ciążków 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. Odkształcenia 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.

Odkształcenia pionowe szyny dały możność wnioskować o siłach, które je wywołały, 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 odkształceń 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 odchyla się od niego w kierunku podłużnej osi szyny [1]).

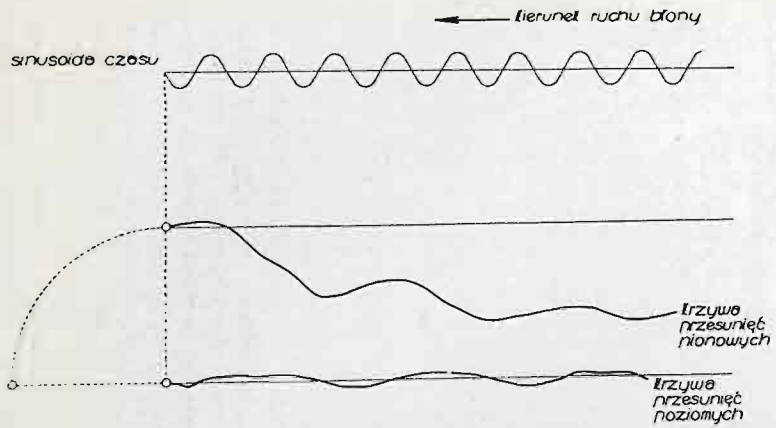
---

[1]) 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. Oczywistym 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.

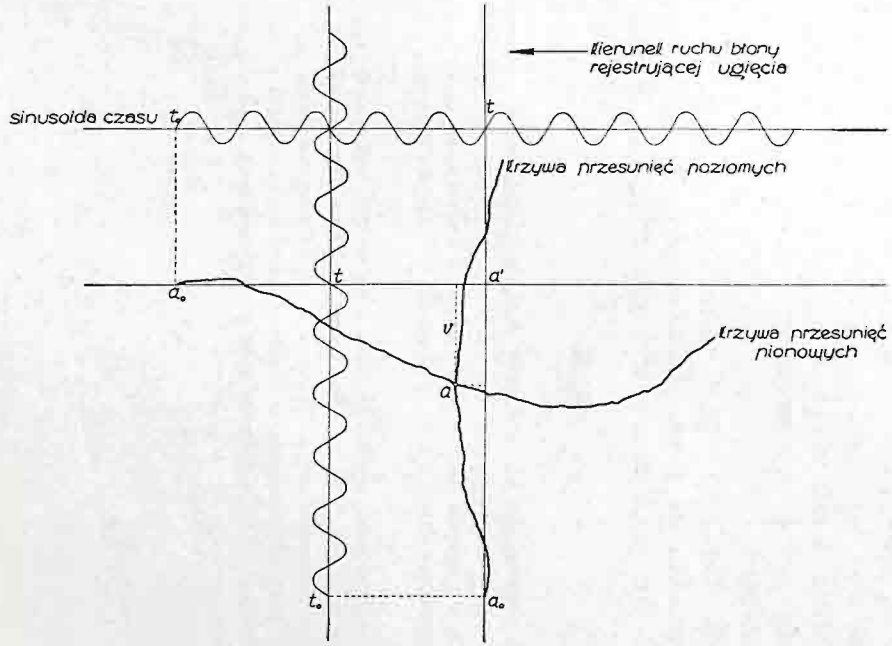
Dla objaśnienia sposobu określenia na obu wykresach położenia punktów, odpowiadających temuż momentowi obserwacji, rozpatrzmy najpierw ruchy punktu a (rys. 44), zdejmowane dwoma aparatami, a mianowicie jednym, w którym na błonie, przesuwanej poziomo w lewo, punkt a kreśli wykres swoich ruchów pionowych,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

Nałóżmy 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 odkształcenia. 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.

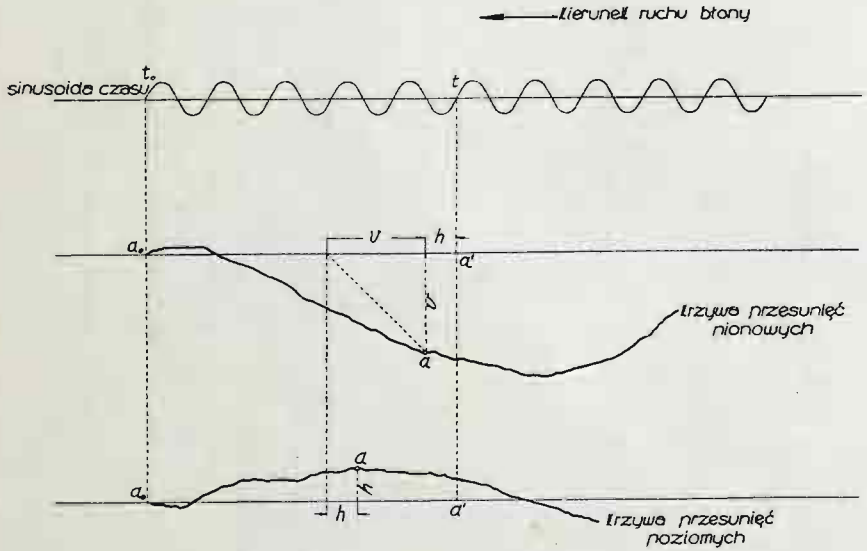
Na obocznych wykresach ruchów poziomych i pionowych, jakie się otrzymują w aparacie z pryzmatami, odcięta punktu a na wykresie ruchów poziomych będzie położona o $(v - h)$ bliżej położenia początkowego a_0 a_0, niż na wykresie ruchów pionowych.



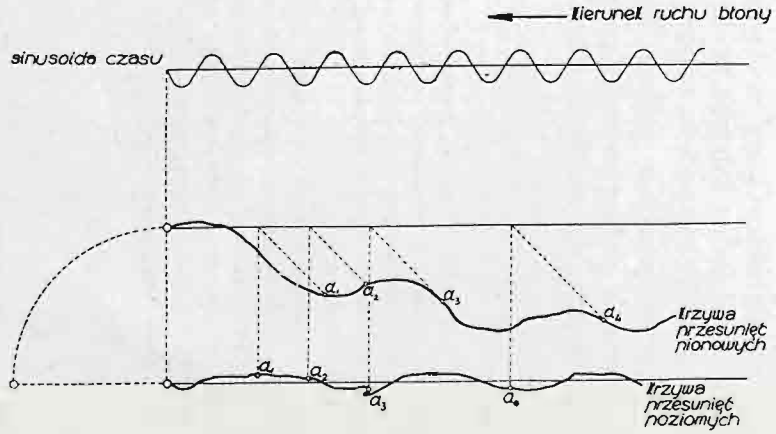
Rys. 43. Schemat układu punktów świetlnych i ich ruchów na błonie.



Rys. 44. Ruchy punktu świetlnego rejestrowane przy pomocy dwóch aparatów.



Rys. 45. Określenie jednoczesnego położenia punktów na wykresach ruchów pionowych i poziomych (osiowych).



Rys. 46. Wpływ ruchów pionowych na wykres ruchów poziomych (osiowych).

Oznaczenie na jednym z wykresów punktu a, odpowiadającego pod względem jednoczesności temuż punktowi a na drugim wykresie, oraz oznaczenie chwili t, odpowiadającej położeniom $a\,a$ na wykresach, ułatwia konstrukcja geometryczna, wskazana na rys. 45. Jeżeli jeden lub oba wykresy będą położone z przeciwnej strony osi odciętych, to konstrukcję tę wypadnie odpowiednio zmienić.

Ruchy poziome osiowe są zwykle bardzo małe, wobec tego oznaczenie na ich wykresach jednoczesnego położenia punktu wykresu ruchów pionowych sprowadza się zwykle do cofnięcia tego punktu ku początkowi wykresu o wielkość ugięcia pionowego [1]).

---

[1]) Jak widać z rys. 46, punkt obserwowany posuwa się na wykresie ruchów poziomych z szybkością równomierną tylko na odcinkach jednakowego osiadania pionowego (około punktu a_1), z szybkością większą od szybkości przesuwania błony na odcinkach zmniejszania się ugięcia (około punktu a_2), natomiast z szybkością, mogącą zmniejszać się do zera, a nawet ujemną, t. j. w kierunku cofania się, na odcinkach, na których ugięcie wzrasta (około punktów a_3, a_4).

Aby uniknąć cofania się punktu na wykresie ruchów poziomych i tworzenia się na tym wykresie zgrubień linii i węzłów, utrudniających odczyt wielkości ruchów poziomych na komparatorze, szybkość przesuwania błony powinna być nie mniejsza, niż szybkość osiadania punktu obserwowanego. Wykres fotograficzny osiadania punktu szyny pod ciężarem skupionym może być rozpatrywany jako odkształcona w skażonej skali ugięcia belki nieskończenie długiej na podłożu sprężystym w momencie znajdowania się ciężaru w tym punkcie. Styczna do odkształconej takiej belki pod działaniem pojedyńczego ciężaru otrzymuje się w postaci:

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{G}{Cb_s L_s^2} \cdot \eta'$$

przy czym max $\eta' = 0{,}3224$.

$$\text{Przyjmując } Cb_s = \frac{D}{a}; \qquad L_s = a \sqrt[4]{\frac{2}{3}\gamma}$$

ciężar na koło najbardziej obciążone i odsunięte od sąsiednich

$$G = 9{,}25 \text{ t}$$

oraz dla danej nawierzchni:

$$D = 10 \text{ t/cm} \qquad \gamma = \frac{B}{D} = 4{,}78 \qquad a = 73 \text{ cm}$$

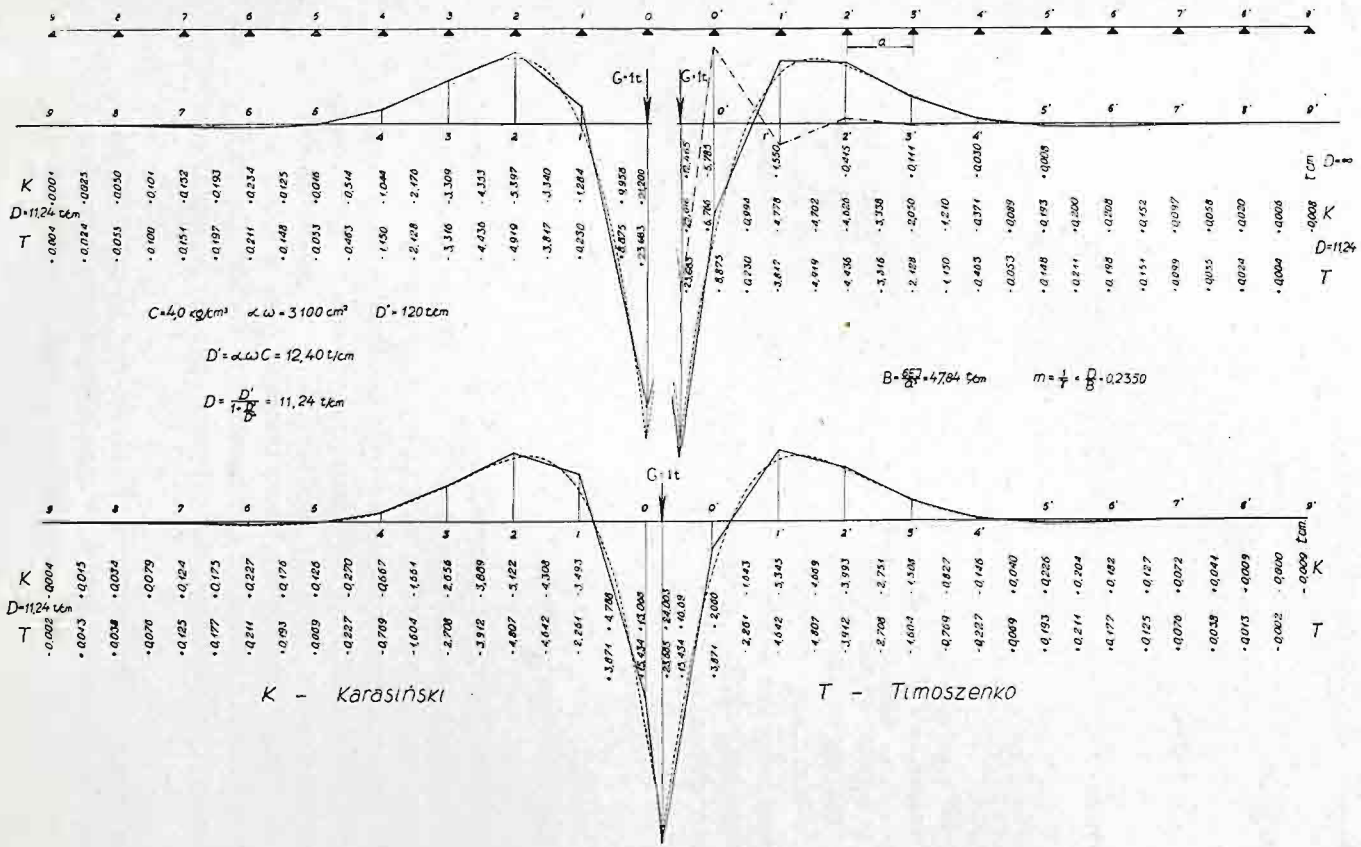
otrzymuje się

$$L_s = 97{,}53 \text{ cm} \qquad Cb_s = \frac{D}{a} = 0{,}1370 \text{ t/cm}^2$$

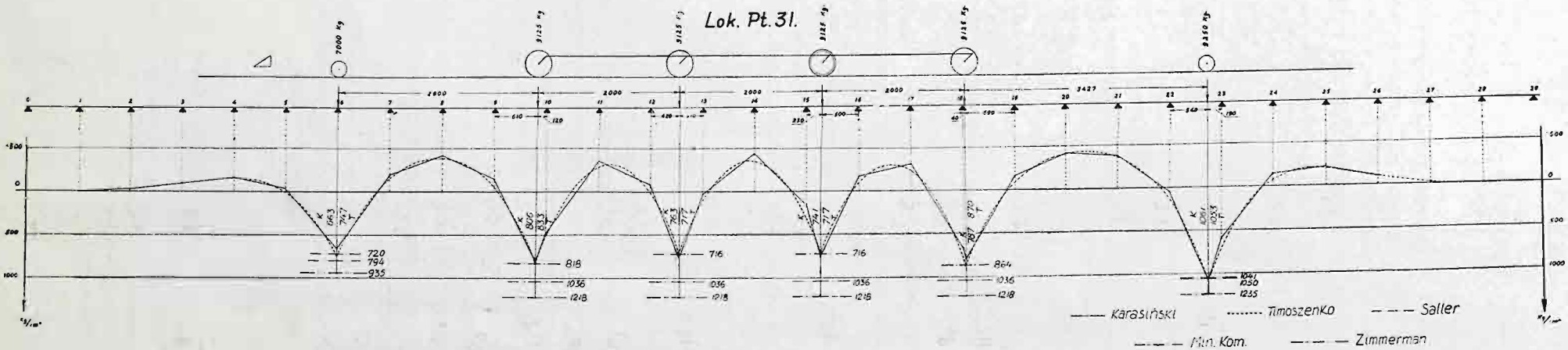
$$\max \operatorname{tg} \nu = \frac{9{,}25 \times 0{,}3224}{0{,}1370 \times 97{,}53^2} = 0{,}00229$$

Ażeby $\operatorname{tg} \nu$ w skażonej skali wykresów nie przewyższał 1, stosunek skali odciętych do skali rzędnych nie powinien być mniejszy niż 0,00229. Skoro zaś skala rzędnych jest czterokrotnie większa od wielkości naturalnej, to dla uniknięcia węzłów skala odciętych, licząc z pewnym zapasem, nie powinna być mniejsza niż 0,01, czyli szybkość przesuwania błony w centymetrach nie powinna być mniejsza, niż szybkość pociągu w metrach, co jednak stanowiło trudność w otrzymywaniu dobrego zdjęcia przy dużej szybkości pociągów. Wobec tego rzadko dawało się uniknąć węzłów w punktach cofania się obrazu, a tym bardziej zgrubień linii w miejscach, w których osiadanie pionowe dawało na błonie wykres pod kątem zbliżonym do 45°, a zatem, w których punkt kreślący ruchy poziome pozostawał nieruchomym.

Trudność uniknięcia węzłów staje się tym bardziej zrozumiała, jeżeli zauważyć, że wskutek zmienności obciążenia szyna podlega pewnym dodatkowym drganiom, co sprawia, że na wykresie jej osiadania występują często dodatkowe drobne, lecz dość strome fale.



Rys. 47. Wykresy momentów gnących w szynie S 42,5 kg/m od ciężaru pojedynczego.



$D = 11{,}24$ t/cm; $C = 4{,}0$ kg/cm³

Rys. 48. Wykresy naprężeń w szynie S 42,5 kg/m pod układem ciężarów.

2. Podstawy teoretyczne do oceny wyników spostrzeżeń.

Naprężenia, pomierzone przy przejściu parowozów, prowadzących pociągi próbne z różną szybkością, porównywano z naprężeniami pod obciążeniem statycznym, określonymi w założeniu, że szyna spoczywa na ciągłym podłożu sprężystym, podobnie jak to robiono przy ocenie wartości osiadania szyny [1]).

W tym założeniu moment gnący od układu ciężarów, któremu podlega szyna, określa równanie

$$M = \frac{a}{4}\sqrt[4]{\frac{2\gamma}{3}}\,\Sigma\, G\,\mu \tag{25}$$

w którym $\Sigma\, G\,\mu$ oznacza sumę iloczynów nacisków statycznych kół przez funcję μ:

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

Pozostałe oznaczenia objaśniono na str. 51.

Wykresy momentów gnących, sporządzone według tego wzoru i według dokładnych wzorów momentów dla szyny, rozpatrywanej jako belka na wielu podporach sprężystych (rys. 47 i 48), wskazują wprawdzie, że różnice w wielkości momentów, określonych w obu założeniach, są procentowo większe niż w wielkości osiadania, nie przeszkadza to jednak, aby kierując się obliczeniem według prostszego wzoru (25) i opartymi na nim wykresami rys. 49 do 62, uzyskać dobrą orjentację przy ocenie naprężeń, w szynie od obciążenia dynamicznego.

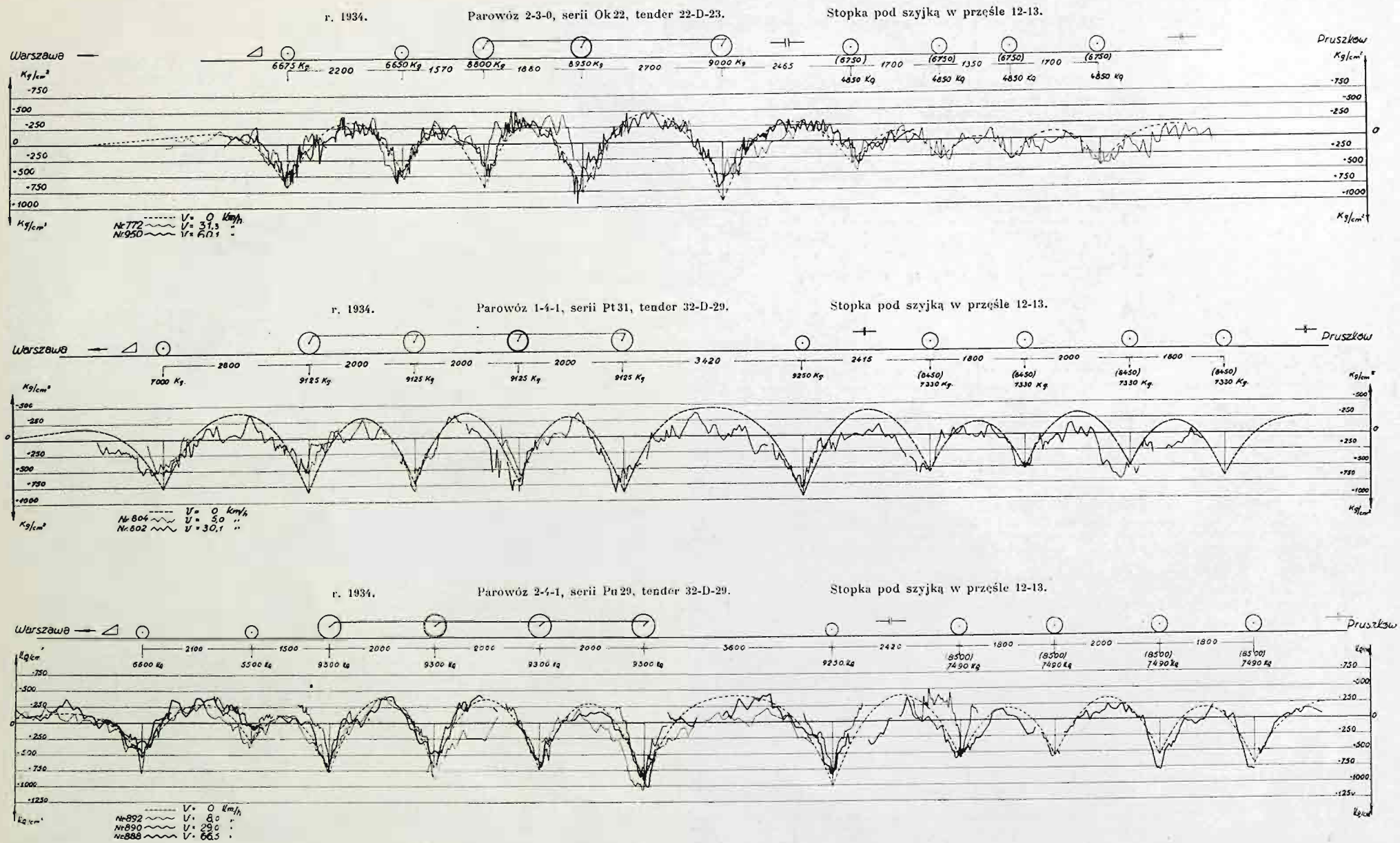
3. Zakres spostrzeżeń.

Wydłużenia włókien szyny podczas przejścia parowozów, prowadzących pociągi próbne, były obserwowane w trzech punktach, a mianowicie w stopce szyny pod szyjką, czyli na osi pionowej przekroju szyny, na krawędzi zewnętrznej stopki oraz w górnej części powierzchni zewnętrznej główki szyny. Spostrzeżenia te były robione w ciągu paru godzin nocnych, wolnych od ruchu pociągów normalnego rozkładu, i były ograniczone co do czasu korzystania z parowozów badanych typów. Pomiar zaś wydłużeń z ruchów dwóch punktów, osadzonych w odległości 6 do 8 cm, robiony na komparatorze (por. str. 18), wymagał dokonania około 900 odczytów mikrometrycznych i obliczenia 300 różnic dla otrzymania dostatecznie dokładnego wykresu tych ruchów na długości przejścia parowozu z tendrem.

Ze względu na mozolność tej pracy i konieczność liczenia się z czasem, spostrzeżenia te, nie zawsze udane z powodu trudności ich wykonania, musiano ograniczyć co do liczby, opracowanie zaś niektórych zdjęć — do odczytu wydłużeń najważniejszych pod kołem i w jego sąsiedztwie.

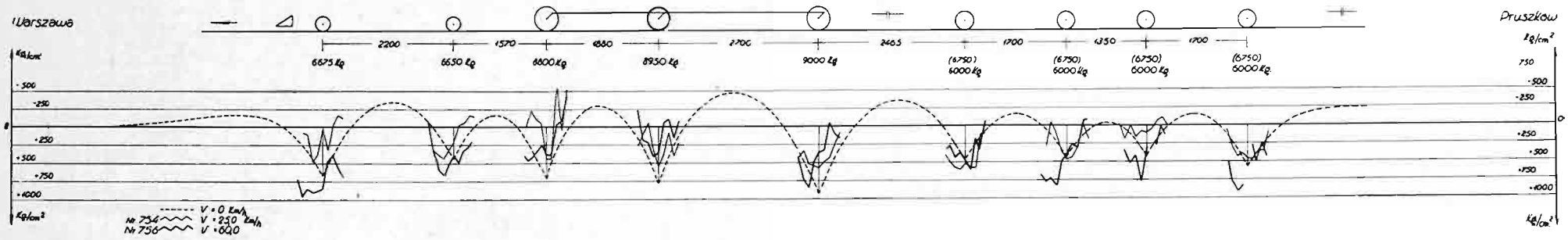
---

[1]) W czasopiśmie Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens z r. 1932 Nr. 1 i 1933 Nr. 20 inż. Saller podał wzory, upraszczające obliczenie momentów pod oddzielnymi osiami taboru według wzoru (25). Wzory inż. Sallera dają wyniki (por. rys. 48) zgodne ze wzorem (25), jednakże nie wiele ułatwiają obliczenia i nie dają całkowitego wykresu momentów, a przy tym nie uwalniają od obliczenia nacisku szyny na podkład i osiadania podkładu według wzoru (21). Z tych względów stosowanie wzoru (25), podanego niżej, należy uznać za odpowiedniejsze.

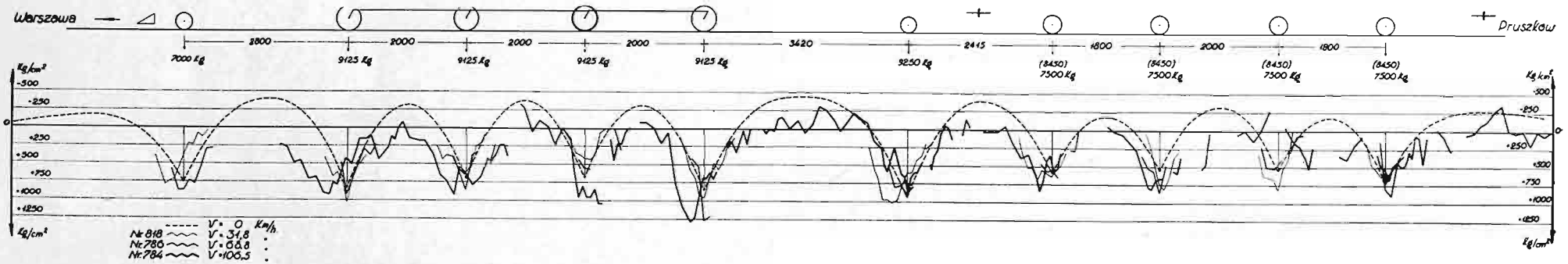


Rys. 49. Naprężenia w szynie S 42,5 kg/m, zaobserwowane przy różnych szybkościach, w porównaniu z teoretycznymi (V = 0 km/h).

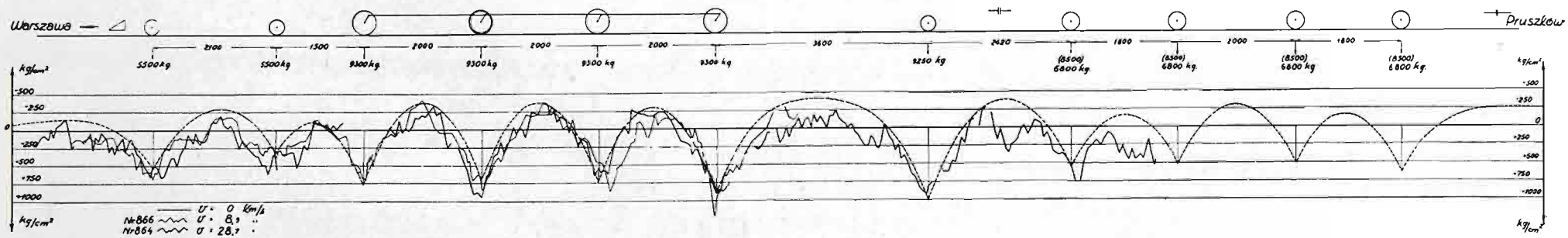
r. 1934. Parowóz 2-3-0, serii Ok 22, tender 22-D-23. Krawędź zewnętrzna stopki w przęśle 12-13.



r. 1934. Parowóz 1-4-1, serii Pt 31, tender 32-D-29. Krawędź zewnętrzna stopki w przęśle 12-13.

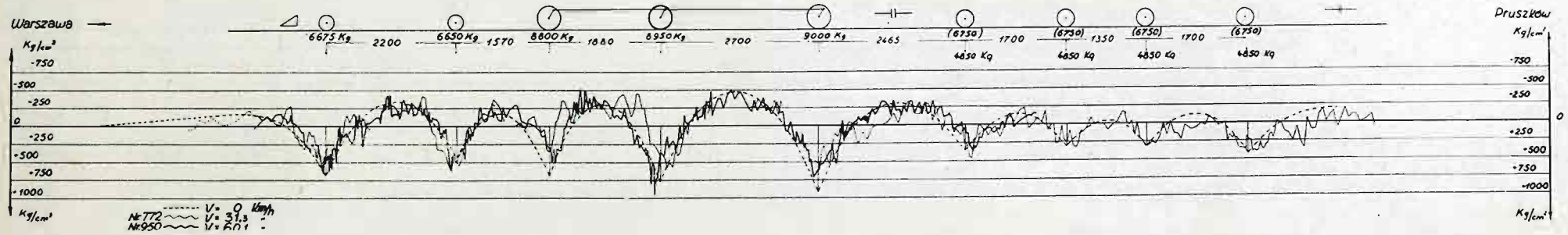


r. 1934. Parowóz 2-4-1, serii Pu 29, tender 32-D-29. Krawędź zewnętrzna stopki w przęśle 12-13.

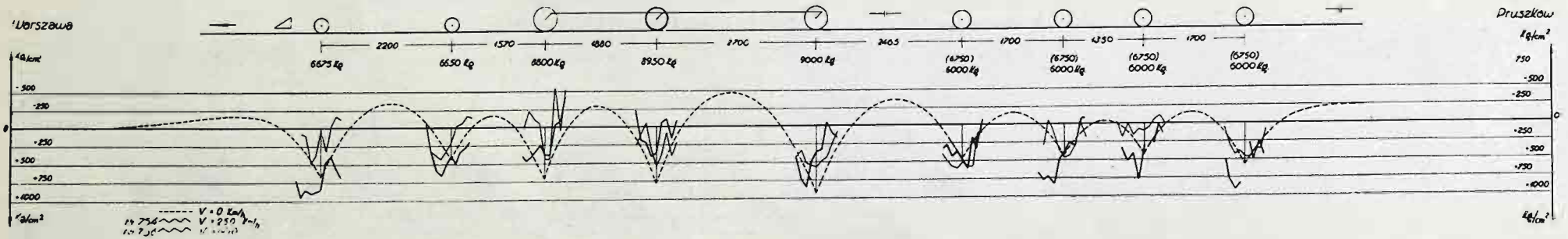


Rys. 50. Naprężenia w szynie S 42,5 kg/m, zaobserwowane przy różnych szybkościach, w porównaniu z teoretycznymi (V = 0 km/h).

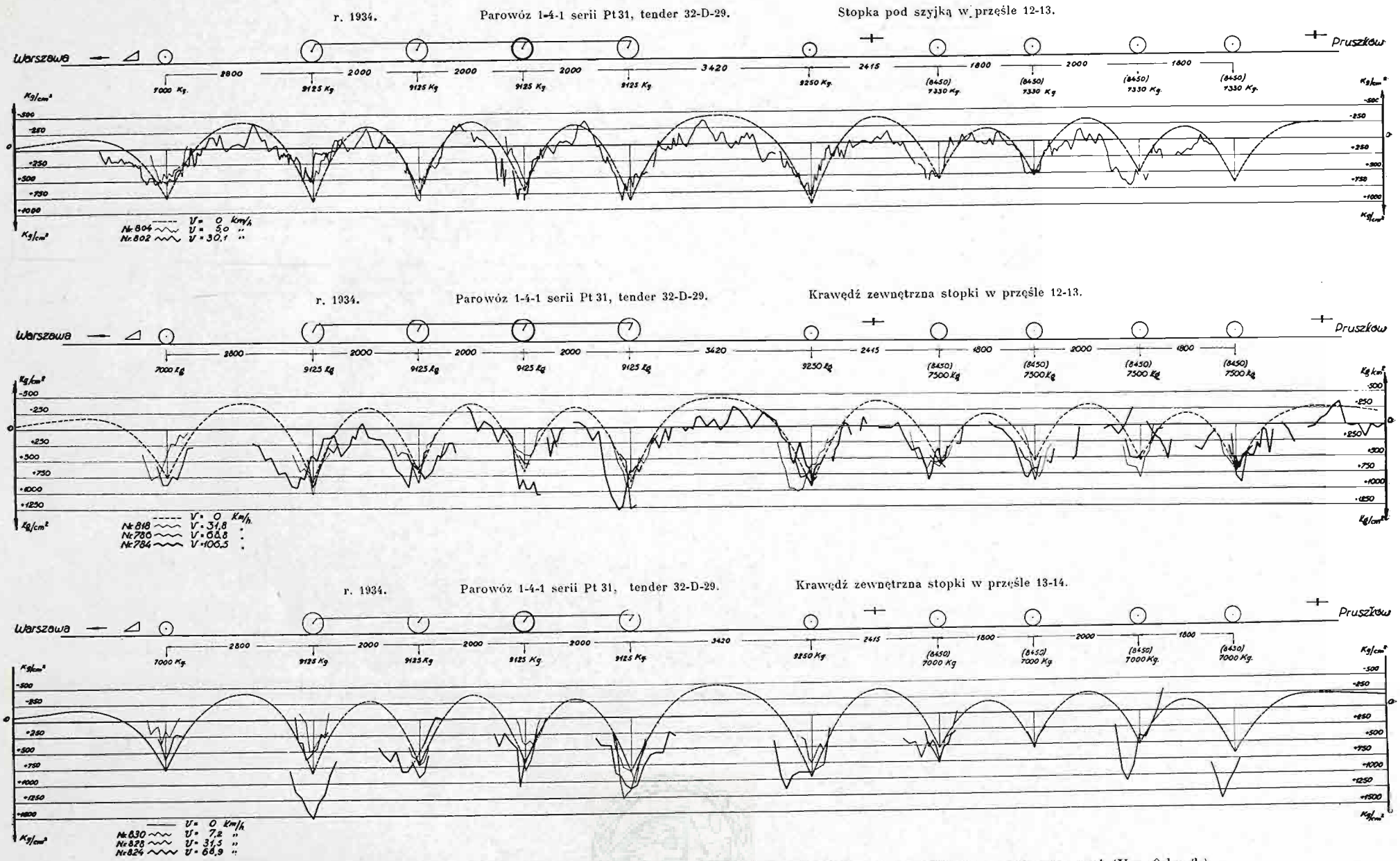
r. 1934. Parowóz 2-3-0 serii Ok 22, tender 22-D-23. Stopka pod szyjką w przęśle 12-13.



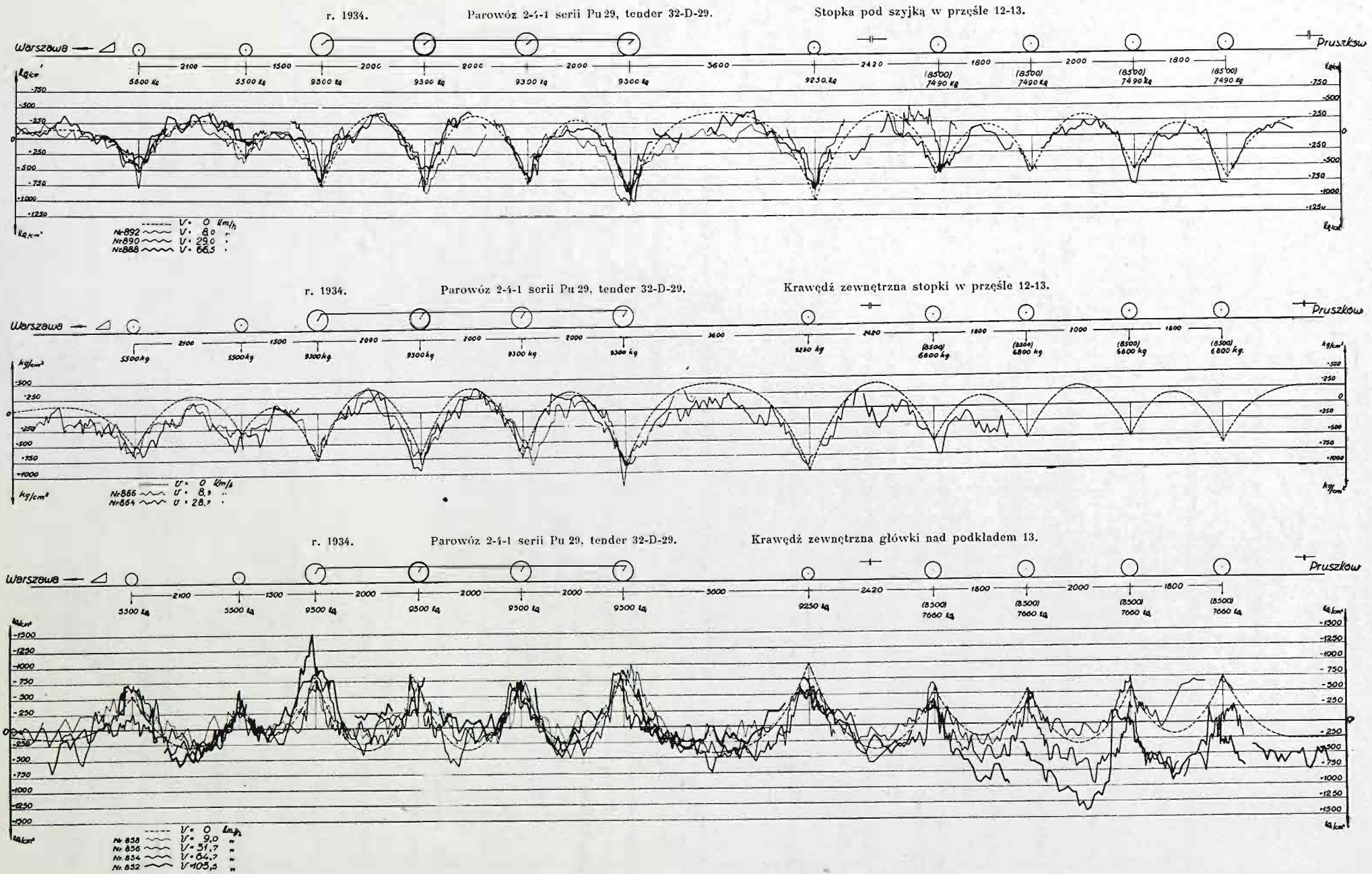
r. 1934. Parowóz 2-3-0 serii Ok 22, tender 22-D-23. Krawędź zewnętrzna stopki w przęśle 12-13.



Rys. 51. Naprężenia w szynie S 42,5 kg/m, zaobserwowane przy różnych szybkościach, w porównaniu z teoretycznymi (V = 0 km/h).



Rys. 52. Naprężenia w szynie S 42,5 kg/m, zaobserwowane przy różnych szybkościach, w porównaniu z teoretycznymi (V = 0 km/h).



Rys. 53. Naprężenia w szynie S 42,5 kg/m, zaobserwowane przy różnych szybkościach, w porównaniu z teoretycznymi (V = 0 km/h).

4. Naprężenia w szynie w zależności od szybkości pociągu.

Na rys. 49 do 53 pokazano wykresy naprężeń w szynie *S* przy przejściu parowozów badanych trzech typów, prowadzących pociągi próbne z szybkością od 5 do 106 km/g.

Zdjęcia, robione w jednym i tym samym punkcie i czasie przy różnej szybkości, nałożono na wspólny wykres teoretycznych naprężeń pod obciążeniem statycznym.

Daje to możność łatwego porównania, które nie wykazuje naogół wpływu szybkości na naprężenie.

Pod tym samym kołem naprężenia przy małej szybkości są często większe niż przy dużej.

Wykresy naprężeń w stopce pod szyjką, otrzymane ze spostrzeżeń przy różnej szybkości pod różnymi parowozami (rys. 49), dobrze zgadzają się naogół z wykresami naprężeń, obliczonych pod obciążeniem statycznym.

Wykresy naprężeń w krawędzi zewnętrznej stopki (rys. 50, 51 b, 52 b, c, 53 b) są mniej zgodne, a mianowicie naprężenia zaobserwowane są często większe od teoretycznych, co wskazuje na wpływ sił bocznych i skręcania.

To samo daje się zauważyć co do wykresów naprężeń na powierzchni zewnętrznej główki szyny, sprowadzonych do jej krawędzi górnej (rys. 53 c).

5. Naprężenia w szynie w zestawieniu z jej osiadaniem.

Na rysunkach 54 do 62 są przedstawione wykresy naprężeń w szynie i jej osiadanie ze zdjęć, otrzymanych jednocześnie na tych samych błonach. Na wykresach, otrzymanych ze spostrzeżeń, wrysowane są wykresy teoretyczne naprężeń i osiadania pod obciążeniem statycznym.

Wyniki spostrzeżeń zestawione są cyfrowo w tablicach XXXIV do XL.

Rozpatrzenie tych wykresów wskazuje, że wielkość naprężeń w stopce pod szyjką (rys. 54, 55, 57) naogół lepiej odpowiada wielkości osiadania, niż naprężenia w innych częściach przekroju szyny (rys. 58, 59 b, 60 b, 62 b); lecz i pod szyjką, a więc na osi obojętnej względem sił bocznych, trafiają się duże naprężenia pod kołami, które nie wywołały zwiększonego osiadania (rys. 56b), a nawet pod kołami odciążonymi (rys. 56 a).

Te przykłady wskazują na duży wpływ sił bocznych, prócz tego zaś na wpływ skręcania szyny około osi podłużnej.

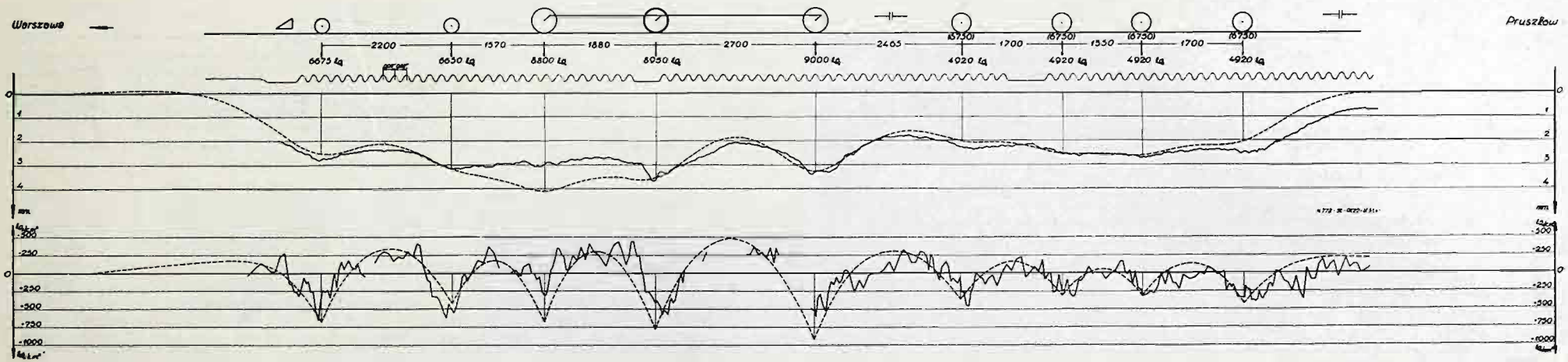
W związku z tym różnice naprężeń, zachodzące pod tym samym kołem, wahają się naogół w znacznie szerszych granicach, niż różnice w osiadaniu szyny, i dochodzą do 90% naprężenia od obciążenia statycznego.

W jednym przypadku zaobserwowano pod drugim kołem potocznym wózka parowozu typu Pu 29 naprężenie, wprawdzie niezbyt duże co do absolutnej wielkości, lecz przewyższające o 159%, przy bardzo małej szybkości, naprężenie pod obciążeniem statycznym.

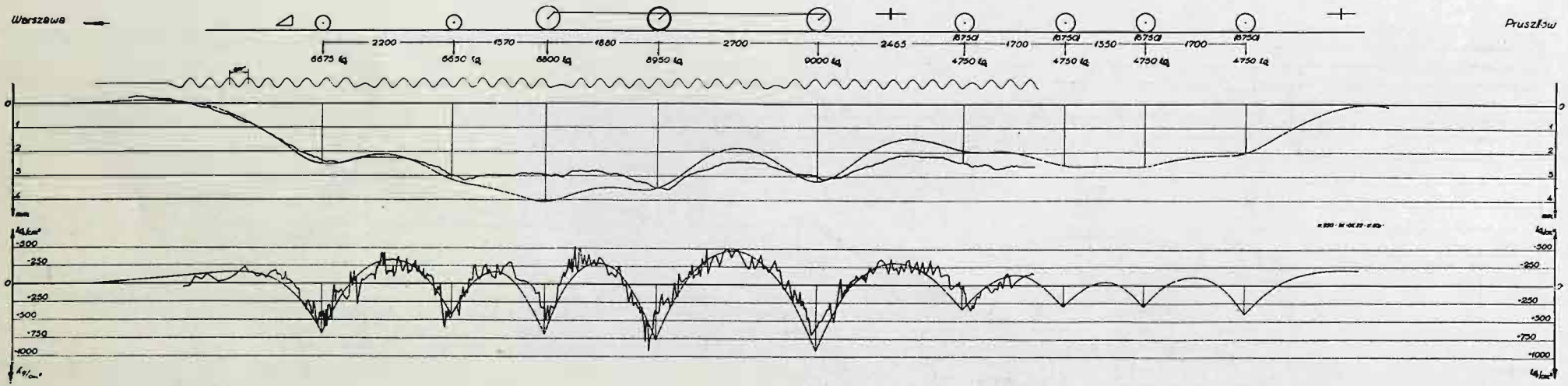
Drobne wahania naprężeń, pokazane na wykresach, o ile ich wielkość przewyższa dokładność pomiaru na komparatorze, mogły być spowodowane drganiami własnymi szyny.

Zaobserwowane naprężenia największe dochodzą pod parowozami typów: Ok 22 do 11,3 kg/mm², Pt 31 do 16,7 kg/mm² i Pu 29 do 15,1 kg/mm².

r. 1934. Nr 772 Parowóz 2-3-0 serii Ok 22, tender 22-D-23. V = 31,3 km/h. Stopka pod szyjką w przęśle 12-13.

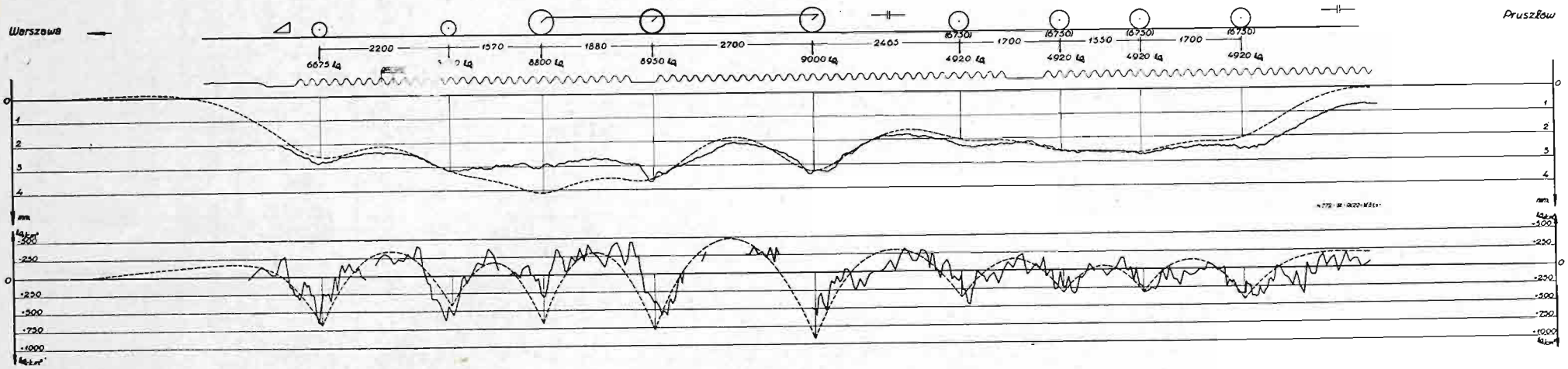


r. 1934. Nr 950. Parowóz 2-3-0 serii Ok 22, tender 22-D-23. V = 60,1 km/h. Stopka pod szyjką w przęśle 12-13.

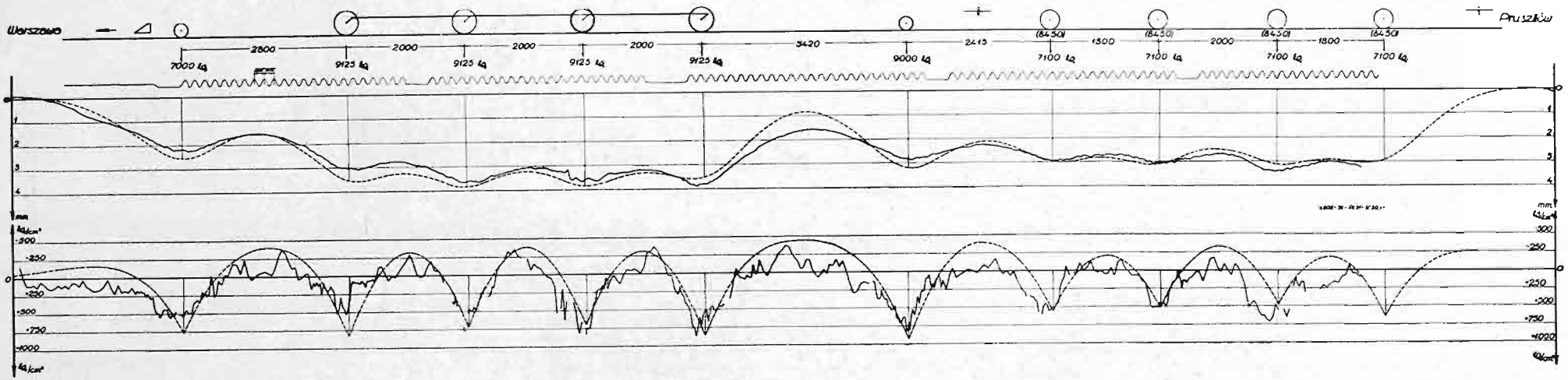


Rys. 54. Naprężenia w szynie S 42,5 kg/m i jednoczesne jej osiadanie: ———— zaobserwowane; ····· teoretyczne (V = 0 km/h).

r. 1934. N. 772. Parowóz 2-3-0 serii Ok 22, tender 22-D-23. V = 31,3 km/h. Stopka pod szyjką w przęśle 12-13.

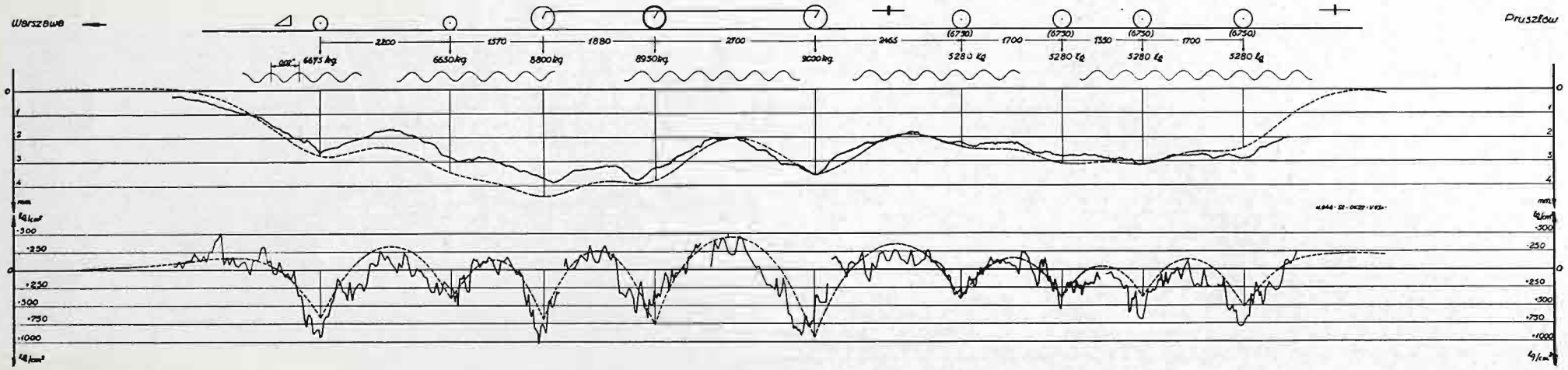


r. 1934. N. 802. Parowóz 1-4-1 serii Pt 31, tender 32-D-29. V = 30,1 km/h. Stopka pod szyjką w przęśle 12-13.

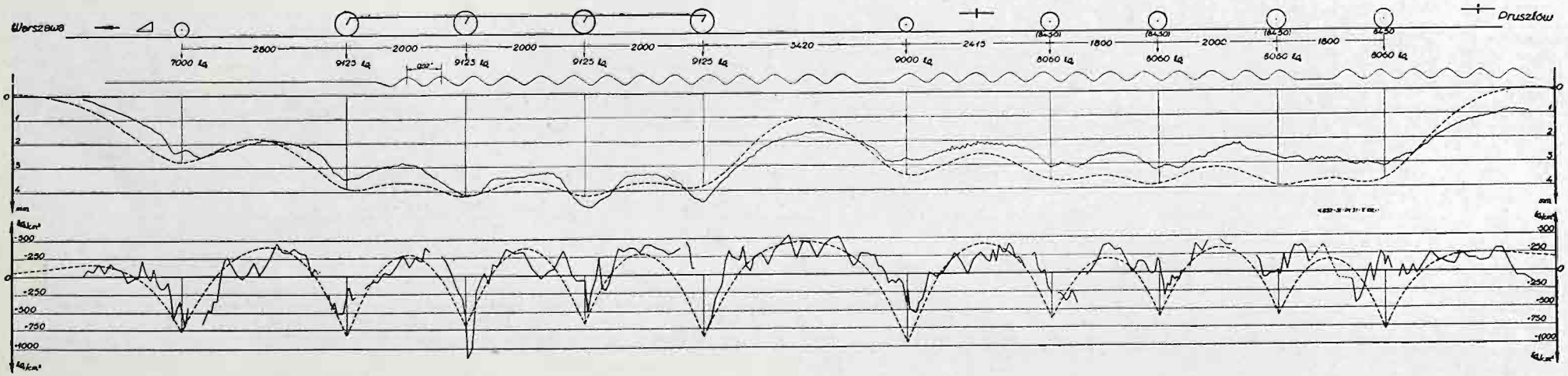


Rys. 55. Naprężenia w szynie S 42,5 kg/m i jednoczesne jej osiadanie: ——— zaobserwowane; ····· teoretyczne (V = 0 km/h).

r. 1934. Nr 948. Parowóz 2-3-0 serii Ok 22, tender 22-D-23. V = 87 km/h. Stopka pod szyjką w przęśle 13-14.

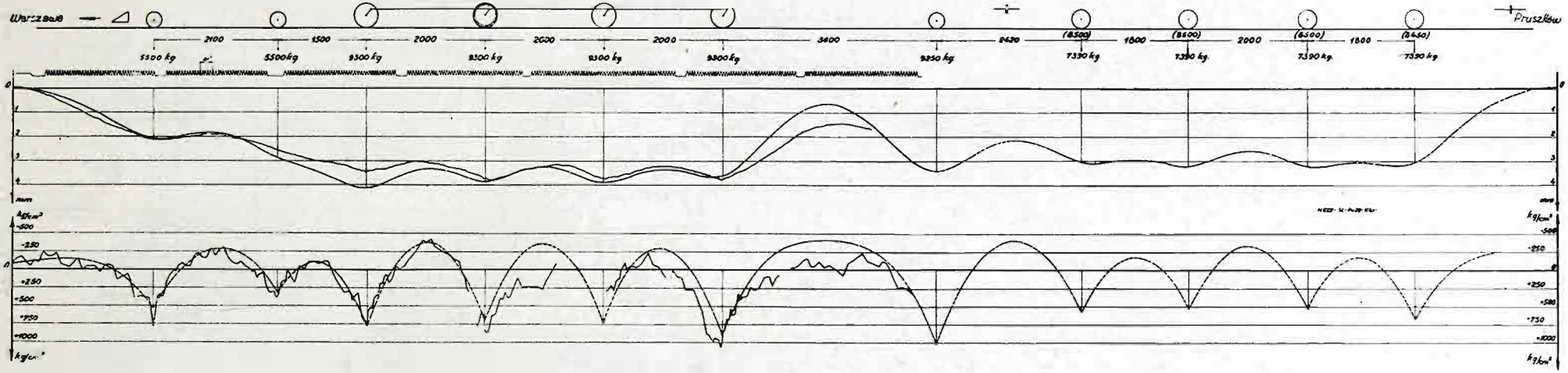


r. 1934. Nr 832. Parowóz 1-4-1 serii Pt 31, tender 32-D-29. V = 102,1 km/h. Stopka pod szyjką w przęśle 13-14.

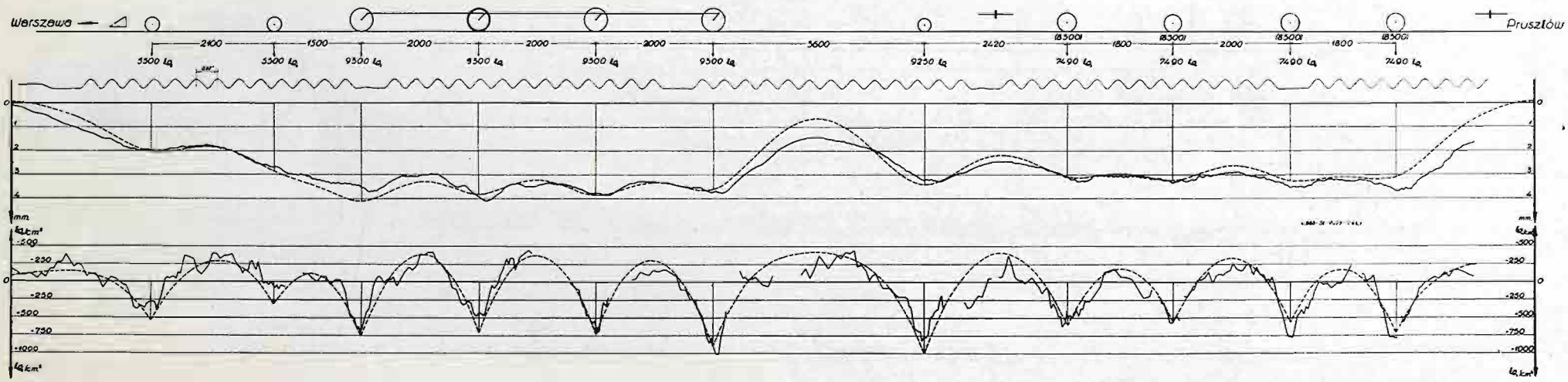


Rys. 56. Naprężenia w szynie S 42,5 kg/m i jednoczesne jej osiadanie: ———— zaobserwowane; ····· teoretyczne (V = 0 km/h).

r. 1934. Nr 892. Parowóz 2-4-1 serii Pu 29. tender 32-D-29. V = 8 km/h. Stopka pod szyjką w przęśle 12-13.

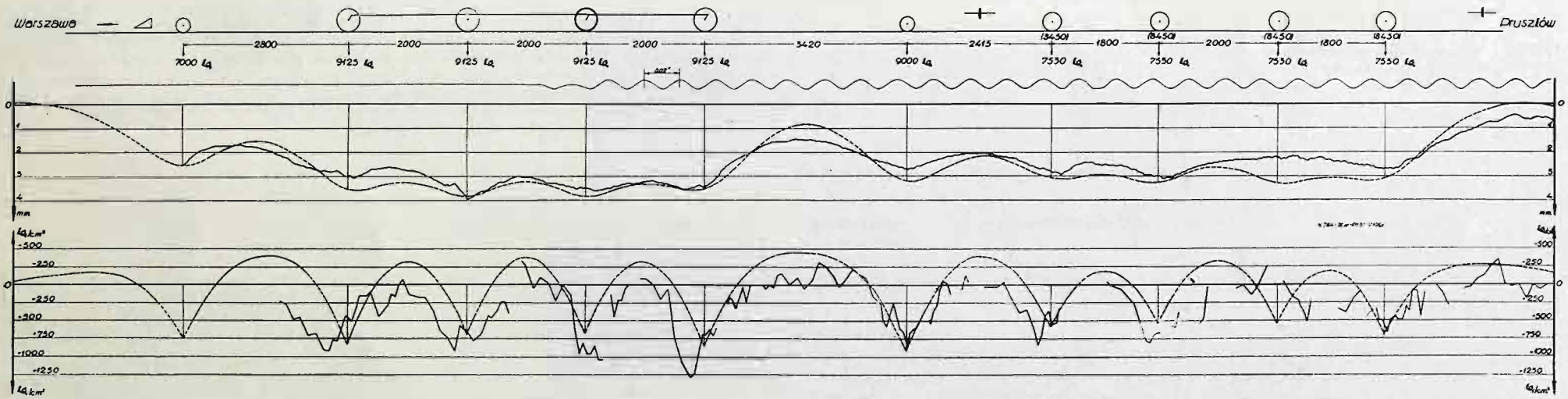


r. 1934. Nr 888. Parowóz 2-4-1 serii Pu 29, tender 32-D-29. V = 66.5 km/h. Stopka pod szyjką w przęśle 12-13.



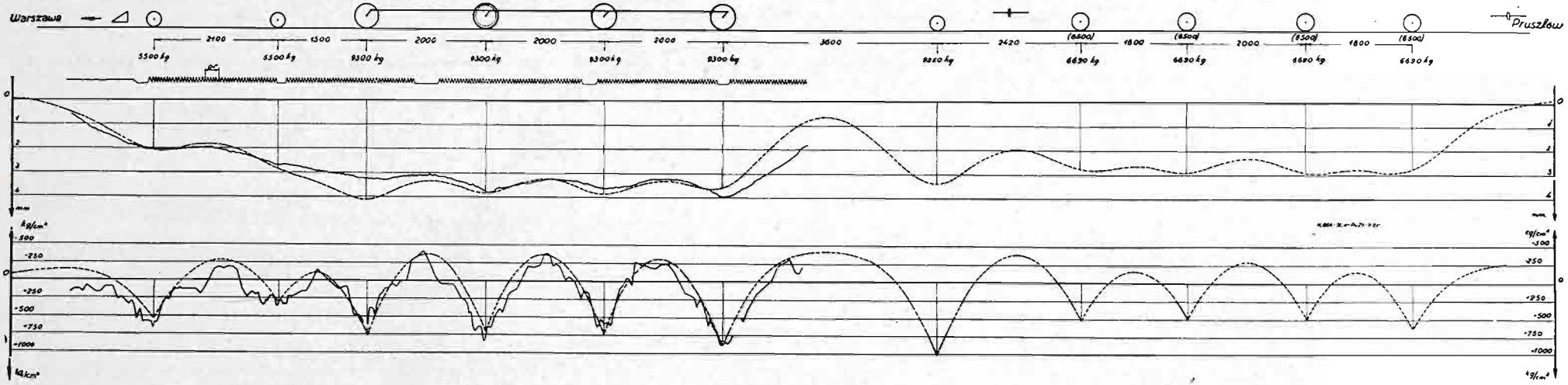
Rys. 57. Naprężenia w szynie S 42,5 kg/m i jednoczesne jej osiadanie: ———— zaobserwowane; ····· teoretyczne (V = 0 km/h).

r. 1934. Nr 784. Parowóz 1-4-1 serii Pt 31, tender 32-D-29. V = 106,5 km/h. Krawędź zewnętrzna stopki w przęśle 12-13.

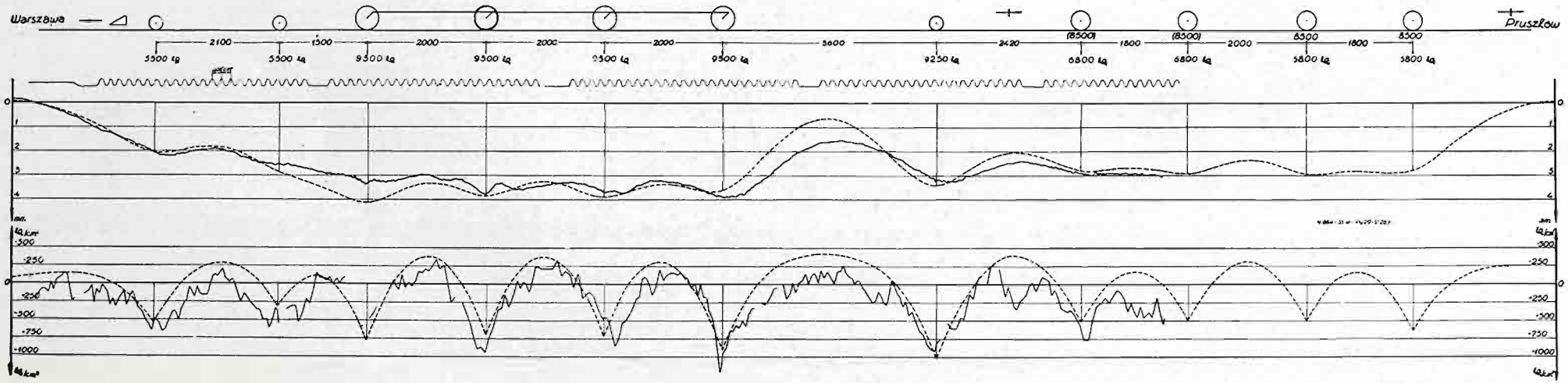


Rys. 58. Naprężenia w szynie S 42,5 kg/m i jednoczesne jej osiadanie: ———— zaobserwowane; ····· teoretyczne (V = 0 km/h).

r. 1934. N. 866. Parowóz 2-4-1 serii Pu 29, tender 32-D-29. V = 8,9 km/h. Krawędź zewnętrzna stopki w przęśle 12—13.

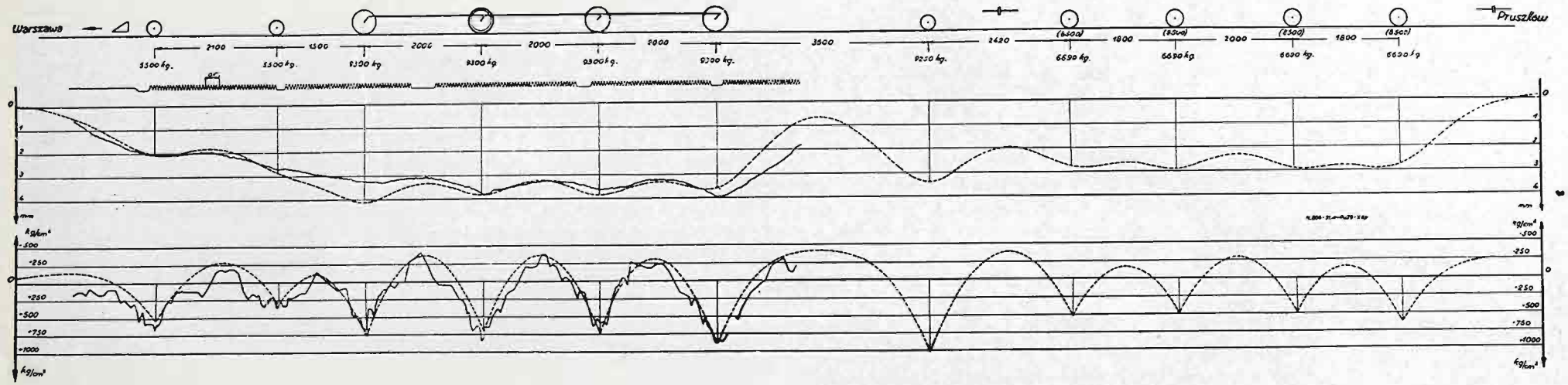


r. 1934. N. 864. Parowóz 2-4-1 serii Pu 29, tender 32-D-29. V = 28,7 km/h. Krawędź zewnętrzna stopki w przęśle 12—13.

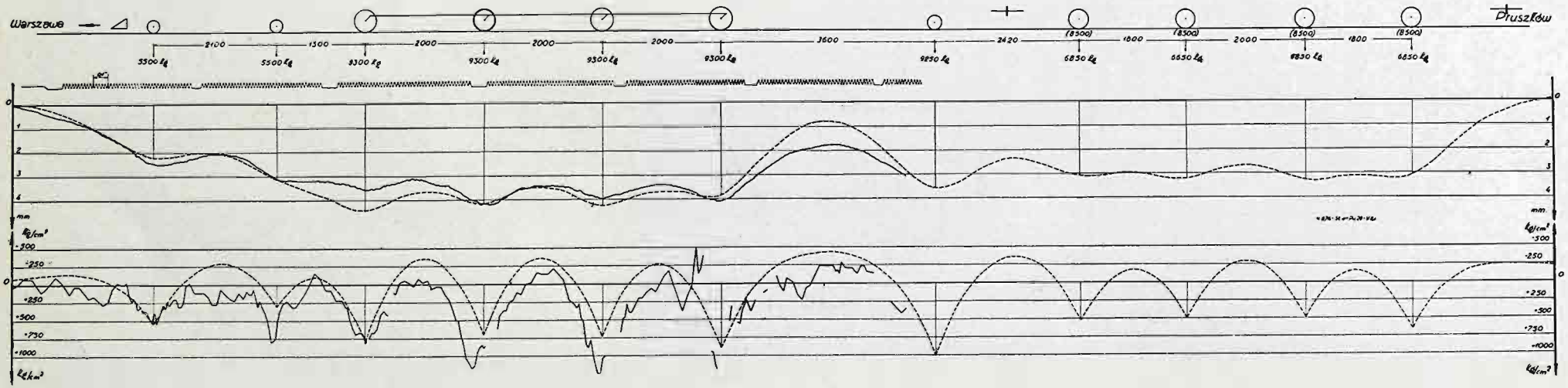


Rys. 59. Naprężenia w szynie S 42,5 kg/m i jednoczesne jej osiadanie: ———— zaobserwowane; ····· teoretyczne (V = 0 km/h).

r. 1934. Nr 866. Parowóz 2-4-1 serii Pu 29, tender 32-D-29. V = 8,9 km/h. Krawędź zewnętrzna stopki w przęśle 12—13.

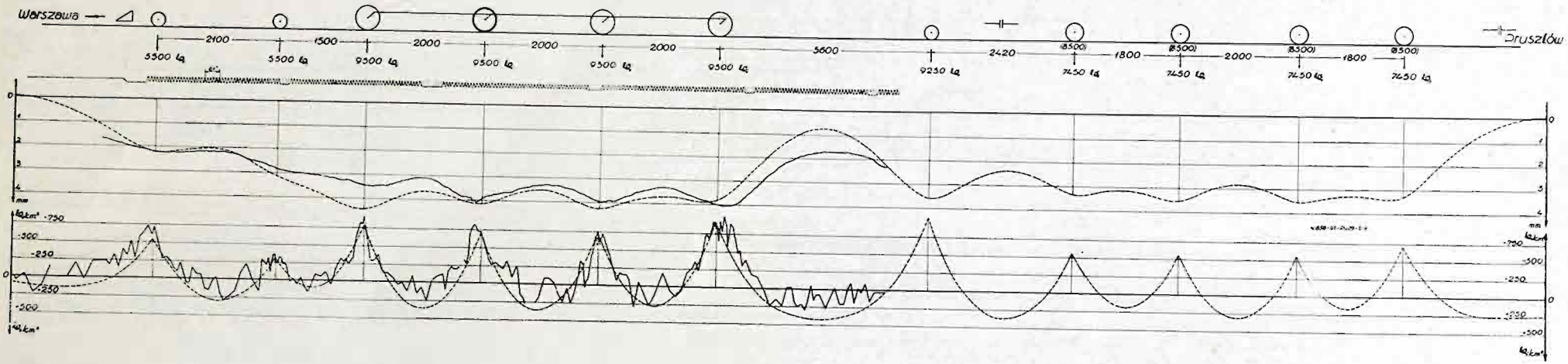


r. 1934. Nr 876. Parowóz 2-4-1 serii Pu 29, tender 32-D-29. V = 8,8 km/h. Krawędź zewnętrzna stopki w przęśle 13—14.

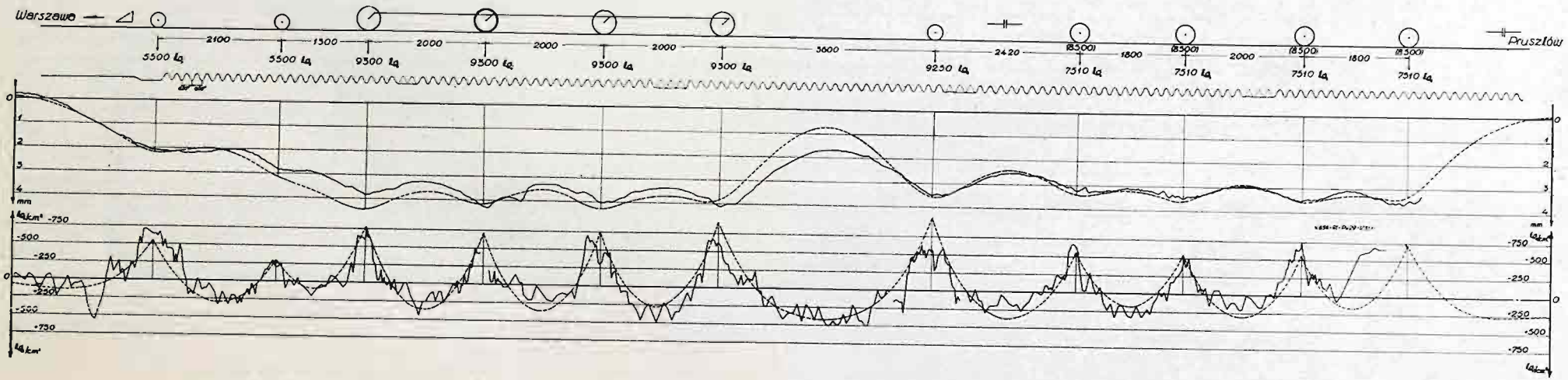


Rys. 60. Naprężenia w szynie S 42,5 kg/m i jednoczesne jej osiadanie: ——— zaobserwowane; ····· teoretyczne (V = 0 km/h).

r. 1934. Nr 858. Parowóz 2-4-1 serii Pu 29, tender 32-D-29. V = 9 km/h. Krawędź zewnętrzna główki nad podkładem 13.

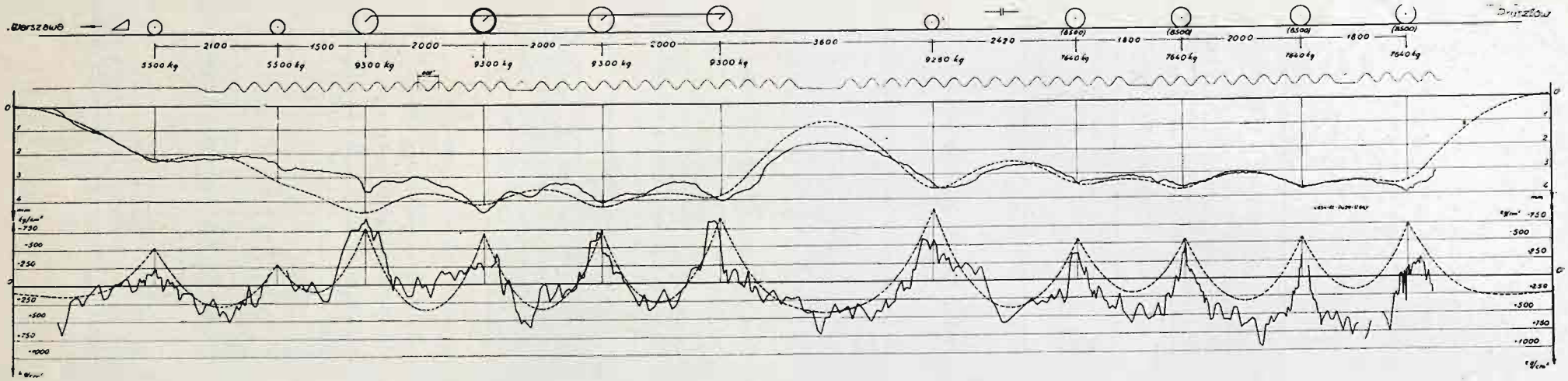


r. 1934. Nr 856. Parowóz 2-4-1 serii Pu 29, tender 32-D-29. V = 31,7 km/h. Krawędź zewnętrzna główki nad podkładem 13.

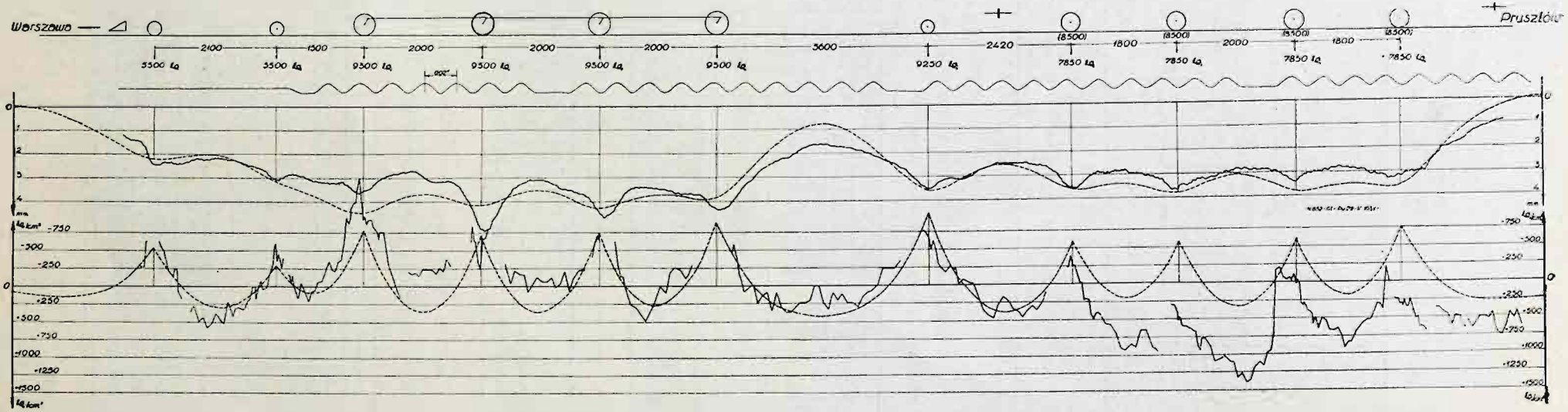


Rys. 61. Naprężenia w szynie S 42,5 kg/m i jednoczesne jej osiadanie: ——— zaobserwowane; ····· teoretyczne (V = 0 km/h).

r. 1934. Nr 854. Parowóz 2-4-1 serii Pu 29, tender 32-D-29. V = 64.7 km/h. Krawędź zewnętrzna główki nad podkładem 13.



r. 1934. Nr 852. Parowóz 2-4-1 serii Pu 29. tender 32-D-29. V = 103,5 km/h. Krawędź zewnętrzna główki nad podkładem 13.



Rys. 62. Naprężenia w szynie S 42,5 kg/m i jednoczesne jej osiadanie: ———— zaobserwowane; ..... teoretyczne (V = 0 km/h).

TABLICA XXXIV.

Naprężenia w szynie S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

Parowóz Ok 22. r. 1934. Stopka pod szyjką w przęśle 12 — 13.

$D = 9680$ kg/cm

Szybkość w km/h	Nr zdjęcia	Koła potoczne 1 kg/cm²	Koła potoczne 1 %	Koła potoczne 2 kg/cm²	Koła potoczne 2 %	Koła napędne 1 kg/cm²	Koła napędne 1 %	Koła napędne 2 kg/cm²	Koła napędne 2 %	Koła napędne 3 kg/cm²	Koła napędne 3 %	Koła tendra 1 kg/cm²	Koła tendra 1 %	Koła tendra 2 kg/cm²	Koła tendra 2 %	Koła tendra 3 kg/cm²	Koła tendra 3 %	Koła tendra 4 kg/cm²	Koła tendra 4 %
0	—	675	100	438	100	685	100	770	100	904	100	354 338	100	354	100	351	100	469	100
31,1	772	642	95	619	141	298	43	574	74	597	66	459	130	321	91	321	91	390	83
60,1	950	619	92	619	141	505	74	963	125	780	86	367	109	—	—	—	—	—	—
Stopka pod szyjką w przęśle 13 — 14. $D = 8740$ kg/cm																			
0	—	683	100	438	100	694	100	773	100	912	100	390	100	389	100	386	100	513	100
87	948	963	141	505	115	1055	152	688	89	917	101	367	94	574	148	688	178	780	152

TABLICA XXXV.

Naprężenia w szynie S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

Parowóz Pt 31. r. 1934. Stopka pod szyjką w przęśle 12 — 13.

$D = 9680$ kg/cm

Szybkość w km/h	Nr zdjęcia	Koło potoczne przednie kg/cm²	Koło potoczne przednie %	Koła napędne 1 kg/cm²	Koła napędne 1 %	Koła napędne 2 kg/cm²	Koła napędne 2 %	Koła napędne 3 kg/cm²	Koła napędne 3 %	Koła napędne 4 kg/cm²	Koła napędne 4 %	Koło potoczne tylne kg/cm²	Koło potoczne tylne %	Koła tendra 1 kg/cm²	Koła tendra 1 %	Koła tendra 2 kg/cm²	Koła tendra 2 %	Koła tendra 3 kg/cm²	Koła tendra 3 %	Koła tendra 4 kg/cm²	Koła tendra 4 %
0	—	772	100	838	100	712	100	710	100	881	100	962	100	550 594	100	531 565	100	528 562	100	723	100
5,0	804	533	69	556	66	834	117	602	85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30,1	802	559	72	536	64	782	110	849	120	871	99	827	86	603	110	514	97	715	135	—	—
108,0	798	—	—	579	69	811	114	927	130	1668	189	1552	161	996	168	1112	197	927	165	811	112
Stopka pod szyjką w przęśle 13 — 14. $D = 8740$ kg/cm																					
0	—	792	100	845	100	713	100	712	100	890	100	966	100	645	100	604	100	584 601	100	782	100
68,0	834	741	94	—	—	—	—	672	94	788	89	510	53	—	—	—	—	579	99	—	—
102,1	832	702	89	527	62	1162	163	483	68	724	81	548	57	439	68	329	54	66	11	439	56

TABLICA XXXVI.

Naprężenia w szynie S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

Parowóz Pu 29. r. 1934. Stopka pod szyjką w przęśle 12 — 13.

$D = 9680$ kg/cm

Szybkość w km/h	Nr zdjęcia	Koła potoczne 1 kg/cm²	Koła potoczne 1 %	Koła potoczne 2 kg/cm²	Koła potoczne 2 %	Koła napędne 1 kg/cm²	Koła napędne 1 %	Koła napędne 2 kg/cm²	Koła napędne 2 %	Koła napędne 3 kg/cm²	Koła napędne 3 %	Koła napędne 4 kg/cm²	Koła napędne 4 %	Koło potoczne tylne kg/cm²	Koło potoczne tylne %	Koła tendra 1 kg/cm²	Koła tendra 1 %	Koła tendra 2 kg/cm²	Koła tendra 2 %	Koła tendra 3 kg/cm²	Koła tendra 3 %	Koła tendra 4 kg/cm²	Koła tendra 4 %
0	—	539	100	308	100	773	100	710	100	726	100	905	100	972	100	585 587	100	560	100	557	100	716	100
8,0	892	810	150	394	128	766	99	876	123	—	—	1073	118	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29,0	890	486	90	162	53	718	93	834	117	602	83	903	100	834	86	556	95	—	—	—	—	—	—
66,5	888	390	72	115	37	711	92	482	68	688	95	1010	112	826	85	619	105	574	103	780	140	803	112

TABLICA XXXVII.

Naprężenia w szynie S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

Parowóz Ok 22. r. 1934. Krawędź zewnętrzna stopki w przęśle 12 — 13.

$D = 9680$ kg/cm

Szybkość w km/h	Nr zdjęcia	Koła potoczne 1 kg/cm²	Koła potoczne 1 %	Koła potoczne 2 kg/cm²	Koła potoczne 2 %	Koła napędne 1 kg/cm²	Koła napędne 1 %	Koła napędne 2 kg/cm²	Koła napędne 2 %	Koła napędne 3 kg/cm²	Koła napędne 3 %	Koła tendra 1 kg/cm²	Koła tendra 1 %	Koła tendra 2 kg/cm²	Koła tendra 2 %	Koła tendra 3 kg/cm²	Koła tendra 3 %	Koła tendra 4 kg/cm²	Koła tendra 4 %
0	—	675	100	438	100	685	100	770	100	904	100	od 320 do 462	100	od 328 do 435	100	od 340 do 432	100	od 576 do 562	100
25,0	754	494	73	439	100	439	64	549	71	578	64	606	131	467	107	193	45	467	81
61,0	756	971	144	666	152	471	69	416	54	860	95	610	136	832	196	776	184	915	163
58,0	932	688	102	825	188	330	48	770	100	1128	125	413	129	660	201	—	—	—	—
63,0	966	852	126	605	138	660	96	853	111	825	91	578	171	715	209	578	170	—	—
Krawędź zewnętrzna stopki w przęśle 13—14. $D = 8740$ kg/cm																			
0	—	683	100	438	100	694	100	773	100	912	100	391 383	100	389 383	100	386 381	100	513 505	100
31,0	760	546	80	409	93	326	47	947	123	977	107	296	76	600	154	491	127	444	87
81,5	940	798	117	720	164	463	67	1080	140	951	104	463	121	592	155	745	196	720	143

TABLICA XXXVIII.

Naprężenia w szynie S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

Parowóz Pt 31. r. 1934. Krawędź zewnętrzna stopki w przęśle 12—13.

$D = 9680$ kg/cm

Szybkość w km/h	Nr zdjęcia	Koło potoczne przednie kg/cm²	Koło potoczne przednie %	Koła napędne 1 kg/cm²	Koła napędne 1 %	Koła napędne 2 kg/cm²	Koła napędne 2 %	Koła napędne 3 kg/cm²	Koła napędne 3 %	Koła napędne 4 kg/cm²	Koła napędne 4 %	Koło potoczne tylne kg/cm²	Koło potoczne tylne %	Koła tendra 1 kg/cm²	Koła tendra 1 %	Koła tendra 2 kg/cm²	Koła tendra 2 %	Koła tendra 3 kg cm²	Koła tendra 3 %	Koła tendra 4 kg/cm²	Koła tendra 4 %
0	—	772	100	838	100	712	100	710	100	881	100	962	100	od 579 do 604	100	od 553 do 572	100	od 550 do 569	100	od 708 do 732	100
31,8	818	778	101	1015	121	629	88	452	64	955	108	1015	106	689	114	808	141	838	147	748	102
68,8	786	858	111	917	109	850	119	550	77	1250	142	883	92	658	114	850	154	517	94	883	125
106,5	784	—	—	927	111	983	138	1040	146	1293	147	871	91	843	143	815	145	534	95	674	94
Krawędź zewnętrzna stopki w przęśle 13—14 $D = 8740$ kg/cm																					
0	—	792	100	845	100	713	100	712	100	890	100	966	100	523 556	100	509	100	532	100	693	100
7,2	830	385	49	503	60	710	100	444	62	1066	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31,5	828	600	76	616	73	917	129	817	115	1275	143	750	78	733	140	560	110	—	—	—	—
68,9	824	—	—	1540	182	829	116	1007	141	1125	126	1155	120	770	138	—	—	1096	206	1392	201

TABLICA XXXIX.

Naprężenia w szynie S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

Parowóz Pu 29. r. 1934. Krawędź zewnętrzna stopki w przęśle 12—13.

$D = 9680$ kg/cm

Szybkość w km/h	Nr zdjęcia	Koła potoczne 1 kg/cm²	Koła potoczne 1 %	Koła potoczne 2 kg/cm²	Koła potoczne 2 %	Koła napędne 1 kg/cm²	Koła napędne 1 %	Koła napędne 2 kg/cm²	Koła napędne 2 %	Koła napędne 3 kg/cm²	Koła napędne 3 %	Koła napędne 4 kg/cm²	Koła napędne 4 %	Koła potoczne tylne kg/cm²	Koła potoczne tylne %	Koła tendra 1 kg/cm²	Koła tendra 1 %	Koła tendra 2 kg/cm²	Koła tendra 2 %	Koła tendra 3 kg/cm²	Koła tendra 3 %	Koła tendra 4 kg/cm²	Koła tendra 4 %
0	—	539	100	308	100	773	100	710	100	726	100	905	100	972	100	521	100	—	—	—	—	—	—
8,9	866	689	128	383	124	715	92	842	119	664	91	893	99	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28,7	864	662	123	611	198	585	76	942	133	865	119	1247	138	914	94	763	146	—	—	—	—	—	—
Krawędź zewnętrzna stopki w przęśle 13—14. $D = 8740$ kg/cm																							
0	—	544	100	308	100	782	100	709	100	730	100	917	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8,8	876	550	101	798	259	825	105	1155	163	1238	170	1210	132	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

TABLICA XL.

Naprężenia w szynie S pod pociągami w ruchu i pod obciążeniem statycznym według obliczeń.

Parowóz Pu 29. r. 1934. Krawędź zewnętrzna główki nad podkładem 13.

$D = 8740$ kg/cm

Szybkość km/h	Nr zdjęcia	Koła potoczne 1		Koła potoczne 2		Koła napędne 1		Koła napędne 2		Koła napędne 3		Koła napędne 4		Koło potoczne tylne		Koła tendra 1		Koła tendra 2		Koła tendra 3		Koła tendra 4	
		kg/cm²	%	kg/cm²	%	kg/cm²	%	kg/cm²	%	kg/cm²	%	kg/cm²	%	kg/cm²	%	kg/cm²	%	kg/cm²	%	kg/cm²	%	kg/cm²	%
0	—	552	100	312	100	793	100	719	100	741	100	930	100	993	100	od 591 do 624	100	od 563 do 572	100	od 560 od 585	100	od 729 do 761	100
9,0	858	737	134	368	118	971	122	837	116	737	99	1004	108	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31,7	856	703	127	301	96	737	93	—	—	703	95	670	72	636	64	670	113	502	89	737	132	703	97
64,7	854	234	42	—	—	938	118	—	—	737	99	870	94	603	61	368	61	469	82	333	58	301	41
103,5	852	636	115	636	204	1506	190	870	121	703	95	—	—	—	—	402	64	—	—	201	34	234	31

6. Wnioski.

1. W obliczeniach naprężeń w szynie pod obciążeniem w spoczynku w celu porównania z nimi naprężeń, zaobserwowanych pod obciążeniem ruchomym, szyna może być rozpatrywana jako belka na podłożu sprężystym. Naprężenia bowiem w szynie, obliczone w tym założeniu i w założeniu, że się ona opiera na sprężystych podporach, będąc obciążona bądź pojedynczym ciężarem, bądź układem ciężarów, różnią się nieznacznie i w założeniu, że szyna opiera się na sprężystym podłożu nie są w żadnym przypadku więcej niż o 5% mniejsze niż w drugim założeniu, porównanie więc z nimi naprężeń zaobserwowanych daje pewien zapas w ich ocenie na korzyść bezpieczeństwa;
2. Naprężenia zaobserwowane w szynie pod parowozami pośpiesznymi badanych typów, prowadzących pociągi z szybkością do 110 km/godz. w linii prostej poziomej, są naogół zbliżone do naprężeń według obliczenia pod obciążeniem statycznym;
3. Odchylenia naprężeń pod oddzielnymi kołami napędnymi parowozów od wartości obliczonych pod obciążeniem statycznym są przy szybkościach od 80 do 110 km/g przeważnie większe, niż przy szybkościach mniejszych;
4. Dużym naprężeniom często nie towarzyszy odpowiednio duże osiadanie szyny, a niekiedy nawet osiadanie jest mniejsze od obliczonego pod obciążeniem statycznym;
5. Odchylenia naprężeń pod oddzielnymi kołami od wartości obliczonych pod obciążeniem statycznym są przy szybkościach powyżej 80 km/godz. do 45% większe, a przy szybkościach mniejszych do 35% większe, niż odchylenia w osiadaniu szyny wogóle zaobserwowane;
6. Spostrzeżenia, wymienione w dwóch poprzedzających punktach, świadczą o działaniu na naprężenia w szynie jeszcze innych sił, prócz sił pionowych, a mianowicie sił bocznych i skręcających, i dają orientację co do łącznego ich wpływu w linii prostej poziomej.

V. Ruchy podłużne szyny.

1. Przyczyny zjawiska.

Zdjęcia punktu szyny na błonie, przesuwanej pionowo, pokazały, że przy przejściu pociągów punkt ten nie pozostaje na jednym pionie, lecz odchyla się od niego w kierunku podłużnej osi szyny.

Uginanie się szyny pod obciążeniem powoduje pochylenie się jej przekrojów poprzecznych, odchylanie się więc od pionu punktów, położonych w pewnej odległości od

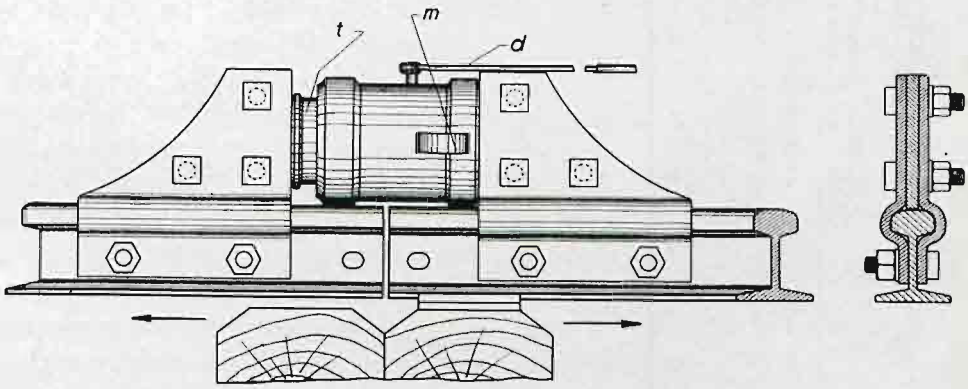
osi obojętnej, jest zupełnie zrozumiałe [1]). Jednakże sprężyste przesunięcia poziome szyny były obserwowane również na jej osi obojętnej, której punkty przesuwają się przy ugięciu o wielkość, nie przekraczającą różnicy pomiędzy długością części łuku ugięcia a długością odpowiedniej części cięciwy tego łuku, to jest o długość wielokrotnie w danym przypadku mniejszą od dokładności, z jaką ta różnica mogłaby być zaobserwowana.

To spostrzeżenie doprowadziło do wniosku, że zauważone przesunięcia podłużne, których przykład z pomiaru pod komparatorem podano na rys. 74, pochodzą wskutek sprężystego oddziaływania szyny i jej podpór pod wpływem sił stycznych na obwodzie kół napędnych parowozów.

Dla wyjaśnienia tego zjawiska było niezbędne zbadać zachowanie się szyn w torze, podległym siłom osiowym, rozpatrując tok szyn jako belkę na podporach sprężystych, i określić sprężystość tych podpór w kierunku działania sił. Ze względu zaś na niemożność bezpośredniego wymierzenia sił, działających na szyny osiowo podczas ruchu pociągów, zaszła konieczność określenia poziomej sprężystości podpór szyny pod działaniem innej siły wiadomej.

2. Spostrzeżenia nad przesunięciami osiowymi szyny pod naciskiem dźwigników hydraulicznych.

W celu uzyskania danych doświadczalnych co do przesunięć szyny pod działaniem określonej siły osiowej, w torze na posterunku Włochy, w złączach obu szyn od strony Warszawy, usunięto łubki i na ich miejsce przymocowano buty, pomiędzy którymi założono dźwigniki hydrauliczne z manometrami (rys. 63). Buty były przymocowane do



t — tłok; *m* — manometr; *d* — drążek do pompowania.

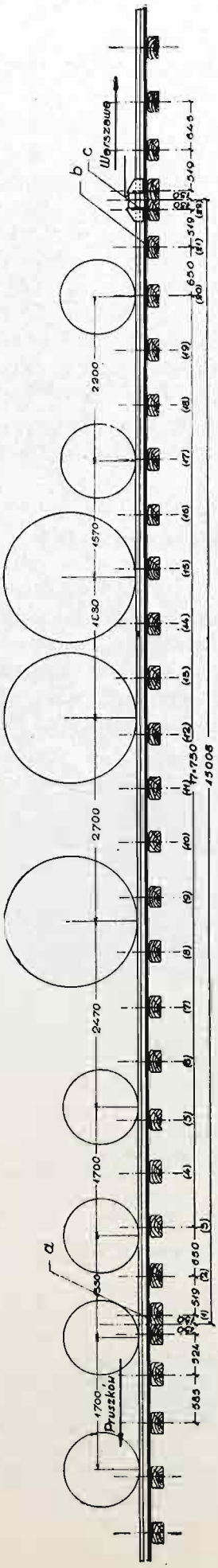
Rys. 63. Urządzenie do wywierania nacisku na szynę w kierunku podłużnym.

---

[1]) Punkty położone w pewnej odległości od osi obojętnej, np. na krawędzi stopki szyny, będą się odchylać w obie strony od położenia w stanie nieobciążonym, przy czym cofanie się punktu ku początkowi wykresu ugięcia i posuwanie w odwrotnym kierunku osiągną swoje maksimum pod pierwszym kołem parowozu oraz pod innymi kołami, dostatecznie oddalonymi od sąsiednich, w odległości $\frac{\pi}{4} \cdot L_s = 0{,}7854\, L_s$ przed największym ugięciem i po nim, to jest w punktach, w których kąt stycznej do okształconej przybiera największą wartość. Jak obliczono wyżej (str. 78), maksimum stycznej wynosi w danej nawierzchni.

$$\max \operatorname{tg} \nu = \frac{G}{C b_s L_s^2} \eta' = 0{,}00229$$

Punkt krawędzi stopki, położonej o 7 cm niżej osi obojętnej, przesunie się maksimum o $0{,}00229 \times 70 = 0{,}1603$ mm, a po czterokrotnym powiększeniu na błonie o 0,641 mm w jednym i drugim kierunku od położenia w spoczynku, przy czym te największe przesunięcia zajdą w odległości $0{,}7854 \times 97{,}5 = 76{,}6$ cm przed największym ugięciem i po nim. W punkcie największego przesunięcia przed przejściem koła tworzyć się będzie węzeł, jeżeli szybkość błony będzie niedostateczna.



a, c — podkładki i łubki w złączu usunięte; *b* — podkładka usunięta.

Rys. 64. Schemat obciążenia przy pomiarze współczynnika *H* sprężystości osiowej podpór szyny.

Numeracja podpór we wzorach.

Trójkąty czarne oznaczają podkłady nad którymi obserwowano przesunięcia osiowe szyny.

Numeracja podkładów w torze.

Rys. 65. Numeracja podkładów we wzorach przesunięć osiowych.

szyn śrubami, przepuszczonymi przez zewnętrzne otwory złączowe i otwory dodatkowo wywiercone. Na podkładach 22 i 21, rozstawionych w bliższej odległości niż podkłady środkowe, usunięto wkręty i podkładki, otrzymując belkę, kończącą się na podkładzie 20. Na torze badanym ustawiono pociąg, prowadzony parowozem typu Ok 22, który dochodził do podkładu 20, po czym zdjęto łubki w złączach od strony Pruszkowa i usunięto wkręty i podkładki na podkładzie 1 (rys. 64). W ten sposób szyny badane otrzymały postać dwóch belek na 19 podporach, rozstawionych w równych odległościach z wyjątkiem przęsła pomiędzy podkładami 2 i 3, których odległość o kilka centymetrów mniejszą musiano pozostawić ze względu na obciążenie, co nie wpłynęło bynajmniej na dokładność obliczeń. Obciążenie szyn zbliżało je do warunków, w jakich znajdują się przy przejściu pociągów, i nie pozwalało im unosić się przy wywieraniu na nie nacisku dźwignikami.

Urządzenia do wywierania nacisku osiowego założono symetrycznie w obu szynach dla osiągnięcia równomiernego przesuwania się podkładów, przy czym starano się, aby nacisk wywierany na każdą szynę był jednakowy. Z pewną mimośrodowością wywieranego nacisku wypadło się pogodzić ze względu na trudność innego urządzenia butów.

Do obserwowania przesunięć osiowych szyny badanej i jej podpór wybrano punkty (rys. 65) nad podkładami: 19 (podpora 0) [1]), 11 (podpora 8) i 3 (podpora 16). Obserwowano przesunięcia szyny na jej osi obojętnej nad środkiem podparcia (na niektórych zdjęciach też przesunięcia podkładu). Zdjęcia przesunięć robiono dwoma aparatami w dwóch wybranych punktach jednocześnie, zwiększając ciśnienie dźwigników skokami, naprzód co 5 atm., począwszy zaś od 30 atm. — co 10, aż do 100 atm., następnie zaś obniżając je w tymże porządku. Wyniki pomiaru przesunięć osiowych podano w tablicy XLI oraz w postaci wy-

[1]) Jedno zdjęcie było robione nad podkładem 20 (podpora 0′), co jednak było później zaniechane ze względu na niedogodności natury praktycznej.

Do rys. 66 i 67.

K — krańcowy punkt wykresu

OS_1 — sprostowanie linii łamanej wzrostu ciśnienia

$(O)(S_2)$ — „ „ „ spadku „

OS_2 — „ „ „ „ „ przeniesione do początku układu

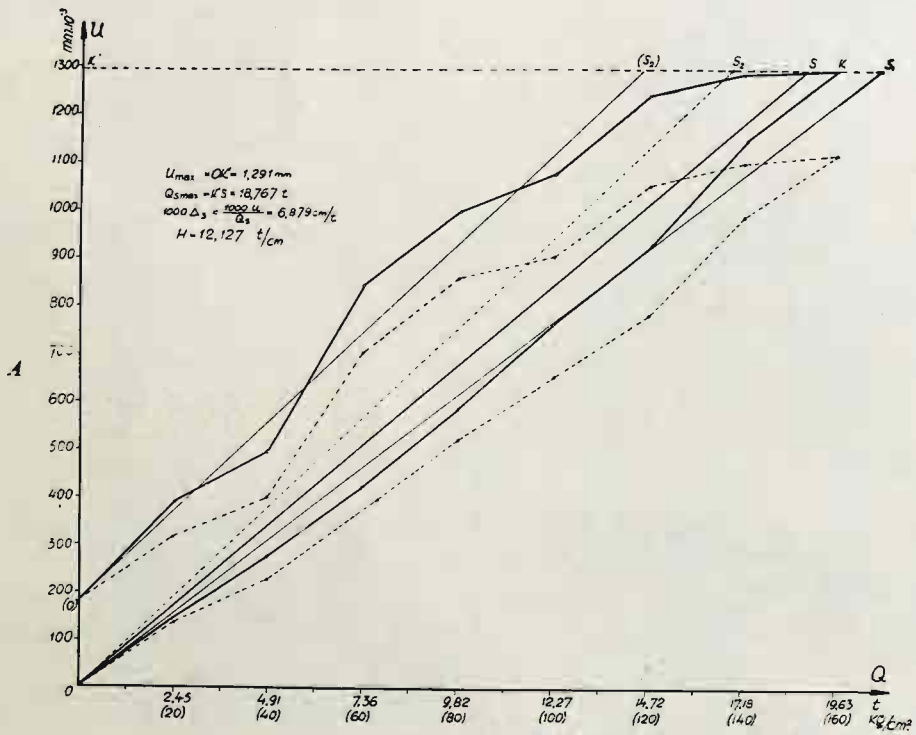
Q — nacisk dźwignika na jedną szynę w t (w nawiasie ciśnienie w kg/cm² tłoka dźwignika)

u_i — przesunięcie podpory i

u_S max, Q_S max — współrzędne punktu S

Δ_{is} — przesunięcie jednostkowe odpowiadające linii OS

H — współczynnik podparcia osiowego szyny.



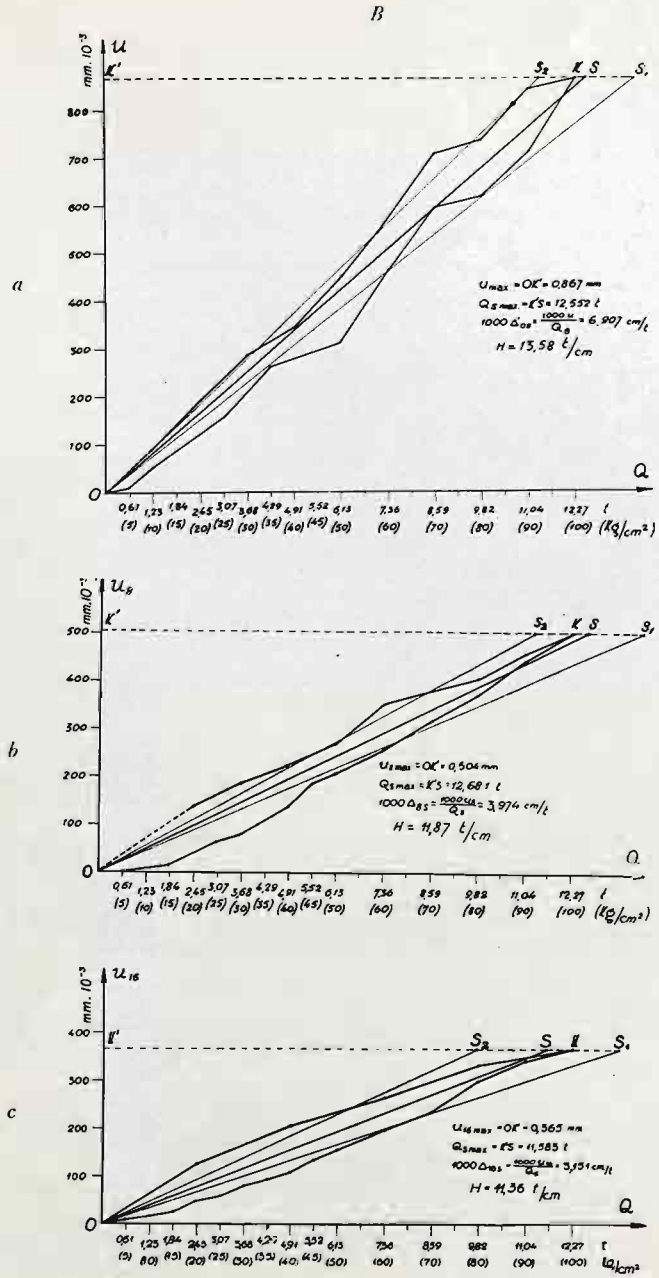
A. Przesunięcia osiowe podpory 0' (podkład 20) według zdjęcia nr 608 z dn. 22.XI. 1933 r. Linia przerywana odpowiada przesunięciom podkładu.

B. Przesunięcia osiowe według zdjęć z dn. 17.VIII. 1934.

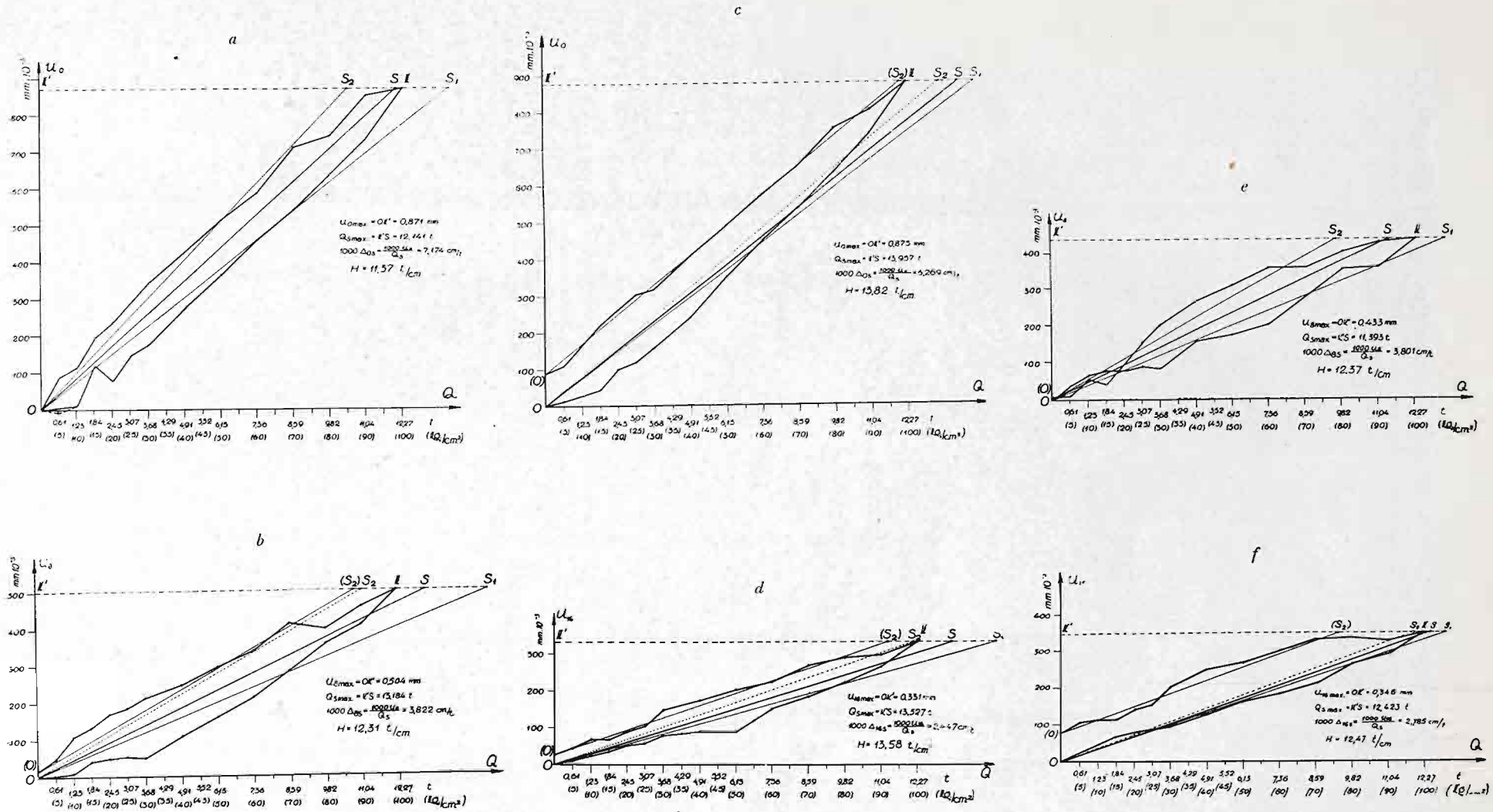
a. Podpora 0' (podkład 20) zdj. nr 914 (współczesne nr 919)

b. Podpora 8 (podkład 11) zdj. nr 919 (współczesne nr 914)

c. Podpora 16 (podkład 3) zdj. nr 917 (współczesne nr —)



Rys. 66. Przesunięcia osiowe w funkcji siły osiowej według spostrzeżeń.



Przesunięcia osiowe według zdjęć z dnia 7.IX.34.

a. Podpora 0 (podkład 19). Zdjęcie nr 974 (wsp. 981).
b. Podpora 8 (podkład 11). Zdjęcie nr 981 (wsp. 974).
c. Podpora 0 (podkład 19). Zdjęcie nr 976 (wsp. 983).
d. Podpora 16 (podkład 3). Zdjęcie nr 983 (wsp. 976).
e. Podpora 8 (podkład 11). Zdjęcie nr 978 (wsp. 985).
f. Podpora 16 (podkład 3). Zdjęcie nr 985 (wsp. 978).

Rys. 67. Przesunięcia osiowe w funkcji siły osiowej według spostrzeżeń.

TABLICA XLI.

Przesunięcia osiowe pod naciskiem dźwigników szyny zluzowanej w złączu.

Siła osiowa		Przesunięcia osiowe szyny w mm nad podporami nr:								
kg/cm² tłoka	ton	16	0'	8	0	8	0	16	8	16
0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,61	8	11	0	(—8)	2	13	10	35	—
10	1,23	16	53	6	10	8	—	23	65	42
15	1,84	25	—	11	122	41	43	35	78	66
20	2,45	48	—	39	78	48	99	51	79	78
25	3,07	58	160	65	146	51	118	58	88	88
30	3,68	79	211	79	177	50	157	78	83	94
35	4,29	92	263	109	—	—	—	—	—	127
40	4,91	107	—	138	280	109	239	88	156	162
45	5,52	133	—	189	—	—	—	—	—	—
50	6,13	155	317	210	367	160	350	88	174	162
60	7,36	196	460	258	461	213	447	151	202	183
70	8,59	234	595	321	542	284	535	183	278	207
80	9,82	299	621	377	639	356	630	222	351	260
90	11,04	341	725	447	735	407	735	265	356	288
100	12,27	365	867	504	871	504	875	331	433	346
90	11,04	—	845	459	853	457	800	297	425	325
80	9,82	332	737	407	743	397	750	290	399	332
70	8,59	—	707	—	712	412	648	268	357	327
60	7,36	263	571	353	588	338	573	224	357	296
50	6,13	—	454	270	515	295	489	202	309	268
40	4,91	204	346	224	—	246	407	174	265	248
30	3,68	—	289	187	346	212	315	147	201	198
25	3,07	—	—	—	—	185	302	104	153	153
20	2,45	124	195	139	239	169	260	88	92	137
15	1,84	—	—	—	195	134	219	69	40	111
10	1,23	—	90	—	115	106	162	69	55	111
5	0,61	—	—	—	88	48	109	44	8	105
0	0,0	—	—	—	—	15	87	26	7	77
Nr zdjęcia		917	914	919	974	981	976	983	978	985
Data		17.VIII.1934			7.IX.1934					

Siła osiowa		Przesunięcia osiowe szyny nad podporą 0' mm
kg/cm² tłoka	ton	
0	0	0,000
20	2,45	0,142
40	4,91	0,272
60	7,36	0,418
80	9,82	0,582
100	12,27	0,759
120	14,72	0,922
140	17,18	1,142
160	19,63	1,291
140	17,18	1,284
120	14,72	1,237
100	12,27	1,072
80	9,82	0,992
60	7,36	0,840
40	4,91	0,494
20	2,45	0,386
0	0	0,180
Nr zdjęcia		608
Data		22.XI.33

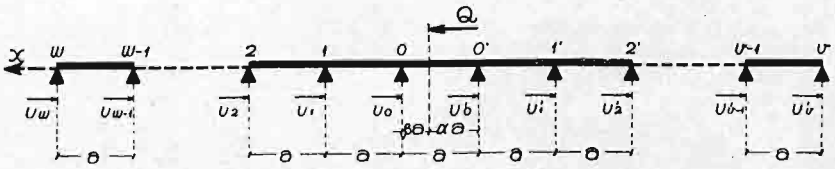
U w a g a: Klamrami objęto zdjęcia wykonane jednocześnie.

kresów (rys. 66 i 67). Wskazują one, że szyna podlegała tym przesunięciom sprężyście, jakkolwiek na niektórych wykresach punkt obserwowany nie powraca ściśle do punktu początkowego, jak gdyby opóźniając się stopniowo w drodze powrotnej. Należy przy tym zauważyć, że przy wzroście ciśnienia krzywa ciśnienia jest wypukła ku dołowi, przy spadku zaś — ku górze. Średnie wartości przesunięć przy wzroście ciśnienia i przy spadku leżą na linii, zbliżonej do linii prostej, świadcząc o proporcjonalności przesunięć do nacisku. W celu określenia średniej wielkości tego stosunku, mierzono na wykresach planimetrem pole, jakie tworzy krzywa nacisku z osią przesunięć, i kreślono równy mu trójkąt, przyjmując, że jego przeciwprostokątna wskazuje ten stosunek. Pomiędzy przeciwprostokątnymi dwóch trójkątów, otrzymanych z wykresów przesunięć osiowych przy zwiększaniu nacisku i stopniowym jego zmniejszaniu, przeprowadzano kierunek średni, uważając, że ten kierunek najlepiej odpowiada takiej wartości przesunięcia jednostkowego $\triangle = \frac{du}{dQ}$, która będąc przyjęta za stałą dla całego doświadczenia, daje dla każdego nacisku w granicach od 0 do Q_{max} przesunięcia możliwie najbardziej zbliżone do przesunięć rzeczywistych. Jak łatwo zauważyć, pole, jakie tworzy krzywa przesunięć z osią przesunięć, czyli całka $\Pi = \int_0^{u_{max}} Q\,du$ wyraża wielkość proporcjonalną do pracy sprężystej, użytej do wykonania przesunięcia u_{max}. Zastępując krzywą przez prostą w podany sposób zachowuje się bez zmiany pracę sprężystą przesunięcia.

3. Określenie współczynnika osiowego podparcia szyny.

a. Szyna na sprężystych podporach.

Na podstawie wyników spostrzeżeń, opisanych w ustępie poprzedzającym, i teorii belki na podporach sprężystych obciążonej osiowo [1]), określono współczynnik podparcia osiowego szyny w sposób następujący.



Rys. 68. Schemat belki obciążonej osiowo.

Rozpatrując przypadek belki na wielu równoodległych podporach sprężystych, podległej w jednym z przęseł 0 0' działaniu siły osiowej Q (rys. 68), prof. Karasiński wyprowadza następujące wzory na odpory poziome U_i, U_i' punktów i, i' podparcia belki:

$$\left.\begin{aligned} U_i &= -Q\frac{1-s}{1+s}\cdot\frac{\alpha(1+s^{2v+3})+\beta s(1+s^{2v+1})}{1-s^{2v+2w+4}}\cdot(s^i+s^{2w-i+1}) \\ U_i' &= -Q\frac{1-s}{1+s}\cdot\frac{\alpha s(1+s^{2w+1})+\beta(1+s^{2w+3})}{1-s^{2v+2w+4}}\cdot(s^i+s^{2v-i+1}) \end{aligned}\right\} \tag{26}$$

i na przesuw poziomy punktu przyczepienia siły osiowej Q:

$$u=\frac{1}{H}(Q\,m\,\alpha\,\beta-U_0\,\alpha-U_0'\,\beta) \tag{27}$$

Przesuwy w punktach podparcia otrzymują się z zależności

$$u_i=-\frac{U_i}{H} \tag{28}$$

W tych wzorach oznacza:

$$s=1+\frac{m}{2}-\sqrt{m+\frac{m^2}{4}} \tag{29}$$

$$m=\frac{H\,a}{E\,A} \tag{30}$$

a odległość podpór w cm
H współczynnik osiowego podparcia belki w kg/cm
E współczynnik sprężystości podłużnej tworzywa belki w kg/cm²
A przekrój poprzeczny belki
βa i αa odległość punktu przyczepienia siły osiowej Q w przęśle 0 0'
w i v ilość podpór w lewo i w prawo od przęsła 0 0'.

W zastosowaniu do szyny, której podparcie pozostawiono na 19 podkładach, i do punktów nad podporami, w których obserwowano przesunięcia osiowe szyny (rys. 65), wzory (26) i (27) mogą być uproszczone biorąc pod uwagę, że w danym przypadku

$$\alpha=0;\qquad \beta=1;\qquad v=0;\qquad w=17$$

[1]) L. Karasiński. Obciążenie osiowe belki leżącej na podporach sprężystych równoodległych. Katedra i laboratorium wytrzymałości tworzyw Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1933, część II.

Po wprowadzeniu tych wielkości, wzory (27) i (28) otrzymują postać:

$$u = u_0' = \frac{Q}{H} \cdot (1 - s) \frac{1 + s^{37}}{1 - s^{38}} \tag{31}$$

$$u_i = \frac{Q}{H} \cdot (1 - s)\, s^{i+1} \cdot \frac{1 + s^{35-2i}}{1 - s^{38}} \tag{32}$$

Ze wzoru (32) otrzymuje się przesunięcia jednostkowe nad podporami 0, 8 i 16

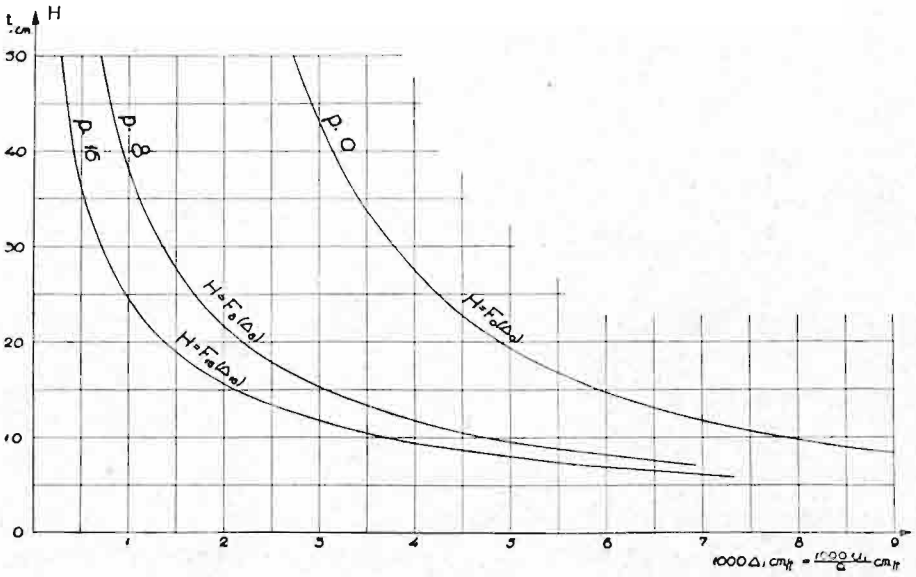
$$\left.\begin{aligned} \triangle_0 &= \frac{u_0}{Q} = \frac{1}{H}(1 - s)\, s \cdot \frac{1 + s^{35}}{1 - s^{38}} \\ \triangle_8 &= \frac{u_8}{Q} = \frac{1}{H}(1 - s)\, s^9 \cdot \frac{1 + s^{19}}{1 - s^{38}} \\ \triangle_{16} &= \frac{u_{16}}{Q} = \frac{1}{H}(1 - s)\, s^{17} \cdot \frac{1 + s^{3}}{1 - s^{38}} \end{aligned}\right\} \tag{33}$$

Ze względu na złożoną zależność przesunięć jednostkowych od współczynnika osiowego podparcia szyny, obliczono w tabl. XLII nad podporami obserwowanymi wartości przesunięć jednostkowych, odpowiadających pewnym założonym wartościom współczynnika H, i na podstawie tego obliczenia sporządzono wykresy szukanej zależności (rys. 69). Te wykresy pozwoliły określić przybliżoną wartość współczynnika H w zależności od przesunięć według obserwacyj, następnie zaś dokładną wartość tego współczynnika próbami według wzorów (33).

TABLICA XLII.

Jednostkowe przesunięcia osiowe szyny $\triangle$ w zależności od współczynnika H podparcia osiowego szyny.

H t/cm	s	$\mu_0 = \frac{1+s^{35}}{1-s^{38}}$	$1000\,\triangle_0 = \frac{1000}{H}(1-s)s\mu_0$ cm/t	$\mu_8 = \frac{1+s^{19}}{1-s^{38}}$	$1000\,\triangle_8 = \frac{1000}{H}(1-s)\,s^9\mu_8$ cm/t	$\mu_{16} = \frac{1+s^{3}}{1-s^{38}}$	$1000\,\triangle_{16} = \frac{1000}{H}(1-s)\,s^{17}\mu_{16}$ cm/t
∞	$-0,\infty$	—	0	—	0	—	0
385,3	0,61470	1,0000	0,6147	1,0001	0,01253	1,2323	0,00032
143,3	0,74206	1,0000	1,3357	1,0035	0,12324	1,4086	0,01590
119,2	0,76160	1,0001	1,5234	1,0057	0,17340	1,4418	0,02814
57,6	0,82720	1,0020	2,4866	1,0280	0,55936	1,5676	0,1869
39,7	0,85430	1,0066	3,1560	1,0528	0,93650	1,6276	0,4107
33,8	0,86480	1,0103	3,4948	1,0676	1,1554	1,6539	0,5600
22,25	0,88875	1,0277	4,5668	1,1191	1,9358	1,7215	1,1592
19,87	0,89449	1,0352	4,9169	1,1366	2,2127	1,7409	1,3891
18,58	0,89781	1,0403	5,1369	1,1481	2,3931	1,7528	1,5423
17,31	0,90116	1,0461	5,3828	1,1606	2,5973	1,7656	1,7184
15,75	0,90550	1,0553	5,7334	1,1788	2,8946	1,7835	1,9795
13,82	0,91120	1,0698	6,2640	1,2060	3,3551	1,8093	2,3919
12,42	0,91561	1,0836	6,7400	1,2304	3,7770	1,8318	2,7780
11,73	0,91789	1,0920	7,0164	1,2444	4,0296	1,8446	3,0102
11,42	0,91892	1,0960	7,1507	1,2509	4,1496	1,8505	3,1211
9,08	0,92736	1,1361	8,4286	1,3135	5,3306	1,9060	4,2312
7,23	0,93493	1,1870	9,9879	1,3863	6,8097	1,9700	5,6490
5,89	0,94110	1,2434	11,7016	1,4611	8,4614	2,0363	7,2564



p — podpora.

Rys. 69. Wykres współczynnika H w zależności od przesunięć osiowych podpór 0, 8 i 16.

TABLICA XLIII.

Współczynnik podparcia osiowego szyny z jej przesunięć.

Data		17.8.1934			7.9.1934						22.11.33
Nr zdjęcia		917	914	919	974	981	976	983	978	985	608
Nr podpory		16	0′	8	0	8	0	16	8	16	0′
Przesunięcie krańcowe u_{max} mm		0,365	0,867	0,504	0,871	0,504	0,875	0,331	0,433	0,346	1,291
Odcięte odpowiadające u_{max} po zastąpieniu krzywej przez prostą	Przy wzroście ciśnienia $Q_{s_1} = \frac{2\,H_1}{u_{max}}$	13,466	13,791	14 092	13 865	15,288	14,558	14 895	13,288	12,957	20,681
	Przy spadku ciśnienia $Q_{(s_2)} = \frac{2\,H_2}{u_{max}}$	9,699	11,319	11,270	10,405	10,754	12,031	11,202	9,497	9,259	14,501
Odcięta po sprowadzeniu prostej $(O)(S_2)$ do początku układu Q_{s_2}		9,699	11,319	11,270	10,405	11,080	13,336	12,153	9,497	11,895	16,853
Odcięta średnia $Q_s = \frac{1}{2}\,(Q_{s_1} + Q_{s_2})$ t		11,583	12,552	12,681	12,141	13,184	13,957	13,527	11,393	12,423	18,767
Średnie przesunięcie jenostkowe $1000\triangle = \frac{1000\,u_{max}}{Q_s}$ cm/t		3,151	6,907	3,974	7,174	3,822	6,269	2,447	3,801	2,785	6,879
Współczynnik H obliczony na podstawie średniego przesunięcia w t/cm		11,36	13,58	11,87	11,37	12,31	13,82	13,58	12,37	12,47	12,127*)
Wartość średnia współczynnika H t/cm		12,52									

*) H obliczono z tego zdjęcia według wzoru $H = \frac{a}{EA\triangle^2 + a\triangle}$ gdyż łubki w złączu pruszkowskim nie były usunięte.

W tabl. XLIII podano wyniki obliczenia współczynnika podparcia osiowego szyny na podstawie ich zaobserwowanych przesunięć jednostkowych, którego średnią wartość otrzymano

$$H = 12.52 \text{ t/cm}.$$

Zastanawia w tym wyniku bliska wartość współczynników podparcia szyny w kierunku poziomym $H = 12.52$ i w kierunku pionowym $D \approx 10$.

b. Szyna zczepiona z podłożem.

Obliczenia sprężystych odkształceń szyny pod obciążeniem pionowym, sprawdzone według spostrzeżeń, udowodniły, że szynę na oddzielnych podporach można zastąpić belką na podłożu ciągłym z zachowaniem dostatecznej dokładności obliczeń, odnoszących się do odkształceń i naprężeń, którym podlega. Z uwagi na to postanowiono zbadać, z jakim stopniem dokładności ta sama metoda da się zastosować w obliczeniach, odnoszących się do odkształceń i naprężeń, którym podlega szyna pod obciążeniem osiowym.

Korzystając ze wzorów, podanych w pracy prof. Karasińskiego o obciążeniu osiowym belki, związanej z podłożem sprężystym [1]), założono, że szyna jest związana na całej swej długości z podłożem, w którym siła osiowa Q, działająca na szynę, wzbudza sprzeciw sprężysty — $h\,u$ kg na jednostkę długości, przy czym u oznacza przesunięcie osiowe, h zaś współczynnik podparcia osiowego szyny na jednostkę jej długości w kg/cm².

Jeżeli siła Q jest przyłożona do środka jednej ze ścian czołowych belki długości b, to jednostkowe przesunięcie osiowe tej belki w odległości x od punktu przyczepienia siły Q otrzymuje się ze wzoru:

$$\triangle = \frac{u}{Q} = \frac{n}{h} \cdot \frac{e^{n(b-x)} + e^{-n(b-x)}}{e^{nb} - e^{-nb}} = \frac{n}{h} \cdot \frac{\operatorname{coh} n(b-x)}{\operatorname{sih} n b} \tag{34}$$

w którym

$$n = \sqrt{\frac{h}{E\,A}}.$$

Chcąc wyznaczyć h dla danego $\triangle = \frac{u}{Q}$ należy równanie powyższe rozwiązać, podobnie jak poprzednio, metodą wykreślną, albo też metodą kolejnych przybliżeń, określając najpierw mnożnik

$$\varphi = \frac{\operatorname{coh} n(b-x)}{\operatorname{sih} n b}$$

przy pewnej przyjętej początkowo wartości h, a następnie sprawdzając tę wartość przy pomocy wzoru:

$$h = \left(\frac{Q}{u}\right)^2 \cdot \frac{\varphi^2}{E\,A} = \frac{\varphi^2}{\triangle^2\,E\,A}$$

Obliczone w ten sposób wartości współczynnika h, odpowiadające wartościom $\triangle_{si}$, otrzymanym ze spostrzeżeń (tablica XLIII wiersz 9) zestawiono w tablicy XLIV. W ostatniej rubryce tejże tablicy przeprowadzone jest porównanie współczynnika h kg/cm², pomnożonego przez długość przęsła a, ze współczynnikiem H kg/cm.

Jak widać z tego porównania, współczynnik H osiowego podparcia szyny jednostronnie nieskończenie długiej, wyznaczony jako iloczyn $a\,h = H$, w założeniu, że jest ona zczepiona z podłożem, otrzymuje się dla różnych podpór średnio o 7.6% większy, niż w założeniu, że spoczywa na oddzielnych podporach.

---

[1]) L. Karasiński. Obciążenie osiowe belki związanej z podłożem sprężystym. Przegląd Techniczny 1935 r. str. 202.

TABLICA XLIV.

Współczynnik podparcia osiowego szyny z jej przesunięć (w założeniu belki zczepionej z podłożem).

Podpora nr	Nr zdjęcia	Przesunięcie jednostkowe $\triangle_s$ cm/t (Tablica XLIII)	Współczynnik h kg/cm²	Współczynnik H kg/cm (Tablica XLIII)	Stosunek $\frac{ah}{H}$
16	917	10^{-3} . 3,151	166,9	11 360	1,073
0′	914	. 6,907	203,9	13 580	1,096
8	919	. 3,974	173,2	11 870	1,065
0	974	. 7,174	168,8	11 370	1,084
8	981	. 3,822	179,45	12 310	1,064
0	976	. 6,269	205,9	13 820	1,088
16	983	. 2,447	200,6	13 580	1,078
8	978	. 3,801	180,35	12 370	1,064
16	985	. 2,785	182 8	12 470	1,070
Średnio			184,7	12 520	1,076

Jeżeli rozpatrywać szynę jako belkę na podporach sprężystych obustronnie nieskończenie długą, to wzory na jednostkowe jej przesunięcia otrzymuje się ze wzorów ogólnych (26) i (27) zakładając $v = w = \infty$. Wzory te mają postać:

$$\left.\begin{aligned}
&\text{dla podpór lewych:} && \triangle_i = -\frac{U_i}{QH} = \frac{1}{H}\cdot\frac{1-s}{1+s}(\alpha+\beta s)\,s^i = \vartheta\, s^i \\
&\text{dla podpór prawych:} && \triangle_i' = -\frac{U_i'}{QH} = \frac{1}{H}\cdot\frac{1-s}{1+s}(\alpha s+\beta)\,s^i = \vartheta'\, s^i \\
&\text{dla punktu przyłożenia siły:} && \triangle = \frac{u}{Q} = \frac{1}{H}\cdot\frac{1-s}{1+s}(\alpha+\beta s)(\alpha s+\beta)\,s^{-1}
\end{aligned}\right\} \quad (35)$$

W przypadku takiejż belki zczepionej z podłożem sprężystym, punkt położony w odległości x w lewo lub w prawo od punktu przyłożenia siły otrzymuje przesunięcie jednostkowe (loco citato)

$$\triangle_x = \frac{n}{2h}\, e^{-nx} \quad (36)$$

Jak łatwo się przekonać porównywając wzory teoretyczne, współczynniki osiowego podparcia szyny, określone w założeniu, bądź że spoczywa na oddzielnych podporach, bądź że jest zczepiona z podłożem, różnią się zaledwie o parę dziesiętnych procentu. W tym więc przypadku długości belki, najlepiej odpowiadającym warunkom, w jakich pracują szyny kolejowe, można korzystać, nie narażając się na dużą różnicę w rezultacie, z tego z dwóch założeń podparcia szyny, które okaże się dogodniejsze.

4. Oddziaływanie toru kolejowego podlegającego siłom osiowym.

Badania nad zachowaniem się jednego ogniwa toru kolejowego pod działaniem wiadomej siły osiowej pozwoliły określić wyżej wielkość współczynnika podparcia osiowego szyn, nie wyjaśniły jednak do którego z wymienionych przypadków długości i obciążenia zbliżają się szyny w torze, połączone łubkami, a mianowicie, czy należy je rozpatrywać

jako belki nieskończenie długie, czy też jako składające się z oddzielnych ogniw. Dla wyjaśnienia tej wątpliwości przeprowadzono osobne spostrzeżenia nad przesunięciami osiowymi szyn pod działaniem dźwigników sposobem opisanym wyżej, lecz z połączeniem szyn na odcinku badanym łubkami z szynami następnymi od strony Pruszkowa. Dźwigniki działały na szyny w drugim ich końcu, od strony Warszawy, w którym łubki były zdjęte. Obserwowano przesunięcia podkładu 20 (podpora 0′), najbardziej odległego od złącza, i podkładu 3 (podpora 16), położonego w bliskości złącza.

Porównanie przesunięć sprężystych szyn, zaobserwowanych w tych warunkach, z przesunięciami teoretycznymi zrobiono w dwóch założeniach: a) szyny rozpatrywanej jako belka jednostronnie nieskończenie długa, obciążona osiowo na ścianie czołowej siłą Q, i b) szyny pojedynczej, podobnież obciążonej.

W pierwszym założeniu (rys. 68 i 65) przesunięcie podkładu 20 (podpora 0′) otrzymuje się ze wzorów (26) i (27) przy $w = \infty$, $v = 0$, $\alpha = 0$ i $\beta = 1$:

$$u = u_0' = \frac{Q}{H}(1 - s)$$

przesunięcie zaś podpory i:

$$u_i = \frac{Q}{H}(1 - s)\, s^{i+1}$$

$$i = 0 \ldots\ldots \infty$$

Stąd przesunięcie jednostkowe:

$$\triangle = \triangle_0' = \frac{1}{H}(1 - s) \tag{37}$$

$$\triangle_i = \frac{1}{H}(1 - s)\, s^{i+1} = \triangle (1 - H\triangle)^{i+1} \tag{38}$$

$$s = 1 + \frac{m}{2} - \sqrt{m + \frac{m^2}{4}} \tag{29}$$

$$m = \frac{H\,a}{E\,A} \tag{30}$$

Po podstawieniu wartości (29) i 30) w wyrażenie (37) przesunięcia jednostkowego, otrzymuje się:

$$H = \frac{a}{EA\,\triangle^2 + a\triangle} \tag{39}$$

Mając zatem $\triangle = \triangle_0'$ z zaobserwowanego przesunięcia podpory 0′ i przyjmując założenie belki jednostronnie nieskończenie długiej, określono H ze wzoru (39) i, podstawiwszy wiadome $\triangle$ i H do wzoru (38) przy $i = 16$, porównywano $\triangle_{16}$ z przesunięciem jednostkowym podpory 16 (podkład 3) według spostrzeżenia.

Rozpatrując szynę w drugim założeniu jako ogniwo pojedyncze na 19 podporach, nie związane w końcach z szynami sąsiednimi, określono współczynnik H, odpowiadający zaobserwowanemu przesunięciu jednostkowemu $\triangle$ podpory 0′, przy pomocy wzoru (31) (str. 119), posługując się ze względu na zawiły kształt tego wzoru metodą prób.

Otrzymaną wartość H podstawiono do trzeciego wzoru (33) i znaleziono stąd przesunięcie jednostkowe $\triangle_{16}$, które mogło być porównane, podobnie jak poprzednio, z przesunięciem rzeczywistym, zaobserwowanym współcześnie z $\triangle$.

TABLICA XLV.

Przesunięcia poziome podkładów według spostrzeżeń i według obliczenia.

Praca szyny	Przesunięcie jednostkowe podpory 0′ $\triangle'_0$ cm/t	H t/cm	Przesunięcie jednostkowe podpory 16 $\triangle_{16}$ cm/t
Spostrzeżenia	$6{,}585 \cdot 10^{-3}$	—	$1{,}524 \cdot 10^{-3}$
Szyna jako belka na 19-u podporach	$6{,}585 \cdot 10^{-3}$	14,62	$2{,}215 \cdot 10^{-3}$
Szyna jako belka nieskończenie długa	$6{,}585 \cdot 10^{-3}$	13,185	$1{,}407 \cdot 10^{-3}$

W tablicy XLV podano zestawienie, obejmujące przesunięcie jednostkowe podpory 0′ i współczesne mu przesunięcie jednostkowe podpory 16, otrzymane ze spostrzeżeń pod działaniem siły osiowej $Q = 12{,}27\ t$, oraz przesunięcia podpory 16, obliczone w obu powyższych założeniach na podstawie zaobserwowanego przesunięcia $\triangle_0'$. Porównanie obliczonych przesunięć podpory 16 z jej przesunięciem rzeczywistym pozwala stwierdzić, że szyny dobrze połączone łubkami w złączach zachowują się co do przesunięć osiowych podpór w przybliżeniu tak, jak gdyby tworzyły belkę ciągłą nieskończenie długą.

5. Linia wpływu przesunięć szyny podległej jednej sile osiowej.

a. Szyna nieskończenie długa.

Wobec wyników doświadczenia, opisanego w ustępie poprzednim, określono linię wpływu przesunięć osiowych szyny, uważając ją za belkę obustronnie nieskończenie długą na równoodległych podporach sprężystych, o długości przęsła $a = 73$ cm i współczynniku podparcia osiowego szyny $H = 12{,}52$ t/cm, jako wartości średniej (tabl. XLIII). Przy tym, jak poprzednio:

$$E = 2{,}15 \cdot 10^6\ \text{kg/cm}^2 \qquad A = 54{,}23\ \text{cm}^2.$$

Przesunięcia szyny obliczono dla siły jednostkowej $Q = 1$, uczepionej w środku przęsła $\left(\alpha = \beta = \frac{1}{2}\right)$. Na zasadzie wzajemności, przesunięcia te dają rzędne linii wpływu przesunięć osiowych punktu położonego w środku przęsła.

Ze wzorów ogólnych (26) i (27) $v = w = \infty$ otrzymują się następujące wzory na przesunięcia jednostkowe:

$$\left.\begin{aligned}
\triangle_i &= \frac{-U_i}{QH} = \frac{1}{H} \cdot \frac{1-s}{1+s}(\alpha + \beta s)\, s^i \\
\triangle_i' &= \frac{-U_i'}{QH} = \frac{1}{H} \cdot \frac{1-s}{1+s}(\alpha s + \beta)\, s^i \\
\triangle &= \frac{u}{Q} = \frac{1}{Hs} \cdot \frac{1-s}{1+s}(\alpha s + \beta)(\alpha + \beta s)
\end{aligned}\right\} \qquad (35)$$

Dla $\alpha = \beta = \frac{1}{2}$ będzie:

$$\left.\begin{aligned} \triangle_i = \triangle_i' &= \frac{1}{2H}(1-s)\,s^i \\ \triangle &= \frac{1}{4Hs}(1-s)(1+s) \end{aligned}\right\} \qquad (40)$$

Przesunięcia w przęśle i, $(i+1)$ zmieniają się liniowo od $\triangle_i$ do $\triangle_{i+1}$, w przęśle zaś zerowym 0, 0′ od $\triangle_0$ do $\triangle$ i od $\triangle$ do $\triangle_0' = \triangle_0$. W ten sposób przy pomocy wzorów (40) można wyznaczyć całą linię wpływu.

Wyniki obliczeń podano w tabl. XLVI i na rys. 70.

b. Szyna na 22 podporach.

Biorąc pod uwagę, że złącze nie zawsze jest punktem dość pewnym co do opierania się siłom osiowym, wykonano dodatkowe obliczenie, pozwalające zorientować się co do wpływu na przesunięcia znacznego rozluźnienia śrub i wkrętów złączowych. Obliczono mianowicie przesunięcia szyny, jako belki spoczywającej na 22 równoodległych podporach, obciążonej siłą jednostkową w przęśle środkowym. Przesunięcia te dają na zasadzie wzajemności rzędne linii wpływu przesunięć środka środkowego przęsła szyny z rozluźnionymi łubkami.

Ze wzorów (26) i (27) otrzymuje się:

$$\text{dla } v = w = 10 \qquad \alpha = \beta = \frac{1}{2}$$

i ponieważ

$$\triangle_i = \triangle_i' = -\frac{U_i}{QH}$$

$$\triangle_i = \frac{1}{2H}\cdot\frac{1-s}{1+s}\cdot\frac{1+s+s^{22}+s^{23}}{1-s^{44}}\,(s^i + s^{21-i})$$

Ze wzoru (27), ponieważ $U_i = U_i'$.

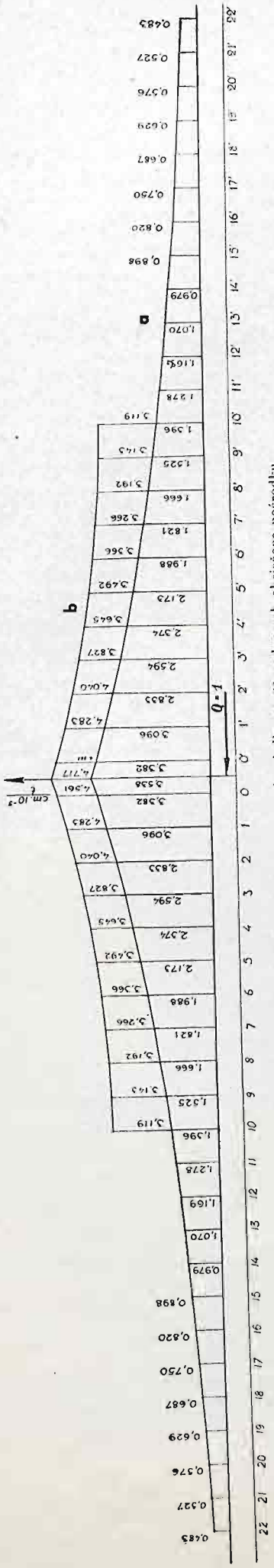
$$Hu = \frac{Qa}{4EA}H - U_0$$

$$\triangle = \frac{a}{4EA} + \triangle_0$$

oznaczając $\vartheta = \frac{1}{2H}\cdot\frac{1-s}{1+s}\cdot\frac{1+s+s^{22}+s^{23}}{1-s^{44}}$

otrzymuje się

$$\left.\begin{aligned} \triangle &= \vartheta\,(1+s^{21}) + \frac{a}{4EA} \\ \triangle_i &= \vartheta\,(s^i + s^{21-i}) \end{aligned}\right\} \qquad (41)$$



a — belka obustronnie nieskończenie długa; *b* — belka na 22 podporach obciążona pośrodku.

Rys. 70. Linie wpływu przesunięć osiowych.

TABLICA XLVI.

Linie wpływu przesunięć osiowych szyny.

$H = 12{,}52$ t/cm. $a = 73$ cm. $E = 2{,}15 \cdot 10^6$ kg/cm². $A = 54{,}23$ cm².

Wielkości pomocnicze

$$s = 1 + \frac{a}{2EA} H - \sqrt{\frac{a}{EA} H + \left(\frac{a}{2EA}\right)^2 H^2} = 0{,}91530$$

s	= 0,91530
s^2	= 0,83775
s^3	= 0,76680
s^4	= 0,70185
s^5	= 0,64240
s^6	= 0,58798
s^7	= 0,53820
s^8	= 0,49260
s^9	= 0,45086
s^{10}	= 0,41267
s^{11}	= 0,37771
s^{12}	= 0,34572
s^{13}	= 0,31642
s^{14}	= 0,28963
s^{15}	= 0,26510
s^{16}	= 0,24264
s^{17}	= 0,22193
s^{18}	= 0,20325
s^{19}	= 0,18606
s^{20}	= 0,17030
s^{21}	= 0,15587
s^{22}	= 0,14267
s^{23}	= 0,13059
s^{44}	= 0,02035
$1 + s$	= 1,91530
$1 - s$	= 0,08470

Szyna nieskończenie długa.

$$\triangle = \frac{1}{4Hs}(1-s)(1+s) = 0{,}003538 \text{ cm/t}$$

$$\triangle_i = \frac{1}{2H}(1-s) \cdot s^i = 0{,}03382 \cdot (0{,}91530)^i$$

$i = 0, 1, 2 \ldots \infty$

Środek przęsła [1] O—O'	Rzędne linii wpływu $\triangle$ = 0,003538
Podpory	
0 albo 0'	$\triangle_0$ = 0,003382
1 „ 1'	$\triangle_1$ = 3096
2 „ 2'	$\triangle_2$ = 2833
3 „ 3'	$\triangle_3$ = 2594
4 „ 4'	$\triangle_4$ = 2374
5 „ 5'	$\triangle_5$ = 2173
6 „ 6'	$\triangle_6$ = 1988
7 „ 7'	$\triangle_7$ = 1821
8 „ 8'	$\triangle_8$ = 1666
9 „ 9'	$\triangle_9$ = 1525
10 „ 10'	$\triangle_{10}$ = 1396
11 „ 11'	$\triangle_{11}$ = 1278
12 „ 12'	$\triangle_{12}$ = 1169
13 „ 13'	$\triangle_{13}$ = 1070
14 „ 14'	$\triangle_{14}$ = 979
15 „ 15'	$\triangle_{15}$ = 898
16 „ 16'	$\triangle_{16}$ = 820
17 „ 17'	$\triangle_{17}$ = 750
18 „ 18'	$\triangle_{18}$ = 687
19 „ 19'	$\triangle_{19}$ = 629
20 „ 20'	$\triangle_{20}$ = 576
21 „ 21'	$\triangle_{21}$ = 527
22 „ 22'	$\triangle_{22}$ = 483

Szyna na 22 równoodległych podporach.

$$\vartheta = \frac{1}{2H} \cdot \frac{1-s}{1+s} \cdot \frac{1+s+s^{22}+s^{23}}{1-s^{44}} = 0{,}0039456 \text{ cm/t}$$

$$\frac{a}{4EA} = 0{,}00015653 \text{ cm/t}$$

$$\triangle = \vartheta(1+s^{21}) + \frac{a}{4EA}$$

$$\triangle_i = \vartheta(s^i + s^{21-i}) \quad i = 1, 2, 3 \ldots 10$$

Środek przęsła O—O'	Rzędne linii wpływu $\triangle$ = 0,004717
Podpory	
0 albo 0'	$\triangle_0$ = 0,004561
1 „ 1'	$\triangle_1$ = 4283
2 „ 2'	$\triangle_2$ = 4040
3 „ 3'	$\triangle_3$ = 3827
4 „ 4'	$\triangle_4$ = 3645
5 „ 5'	$\triangle_5$ = 3492
6 „ 6'	$\triangle_6$ = 3366
7 „ 7'	$\triangle_7$ = 3266
8 „ 8'	$\triangle_8$ = 3192
9 „ 9'	$\triangle_9$ = 3143
10 „ 10'	$\triangle_{10}$ = 3119

[1]) Z nieznacznym błędem dowolny punkt belki nieskończenie długiej.

Wyniki obliczeń na podstawie tych wzorów podano w tabl. XLVI.

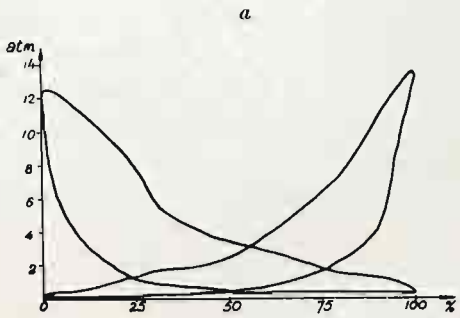
Linia wpływu w tym założeniu pokazana jest również na rys. 70. Ma ona tę właściwość, że odnosi się tylko do środkowych przęseł szyny.

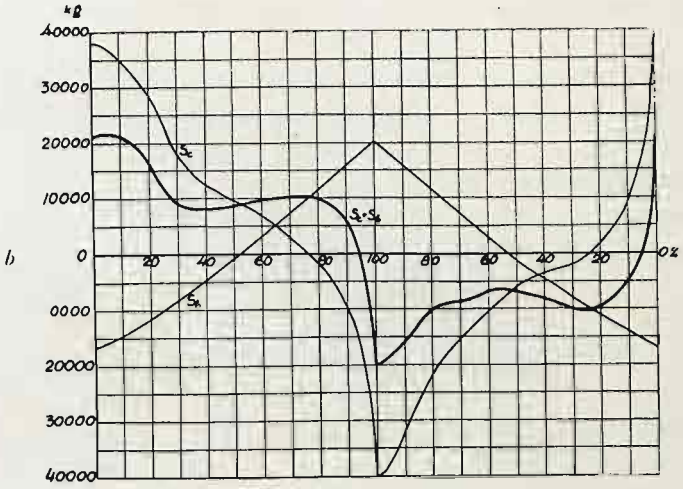
Uzyskane dane doświadczalne i wykonane obliczenia pozwalają wyznaczyć bądź przesunięcia osiowe, odpowiadające siłom stycznym na obwodzie kół napędnych parowozów, przy których ruchu były robione spostrzeżenia, w celu porównania ich z przesunięciami zaobserwowanymi, bądź siły styczne, odpowiadające przesunięciom zaobserwowanym w celu porównania ich z siłami stycznymi, jakie dają te parowozy. Dla wyjaśnienia badanego zjawiska sprężystych przesunięć podłużnych szyny, zastosowano obie wymienione metody porównania, opierając się na danych co do pracy parowozów typów Ok 22 i Pt 31.

6. Wykres przesunięć według sił stycznych.

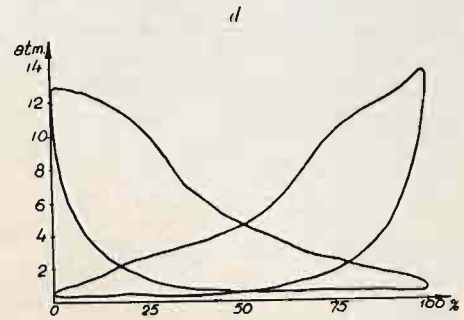
Podczas spostrzeżeń parowóz Pt 31 prowadził pociąg ciężaru 300 t z szybkością jednostajną przy napełnieniu cylindrów, wynoszącym około 30%. Siła pociągowa i jej zmienność w ciągu obrotu kół napędnych mogła być określona dość dokładnie z wykresów indykatora, odpowiadających danemu napełnieniu.

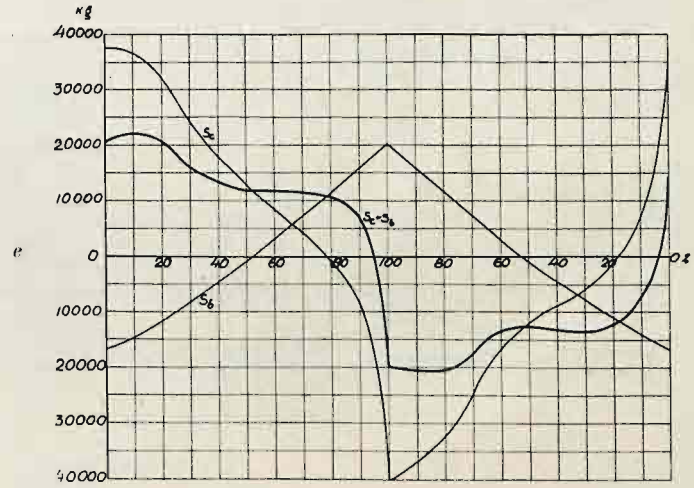
Parowóz Pt 31 (Mikado 1-4-1)
napełnienie $\varepsilon = 0{,}27$
$V = 100$ km/h

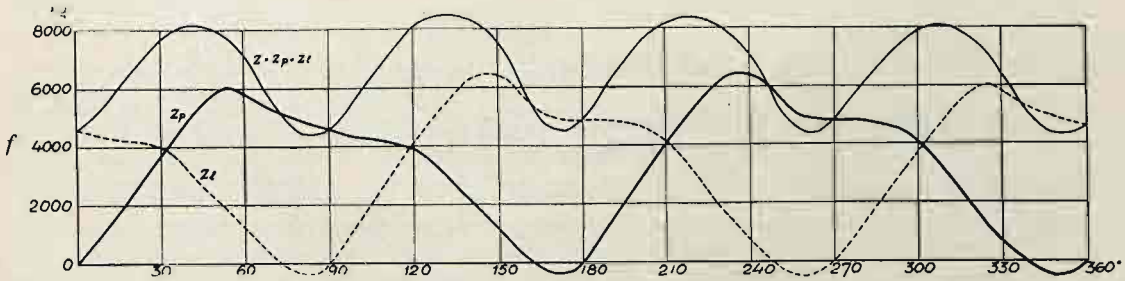




Parowóz Pt 31 [illegible]
napełnienie $\varepsilon = 0{,}38$
$V = 100$ km/h







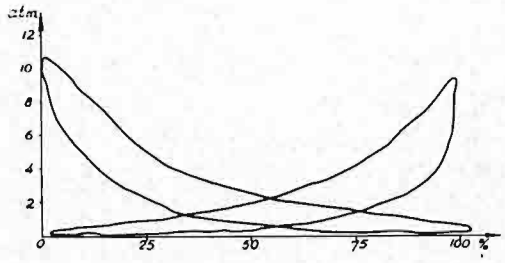
a, *d* — wykresy indykatora;
c, *f* — wykresy siły pociągowej na obwodzie kół napędnych;
b, *e* — wykresy sił napędnych na krzyżulcu.

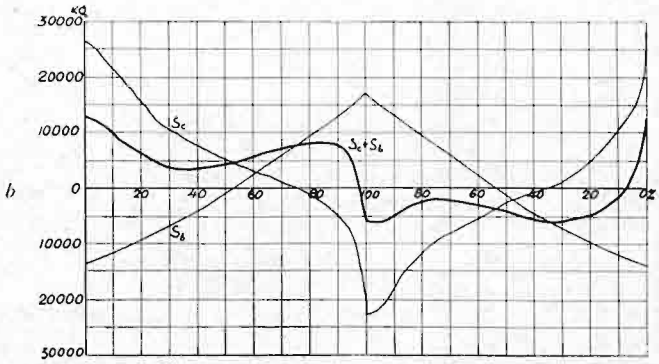
S_c — nacisk pary;
S_b — siła bezwładności mas niezrównoważonych;
Z_p, Z_l — siła pociągowa prawego i lewego cylindra;
Z — siła pociągowa.

Rys. 71. Wykresy siły pociągowej według wykresów indykatora.

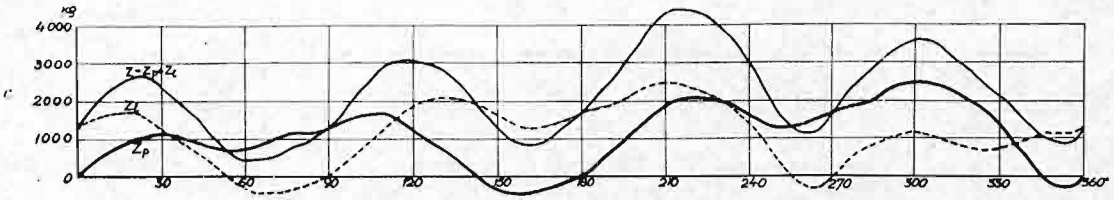
Parowóz Ok 22 (Ten wheel 2-3-0)
napełnienie $\varepsilon = 0{,}2$
$V = 100$ km/h

a





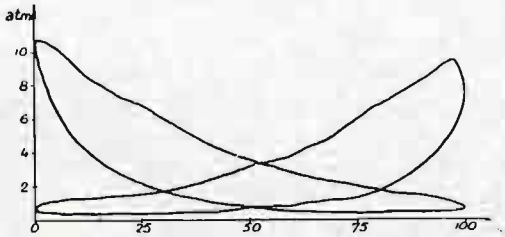
b

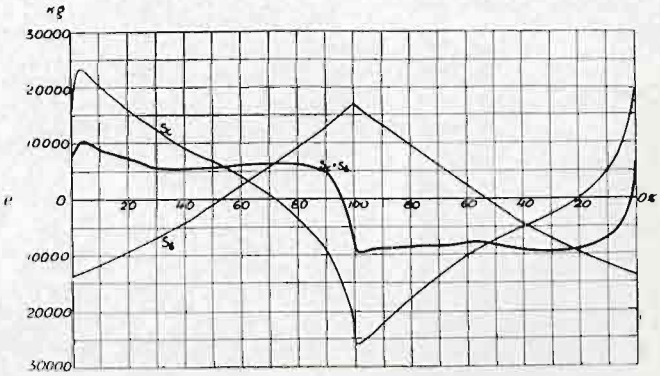


c

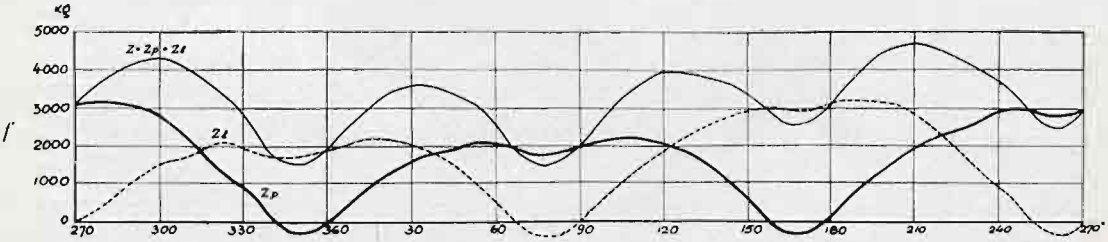
Parowóz Ok 22 (Ten wheel 2-3-0)
napełnienie $\varepsilon = 0{,}3$
$V = 100$ km/h

d





e



f

a, *d* — wykresy indykatora;
c, *f* — wykresy siły pociągowej na obwodzie kół napędnych;
b, *e* — „ „ sił napędnych na krzyżulcu.

S_c — nacisk pary;
S_b — siła bezwładności mas niezrównoważonych;
Z_p, Z_l — siła pociągowa prawego i lewego cylindra;
Z — siła pociągowa.

Rys. 72. Wykresy siły pociągowej według wykresów indykatora.

Te obliczenia [1]) wykonano dla dwóch parowozów Pt 31 i Ok 22 i ich wyniki podane są na wykresach (rys. 71 i 72).

Na podstawie tych danych, oraz linii wpływu przesunięć osiowych szyny (rys. 73a), rozpatrywanej jako belka obustronnie nieskończenie długa, sporządzono wykres teoretyczny przesunięć osiowych (rys. 73 d) pod parowozem Pt 31, poruszającym się z szybkością $V = 100$ km/h przy napełnieniu $\varepsilon = 27\%$ [2]). Przy tym wzięto pod uwagę zmienność siły stycznej na obwodzie kół napędnych wyłącznie pod działaniem cylindra, położonego z prawej strony parowozu, w przypuszczeniu, że siła drugiego cylindra przenosi się na tę stronę w nieznacznej tylko części za pośrednictwem osi, która podlega skręcaniu.

7. Wykres sił stycznych i średnia siła pociągowa według przesunięć.

Oznaczając siłę pociągową jednego cylindra, równą sumie sił stycznych na obwodzie n kół napędnych z jednej strony parowozu, przez Z_p, sumę zaś przesunięć jednostkowych, wywołanych przez te siły w punkcie x szyny, przez $\Sigma \Delta_x$, otrzymuje się przesu-

---

[1]) Z wykresu indykatora określano nacisk pary S_c dla każdego położenia tłoka według wzoru:

$$S_c = p_0' \frac{\pi}{4} (d^2 - d_2^2) - p_0'' \frac{\pi}{4} (d^2 - d_1^2)$$

p_0', p_0'' — ciśnienie pary od strony krzyżulca i z przeciwnej strony;
d — średnica tłoka;
d_2, d_1 — średnice drąga tłoka.

Do nacisku pary S_c dodawano składową poziomą S_b bezwładności mas niezrównoważonych, będących w ruchu postępowo powrotnym, według wzoru

$$S_b = \frac{Q}{g} r \omega^2 \left(\cos \alpha + \frac{r}{l} \cos 2 \alpha\right)$$

Q — ciężar mas niezrównoważonych w ruchu postępowym,
g — 9,81 m/sek^2,
ω — prędkość kątowa koła napędnego,
α — kąt korby,
r — ramię korby,
l — długość drąga korbowego.

Otrzymaną sumę sił $S_c + S_b$ sprowadzano do obwodu koła mnożąc przez

$$\frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \cdot \frac{r}{R}$$

Stąd siła pociągowa jednego cylindra Z_p, mierzona na obwodzie kół napędnych:

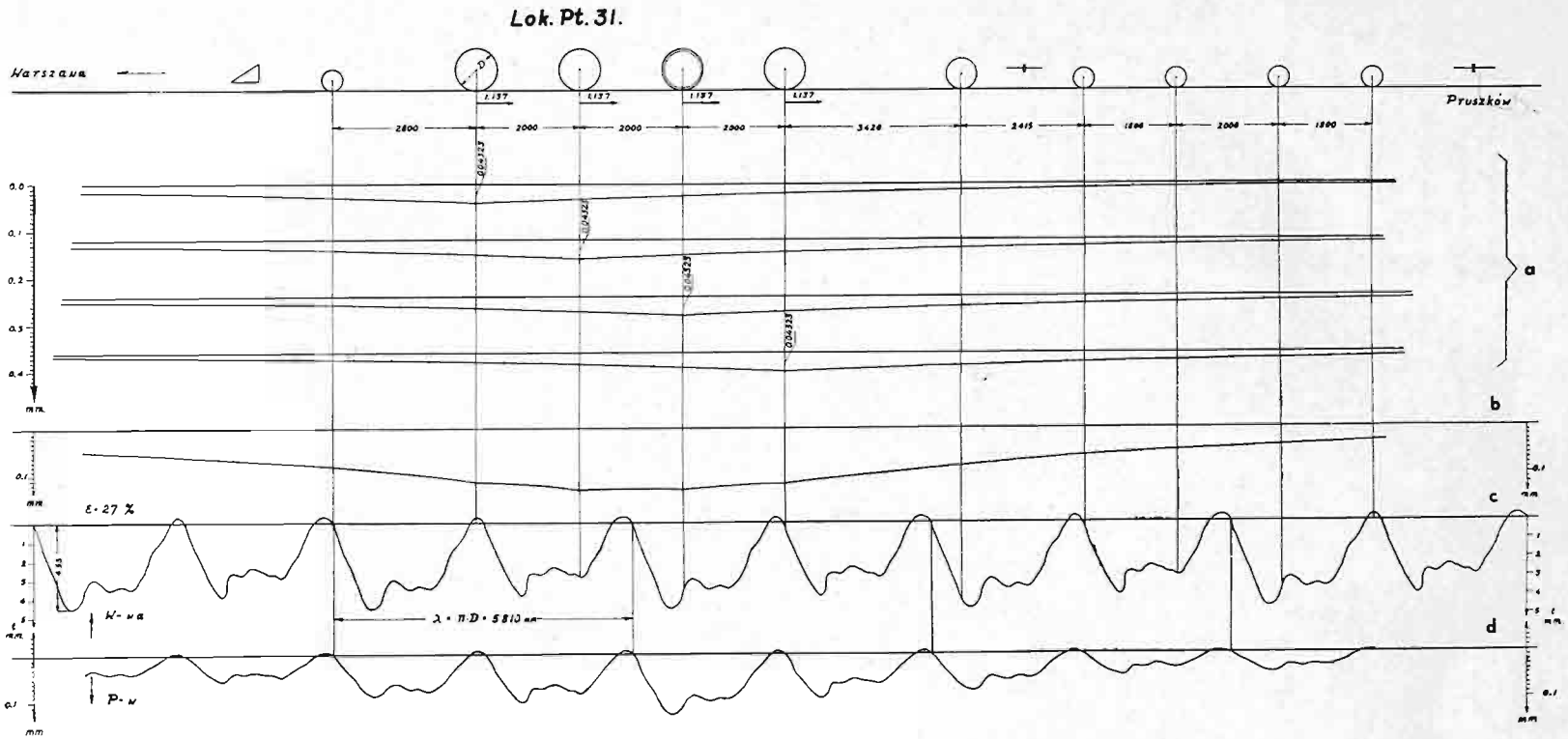
$$Z_p = \frac{(S_c + S_b) \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta} \cdot \frac{r}{R}$$

β — kąt korbowodu,
R — promień koła napędnego.

Wykres zmienności całkowitej siły pociągowej otrzymywano przesuwając względem siebie wykresy siły pociągowej obu cylindrów o $^1/_4$ obrotu koła.

Okres zmienności siły pociągowej w jednostkach długości przebieganego toru, równy obwodowi koła napędnego, wynosi: w parowozie Pt 31 5810 mm, w parowozie Ok 22 5500 mm.

[2]) Początkowo założono, że siła pociągowa Z_p jednego cylindra parowozu, rozłożona równomiernie na wszystkie koła napędne danej strony parowozu, jest niezmienna i równa maksimum znalezionemu z wykresu rys. 73 c. Znalazłszy następnie przy pomocy linii wpływu wykres ruchów osiowych środka jednego z przęseł szyny, wywołanych układem tych sił, posuwającym się wzdłuż szyny (rys. 73 a i b), wprowadzono zmienność siły pociągowej Z_p zgodnie z rys. 73 c. W tym celu wyrysowano pod wykresem b w odpowiedniej skali wykres zmienności c i, mnożąc kolejne rzędne wykresu b przez stosunek odpowiedniej rzędnej bieżącej wykresu c do rzędnej największej, otrzymano wykres przesunięć osiowych punktu szyny, odpowiadającej warunkom podanym na wstępie.



Rys. 73. Wykres przesunięć osiowych według sił stycznych na obwodzie kół napędnych.

a. Wykresy przesunięć osiowych wywoływanych przez oddzielne koła napędne parowozu pod działaniem największej siły pociągowej

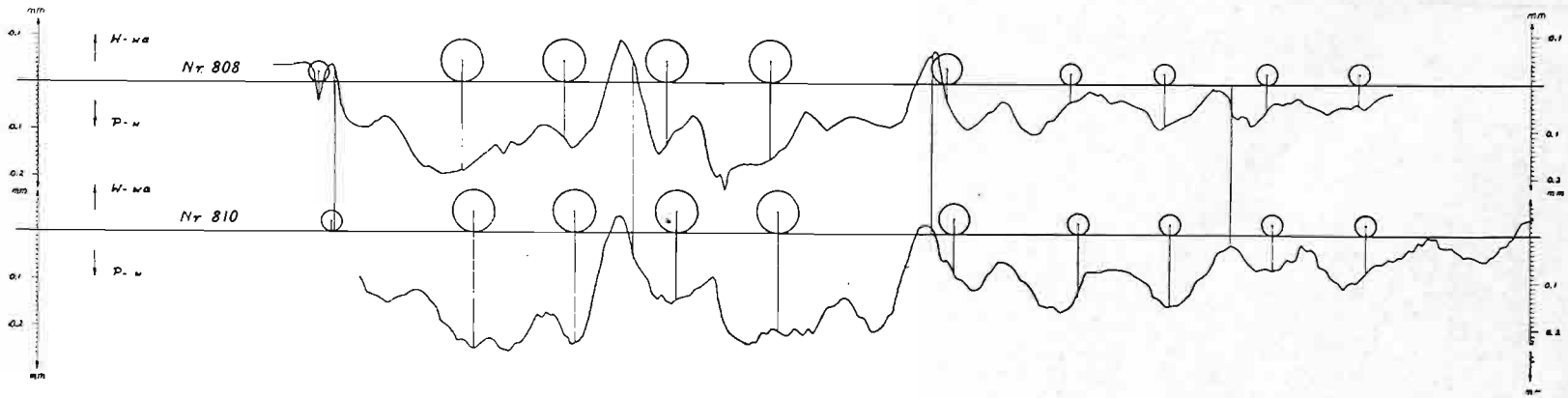
$$Z = 4{,}55\,t$$

b. Wykres sumaryczny z 4-ch wykresów poprzednich

c. Wykres siły pociągowej przy $\varepsilon = 27\%$ i $V = 100$ km/h według indykatora

d. Wykres przesunięć osiowych według *b* z uwzględnieniem zmienności siły pociągowej według *c*

$$u_d = u_b \frac{Z_x}{Z_{max}}$$



Rys. 74. Wykresy przesunięć osiowych według spostrzeżeń.

a. Wykres przesunięć osiowych wedł. zdj. nr 808 z dn. 26.VII.34; parowóz Pt 31, $V = 65$ km/g.

b. Wykres przesunięć osiowych wedł. zdj. nr 810 z dn. 26.VII.34; parowóz Pt 31, $V = 34$ km/g

nięcie osiowe punktu x w założeniu równomiernego rozkładu siły Z_p na wszystkie koła napędne:

$$u_x = \frac{Z_p}{n} \Sigma \triangle_x$$

stąd

$$Z_p = \frac{n\, u_x}{\Sigma \triangle_x} \tag{42}$$

Współczynnik $\Sigma \triangle_x$ można łatwo wyznaczyć w każdym położeniu parowozu, sumując rzędne linij wpływu, przesuniętych wzajemnie na odległości kół napędnych; mając zaś $\Sigma \triangle_x$ oraz przesunięcia u_x ze spostrzeżeń, można wyznaczyć ze wzoru (42) siłę pociągową Z_p, odpowiadającą każdemu położeniu parowozu.

Obserwacje, z których otrzymano wykresy przesunięć osiowych u_x, robione były podczas ruchu pociągów doświadczalnych, prowadzonych parowozami typu Ok 22 i Pt 31. Obserwowano punkty położone na osi obojętnej szyny i ze zdjęć ich ruchów osiowych, odczytanych z wielką dokładnością na komparatorze, sporządzono wykresy tych ruchów. Na rys. 74 podano dwa wykresy przesunięć przy przejściu parowozu Pt 31. Na podstawie jednego z tych wykresów (nr 808 rys. 75 a), otrzymanego przy przejściu parowozu z szybkością 65 km/godz. sporządzono na rys. 75 c odpowiadający mu wykres sumy Q sił stycznych na obwodzie kół napędnych, czyli wykres siły pociągowej Z_p [1]).

Dla dokładniejszego porównania znalezionej siły Q z rzeczywistą siłą pociągową Z parowozu, określono na wykresie 75 c średnią siłę Q na długości trzech okresów jej zmienności $\lambda = \pi d$, które odpowiadają zupełnie dokładnie okresom, zaznaczającym się na zdjęciach.

Otrzymano

$$Q_s = \frac{\int_0^{3\lambda} Q\, d\lambda}{3\lambda} = 3{,}65\ t.$$

Domniemana średnia siła pociągowa całego parowozu w chwili przejścia przez posterunek będzie miała wielkość

$$Z = 2\, Q_s = 7{,}3\ t.$$

---

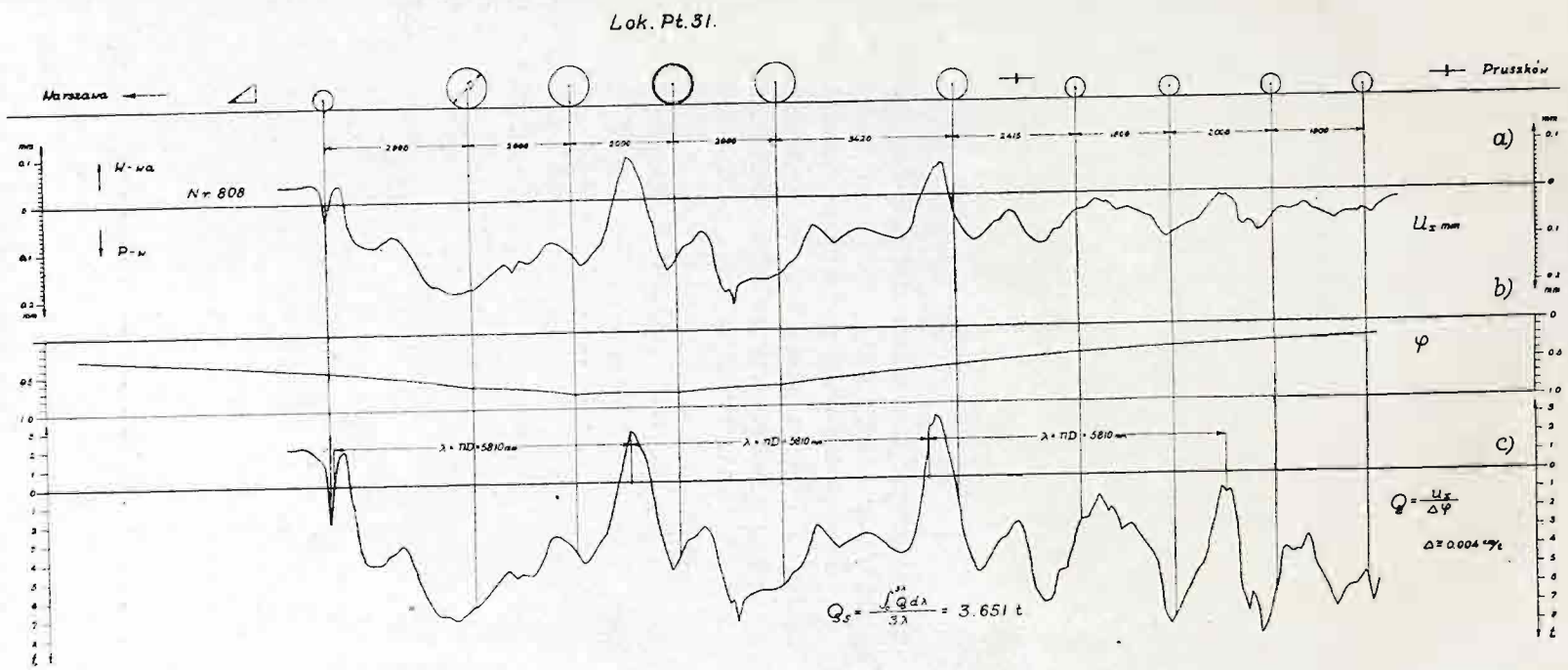
[1]) Przy sporządzaniu wykresu sumy sił stycznych na obwodzie kół napędnych korzystano z wzoru (42) przekształconego w postaci:

$$Z_p = \frac{u_x}{\triangle \cdot \frac{\Sigma \triangle_x}{n \triangle}} = \frac{u_x}{\triangle\, \varphi} \tag{42 a}$$

Wykres współczynnika $\varphi = \frac{\Sigma \triangle_x}{n \triangle}$ (rys. 75 b) otrzymano z wykresu rys. 73 b, przyjmując w nim rzędną $4\, u =$ $= 4 \times 0{,}04323$ mm $= 0{,}17292$ mm za jednostkę $\frac{\Sigma \triangle_x}{n \triangle} = \frac{u_x}{n\, u} = \frac{u_x \text{ mm}}{0{,}17292 \text{ mm}}$.

Wykres współczynnika φ, również jak wykres 73 b, odpowiada założeniu belki obustronnie nieskończenie długiej. Biorąc pod uwagę, że założenie to jest niezupełnie ścisłe i uwzględniając pewien wpływ złączy, przyjęto we wzorze (42 a) $\triangle = 0{,}004$ cm/t, jako przybliżenie średnią z dwóch wartości: $\triangle = 0{,}00354$ cm/t, odpowiadającej belce nieskończenie długiej i $\triangle = 0{,}00472$ cm/t w przypadku zupełnego rozluźnienia złącz przy tymże $H = 12{,}52$ t. Wykres φ uzgodniono z wykresem ruchów osiowych „b" według czasu przejścia kół, zaznaczonego na zdjęciu, po czym wyznaczono siłę $Q = Z_p$, podstawiając rzędne obu wykresów do wzoru:

$$Q = \frac{u_x \text{ mm}}{0{,}04 \text{ mm/t}}$$

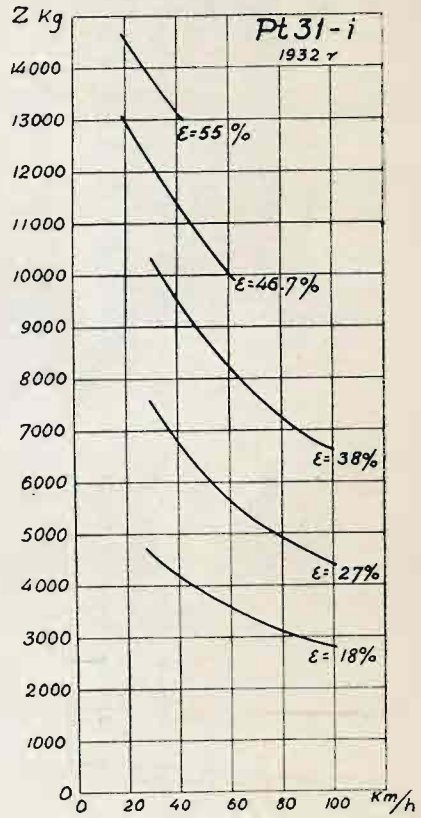


a. Wykres przesunięć osiowych według zdjęcia nr 808 z dn. 26.VII.1934. Parowóz Pt 31. $V = 65$ km/h.

b. Wykres współczynnika $\varphi = \frac{\Sigma \Delta_x}{n\Delta}$

c. Wykres siły osiowej według (*a*) w założeniu równomiernego jej rozkładu na koła napędne.

Rys. 75. Wykres teoretyczny siły pociągowej z zaobserwowanych przesunięć osiowych.



Rys. 76. Zmienność średniej siły pociągowej w zależności od szybkości i napełnienia.

Według wykresu zmienności średniej siły pociągowej parowozu Pt 31 w zależności od szybkości i napełnienia (rys. 76), otrzymanego na podstawie osobnych badań doświadczalnych, sile pociągowej 7.3 t i szybkości 65 km/godz. odpowiada napełnienie $\varepsilon = 36\%$. Podczas jazd próbnych przy pomiarze przesunięć osiowych szyn napełnienia takie były istotnie stosowane.

8. Porównanie wyników.

Porównanie wykresów zaobserwowanych przesunięć podłużnych szyny i wykresów siły, która je wywołała, określonej doświadczalnie, z wykresami siły pociągowej parowozu i jej działania na szynę jako belkę na podporach sprężystych, obciążoną osiowo, ujawnia w obu grupach wykresów, pomimo pewnych różnic w szczegółach, jednakowy charakter zmienności i podobną jej okresowość. Wielkość przesunięć osiowych, wyznaczonych teoretycznie, nie różniąca się co do rzędu od przesunięć zaobserwowanych, oraz wielkość siły pociągowej według przesunięć, dobrze odpowiadająca sile, jaką rozwijał parowóz próbny podczas ich pomiaru, świadczą o słuszności rozważań teoretycznych i wzorów na nich opartych, co pozwoli stosować je przy badaniu innych zjawisk, związanych z ruchami podłużnymi szyn.

9. Naprężenia wywołane siłami osiowymi.

Naprężenia wywołane siłami osiowymi w belce na równoodległych podporach sprężystych określają wzory:

w przęśle $i-1$, i: $$N_i = \frac{-U_i + U_{i-1}}{m A}$$

w przęśle $i'-1$, i': $$N_i' = \frac{+U_i' - U_{i-1}'}{m A}$$

w przęśle zaś zerowym

na odcinku O, q: $$N_0 = \frac{-U_1 + U_0}{m A} + \frac{U_0}{A}$$

na odcinku q, O': $$N_0' = \frac{-U_0' + U_1'}{m A} - \frac{U_0'}{A}$$

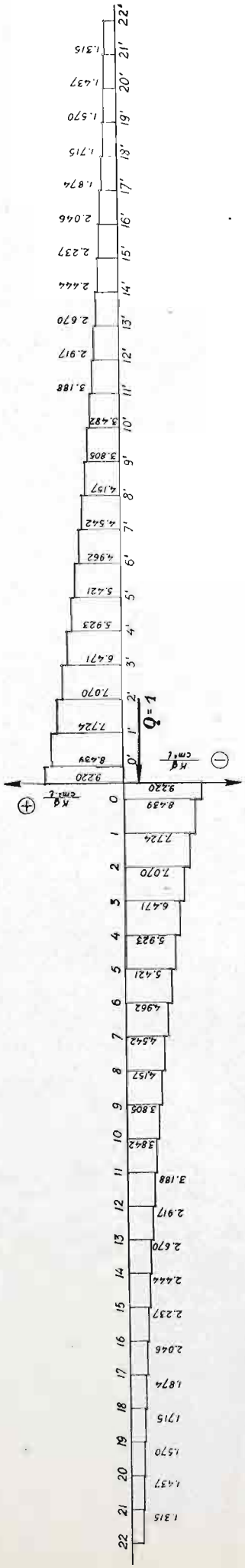
W belce obustronnie nieskończenie długiej wzory te przybierają postać:

w przęśle $i-1$, i: $$N_i = -\frac{Q}{A} \cdot \frac{\alpha + \beta s}{1 + s} \cdot s^i$$

w przęśle $i'-1$, i': $$N_i' = +\frac{Q}{A} \cdot \frac{\alpha s + \beta}{1 + s} \cdot s^i$$

na odcinku O, q przęsła O, O': $$N_0 = -\frac{Q}{A} \cdot \frac{\alpha + \beta s}{1 + s}$$

na odcinku q, O' przęsła O, O': $$N_0' = +\frac{Q}{A} \cdot \frac{\alpha s + \beta}{1 + s} = N_0 + \frac{Q}{A}$$



Rys. 77. Linia wpływu naprężeń wywołanych siłą osiową.

jeżeli $\alpha = \beta = \frac{1}{2}$

$$N_i = -\frac{Q}{2A} \cdot s^i$$

$$i = o \ldots \infty \qquad (43)$$

$$N_i' = +\frac{Q}{2A} \cdot s^i$$

Na podstawie wzorów (43) można wyznaczyć rzędne linii wpływu naprężeń podobnie jak linii wpływu przesunięć. Wartości tych rzędnych podane są w tablicy XLVII, linia zaś wpływu naprężeń pokazana jest na rysunku 77.

Jak wskazuje wykres, naprężenia w szynach, wywołane siłami stycznymi do obwodu koła, nie przewyższają 10 kg/cm² i tonnę siły osiowej i jako bardzo małe mogą być w większości przypadków pominięte.

TABLICA XLVII.

Linia wpływu naprężeń w środku jednego z przęseł szyny nieskończenie długiej [1]).

Przęsło	Rzędne linii wpływu kg/cm²
Odcinek q, 0' przęsła zerowego	$N_0' = 9{,}220$
0', 1'	$N_1' = 8{,}439$
1', 2'	$N_2' = 7{,}724$
2', 3'	$N_3' = 7{,}070$
3', 4'	$N_4' = 6{,}471$
4', 5'	$N_5' = 5{,}923$
5', 6'	$N_6' = 5{,}421$
6', 7'	$N_7' = 4{,}962$
7', 8'	$N_8' = 4{,}542$
8', 9'	$N_9' = 4{,}157$
9', 10'	$N_{10}' = 3{,}805$
10', 11'	$N_{11}' = 3{,}482$
11', 12'	$N_{12}' = 3{,}188$
12', 13'	$N_{13}' = 2{,}917$
13', 14'	$N_{14}' = 2{,}670$
14', 15'	$N_{15}' = 2{,}444$
15', 16'	$N_{16}' = 2{,}237$
16', 17'	$N_{17}' = 2{,}046$
17', 18'	$N_{18}' = 1{,}874$
18', 19'	$N_{19}' = 1{,}715$
19', 20'	$N_{20}' = 1{,}570$
20', 21'	$N_{21}' = 1{,}437$
21', 22'	$N_{22}' = 1{,}315$

[1]) Z nieznacznym błędem, w dowolnym punkcie szyny nieskończenie długiej.

$A = 54{,}23$ cm² $\quad \frac{1}{2A} = 0{,}0092200 \frac{1}{\text{cm}^2} \quad s = 0{,}91530$

N_i naprężenie w przęśle $i-1$, i

N_i' „ „ „ $i'-1$, i'

$N_i' = -N_i = +\frac{Q}{2A} s^i$ | — naprężenie ściskające / + „ rozciągające

Siła $Q = 1$. $\quad i = 0, 1, 2 \ldots \infty$

10. Wnioski.

Wyniki badań nad ruchami podłużnymi szyn pozwalają stwierdzić co następuje:

1. Siły osiowe, działające na szynę wskutek przyczepności kół napędnych parowozu, powodują oddziaływanie sprężyste szyny i jej podpór w kierunku osi toru; wynika stąd, że wahania siły pociągowej wywołują sprężyste wahania osiowe szyn i ich podpór.
2. Zaobserwowane wahania osiowe szyny, które miały okres odpowiadający okresowi wahań ciśnienia pary w jednym cylindrze, zdają się świadczyć, że cylinder położony z drugiej strony parowozu, nie ma znacznego wpływu na wahania osiowe szyny przeciwległej.
3. Współczynnik podparcia szyny w kierunku osi toru, otrzymany ze spostrzeżeń: $H = 12{,}5$ t/cm jest bliski co do wartości do współczynnika D podparcia szyny w kierunku pionowym.
4. Pod działaniem sił osiowych, szyny ułożone w torze zachowują się jak belki na nieskończenie wielu podporach sprężystych.
5. Naprężenia w szynach, wywołane siłami stycznymi do obwodu koła, nie przewyższają 10 kg/cm² i tonę siły osiowej.

VI. Streszczenie.

Badania doświadczalne nad odkształceniami sprężystymi nawierzchni kolejowej i naprężeniami w szynach, opisane powyżej, podjęto w celu porównania wpływu na nawierzchnię parowozów pośpiesznych kilku współczesnych typów, przeznaczonych do prowadzenia ciężkich pociągów pasażerskich. Ulepszona metoda fotograficzna, zastosowana do zdjęcia przesunięć wybranych punktów w różnych częściach nawierzchni, pozwoliła zmierzyć z wielką dokładnością odkształcenia sprężyste i naprężenia w tych punktach unikając pewnych wad innych znanych metod pomiaru.

Obserwując działanie obciążenia na podpory szyny określono współczynnik podkładów z łącznego osiadania sprężystego podkładów w torze jako też z osiadania oddzielnych podkładów. Stwierdzono wielką różnicę wartości współczynników podłoża, określonych tymi dwiema metodami, i sprawdzono ten wynik stosując do obliczenia teorię sprężystości.

Spostrzeżenia nad osiadaniem sprężystym szyny pod obciążeniem ruchomym uwidoczniły wahania nacisku kół parowozów i tendrów przy szybkościach ruchu, dochodzących do 110 km/godz. i pozwoliły ocenić wpływ na ten nacisk pewnych cech budowy parowozów oraz szybkości. Analiza zmian w nacisku koła, zachodzących periodycznie, jako też wahań własnych kół, resorów i szyny, pozwoliła wyjaśnić zjawiska zaobserwowane przy tych spostrzeżeniach.

Spostrzeżenia jednoczesne naprężeń i osiadania szyny przy różnych szybkościach dały możność ocenić wartość działających na szynę innych sił prócz obciążenia w spoczynku, jako też granice zmienności tych sił, które należy mieć na względzie w obliczeniach nawierzchni. Całość badań nad zmiennością nacisku pionowego kół i nad naprężeniami w różnych punktach przekroju szyny doprowadziła do sformułowania kilku ważnych wskazówek co do budowy parowozów badanych i co do utrzymania ich obręczy mając na względzie zmniejszenie naprężeń w szynach.

Zastosowanie różnych metod obliczenia nawierzchni w przypadku obciążenia, w jakim były prowadzone spostrzeżenia, pozwoliło porównać wyniki obliczeń i ocenić dokładność tych metod.

Podczas obserwacji nad osiadaniem szyny i jej podpór pod obciążeniem ruchomym stwierdzono ich przesunięcia sprężyste w kierunku osi toru, których okresy zmien-

ności odpowiadały zmienności sił stycznych na obwodzie kół napędnych parowoz W przeświadczeniu o ważności szczegółowego zbadania tego zjawiska, porównano wyı spostrzeżeń nad przesunięciami osiowymi z wielkością przesunięć według teorii belki n. podporach sprężystych obciążonej osiowo i określono współczynnik osiowego podparcia szyny.

Wnioski szczegółowe, wypływające z każdej grupy spostrzeżeń, pomieszczono w końcu rozdziałów, które się do nich odnoszą.

Spostrzeżenia, których opis podano, odnoszą się tylko do pewnych zjawisk, mających zasadnicze znaczenie w badaniach nad nawierzchnią, podlegającą działaniu pociągów w ruchu, w obrębie szyny ciągłej w linii prostej poziomej. Sądzono, że wyjaśnienie tych zjawisk, obserwowanych we współczesnych warunkach eksploatacji, ułatwi dalsze badania na gruncie tak obszernym i trudnym.

Praca niniejsza była referowana na posiedzeniach wydziału inżynierskiego Akademii Nauk Technicznych w d. 12, 19 i 24 czerwca 1936 r. oraz na posiedzeniu Rady Technicznej Ministerstwa Komunikacji w d. 28 września 1936 r.

BIBLIOTEKA
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ
Warszawa, Pl. Jedności Robotniczej 1