329

Osiadanie podkładów przy położeniu koła			Osiadanie szyny nad podkładem przy położeniu koła		
nad podkładem	między danym podkładem i		nad podkładem	między danym podkładem i	
	poprzedzającym	następującym		poprzedzającym	następującym
—	—	—	—	—	—
0,327	0,266	0,320	0,338	0,267	0,329
0,388	0,356	0,375	0,416	0,370	0,405
0,415	0,373	0,392	0,431	0,398	0,408
0,414	0,365	0,395	0,434	0,392	0,425
0,342	0,323	0,335	0,401	0,363	0,385
0,239	0,224	0,233	0,341	0,309	0,327
0,238	0,213	0,228	0,284	0,248	0,264
0,232	0,203	0,221	0,262	0,221	0,246
0,259	0,224	0,245	0,266	0,231	0,245
0,288	0,265	0,288	0,313	0,265	0,272
0,308	0,256	0,284	0,409	0,325	0,370
0,359	0,326	0,340	0,419	0,361	0,382
0,371	0,323	0,369	0,421	0,379	0,403
0,424	0,402	0,427	0,474	0,439	0,460
0,303	0,263	0,291	0,357	0,280	0,308
0,286	0,275	0,271	0,372	0,349	0,349
0,311	0,277	0,297	0,328	0,300	0,305
0,239	0,211	0,224	0,298	0,242	0,260
—	—	—	—	—	—
0,319	0,286	0,307	0,363	0,319	0,341



Jak widać z wyników tych obliczeń podanych na wykresach  $N_2$  rys. 39 i 40 nie-zrównoważony nadmiar odciażków powoduje w ciągu połowy obrotu koła zwiększenie, w ciągu zaś następnej połowy zmniejszenie o tyleż nacisku koła.

Największe wartości przeciążenia i odciażenia oddzielnych kół podczas ich pół-obrotu przy szybkości  $V=100$  km/godz. podane są w tabl. XXXI.

Koła osi silnikowej parowozu Ok 22 mają niedomiar odciażków, wskutek którego zwiększeniu nacisku tej osi pod działaniem siły odśrodkowej mas w ruchu obrotowym odpowiada zmniejszenie nacisku innych osi pod działaniem siły odśrodkowej na ich masy będące w tymże ruchu.

*f. Masy w ruchu postępowo-powrotnym.*

Drugą przyczyną zmieniającą okresowo nacisk koła pod działaniem sił bezwładności, jest pionowa składowa bezwładności mas w ruchu postępowo-powrotnym, a mianowicie mas korbowodów, drągów korbowych i wiązarów. Obliczenie tych mas i pionowej składowej ich bezwładności wykonano według danych fabrycznych. Większość tych sił, których wielkość obliczoną według wzoru:

$$N_1 = m \omega^2 \frac{r^2}{L} \sin \alpha \left( \cos \alpha + \frac{r}{L} \cos 2 \alpha \right)$$

w którym oznacza:

- $m$  całkowitą masę w ruchu postępowo-powrotnym,
- $\omega$  szybkość kątową mas,
- $L$  długość drąga korbowego,
- $r$  ramię korby,
- $\alpha$  kąt korby z poziomem,

przedstawiono na wykresach  $N_1$  rysunków 39 i 40, działa na koła silnikowe okresowo co pół obrotu. Jednakże największe wartości tych sił i siły odśrodkowej nadmiaru odciażków nie występują jednocześnie, wskutek czego suma ich działania następuje w okresie całkowitego obrotu koła, podobnie jak siła bezwładności odciażków i osiąga następujące wartości:

w parowozie typu Ok 22 . . .  $N_1 + N_2 = \pm 1600$  kg.

w parowozie typu Pt 31 . . .  $N_1 + N_2 = \pm 1550$  kg.

*g. Wahania koła na szynie wskutek zmienności nacisku koła.*

Zmiany w nacisku koła, wywołane bezwładnością nadmiaru odciażków i mas w ruchu postępowo-powrotnym lub nierównomiernym zużyciem (wybiciem) obręczy, muszą wywołać wahania własne koła na szynie, zwiększając jej ugięcie. Zmiany w obciążeniu kół wskutek nacisku krzyżulców na równoleżniki są jak dowiedziono wyżej, mniej więcej stałe, nie wywołują więc wahań zestawów kół i szyny.

Osiadanie dynamiczne szyny  $y_d$ , zwiększone wskutek drgań własnych koła na szynie w stosunku do jej osiadania statycznego  $y$ , jakie by mogły spowodować wymienione siły bezwładności, będzie zależeć od stosunku okresu wahań własnych koła  $\tau$  do okresu wahań wymuszonych, w danym przypadku do okresu obrotu koła  $\tau_1$ , i otrzymuje się że wzoru:

$$\frac{y_d}{y} = \frac{1}{1 - \left( \frac{\tau}{\tau_1} \right)^2} \quad (23)$$

Okres wahań własnych koła wynosi:

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{y}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{q}{kg}}$$

w którym oznacza:

$y$  statyczne osiadanie szyny pod ciężarem  $q$  połowy zestawu kół, w cm.,

$k = 2 D \sqrt[4]{\frac{2}{3} \gamma}$  nacisk na szynę powodujący jej osiadanie na 1 cm,

$g = 981 \text{ cm/sek}^2$  przyspieszenie siły ciężkości,

$q$  ciężar połowy zestawu kół: silnikowych 1750 kg, dowiązanych 1500 kg,

$\gamma = 4,5$ ,

$k = 2 \times 10,9 \times \sqrt[4]{3} = 28,7 \text{ t/cm}$  stąd otrzymuje się okres wahań własnych kół silnikowych

$$\tau = 2 \times 3,14 \sqrt{\frac{1,75}{28,7 \times 981}} = 6,28 \sqrt{0,0000622} = 0,0495''$$

dowiązanych zaś:

$$\tau = 6,28 \sqrt{\frac{1,5}{28,7 \times 981}} = 6,28 \sqrt{0,0000535} = 0,0458''$$

Obwód koła napędnego średnicy 1,75 wynosi 5,50 m

" " " " 1,85 " 5,81 m

a więc okres obrotu koła napędnego przy  $v = 28 \text{ m/sek}$  ( $V = 100 \text{ km/godz}$ )

$$\tau_1 = 0,196'' \text{ albo } \tau_1 = 0,208''$$

Przyjmując średnio  $\tau : \tau_1 = 0,05 : 0,20 = 0,25$  otrzymuje się wielkość amplitudy wahań wymuszonych w stosunku do osiadania statycznego pod siłą wymuszającą te wahań:

$$\frac{y_d}{y} = \frac{1}{1 - (0,25)^2} = 1,067$$

Jak widać ze zdjęć osiadania szyny pod parowozem typu Ok 22 przy dużej szybkości (rys. 33), duże wahań szyny na tych zdjęciach, pochodzące niewątpliwie wskutek wahań własnych koła, mają okres co najmniej dwa razy mniejszy od obliczonego teoretycznie (około 0,02'' do 0,025''). Wobec tego stosunek  $y_d : y$  można ograniczyć do

$$\frac{y_d}{y} = \frac{1}{1 - (0,125)^2} = 1,016$$

czyli że zwiększenie dynamiczne sił bezwładności nie powinny przekraczać 2%.

W tabl. XXXII podano dla każdego z kół parowozów Ok 22 i Pt 31 wielkość osiadania dynamicznego szyny, pod działaniem bezwładności mas i wahań własnych koła, w stosunku proporcjonalnym do jej osiadania pod naciskiem statycznym koła. Cyfry tej tablicy wskazują, że siły dynamiczne zwiększają okresowo osiadanie szyny pod naciskiem kół silnikowych obu parowozów prawie o 20%, i prawie tyleż pierwszej osi dowiązanej parowozu typu Ok 22, pozostałych zaś kół dowiązanych parowozu Ok 22 i kół dowiązanych Pt 31 mniej więcej o 10%.



*h. Wpływ na nacisk koła nierówności szyny i wytarcia miejscowego obręczy.*

Do wyjaśnienia, w jakim stopniu zaobserwowane duże różnice w osiadaniu szyny mogły być spowodowane wykrzywieniami szyny w profilu podłużnym i zagłębieniami na powierzchni tocznej obręczy, posłużą następujące obliczenia.

Dodatkowe osiadanie  $y$  szyny, spowodowane zagłębieniami na powierzchni tocznej szyny lub obręczy, zależy od głębokości  $h$  zagłębienia i od stosunku okresu  $\tau$  wahań własnych koła z szyną do czasu  $\tau_1$ , potrzebnego do przetoczenia się koła przez zagłębienie, i może być wyrażone wzorem <sup>1)</sup>:

$$y = \frac{h}{2} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{\tau_1}{\tau}\right)^2} \cdot \left( \cos \frac{2\pi t}{\tau_1} - \cos \frac{2\pi t}{\tau} \right) \quad (24)$$

W tym wzorze  $t$  oznacza czas od wejścia koła na zagłębienie.

Jak zaznaczono wyżej, okres drgań własnych koła według spostrzeżeń (rys. 33) jest znacznie krótszy od obliczonego teoretycznie (por. str. 84) i wynosi około 0,025". Największe zagłębienie w szynie obserwowanej, wskazane na jej profilu podłużnym (rys. 3) ma długość  $73 \times 9 = 657$  cm i głębokość nad podkładem 13:  $h = 0,26$  cm. Koło toczące się z szybkością 100 km/godz czyli około 28 m/sek przejdzie to zagłębienie w czasie

$$\tau_1 = \frac{657}{2800} = 0,235''$$

Przy stosunku

$$\frac{\tau_1}{\tau} = \frac{0,235}{0,025} = 9,4$$

największe dodatkowe osiadanie szyny znajdzie w momencie  $t = 0,5316 \tau_1 \approx 0,532 \tau_1$  otrzymuje się

$$\begin{aligned} \max \max y &= \frac{0,13}{1 - (9,4)^2} (\cos 1,064 \pi - \cos 10,00 \pi) = \\ &= - 0,001488 (\cos 191^\circ 31' - 1) \approx + 0,00295 \text{ cm} \end{aligned}$$

Osiadanie szyny pod naciskiem statycznym koła silnikowego parowozu Ok 22 wynosi (por. str. 84)

$$\frac{8,95}{28,7} = 0,312 \text{ cm}$$

a więc nierówność szyny będzie powodować przy szybkości 100 km/godz zwiększenie statycznego nacisku koła o

$$\frac{0,295}{0,312} = 0,95\%,$$

czyli o wielkość bardzo małą.

Inaczej będzie się rzecz miała z wpływem na osiadanie szyny wytarcia miejscowego obręczy. Według przepisów o rewizji i naprawie zestawów kół N. M. 39 obowiązujących obecnie na P. K. P., głębokość miejscowego wytarcia okręczy kół parowozów (z wyjątkiem parowozów manewrowych i gospodarczych) nie powinna przewyższać 2 mm.

<sup>1)</sup> Timoshenko. Stresses in Railroad Track. Proceedings of the 2 nd International Congress for Applied Mechanics, 1927 p. 7.



Najmniejszej dozwolonej długości miejscowego wytarcia obręczy nie wskazano. W przypuszczeniu, że będzie ono zanikało w obie strony na długości nie mniejszej niż  $\frac{1}{4}$  obwodu koła od swego środka, czas przejścia przez nie koła o średnicy 1,75 m toczącego się z szybkością 28 m/sek wyniesie

$$\tau_1 = \frac{1,75 \times 3,14}{28 \times 4} = 0,049'' \quad \text{i} \quad \frac{\tau_1}{\tau} = \frac{0,049}{0,025} \approx 2$$

największe dodatkowe osiadanie szyny zajdzie w momencie  $t = \frac{\tau_1}{2}$  i wyniesie

$$\max y = \frac{0,1}{1-2^2} (\cos \pi - \cos 2\pi) = \frac{-0,2}{-3} = 0,067 \text{ cm}$$

co wynosi w stosunku do osiadania pod naciskiem statycznym koła

$$\frac{6,7}{0,312} = 21,5\%.$$

Jeżeli przy tej samej długości wytarcia głębokość jego zwiększy się do 4,5 mm, to osiadanie szyny zwiększy się o 48%.

Cyfry te dość dobrze odpowiadają wynikom spostrzeżeń.

#### i. Największa amplituda wahań resoru.

Jako interesujące uzupełnienie spostrzeżeń fotograficznych nad odkształceniami pionowymi szyn, wykonano pomiar największego ugięcia resorów parowozów prowadzących pociągi na odciepie pomiędzy Skierniewicami a Warszawą, na którym jest położony posterunek doświadczalny Włochy. Pomiar ten, który miał na celu przeświadczenie się, jaka część wahań w nacisku koła silnikowego jest połączona ze zmianą w nacisku na resoru, był wykonany przy pomocy tabliczki ołowianej i rylca, przytwierdzonych do maźnicy i wideł maźniczych osi silnikowej parowozu typu Ok 22.

Największa amplituda wahań resoru, otrzymana z tego pomiaru, okazała się  $\pm 16$  mm. Ponieważ współczynnik sprężystości resoru wynosi  $538 \times 2 = 1076$  kg, więc pomierzona amplituda jego wahań odpowiada wahaniom jego nacisku o  $\pm 1,6 \times 1076 = \pm 1722$  kg, co stanowi  $\pm \frac{1722}{8950} = \pm 19\frac{1}{4}\%$  nacisku statycznego koła i odpowiada zwiększeniu nacisku koła silnikowego wskutek bezwładności mas.

#### k. Drgania własne szyny.

W liczbie przyczyn mogących wpłynąć na rodzaj i wielkość ruchów pionowych szyny, należy rozpatrzyć jej drgania własne. Okres tych drgań można określić teoretycznie ze wzoru:

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{y}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{qa}{Dg}}$$

w tym wzorze oznacza:

$\frac{D}{a}$  ciężar szyny na metr bieżący, powodujący jej osiadanie na 1 cm.

$q$  ciężar szyny rzeczywisty kg/m.

$$\tau = 6,28 \sqrt{\frac{0,425 \times 73}{10000 \times 981}} = 6,28 \times 10^{-4} \sqrt{316} = 0,0112''.$$

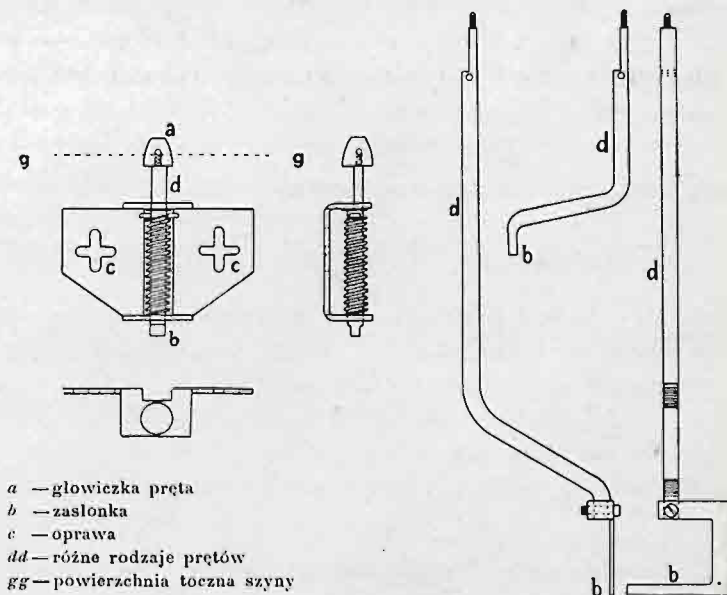
Na rys. 42 pokazano zdjęcia fotograficzne kilku odcinków linii osiadania szyny w powiększeniu 25 razy wielkości naturalnej dla lepszego uwidocznienia drgań własnych szyny. Jak widać z tego rysunku, okres drgań własnych szyny, podobnie jak okres drgań własnych koła, jest według spostrzeżeń od 2 do  $2\frac{1}{2}$  razy mniejszy niż wypada z obliczenia teoretycznego. Zjawisko to trudno jest wytłumaczyć, gdyż możnaby raczej przypuszczać, że pewien udział w drganiach koła i szyny powinna brać również masa podpór szyny, zwiększając okres ich wahań, nie zaś zmniejszając. Narazie należy zadowolić się stwierdzeniem, że teoretyczna wielkość okresu drgań jest w obu przypadkach tegoż rzędu, co zaobserwowana.

Co się tyczy amplitudy drgań własnych szyny, to wielkość ich zaobserwowana nie przewyższa 1‰ osiadania szyny pod obciążeniem statycznym, nie może więc zaważyć na ogólnej wielkości osiadania szyny i nacisku koła, pod którym ono następuje.

#### 4. Opóźnienie odkształceń pionowych.

Na zdjęciach osiadania szyny i podkładów przy przejściu różnych typów parowozów (tabl. XXXIII) pomierzono, prócz osiadania w chwili gdy koło znajduje się nad podkładem obserwowanym, także osiadanie w chwili gdy ono znajduje się w prześle poprzedzającym i następnym. Tu zastanawia, że osiadanie podkładów i szyny nad nimi w chwili gdy koło znajduje się pośrodku prześła następującego za podkładem obserwowanym, jest większe niż w chwili gdy ono znajduje się pośrodku prześła poprzedzającego. To zjawisko było już ujawnione w spostrzeżeniach na dr. żel. Warszawsko-Wiedeńskiej<sup>1)</sup> lecz bliżej nie objaśnione. Wykrycie jego przyczyny nastąpiło obecnie w związku z obserwacjami, które miały na celu ściśle określenie momentu przejścia kół przez punkt obserwowany.

W tym celu zastosowano małą zasłonę (rys. 41), która pod naciskiem koła zasłaniała obserwowane lustro, powodując na zdjęciach przerwę w wykresie osiadania. Jak pokazują zdjęcia (rys. 42), największe osiadanie obserwowanego punktu następuje dopiero po przejściu koła, które je powoduje. To opóźnienie odkształcenia, znane pod nazwą histerezy również w innych przypadkach naprężenia, musi mieć za skutek asymetrię wykresu osiadania szyny i podkładu względem punktu obserwowanego, przez który przechodzi koło.

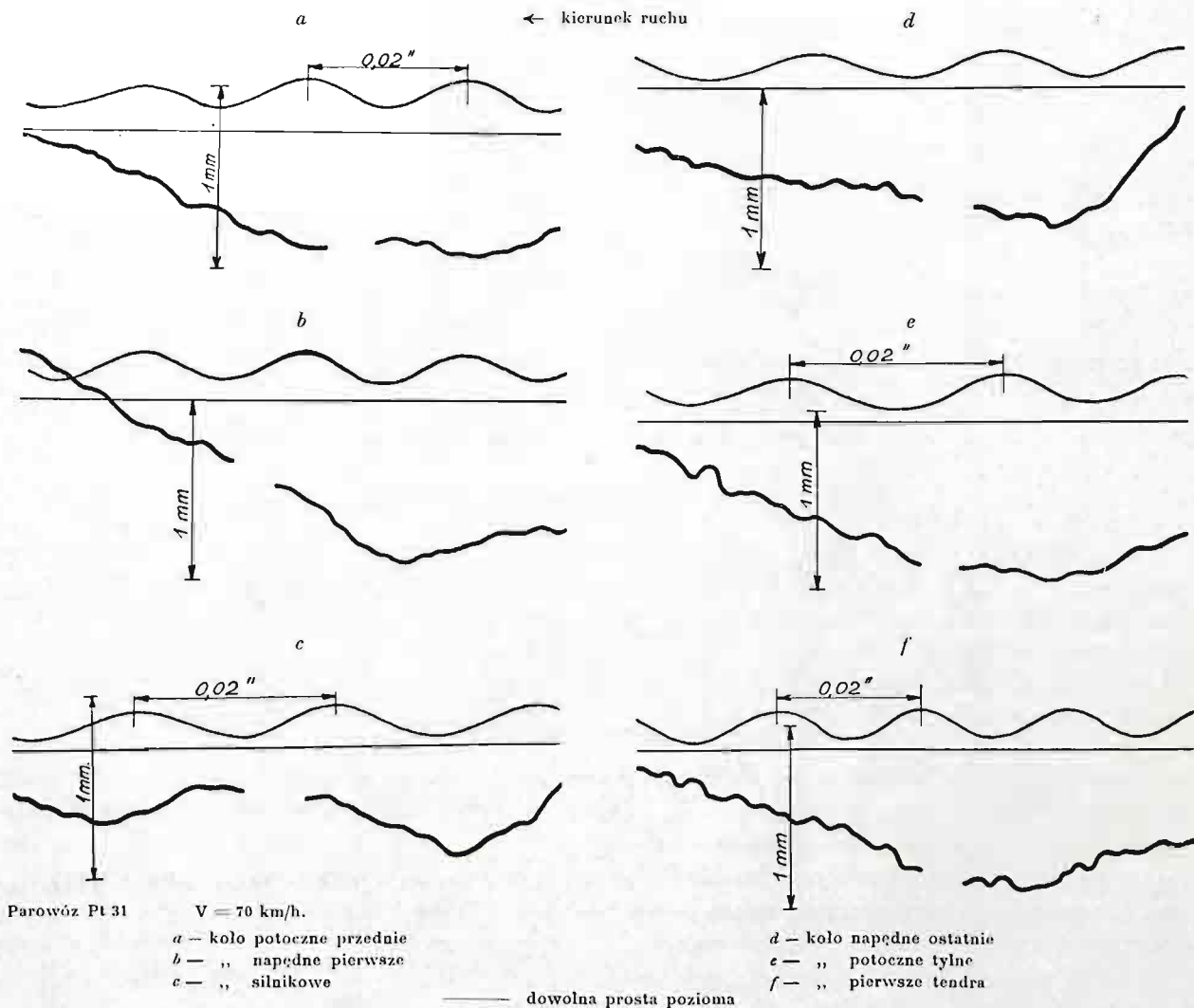


Rys. 41. Zasłony lusterek do oznaczania momentu przejścia koła.

Pomiary na komparatorze wielkości przerwy w wykresie podczas przejścia koła dały niejednakowe wyniki co do długości drogi odpowiadającej tej przerwie, co wskazywało, że należy się liczyć z opóźnieniem w powrocie zasłony do położenia początkowego. Wobec tego określano przejście koła przez punkt obserwowany od chwili początku przerwy w wykresie, dodając czas potrzebny na obniżenie zasłony o 1,5 mm w zależności od

<sup>1)</sup> Congrès. Session de Paris, 1900 p. 2613.





Rys. 42. Drgania własne szyny. Położenie koła w stosunku do największego osiadania szyny.

średnicy koła. Jako rezultat obliczeń otrzymano z 12 zdjęć wielkość opóźnienia osiadania po przejściu koła od 0,004" do 0,014", średnio 0,008" i średnią długość drogi, na której to opóźnienie następuje, 86 mm.

Zależności tego opóźnienia od szybkości pociągu (20 do 70 km/godz.) nie znaleziono.

## 5. W n i o s k i.

1. W obliczeniach odkształceń pionowych szyny pod obciążeniem w spoczynku w celu porównania z nimi odkształceń, zaobserwowanych pod obciążeniem ruchomym, i wnioskowania stąd o wpływie czynników dynamicznych, szyna może być rozpatrywana jako belka na ciągłym podłożu sprężystym. Różnice bowiem w osiadaniu szyny, rozpatrywanej jako belka na ciągłym podłożu sprężystym i jako belka na oddzielnych podporach sprężystych, bądź pod ciężarem pojedynczym bądź pod układem ciężarów, nie przewyższają  $\frac{1}{2}\%$ .
2. Średnia wielkość zaobserwowanego osiadania szyny pod kołami napędzonymi parowozów badanych typów przy szybkościach do 110 km w linii prostej poziomej, nie wiele się różni od osiadania według obliczenia pod obciążeniem statycznym. Jednakże przy szybkościach od 80 do 100 km/godz, to średnie osiadanie jest naogół o 7% do 14% większe niż przy szybkościach mniejszych.



3. Odchylenia w osiadaniu szyny pod kołami napędnymi parowozów od wartości średnich są przy szybkościach od 80 do 110 km naogół większe niż przy szybkościach mniejszych, jakkolwiek w niektórych grupach spostrzeżeń ten wpływ szybkości na średnie osiadanie szyny i na odchylenia od niego nie daje się zauważyć lub nawet jest odwrotny.
4. Największe osiadanie szyny pod kołami napędnymi badanych parowozów różni się od osiadania pod obciążeniem w spoczynku na ogół nie więcej jak o 28%. Większe osiadanie szyny, zaobserwowane w paru przypadkach, było spowodowane dużym miejscowym wytarciem obręczy.
5. Średnie osiadanie szyny pod kołami potocznymi parowozów przy różnych szybkościach, podobnie jak pod kołami napędnymi, nie wiele się różni od osiadania statycznego, według obliczenia, lecz wpływ szybkości na średnie osiadanie, jako też na wielkość odchylen od tego osiadania, jest jeszcze mniej wyraźny, niż pod kołami napędnymi.
6. Największe osiadanie szyny pod kołami potocznymi parowozów znajduje się na ogół w tym samym stosunku (26%) do osiadania pod obciążeniem statycznym tych kół, co pod kołami napędnymi (p. 4), lecz różnice w osiadaniu szyny pod pierwszą osią potoczną wózków są większe, niż pod drugą.
7. Pod kołami tendrów szyna zachowuje się co do średniego osiadania tak samo jak pod osiami potocznymi parowozów, lecz odchylenia osiadania od średniej jego wartości i największe osiadania są większe, gdyż dochodzą do 47%.
8. Analiza przyczyn, powodujących odchylenia w osiadaniu szyny od jego wartości średnich, wskazuje, że te przyczyny tkwią we właściwościach konstrukcji parowozów i ich utrzymania, a mianowicie:
  - a) w nacisku krzyżulców na równoleżniki, który powoduje średnio: stałe odciążenie przedniej osi napędnej, dochodzące do 25% obciążenia statycznego, i w związku z tym, stałe przeciążenie osi silnikowej i osi tylnych dowiązanych;
  - b) zmiany okresowe nacisku kół napędnych pod działaniem bezwładności nadmiaru odciażków i mas w ruchu postępowo-powrotnym;
  - c) zwiększenie okresowe nacisku kół potocznych i napędnych wskutek miejscowego wytarcia obręczy;
  - d) wahania własne koła jako skutek raptownych zmian nacisku koła, wymienionych w punkcie poprzedzającym;
  - e) wahania resorów wskutek zmian w nacisku kół i w osiadaniu szyny.

Obliczenie wpływu tych przyczyn na nacisk koła na podstawie danych, odnoszących się do konstrukcji badanych parowozów, dało wyniki zgodne z obserwacją osiadania szyny, które ten nacisk wywołuje.
9. Dla ograniczenia dynamicznego nacisku koła na szynę pożądanym jest:
  - a) aby ciężar parowozu był rozłożony na oddzielne osie z uwzględnieniem średniego przeciążenia osi silnikowej i tylnych osi dowiązanych podczas ruchu;
  - b) aby nadmiar odciażków nie przewyższał 10% i był równomiernie rozłożony na osie napędne;
  - c) aby miejscowe wytarcie obręczy było ograniczone nie tylko co do głębokości, lecz też co do najmniejszej długości, tym większej, im większa jest jego głębokość.
10. Ze spostrzeżeń, wymienionych w poprzedzających punktach 2 — 6, wynika, że przy określaniu odkształceń pionowych szyny w linii prostej poziomej pod parowozami pośpiesznymi, a mianowicie pod parowozami typów Ok<sub>22</sub> (Ten wheel, 2 — 3 — 0), Pt 31 (Mikado, 1 — 4 — 1) i Pu 29 (Mountain, 2 — 4 — 1), w przypuszczeniu, że nadmiar od-

ciężków na kołach i miejscowe wytarcia obręczy nie są zbyt wielkie, należy się liczyć ze zwiększeniem statycznego nacisku kół:

przy szybkościach od 80 do 110 km/godz o około 30%

przy szybkościach zaś mniejszych — o około 20%.

11. Podczas ruchu pociągów szyna podlega drganiom własnym, których okres waha się w granicach od 0,006" do 0,004". Amplituda drgań własnych szyny nie przewyższa 0,01 jej osiadania pod naciskiem kół.
12. Odształcenia pionowe szyny opóźniają się w stosunku do momentu przejścia koła, które je w danym punkcie wywołuje. Zaobserwowana wielkość tego opóźnienia wynosi średnio około 0,008", co odpowiada około 86 milimetrom drogi, którą przebiegało koło.

#### IV. Naprężenia w szynach.

##### 1. Określenie na wykresach przesunięć zachodzących jednocześnie w kierunkach pionowym i poziomym.

Odształcenia pionowe szyny dały możność wnioskować o siłach, które je wywoływały, pośrednio zaś o naprężeniach w szynach. Jednakże teoretyczne określenie naprężeń, które mogły być wywołane nie tylko siłami pionowymi, nie mogło zastąpić bezpośredniego pomiaru naprężeń, jako rezultatu działania sił różnego rodzaju.

Pomiar naprężeń, którego sposób był już wskazany powyżej (str. 18) przy wyznaczaniu dokładności zdjęć fotograficznych, pożądane było związać jaknajdokładniej z pomiarem odształceń pionowych w celu wyciągnięcia wniosków co do ich wzajemnej zależności. Dało się to pomyślnie osiągnąć przez zastosowanie pryzmatów, rzucających wykres fotograficzny osiadania pionowego szyny równolegle do wydłużeń jej włókien. Ten bezsporny dokument zjawisk, zachodzących jednocześnie, wymagał jednak umiejętnego odczytania ze względu, że kształty wykresów: ruchów pionowych i ruchów poziomych obserwowanych punktów podlegały wzajemnemu wpływowi.

Zdjęcia punktu szyny na błonie przesuwanej pionowo pokazały bowiem, że przy przejściu pociągów punkt ten nie pozostaje na jednym pionie, lecz odchyła się od niego w kierunku podłużnej osi szyny<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Z obrazu dwóch lusterek, umieszczonych jedno pod drugim, pryzmaty skręcały obraz jednego lusterka tak, że ukazywał się obok drugiego. Na błonie rozpatrywanej od strony toru (to jest od strony emulsji, z której następnie badano błonę pod komparatorem, układ lusterek i ich ruchów przedstawiał się jak pokazano na rys. 43. W stanie spoczynku lusterek przed zdjęciem, aparat był ustawiony tak, aby ich obraz otrzymywał się na jednej poziomej, prostopadłej do ruchu błony. Oczywiście jest jednak, że przy przejściu pociągów obraz lusterek w ruchu nie pozostawał na jednakowym poziomie, czyli na tej samej rzędnej obu wykresów, co wymagało określenia ich jednoczesnego położenia.

Dla objaśnienia sposobu określenia na obu wykresach położenia punktów, odpowiadających temuż momentowi obserwacji, rozpatrzmy najpierw ruchy punktu *a* (rys. 44), zdejmowane dwoma aparatami, a mianowicie jednym, w którym na błonie, przesuwanej poziomo w lewo, punkt *a* kreśli wykres swoich ruchów pionowych, i drugim, w którym na błonie, przesuwanej pionowo w dół, tenże punkt kreśli wykres swoich ruchów poziomych.

Nałożmy jeden wykres na drugi pod kątem prostym wzajemnego ruchu błon tak, żeby punkt *a'*, odpowiadający w danej chwili *t* szynie nieodkształconej, wypadł w tym samym miejscu (rys. 44). Na przecięciu się krzywych obu wykresów znajdziemy punkt *a*, odpowiadający w tejże chwili *t* rzeczywistemu położeniu obserwowanego punktu szyny, przesuniętego odpowiednio na skutek odształcenia. Jak widać z rysunku, punkt ten przesunął się w danym przypadku na obu wykresach w kierunku ruchu błony, t. j. cofnął się ku początkowi wykresu: na wykresie ruchów pionowych o składową poziomą *h*, na wykresie zaś ruchów poziomych o składową pionową *v* przesunięcia.

Na obocznych wykresach ruchów poziomych i pionowych, jakie się otrzymują w aparacie z pryzmatami, odcięta punktu *a* na wykresie ruchów poziomych będzie położona o (*v* — *h*) głężej położenia początkowego *a*<sub>0</sub> *a*<sub>0</sub>, niż na wykresie ruchów pionowych.