

5.3171  
Inż. Dr A. WASIUTYŃSKI  
Profesor honorowy Politechniki Warszawskiej

BADANIA NAD ODKSZTAŁCENIAMI SPRĘŻYSTYMI  
NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ I NAPRĘŻENIAMI W SZYNACH  
NA POSTERUNKU DOŚWIADCZALNYM WŁOCHY P. K. P.

1932–1936



NAKŁADEM MINISTERSTWA KOMUNIKACJI  
WARSZAWA – 1937



Inż. Dr A. WASIUTYŃSKI  
Profesor honorowy Politechniki Warszawskiej

BADANIA NAD ODKSZTAŁCENIAMI SPRĘŻYSTYMI  
NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ I NAPRĘŻENIAMI W SZYNACH  
NA POSTERUNKU DOŚWIADCZALNYM WŁOCHY P. K. P.

1932 – 1936

Sprawozdanie złożone Radzie Technicznej Ministerstwa Komunikacji



NAKŁADEM MINISTERSTWA KOMUNIKACJI

WARSZAWA – 1937



BIBLIOTEKA  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ  
Warszawa, Pl. Jedności Robotniczej 1

27947

B. 3171

DRUKARNIA SPOŁECZNA  
WARSZAWA  
PL. GRZYBOWSKI 3/5 TEL. 205-80

BZ06PK/04-26



## T r e ś ć

	Str.
<i>I. Organizacja badań, Metoda i środki techniczne . . . . .</i>	1
1. Organizacja badań . . . . .	1
2. Metoda i zakres badań . . . . .	2
3. Posterunek doświadczalny . . . . .	3
4. Aparaty do badań . . . . .	8
a. Kamera fotograficzna, str. 8. b. Kaseta i napęd błony, str. 11. c. Kontrola czasu, str. 11. d. Skracanie obrazu, str. 12. e. Punkty obserwowane, str. 12. f. Rola obserwatora, str. 14.	
5. Dokładność spostrzeżeń . . . . .	14
a. Stateczność posadowienia aparatów, str. 14. b. Podstawa pomiaru odkształceń na błonach, str. 16. c. Ostrość linii zdjęć fotograficznych, str. 17. d. Dokładność odczytów, str. 17. e. Powiększenia zdjęć, str. 18. f. Stosunek naprężenia największego do naprężeń obserwowanych, str. 18. g. Wpływ temperatury, str. 19.	
<i>II. Współczynnik podłoża . . . . .</i>	19
1. Ważność badań nad współczynnikiem podłoża . . . . .	19
2. Zasady obliczenia współczynnika $D$ podparcia szyny ze spostrzeżeń przy obciążeniu ruchomym	20
3. Obliczenie średniej wartości współczynnika $D$ . . . . .	22
4. Ścisłość podkładów . . . . .	31
5. Współczynnik podparcia podkładów i współczynnik podłoża . . . . .	32
6. Współczynnik podtorza i podsypki . . . . .	34
7. Współczynnik podłoża ze spostrzeżeń nad osiadaniem podkładów pod naciskiem dźwigników	37
8. Osiadanie gruntu pod naciskiem płyty sztywnej . . . . .	42
9. Osiadanie gruntu pod naciskiem kilku płyt sztywnych . . . . .	44
10. Osiadanie gruntu pod naciskiem płyty okrągłej według matematycznej teorii sprężystości .	45
11. Średni współczynnik podłoża przy obciążeniu jednego do pięciu podkładów . . . . .	48
12. Wnioski . . . . .	50
<i>III. Odkształcenia pionowe szyny . . . . .</i>	50
1. Zakres spostrzeżeń i podstawy teoretyczne do oceny ich wyników . . . . .	50
2. Osiadanie szyny w zależności od szybkości i innych przyczyn . . . . .	54
a. Pomiarы wykonane, str. 54. b. Wpływ szybkości jazdy, str. 54. c. Wpływ innych przyczyn prócz szybkości, str. 55.	
3. Oddziaływanie konstrukcji parowozów . . . . .	76
a. Nacisk pary na koła silnikowe, str. 76. b. Nacisk krzyżulca na równoleżniki, str. 77. c. Wahanía resorów, str. 77. d. Zmiany w obciążeniu kół wskutek wahaní resorów, str. 79. e. Nadmiar odciażków, str. 79. f. Masy w ruchu postępowo-powrotnym, str. 83. g. Wahanía koła na szynie wskutek zmienności nacisku koła, str. 83. h. Wpływ na nacisk koła nierówności szyny i wytarcia miejscowego obręczy, str. 85. i. Największa amplituda wahaní resoru, str. 86. k. Drgania własne szyny, str. 86.	
4. Opóźnienie odkształceń pionowych . . . . .	87
5. Wnioski . . . . .	88



	Str.
IV. Naprężenia w szynach . . . . .	90
1. Określenie na wykresach przesunięć zachodzących jednocześnie w kierunkach pionowym i poziomym . . . . .	90
2. Podstawy teoretyczne do oceny wyników spostrzeżeń . . . . .	94
3. Zakres spostrzeżeń . . . . .	94
4. Naprężenia w szynie w zależności od szybkości pociągu . . . . .	100
5. Naprężenia w szynie w zestawieniu z jej osiadaniem . . . . .	100
6. Wnioski . . . . .	112
V. Ruchy podłużne szyny . . . . .	112
1. Przyczyny zjawiska . . . . .	112
2. Spostrzeżenia nad przesunięciami osiowymi szyny pod naciskiem dźwigników hydraulicznych . . . . .	113
3. Określenie współczynnika podparcia osiowego szyny . . . . .	118
a. Szyna na sprężystych podporach, str. 118, b. Szyna zczepiona z podłożem, str. 121.	
4. Oddziaływanie toru kolejowego podlegającego siłom osiowym . . . . .	122
5. Linia wpływu przesunięć szyny podległej jednej sile osiowej . . . . .	124
a. Szyna nieskończenie długa, str. 124. b. Szyna na 22 podporach, str. 125.	
6. Wykres przesunięć według sił stycznych . . . . .	126
7. Wykres sił stycznych i średnia siła pociągowa według przesunięć . . . . .	129
8. Porównanie wyników . . . . .	133
9. Naprężenia wywołane siłami osiowymi . . . . .	133
10. Wnioski . . . . .	135
IV. Streszczenie . . . . .	135



Inż. dr. Aleksander Wasiutyński

## BADANIA DOŚWIADCZALNE NAD ODKSZTAŁCENIAMI SPRĘŻYSTYMI NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ I NAPRĘŻENIAMI W SZYNACH<sup>1)</sup>.

### I. Organizacja badań. Metoda i środki techniczne.

#### 1. Organizacja badań.

Potrzeba prowadzenia na Polskich Kolejach Państwowych ciężkich pociągów pasażerskich z dużą szybkością sprawiła, że w miarę zwiększenia wymagań co do składu pociągów pośpiesznych stosowane do nich parowozy typu 2-3-0 (Ok-22) z naciskiem 17,8 tonn na oś napędną okazały się niedostateczne.

Przy projektowaniu nowych odpowiedniejszych parowozów musiano liczyć się z wytrzymałością nawierzchni i ograniczyć nacisk statyczny na oś do 18,6 tonn. Wynikła stąd potrzeba zastosowania parowozów o 4-ch osiach sprzężonych. Początkowo zaprojektowano i wykonano do wypróbowania kilka sztuk parowozów z układem osi 2-4-1 (Pu-29). Wkrótce potem zbudowano kilka parowozów nieco lżejszych typu 1-4-1 (Pt-31). Porównanie tych dwóch nowych typów parowozów ze sobą i z dawniejszym typem pod względem siły pociągowej i mocy, zużycia pary, spokoju jazdy, jako też pod względem oddziaływania na tor kolejowy, stało się niezbędne przed wyborem najodpowiedniejszego typu parowozu pośpiesznego do dalszych zamówień.

Do badań nad pracą parowozów Polskie Koleje Państwowe posiadają wagon dynamometryczny, opatrzony wszystkimi najnowszymi urządzeniami i te badania, już przedtem stale prowadzone<sup>2)</sup>, były rozciągnięte również na nowobudowane parowozy.

Co się zaś tyczy oddziaływania parowozów na tor kolejowy, to przy jego ocenie dla określenia stateczności i wytrzymałości nawierzchni posługiwano się na Polskich Kolejach Państwowych obliczeniami teoretycznymi i wynikami badań doświadczalnych przeprowadzonych w latach 1897 i 1898 na drodze żelaznej Warszawsko-Wiedeńskiej.

Teoria odkształceń i naprężeń w szynach, ich połączeniach i podkładach pod działaniem statycznym sił pionowych została już szczegółowo wyłożona w licznych pracach Winkler'a, Schwedler'a, Zimmermann'a, Chołodeckiego, Skibińskiego, Karasińskiego, Hubera i in.

Trudniejsze znacznie zadanie teoretycznego określenia odkształceń i naprężeń w tychże częściach nawierzchni pod działaniem dynamicznym sił pionowych traktowane było wyczerpująco już przed dwudziestu kilku laty przez Pietrowa i Flamache'a, a póź-

<sup>1)</sup> Por. Recherches expérimentales sur les déformations élastiques et le travail de la superstructure des chemins de fer par Alexandre Wasiutyński. Annales de l'Académie des Sciences Techniques à Varsovie, tome IV, Paris 1936, chez Dunod.

<sup>2)</sup> Por. artykuł prof. Czeżotta p. t. Exposé de la méthode d'essai des locomotives en usage sur les chemins de fer de l'Etat polonais. Bulletin de l'Association internationale du Congrès des chemins de fer 1930 p. 2387.



niej przez Timoszenkę i Sallera. Jednakże ci sami badacze, stawiając teorię dynamicznego działania różnych sił pionowych, uskarżali się na brak danych doświadczalnych, które by potwierdziły słuszość teoretycznych założeń.

Jeżeli zwrócić się do odkształceń i naprężeń w nawierzchni od sił poziomych poprzecznych i osiowych i od sił skręcających, to tu brak danych teoretycznych i doświadczalnych daje się daleko więcej odczuwać. Przypuszczano naogół, że przewaga sił pionowych jest tak wielka, że innych sił można nie przyjmować w rachubę. Jednakże brak jest potwierdzenia słuszości tego przypuszczenia w drodze bezpośrednich spostrzeżeń.

Jak widać z powyższego, największe wątpliwości w obliczeniach, dotyczących nawierzchni kolejowej, wynikają wskutek braku ścisłych spostrzeżeń nader złożonych zjawisk, zachodzących w nawierzchni pod działaniem pociągów będących w ruchu. Ten stan rzeczy i wynikające stąd rozbieżności w obliczeniach, dotyczących stateczności i wytrzymałości nawierzchni, ujawniają rozprawy ostatniej sesji Kongresu Międzynarodowego Dróg Żelaznych z r. 1933 w Kairze, który, rozpatrując sprawę wzajemnego stosunku taboru i toru dla zapewnienia bezpieczeństwa przy dużych szybkościach, powziął następującą uchwałę co do wytrzymałości nawierzchni: „Określenie wytrzymałości toru kolejowego ma przeważnie charakter doświadczalny. Należy popierać badania prowadzone na niektórych sieciach kolejowych i zwracać baczną uwagę na ich wyniki”.

Okoliczności wymienione wyżej skłoniły piszącego te słowa do zwrócenia się w początku r. 1932 do Rady Technicznej Ministerstwa Komunikacji z przedstawieniem o potrzebie zorganizowania badań nad zachowaniem się nawierzchni w nowych warunkach ruchu pociągów, prowadzonych ciężkimi parowozami pośpiesznymi, na wzór badań, jakie były prowadzone na drodze żelaznej Warszawsko-Wiedeńskiej<sup>1)</sup>. Wniosek ten, poparty przez Radę Techniczną, uzyskał zatwierdzenie Ministra Komunikacji i z wiosną r. 1932 przystąpiono do urządzenia w tym celu posterunku doświadczalnego w bliskości przystanku Włochy odcinka Warszawa — Skierniewice.

Kierownictwo badań poruczono autorowi niniejszej pracy, który większość czasu korzystał z pomocy inżynierów: Bohdana Lubińskiego i Stanisława Zelenta, czasowo zaś innych jeszcze ze swoich byłych i współczesnych słuchaczy w Politechnice Warszawskiej. W szczególności wykonali obliczenia, tablice i wykresy: inż. Lubiński — dotyczące podłoża podkładów i przesunięć osiowych, i inż. Zelent — dotyczące pionowego osiadania szyn i naprężeń w szynach.

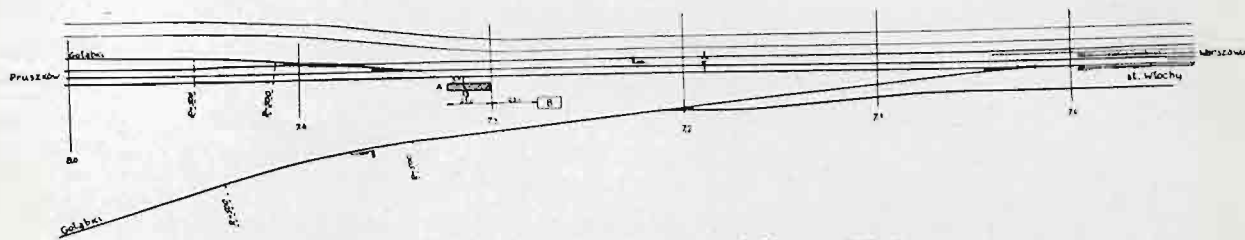
## 2. Metoda i zakres badań.

Metoda badania sprężystych odkształceń nawierzchni za pomocą zdjęć fotograficznych, zastosowana 55 lat przedtem na dr. żel. Warszawsko-Wiedeńskiej, wymaga urządzenia przy torze badanym głębokich fundamentów, odosobnionych od wstrząśnień przyległego gruntu. Jest to niewątpliwie ujemna cecha tej metody, ograniczająca badania do niewielkiego odcinka i do toru określonego kształtu i konstrukcji, jaki się na tym odcinku znajduje. Z drugiej strony jednak fotograficzne zdjęcie odkształceń posiada tę nieocenioną zaletę, że pozwala uniknąć w spostrzeżeniach błędów, wynikających z ruchów traconych i przyspieszeń mas w częściach aparatów odbierających, przekazujących i powtarzających, odkształcenia obserwowane, że więc daje wierny obraz zachodzących zjawisk.

W sprawie dynamicznego oddziaływania taboru na nawierzchnię kolejową tak wiele pozostaje do wyjaśnienia, że należy dążyć przede wszystkim do możliwie najdokładniejszego zbadania zjawisk zasadniczych. Oddziaływanie na pewien typ nawierzchni różnych typów taboru, poruszającego się z różną szybkością, daje już dość bogaty materiał do badań, jako też do wniosków nie tylko co do stateczności i wytrzymałości bu-

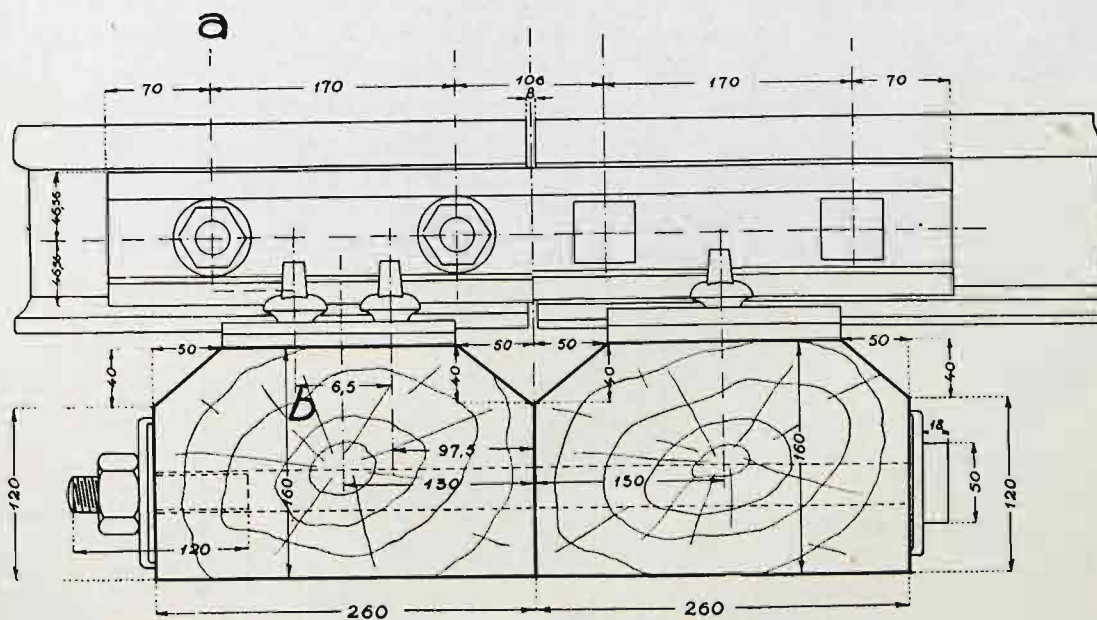
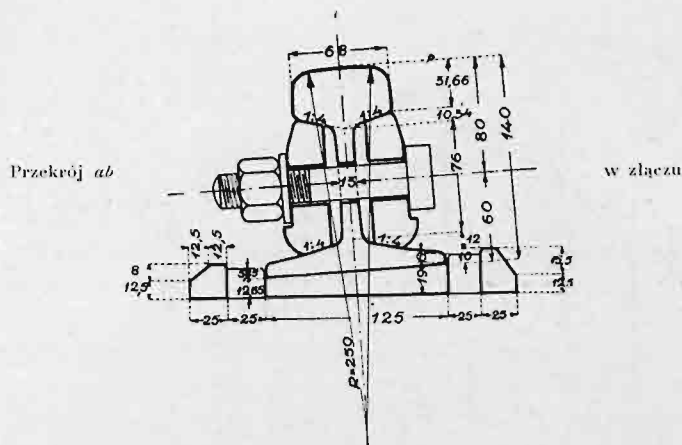
<sup>1)</sup> Notes sur les déformations momentanées de la voie d'après les observations faites en 1897 et 1898 au chemin de fer de Varsovie-Vienne par Alexandre Wasiutyński. Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer, nov. 1898 p. 1437 et 1900, p. 2667.





A. Posterunek doświadczalny. B. Posterunek blokowy Włochy.

Rys. 1. Sytuacja posterunku doświadczalnego.



Rys. 2. Nawierzchnia z szyn typu „S” 42,5 kg/m.

dowy wierzchniej, lecz też co do zalet w tym względzie taboru, co właśnie miano na uwadze przy organizowaniu badań. Dlatego też nie wahano się ograniczyć spostrzeżeń do odkształceń w linii prostej poziomej metodą fotograficzną, zamierzając tylko uzupełnić ją i udoskonalić przez budowę nowych aparatów i tym sposobem rozszerzyć zakres badań.

### 3. Posterunek doświadczalny.

Miejsce do badań nad nawierzchnią obrano na km 7,5 szlaku Warszawa—Pruszków w torze nr. 2 pociągów idących do Warszawy. Miejsce to położone jest w linii prostej, na nieznacznym pochyleniu 0,07‰ w stronę Pruszkowa (rys. 1). Podsypka spoczywa bez-







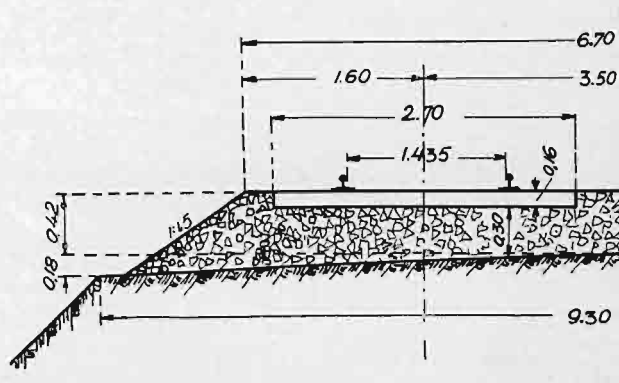
pośrednio na piaszczystym gruncie naturalnym, którego przekrój do głębokości 10 m pokazano na rys. 5. Tor ułożony jest z szyn polskiego normalnego typu S ciężaru 42,5 kg/m (rys. 2). Długość szyn 15 m na 22 podkładach sosnowych nasyconych (rys. 3). Podsypka z tłucznia grubości warstwy 0,52 m (rys. 4). Właściwości materiału szyn, podkładów i podsypki podano w tablicach I, II i III.

Za przedmiot badań przyjęto nawierzchnię na długości jednego ogniwa szynowego z przyległymi złączami, co wymagało umożliwienia przestawiania aparatów na długości około 16 m.

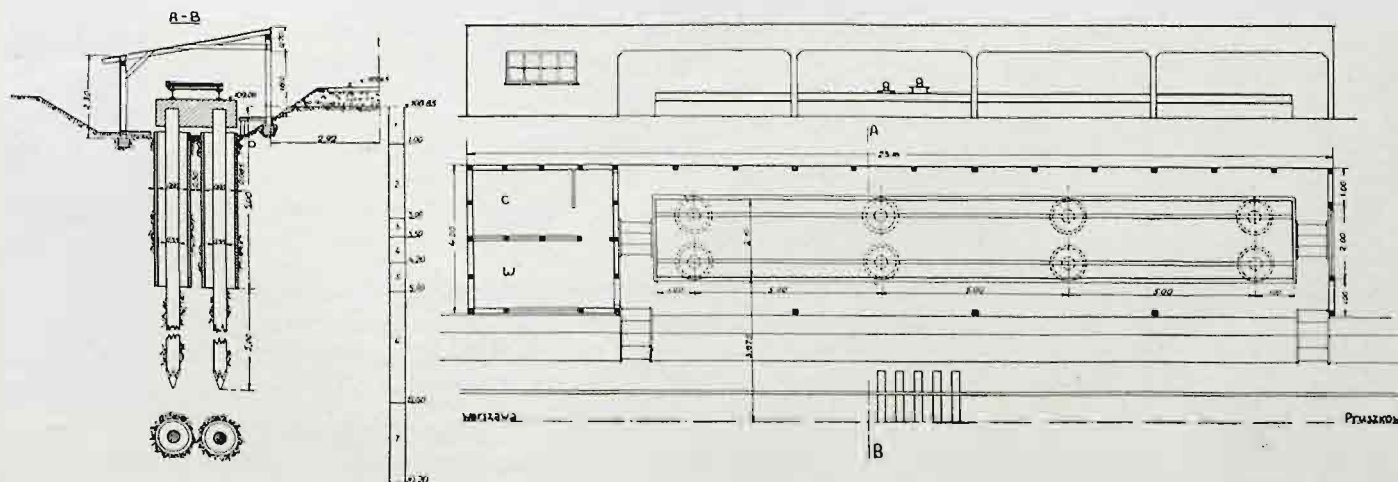
Urządzenie optyczne aparatów przy wymaganej skali zdjęć fotograficznych nie pozwalało na odsunięcie ich obiektywów dalej niż 3,5 m od badanej szyny. Aby uchronić aparaty o ile możliwości od wstrząsnięć wywołanych ruchem pociągów w tak bliskiej odległości, urządzono fundament aparatów na ośmiu palach drewnianych długości 10 m, wbitych w studnie z kręgów betonowych (rys. 5) głębokości 5 m od poziomu gruntu. Wierzech pali wpuszczono na 0,5 m w płytę betonową grubości 0,75 m, powierzchni w planie 2,1 m × 17 m, odpowiednio uzbrojoną prętami żelaznymi. Na tej płycie ułożono w kierunku podłużnym i omocowano nieruchomo dwie belki żelazne *D, D* (rys. 6), po których mogły być przesuwane równoległe do toru poprzeczne beleczki żelazne *C*, służące za podstawę aparatów.

Aparaty fotograficzne *A*, całkowicie metalowe, również jak podstawy żelazne aparatów, po ich ustawieniu były łączone śrubami ze sobą i z belkami fundamentu zupełnie nieruchomo. Jak widać z rysunku, śruby nastawcze, którymi aparat opiera się na podstawie, wypadają w bliskości punktów oparcia podstawy na belkach podłużnych fundamentu. Pomimo tak statecznego położenia aparatów, dla uniknięcia najmniejszych bodaj drgań własnych ich podstaw, pomiędzy te podstawy a belki fundamentu były zakładane przed ich ześrubowaniem płytki ruberoidu.

Zastosowując w fundamencie pod aparaty pale drewniane, nie zaś trwalsze żelazobetonowe, miano również na względzie zmniejszenie do minimum wpływu na aparaty drgań własnych fundamentu. W tymże celu nadano płycie żelazobetonowej wymiary, przy których jej bezwładność ze względu na dużą masę (ok. 60 tonn) była bardzo duża.



Rys. 4. Przekrój torowiska.



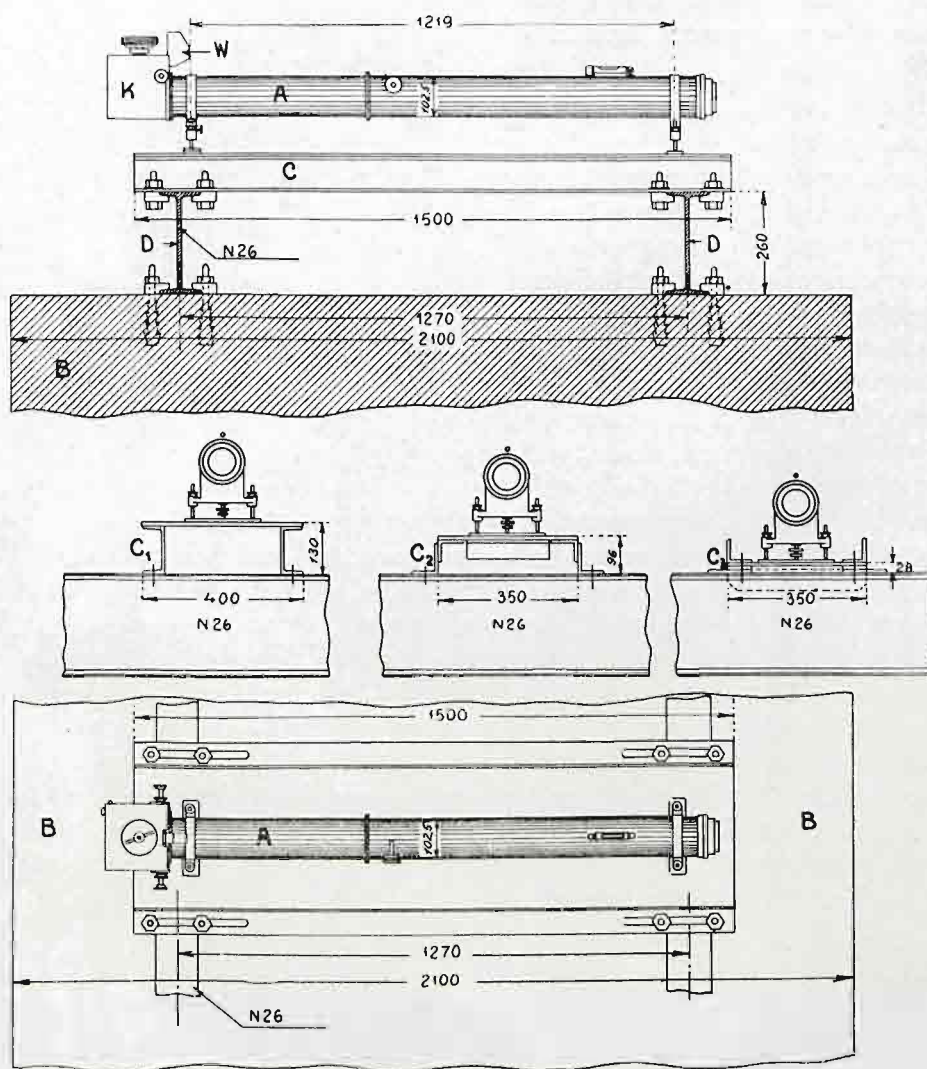
Przekrój *AB*. Otwór wiertniczy. Widok od strony toru i plan. *C* Ciemnia. *W* Warsztat.  
Otwór wiertniczy: 1—Grunt gliniasty. 2—Pasek drobny. 3 i 4—Pasek drobny, woda zaskórna. 5—Gлина. 6, 7—Pasek drobny.

Rys. 5. Urządzenie posterunku obserwacyjnego.



Fundament aparatów jest pokryty szopą otwartą od strony badanego toru. Przy szopie są urządzone niewielkie zamknięte pomieszczenia na ciemnię fotograficzną i podręczny warsztat ślusarski (rys. 5).

Stan szyny i jej podparcia, wybranych jako przedmiot badań, poddano starannym oględzinom. Prócz nieistnienia w szynie powierzchniowych braków, zależało na stwierdzeniu jej prostości. Szyny nowe, z których miano uczynić wybór, kładziono swobodnie na podkładach istniejącego toru i niwelowano ich powierzchnię toczną niwelatorem wy-



$C_1$   $C_2$   $C_3$  aparat na podstawach różnej wysokości.

Rys. 6. Ustawienie aparatów na fundamencie.

sokiej dokładności z zastosowaniem łaty, pozwalającej na odczyt 0,1 mm. Przekonano się przy tym, że każda z szyn zniwelowanych posiada w przekroju podłużnym odchylenia powierzchni tocznej od linii prostej, dochodzące do kilku milimetrów. Szynę stosunkowo najprostszą ułożono w torze w miejscu, w którym miała podlegać obserwacjom, i po przepuszczeniu po niej pociągów i sprawdzeniu dobrego podbicia podkładów, ponownie zniwelowano, przy czym okazało się, że odchylenia jej powierzchni tocznej od linii prostej prawie nie uległy zmianie. Wobec tego zniwelowano w obie strony od posterunku doświadczalnego większą ilość szyn, ułożonych w tymże torze, mając na widoku wybranie z nich odpowiedniejszej, co również zawiodło.



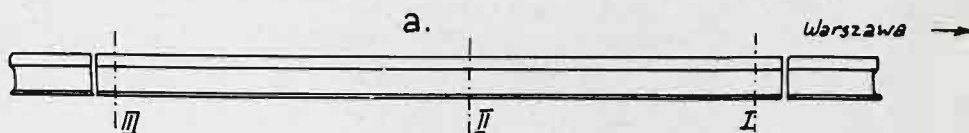
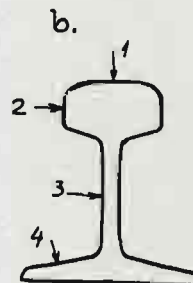
TABLICA I.

Laboratorium Mechaniczne M. K.

24 sierpnia 1933 r.

Wyniki prób na twardość szyny obserwowanej.

Oznaczenia według szkicu a	Oznaczenia według szkicu b	Średnica wgniecenia na szynie	Średnica wgniecenia na sztabce	Twardość w stopniach Brinella
I	1	3,0	3,2	229
	2	2,7	2,9	232
	3	2,9	2,9	201
	4	2,9	3,0	215
II	1	3,1	3,5	258
	2	2,8	2,9	215
	3	2,9	3,0	215
	4	3,1	3,1	201
III	1	3,1	3,8	307
	2	2,8	3,0	232
	3	2,8	3,0	232
	4	3,0	3,0	201



Próby wykonał Dąbrowski.

TABLICA II.

Laboratorium Wytrzymałości Tworzyw  
Politechniki Warszawskiej

8 sierpnia 1932 r.

Próby drewna.

1. Próby fizyczne.		
A. Ilość słoików w odcinku 10-milimetrowym promienia . . . . .		3 — 9
B. Ciężar w gramach centymetra sześciennego drewna, wysuszonego do stałej wagi w temperaturze 60° — 70° C. . . . .		0,565
C. Wilgotność drewna . . . . .		12,6%
2. Próby wytrzymałościowe przy wilgotności drewna 12,6%		
D. Wytrzymałość na ściskanie:		kg/cm <sup>2</sup>
a. w kierunku osi pnia: . . . . . próbka Nr. 1 . . . . .		463
	„ Nr. 2 . . . . .	490
b. w kierunku promienia: . . . . . „ Nr. 3 . . . . .		53
c. w kierunku stycznym do słoików: . . . . . „ Nr. 4 . . . . .		60
d. w kierunku prostopadłym do górnej płaszczyzny podkładu: . . . . . „ Nr. 5 . . . . .		37
e. w kierunku prostopadłym do bocznej płaszczyzny podkładu: . . . . . „ Nr. 6 . . . . .		30
E. Współczynnik sprężystości przy ściskaniu w kierunku osi pnia: . . . . .		118000
F. Współczynnik sprężystości przy ściskaniu w kierunku prostopadłym do górnej płaszczyzny podkładu: . . . . .		2065

(—) L. Karasiński.



T A B L I C A III.

*Próby kamieni.*

1. Tłuczeń granitowy.

Laboratorium Wytrzymałości Tworzyw  
Politechniki Warszawskiej

8-go sierpnia 1932 r.

1. Próby wytrzymałościowe	Kg/cm <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie na sucho:	
Próbka Nr. 1 . . . . .	2129
Nr. 2 . . . . .	1867
Nr. 3 . . . . .	1698
Nr. 4 . . . . .	2366
Nr. 5 . . . . .	1348
Nr. 6 . . . . .	2502
2. Próba w bębnie Devala	
Wzajemna ścieralność . . . . .	5,07 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>

(—) L. Karasiński

2. Tłuczeń bazaltowy.

(Janowa Dolina).

Drogowy Instytut Badawczy  
przy Politechnice Warszawskiej

4-go maja 1936 r.

1. Próby wytrzymałościowe	Kg/cm <sup>2</sup>
Wytrzymałość na ściskanie zależnie od głębokości pochodzenia . . . . .	od 2355 do 3648
2. Próby w bębnie Devala	
Ścieralność zależnie od głębokości pochodzenia . . . . .	od 1,42 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> do 2,65 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>

(—) M. Nestorowicz

Na rys. 3 i 3a pokazano charakterystyczne profile podłużne szyn zniwelowanych oraz profil podłużny szyny, wybranej według niwelacji w r. 1933 i w roku następnym. W ciągu tych lat powtarzano kilkakrotnie niwelację szyny badanej dla przekonania się czy w ich profilu podłużnym nie zaszły zmiany. Przed okresem obserwacji roku 1934 zmieniono na posterunku podsypkę z grubego tłucznia granitowego na podsypkę z drobniejszego tłucznia bazaltowego. Oczekiwano przy tym, że staranne podbicie podkładów nowym wyborowym materiałem pozwoli doprowadzić szynę do bardziej prostego stanu. Doświadczenie pokazało, że w ciągu paroletniego okresu badań profil podłużny badanej szyny pozostał w ogólnych rysach bez zmiany, odchylenia zaś powierzchni tocznej od linii prostej nieco się powiększyły.

Stan podkładów nowych, przeznaczonych do ułożenia na posterunku doświadczalnym w r. 1932 sprawdzono, starając się, aby ich wymiary były o ile możności jednakowe. Różnice nieznaczne w szerokości ich podstawy są wskazane w tab. V.

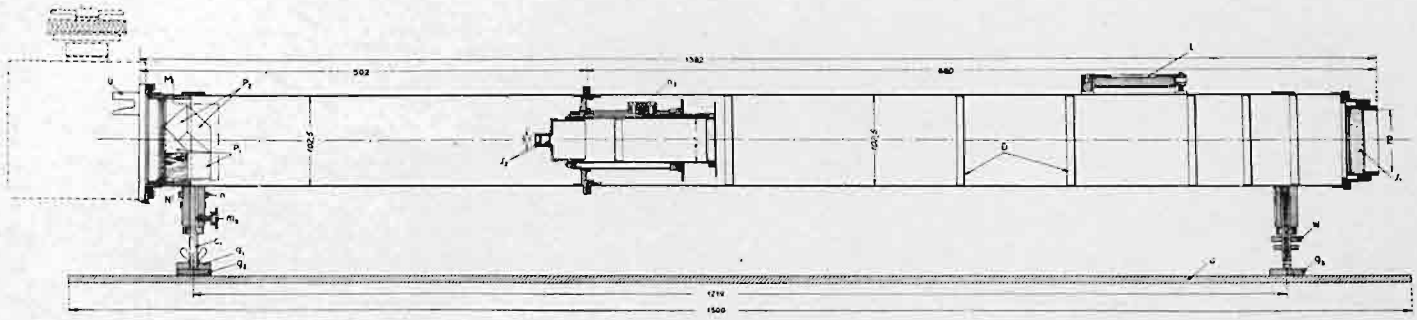
#### 4. Aparaty do badań.

##### a. Kamera fotograficzna.

Każdy z aparatów fotograficznych (rys. 7), których dwa posiada posterunek doświadczalny<sup>1)</sup>, składa się z kamery w postaci mosiężnej lunety długości 1,382 m i śre-

<sup>1)</sup> Aparaty fotograficzne w pierwotnej ich formie dostarczyła firma P. Lebedziński w Warszawie. Projekt ulepszonej kasety i wibratora wykonał inż. Witold Biernawski, asystent przy katedrze obróbki metali Politechniki Warszawskiej.

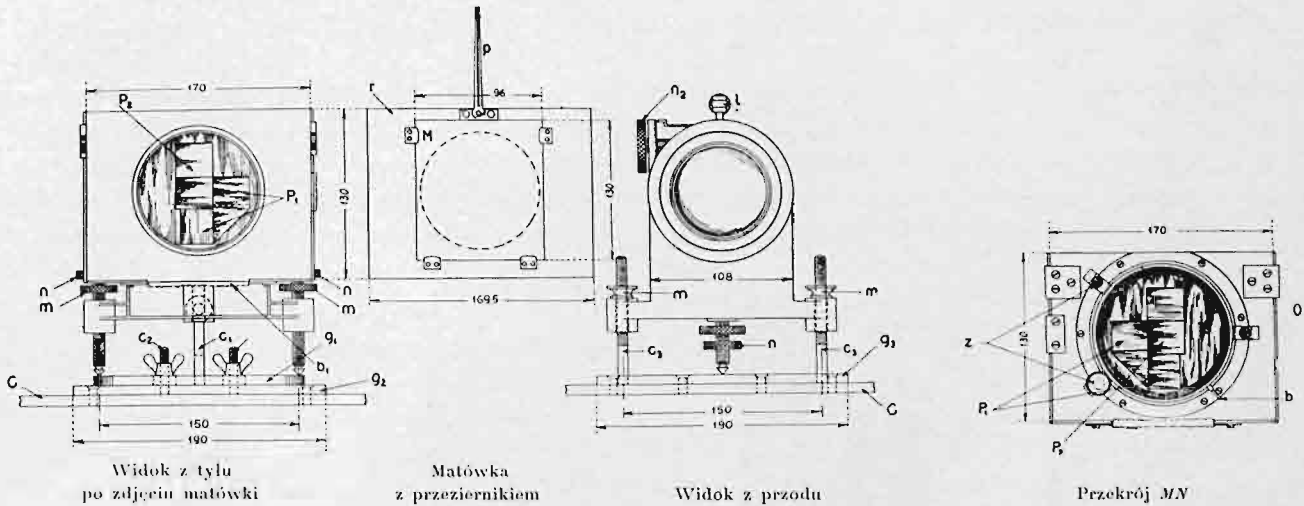




Przekrój podłużny.

$f_1$  — obiektyw  
 $f_2$  — okular

$D$  — diafragmy  
 $P_1, P_2$  — pryzmaty



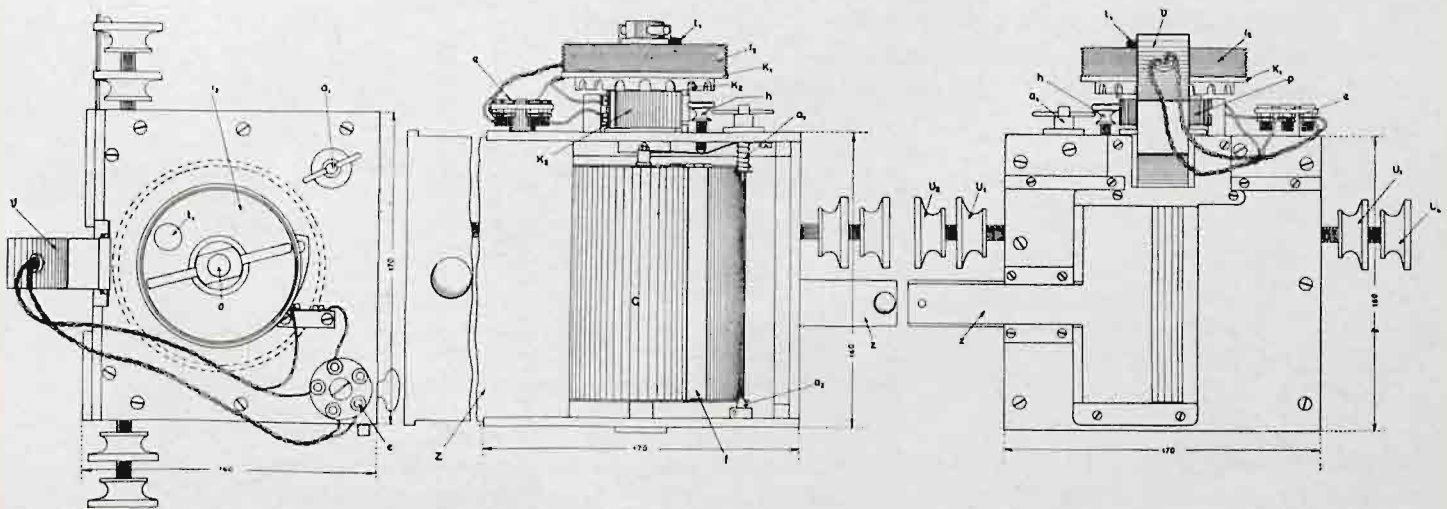
Widok z tyłu  
po zdjęciu matówki

Matówka  
z przeziernikiem

Widok z przodu

Przekrój MN

Rys. 7. Aparat fotograficzny.



Widok z góry.

Widok od strony obserwatora (zasuwa tylna częściowo odsunięta).

Widok od strony kamery.

$r_2$  — ślimak do nawijania nici  
 $v$  — vibrator  
 $h$  — hamulec cylindra

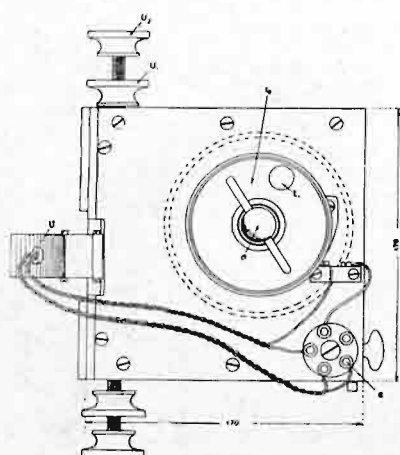
$C$  — cylinder  
 $Z$  — zasuwa tylna  
 $z$  — zasuwa przednia

$K_2$  — zapadka sprzęgająca kołnierz z cylindrem  
 $K_3$  — wyłącznik zapadki  
 $f$  — sprężyna do przytwierdzenia błony

$P$  — przerywacz prądu  
 $U_1$  — nakrętka do przymocowania kasety  
 $U_2$  — uchwyt kasety

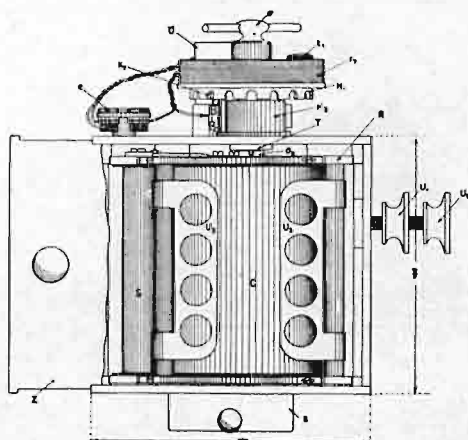
Rys. 8a. Kasety Nr 1 aparatu fotograficznego.





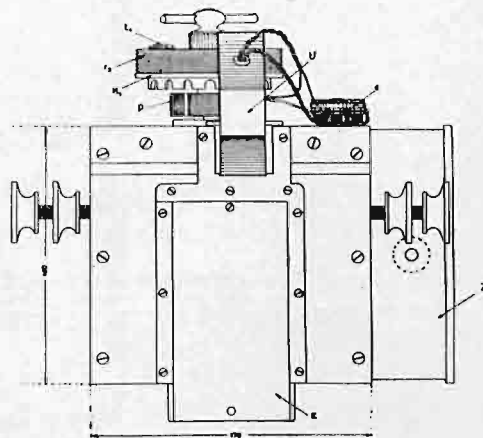
Widok z góry

$r_1$  — ślimak do nawijania nici  
 $v$  — wibrator  
 $Z$  — zasuwka tylna  
 $z$  — zasuwka przednia



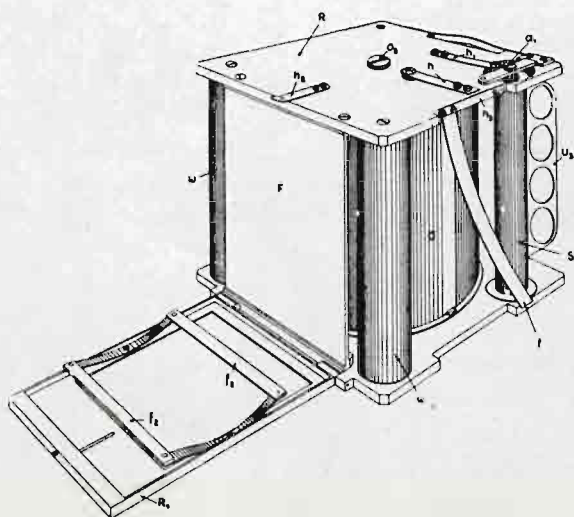
Widok od strony obserwatora  
 (zasuwka tylna odsunięta)

$C$  — cylinder  
 $H$  — rama cylindra  
 $S$  — szpulka do nawijania błony  
 $T$  — sprzęgło osi ślimaka z osią cylindra

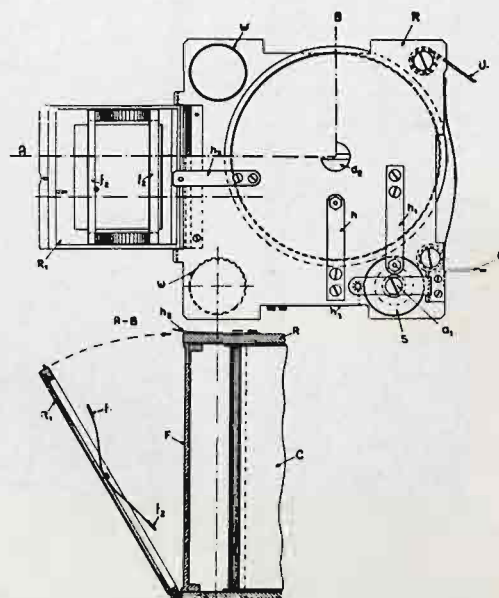


Widok od strony kamery

$K_1$  — zapadka sprzęgająca kołnierz z cylindrem  
 $K_2$  — wyłącznik zapadki  
 $U_1$  — nakrętka do przymocowania kasety  
 $U_2$  — uchwyt kasety  
 $U_3$  — uchwyt ramy cylindra



$f$  — sprężyna do przytwierdzenia błony  
 $F$  — gładź prowadząca błonę



$w$  — wałki prowadzące błonę  
 $h_1$  — hamulec szpulki

Rys. 8b. Kasetka Nr 3 aparatu fotograficznego z cylindrem w osobnej ramie.

dnicy wewnętrznej 10,25 cm, ustawianej do poziomu na trzech śrubach nastawczych, oraz kasety (rys. 8a, b) na błonę czułą, zakładanej w tylnej oprawie lunety. W przednim końcu lunety, zwróconym w stronę badanego toru, umieszczony jest obiektyw apochromatyczny Steinheila typu astronomicznego o odległości ogniskowej  $F = 60$  cm, w odległości zaś 90,37 cm od obiektywu okular o odległości ogniskowej 2,7 cm, mający ruch podłużny na zębniicy.

Ten układ optyczny pozwala otrzymać na matówce przy oddaleniu obiektywu o 3,5 m od przedmiotu obraz jego, wielkości cztery razy większej od wielkości naturalnej.



*b. Kaseta i napęd błony.*

Kaseta (rys. 8 a), w postaci skrzynki z utwardzonego aluminium, mieści w sobie cylinder mosiężny  $C$ , średnicy 11 cm, obracający się na osi podłużnej, na którym jest nawinięta czuła błona. Na osi cylindra, przedłużonej na zewnątrz kasety, jest nasadzony ślimak  $r_2$ , w postaci krążka z nacięciem śrubowym do nawinięcia sznureczka. Silnik elektryczny (rys. 9) mocy 0,5 MK z reduktorem obrotów do 50 na min., ustawiony osobno na fundamencie, ciągnie sznureczek nierozciągliwy, nawinięty drugim końcem na ślimaku  $r_2$ , nasadzonym na osi cylindra kasety, i przesuwą błonę.

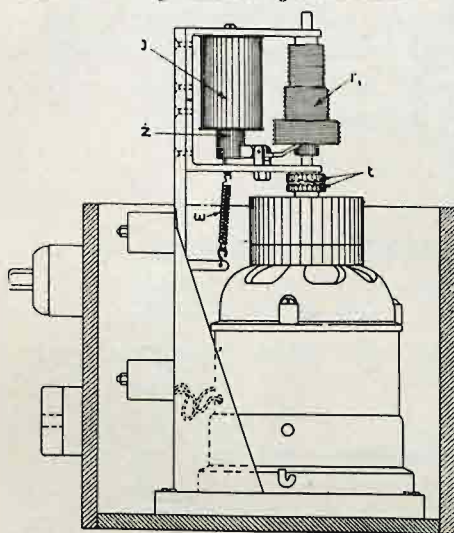
Ślimak  $r_1$  silnika składa się z części niejednakowej średnicy, co pozwala dostosować nawinięcie sznureczka napędowego do szybkości pociągu i zamierzonego trwania zdjęcia. Sprzęgnięcie i rozprzęgnięcie ślimaka z osią silnika następuje samoczynnie pod działaniem pierwszej osi pociągu na kontakty przenośne (rys. 14), umieszczone przy jednej z szyn toru.

Dla ograniczenia zdjęcia do długości błony nawiniętej na cylinder, ślimak kasety posiada urządzenie  $K_1 K_2 K_3$  (rys. 8 a, b) wyłączające cylinder od jego napędu po dokonaniu jednego obrotu.

Tylna oprawa  $U$  kamery, służąca do zakładania kasety (rys. 7), może być obrócona o  $90^\circ$  około osi lunety. Tym sposobem jest umożliwione przesuwanie błony czułej w kierunku poziomym lub pionowym i otrzymywanie na niej wykresów bądź ruchów pionowych, bądź poziomych obserwowanego punktu. Obserwując ten sam punkt dwoma aparatami, można otrzymać wykresy jego ruchów w kierunkach do siebie prostopadłych.

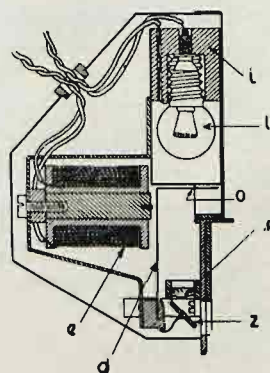
*c. Kontrola czasu.*

Z przodu kasety, w górnej jej części, jest umieszczony vibrator (rys. 10), oświetlony osobną lampką elektryczną  $l$ , której światło, przepuszczone przez otworek  $o$  w sprężynie drgającej i odbite w zwierciadło  $z$ , daje na błonie przy jej przesuwaniu sinusoidę drgań o okresie 1/50 sek. Przy obrocie cylindra kasety sprężyna  $d$  otrzymuje impulsy do drgań od elektromagnesu  $e$  za pomocą przerywacza prądu (rys. 8 a) w postaci krążka  $P$  osadzonego na osi cylindra pod ślimakiem  $r_2$ . Błony czułe mogą być przesuwane w kasetach obu aparatów jednocześnie tym samym silnikiem elektrycznym, synchronizm zaś zdjęć może być ściśle określony z wykresów vibratorów, sterowanych z jednego aparatu i uzgodnionych co do okresu drgania. Wiadoma odległość pomiędzy kontaktami w torze i czas trwania zdjęcia pozwalają określić szybkość pociągu.

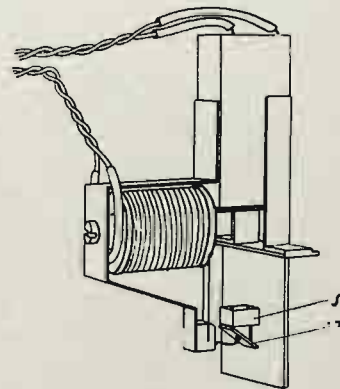


$J$  — uzwojenie solenoidu  
 $z$  — rdzeń  
 $r_1$  — ślimak do nawijania nici  
 $w$  — sprężyna wyłączająca ślimak  
 $t$  — sprzęgło

Rys. 9. Silnik elektryczny 0,5 MK do napędzania cylindra kasety.



$e$  — elektromagnes  
 $i$  — oprawa ebonitowa  
 $l$  — żarówka  
 $d$  — sprężyna drgająca



$o$  — otworek do promieni świetlnych  
 $s$  — soczewka skupiająca  
 $z$  — zwierciadło

Rys. 10. Vibrator do oznaczania czasu zdjęcia z dokład. 0,02".

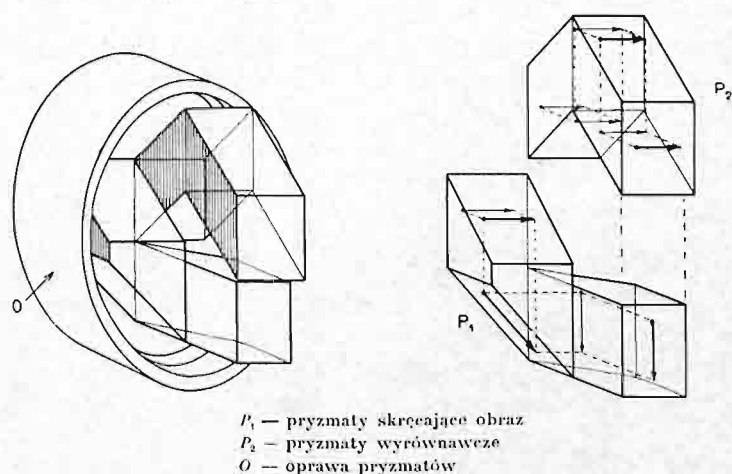


Przy zdjęciach ruchów poziomych punktu na błonie przesuwanej pionowo, musi ona leżeć płasko na dostatecznej długości, aby uniknąć niedokładności, wynikających ze ślizgania się obrazu obserwowanego punktu po powierzchni niejednakowo oddalonej od okularu. W tym przypadku stosuje się przy aparacie kaseta odmienniej konstrukcji (rys. 8 b) z wyjmowaną ramą, w której jest wstawiony cylinder, płasko ciągnący błonę z zapasu na szpulce  $S$ , nie ograniczonego do jednego obrotu cylindra.

#### d. Skręcanie obrazu.

Jakkolwiek zastosowanie dwóch jednakowych wibratorów, sterowanych z jednego punktu, daje możliwość określenia jednoczesności zjawisk obserwowanych dwoma aparatami, to jednak postanowiono zastosować jeszcze inne doskonalsze urządzenie, a mianowicie zaprojektowano układ pryzmatów, pozwalających otrzymać wykresy ruchów pionowych i poziomych jednocześnie na tej samej błonie.

Pryzmaty wykonane w Polskich Zakładach Optycznych w Warszawie, mają układ wskazany na rys. 11. Będąc wstawione w lunetę aparatu bezpośrednio przed oprawą kasety (rys. 7), skręcają one o  $90^\circ$  obraz pionowych ruchów obranego punktu, wskutek czego



Rys. 11. Układ pryzmatów w kamerze fotograficznej.

na błonie przesuwanej pionowo wykres ruchów pionowych otrzymuje się obok wykresu ruchów poziomych. Ponieważ pryzmaty  $P_1$ , skręcające obraz, wydłużają nieco odległość jego od okularu, pomieszczono obok nich pryzmaty  $P_2$ , które, nie skręcając obrazu, wyrównują długość promieni światła, kreślących na błonie ruchy poziome, z długością promieni kreślących ruchy pionowe.

Aparat opatrzony pryzmatami zastępuje przy obserwacji jednoczesnych ruchów poziomych i pionowych dwa aparaty zwyczajne,

a przy tym daje zdjęcia bez zarzutu pod względem jednakowej skali obu rodzajów ruchu i ich synchronizmu, jest więc stale stosowany do zdjęć tego rodzaju.

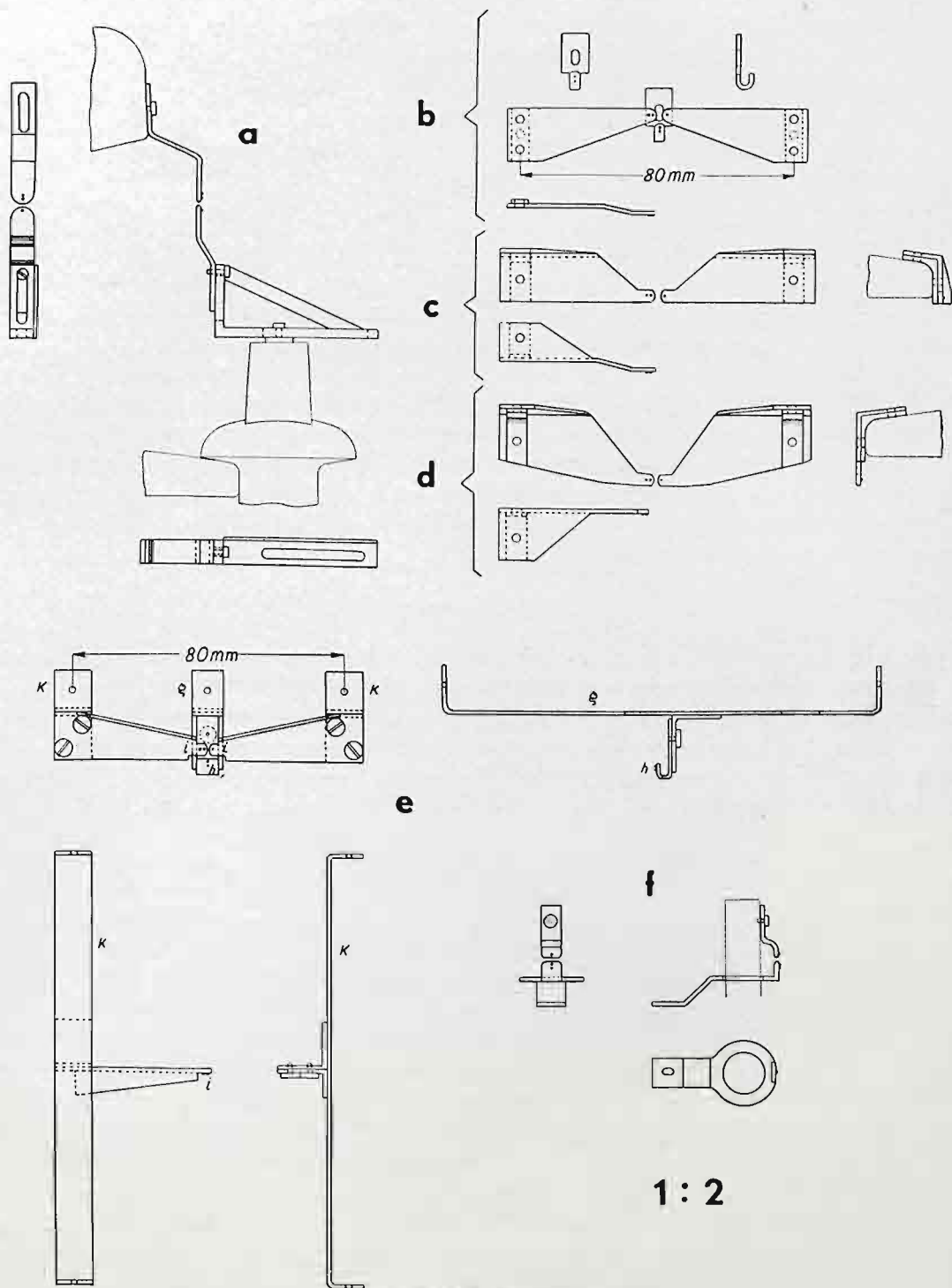
#### e. Punkty obserwowane.

Możliwość otrzymania na czułej błonie w kasecie opisanego aparatu wykresów ruchu badanych punktów zależy musi od zachowania warunku, że pomimo wielkiego rozproszenia światła, jakie wynika z układu optycznego aparatu i słabego naświetlania błon wskutek ich ruchu, jasność tych punktów będzie dostateczna do zdjęć momentalnych.

Ten warunek spełniają w przyjętej metodzie spostrzeżeń lusterka w postaci kulek stalowych, umieszczonych w badanych punktach i oświetlonych promieniami słońca lub łukowej lampy elektrycznej. Obraz źródła światła w lusterku, tym mniejszy, im mniejsza jest średnica lusterka, daje na matówce aparatu punkt dostatecznie jasny do otrzymania zdjęcia w postaci wykresu najszybszych jego ruchów na przesuwanej błonie, na którą ciemne jego otoczenie wcale nie oddziaływa.

Obserwowane kulki stalowe są osadzone na wsporniczkach, przytwierdzonych w badanym punkcie śrubami (rys. 12). Kulki, gatunku stosowanych do łożysk, przeważnie średnicy 1 mm, są kalibrowane z dokładnością 0,001 mm. Para kulek, osadzona na wsporniczku z mosiądzu lub aluminium przez wtłoczenie obok siebie do zetknięcia, stanowi dokładną kontrolę skali zdjęcia.





Oprawki do obserwowania:

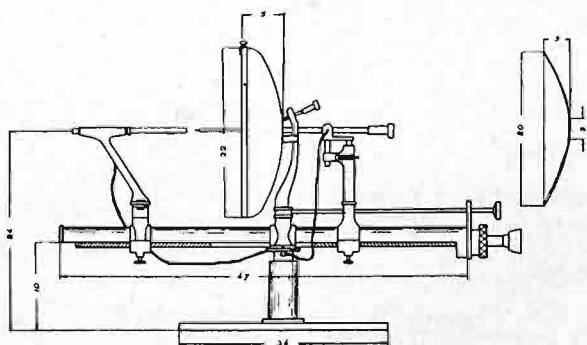
- a — osiadanania szyn i podkładów.
- b — ruchów osiowych i wydłużeń włókien w głowce szyny.
- c, d — „ „ „ „ „ w krawędzi stopki.
- e — „ „ „ „ „ w stopce pod szyjką.
- f — ściśliwości podkładów.

Rys. 12. Ważniejsze typy oprawek.

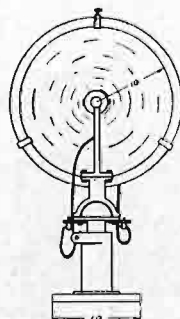
Na lekkość i sztywność wsporniczka dla uniknięcia drgań własnych oraz na zupełnie nieruchome jego przytwierdzenie w badanym punkcie zwraca się szczególną uwagę.

Lusterka są oświetlane wyłącznie łukowymi lampami elektrycznymi (rys. 15) z lustrem parabolicznym, na prądzie stałym z przetwornicy, połączonej z elektrownią prusz-





Rys. 13. Lampa elektryczna do oświetlenia lusterek.



Rys. 14. Kontakt przenośny w torze.

kowską. Lampa, ustawiona w odległości 1.5 m od lusterek, oświetla je silniej od światła słonecznego, z którego korzystanie na posterunku doświadczalnym musi być wyłączone nie tylko ze względu na zmienność pogody i cień, który w późniejszych godzinach dnia tabor rzuca na szyny, lecz też z powodu, że jazdy próbne z badanymi parowozami mogły być dokonywane prawie wyłącznie w porze nocnej, kiedy zachodzą większe przerwy w ruchu pociągów normalnego rozkładu.

#### *f. Rola obserwatora.*

Jak widać z powyższego, rola obserwatora polega na czynnościach przygotowawczych i nadzorze nad działaniem wszystkich przyrządów, poza tym zaś ogranicza się do odsunięcia w kasecie zasuw, zakrywającej błonę, przed dojściem pociągu do pierwszego kontaktu, i zasunięcia tej zasuw po przejściu przez pierwszą oś pociągu drugiego kontaktu; natomiast podczas samego zdjęcia obserwator nie styka się ani z aparatem, ani z fundamentem, na którym aparat jest ustawiony.

### **5. Dokładność spostrzeżeń.**

#### *a. Stateczność posadowienia aparatów.*

Odkształcenia sprężyste, zachodzące w nawierzchni kolejowej, jako to drgania wymuszone i drgania własne pod obciążeniem dynamicznym, z których można byłoby wyciągać wnioski o naprężeniach w różnych jej częściach drogą teoretyczną, zwłaszcza zaś zmiany we wzajemnym oddaleniu cząsteczek materiału, świadczące bezpośrednio o naprężeniach jakim podlega, są tak drobne, że dla przekonania się, które z tych odkształceń i w jakich granicach mogą być ściśle zaobserwowane obraną metodą, niezbędnym jest zdać sobie sprawę z dokładności stosowanych w niej pomiarów i stałości punktów, względem których pomiary te są robione.

Tu przede wszystkim nasuwa się pytanie stateczności fundamentu, na którym opierają się aparaty, to jest stateczności żelazo-betonowej płyty na palach. Dla przekonania się o wielkości ruchów, jakim ona podlega przy przejściu pociągów, próbowano robić zdjęcia z płyty punktu na reperze, położonym z drugiej strony torów kolejowych w odległości około 30 m od obiektywu czyli około 55 m od toru, w przypuszczeniu, że w tej odległości od toru grunt nie powinien podlegać wstrząśnieniom od ruchu pociągów. Te zdjęcia, robione tymiż aparatami, które służyły do badań nad torem, po dokonaniu pewnych zmian w układzie soczewek, wskazywały wprawdzie, że różnice w położeniu płyty względem oddalonego reperu są niewielkie, lecz nie usunęły wątpliwości, czy na te różnice nie mają wpływu możliwe drgania samego reperu oraz drgania atmosfery, których przy znacznej odległości zdjęcia nie dało się uniknąć w bliskości gruntu.

Dla usunięcia tych wątpliwości postanowiono zbadać ruchy fundamentu przy pomocy oscylografu. Za uprzejmym pozwoleniem dyrektora Instytutu Geologicznego War-



TABLICA IV.  
Amplituda drgań fundamentów aparatu.

Miejsce i warunki pomiaru:	Drgania pionowe			Drgania poziome					
	na 50 m przed parowozem	podczas przejścia parowozu	po przejściu parowozu	poprzeczne			podłużne		
				na 50 m przed parowozem	podczas przejścia parowozu	po przejściu parowozu	na 50 m przed parowozem	podczas przejścia parowozu	po przejściu parowozu
<i>Płyta betonowa od strony Warszawy.</i>									
Pociąg podmiejski. Parowóz Okł 27	0,0026	0,0167	—	—	—	—	0,0024	0,0072	—
Pociąg pośpieszny. Parowóz Ok 22	0,0006	0,0024	0,0062	0,0007	0,0062	0,0073	—	—	—
Pociąg osobowy. Parowóz Ok 1	0,0018	0,0078	—	0,0018	0,0045	—	—	—	—
<i>Płyta betonowa od strony Pruszkowa.</i>									
Pociąg podmiejski. Parowóz Okł 27	0,0005	0,0070	0,0100	0,0022	0,0100	0,0100	—	—	—
Pociąg podmiejski. Parowóz Ok 1	0,0008	0,0140	0,0167	0,0019	0,0156	0,0167	—	—	—
Pociąg osobowy. Parowóz Ok 1	0,0007	0,0009	0,0007	0,0019	0,0024	0,0019	—	—	—
Przetwornica w ruchu	0,0015	0,0010	—	—	—	—	—	—	—
Silnik do napędzania błony w ruchu na płycie betonowej	0,0001	0,0001	—	—	—	—	—	—	—
Furmanka po szosie w odległ. 20 m od aparatu	0,0072	0,0072	—	—	—	—	—	—	—
<i>Podstawa żelazna aparatu od strony Pruszkowa.</i>									
Pociąg podmiejski. Parowóz Okł 27	0,0006	0,0045	0,0072	0,0012	0,0036	0,0072	—	—	—
Przetwornica w ruchu	0,0001	0,0003	—	—	—	—	—	—	—
Silnik sprzęgnięty ze ślimakiem kasety	0,0007	0,0009	—	—	—	—	—	—	—
<i>Podstawa żelazna aparatu od strony Warszawy.</i>									
Pociąg podmiejski. Parowóz Okł 27.	0,0028	0,0050	—	—	—	—	—	—	—
Przetwornica i silnik w ruchu	0,0024	0,0050	—	—	—	—	—	—	—
Pociąg pośpieszny. Parowóz Ok 22.	0,0011	0,0117	—	—	—	—	—	—	—
Przetwornica i silnik w ruchu	—	0,0015	—	—	—	—	—	—	—
Przetwornica w ruchu	—	0,0022	—	—	—	—	—	—	—
Przetwornica i silnik w ruchu	—	0,0022	—	—	—	—	—	—	—

szawskiego inż. Morozewicza, geofizyk tegoż Instytutu p. E. W. Janczewski dokonał wi-  
brografem firmy Askania-Werke Berlin Friedenau (period 0,07 sek, powiększenie 17900)  
kilkanaście zdjęć, które dostatecznie wyjaśniły, jakim drganiom podlega fundament. Wi-  
brograf był ustawiany 1) na płycie betonowej w obu jej końcach, 2) pośrodku podstaw  
żelaznych aparatów. Zdjęcia drgań pionowych oraz poziomych w kierunku prostopadłym  
do toru i równoległym do niego były robione:

1) podczas przejścia pociągu po torze badanym bez działania i podczas działania  
jednocześnie mechanizmów prostownicy i silnika do napędu błon aparatów;

2) wyłącznie podczas ruchu prostownicy, dostarczającej prądu do lamp elek-  
trycznych;

3) wyłącznie podczas ruchu silnika do napędu błony, i

4) w stanie spoczynku obu tych urządzeń w przerwach między pociągami.

Wielkości amplitudy drgań fundamentów aparatów, otrzymane z wykresów, po-  
dano w tablicy IV.

Rozpatrując cyfry tablicy IV daje się przede wszystkim zauważyć, że drgania  
pionowe i poziome płyty betonowej fundamentu są co do swej wielkości tego samego  
rzędu. Drgania płyty, wywołane ruchem przetwornicy i silniczka ustawionego na płycie,  
dochodzą do 0,0015 mm, drgania zaś środka podstawy żelaznej aparatów nie przewyż-  
szają 0,002 mm. Dokładność, na jaką można liczyć przy opracowaniu zdjęć na kompara-  
torze, wynosi średnio 0,006 mm, wobec czego wpływ drgań podstawy aparatów na do-  
kładność spostrzeżeń może być pominięty.



Pozostaje do rozpatrzenia wielkość drgań płyty betonowej i podstaw aparatów podczas ruchu pociągów, zwłaszcza w chwili przejścia parowozu obok fundamentu aparatów, gdyż w tej właśnie chwili odbywały się zdjęcia fotograficzne. Największe amplitudy zaobserwowanych drgań płyty betonowej wynoszą: pionowych 0,0167 mm, poziomych poprzecznych 0,0156 mm i podłużnych 0,0072 mm. Największe amplitudy drgań środka podstaw żelaznych wynoszą: drgań pionowych 0,0117 mm i drgań poziomych poprzecznych 0,0036 mm.

Przy ocenie dokładności zdjęć należałoby brać pod uwagę drgania podstaw, na których aparaty są bezpośrednio ustawiane. Na zmniejszenie wielkości tych drgań w porównaniu z wielkością drgań betonowego fundamentu mogły korzystnie wpłynąć przekładki z ruberoidu, założone w punktach podparcia podstaw na podłużnych belkach żelaznych. Ze względu jednak na dość szerokie granice, w których zmienia się amplituda drgań, przyjmijmy do oceny dokładności zdjęć największe amplitudy drgań płyty betonowej <sup>1)</sup>.

Przy określaniu wpływu drgań fundamentu na dokładność zdjęć odkształceń pionowych niezbędnym jest brać pod uwagę prócz drgań pionowych, także drgania poziome poprzeczne, powodujące nachylenia lunety aparatu do poziomu. Pale fundamentu tkwią swobodnie w gruncie do głębokości 5,25 m od powierzchni płyty, na której były mierzone drgania poprzeczne, poziom zaś ich utwierdzenia w gruncie można przyjąć na połowie głębokości ich wbicia w grunt, czyli o 2,5 m. niżej. Punkty obserwowane znajdują się w odległości 4,2 m od środka fundamentu. Wobec tego największa amplituda 0,0156 wahań poprzecznych płyty, sprowadzona do punktu obserwowanego, wyniesie

$$0,0156 \times \frac{4,2}{7,75} = 0,0085 \text{ mm}$$

łącznie zaś z największą amplitudą drgań pionowych

$$0,0085 + 0,0167 = 0,0252 \text{ mm}$$

skąd wynika, że przy najniekorzystniejszym zbiegu obu rodzajów drgań błąd w spostrzeżeniu może wynosić  $\pm 0,0126$  mm.

Możliwy błąd w spostrzeżeniach przesunięć osiowych otrzymuje się  $\pm 0,0036$  mm. Należy jednak zauważyć, że nie może się to odnosić do pomiaru wydłużeń, a co za tym idzie, naprężeń w szynie, gdyż te wydłużenia otrzymują się jako różnica przesunięć dwóch punktów obserwowanych.

#### *b. Podstawa pomiaru odkształceń na błonach.*

Odształcenia były mierzone od odciętej, przeprowadzonej przez punkt obserwowany w stanie spoczynku równolegle do kierunku przesuwania błony. Jeżeli odkształcenie jest sprężyste, to odcięta początkowego położenia punktu w spoczynku przechodzi również przez punkt w stanie spoczynku po przejściu pociągu.

Niezmiennie położenie obserwowanego punktu w spoczynku przed zdjęciem i po zdjęciu było sprawdzane na matówce, na błonie zaś oba te położenia były zdejmowane w postaci krótkich prostych.

Kierunek przesuwania błony wskazuje ściśle linia (sinusoida) czasu, którą kreśli pewien punkt kasety. Daje ona możliwość ścisłego oznaczenia na błonie odciętej początkowej i sprawdzenia niezmienności położenia obserwowanego punktu przed zdjęciem i po zdjęciu. Do zdjęć r. 1933 były stosowane kasety, w których błona przewijana pomiędzy

<sup>1)</sup> Ciekawym jest zauważyć, że amplituda drgań płyty betonowej przy przejeździe pojedynczej niezbyt ciężkiej furmanki po szosie, biegnącej równolegle do toru kolejowego w odległości około 20 m od fundamentu aparatów, dochodziła do 0,0072 mm.



dwoma wałcami miała pewną grę boczną, wskutek czego linia przewijania się błony i równoległa do niej odcięta początkowa nie zawsze były proste. Zdjęcia r. 1954 były robione w kasetach opisanej wyżej ulepszonej konstrukcji, które brak ten prawie w zupełności usunęły.

*c. Ostrość linii zdjęć fotograficznych.*

Linie wykresów fotograficznych kreśli na błonie obraz źródła światła w lusterku wypukłym w postaci kulki stalowej średnicy 1 mm, przytwierdzonej w punkcie obserwowanym. Jako źródło światła zastosowano lampę elektryczną łukową ze zwierciadłem parabolicznym, zasilaną prądem stałym.

Krater węgla dodatniego, średnicy około 5 mm, umieszczony w ognisku zwierciadła w odległości 75 mm od jego powierzchni, rzuca w kierunku punktu obserwowanego promienie równoległe. Obraz krateru węgla w zwierciadle wklęsłym jest więc nadzwyczaj wielki i oddalony, stosunek zaś średnicy tego obrazu  $A$  do jego oddalenia od zwierciadła  $a$  równa się stosunkowi średnicy krateru do jego odległości od zwierciadła, t. j.:

$$\frac{A}{a} = \frac{5}{75} = 1 : 15.$$

Średnica obrazu  $B$  w kulce jako w zwierciadle wypukłym otrzymuje się z równania  $B = \frac{A f}{a + f}$ , w którym  $f$  wyraża odległość ogniskową kulki równą połowie jej promienia czyli  $f = 0,25$  mm.

Długość ogniskowa  $f$  może być w mianowniku pominięta, wobec czego

$$B = \frac{A}{a} \cdot f = \frac{1}{15} \cdot 0,25 = 0,0167 \text{ mm.}$$

Aparat fotograficzny powiększa czterokrotnie obraz zdejmowany, punkt świetlny kreśli więc na błonie linię grubości

$$0,0167 \times 4 = 0,067 \text{ mm.}$$

W rzeczywistości grubość tej linii, wskutek światła, jakie rzuca również koniec drugiego węgla, oraz wskutek tego, że zwierciadło odbija, prócz powierzchnią posrebrzoną, także nieco zewnętrzną powierzchnią szkła, jest nieco większa i sama linia na brzegach bledsza.

*d. Dokładność odczytów.*

Pomiar na błonach wielkości ugięć pionowych był robiony pod szkłem powiększającym, zwykle linijką posrebrzoną z podziałką na 0,2 mm, co przy czterokrotnym powiększeniu zdjęcia odpowiada 0,05 mm wielkości naturalnej. Pomiaru ugięć pionowych i bocznych, wymagające większej dokładności, jako też wszystkie pomiary ruchów poziomych w kierunku osi toru, były robione komparatorem, znanym pod nazwą koordynatografu systemu Coradi, w zakładzie geodezji wyższej Politechniki Warszawskiej, za uprzejmym pozwoleniem kierownika tego zakładu prof. E. Warchałowskiego. Ten komparator daje możliwość odczytu odległości w dwóch kierunkach do siebie prostopadłych do 0,004 mm, co przy czterokrotnym powiększeniu na błonie odpowiada 0,001 mm.

W celu określenia prawdopodobnego błędu pojedynczego odczytu i różnicy dwóch odczytów przed odkształceniem i po nim, dokonano dziesięciokrotnego odczytu na komparatorze tych samych punktów średnio dobrej linii i słabej linii odkształcenia, zdjętego na błonie przez trzech obserwatorów, i do otrzymanych wyników zastosowano metody teorii prawdopodobieństwa. Pierwiastek kwadratowy sumy kwadratów różnic odczytów



od odczytu średniego dał jako maksimum dla jednego punktu w trzech grupach obserwacji  $\pm 1,65 \times 10^{-3}$ , a stąd dla różnicy dwóch punktów

$$\pm 1,65 \sqrt{2} \times 10^{-3} = \pm 2,35 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

prawdopodobnego błędu.

Taki błąd jest prawdopodobny zarówno przy odczytywaniu różnicy w położeniu lusterek w stanie spoczynku, jak i pod obciążeniem. Wynika stąd, że pomierzone wydłużenie będzie obciążone prawdopodobnym błędem  $\pm 2,35 \sqrt{2} \times 10^{-3} = \pm 3,50 \times 10^{-3} \text{ mm}$ .

Naprężenie w szynie było mierzone przez określenie wydłużenia pomiędzy dwoma punktami położonymi w odległości 80 mm. Prawdopodobny błąd  $3,5 \times 10^{-3}$  w pomiarze tego wydłużenia odpowiada naprężeniu

$$n = \pm 3,5 \times \frac{E}{80 \times 1000} = \pm \frac{3,5 \times 22000}{80000} = \pm 3,5 \times 0,275 = \pm 0,91 \text{ kg/mm}^2.$$

*e. Powiększenia zdjęć.*

Dla zbadania na zdjęciach pewnych szczegółów odkształceń, jako to drgań własnych szyny, opóźnień ugięć i in. oraz dla ułatwienia wykreślnego opracowania zdjęć, sporządzono z wielu z nich powiększenia na papierze bromosrebrnym 12,5 razy wielkości na błonie to jest 50 razy wielkości naturalnej. Te powiększenia, pod wieloma względami nader cenne, nie mogły jednak zwiększyć dokładności pomiaru ze względu na grubość i mniejszą ostrość linii świetlnych.

*f. Stosunek naprężenia największego do naprężeń obserwowanych.*

Naprężenia w szynie były określone z wydłużenia materiału pod obciążeniem pomiędzy dwoma punktami położonymi w odległości 80 mm, w których były przytwierdzone wsporniczki lusterek obserwowanych. Zmierzone wydłużenie jednostkowe dawało wielkość średniego naprężenia materiału na tej odległości, nie zaś największego. Dla określenia stosunku, jaki może zachodzić pomiędzy wielkością tych naprężeń, rozpatrzmy najmniej korzystny przypadek położenia pojedynczego ciężaru pośrodku pomiędzy punktami przytwierdzenia lusterek. Moment  $M_0$  w punkcie przyłączenia ciężaru wynosi:

$$M_0 = \frac{P L_s}{4} \quad L_s = a \sqrt{\frac{2}{3}} \gamma = 96,5 \text{ } ^1)$$

w punktach zaś położonych w odległości 4 cm przed i za tym punktem:

$$M_4 = \frac{P L_s}{4} e^{-\xi} (\cos \xi - \sin \xi) \text{ przy czym } \xi = \frac{x}{L_s} = \frac{4}{96,5} = 0,04144.$$

Przy tej wielkości  $\xi$ :

$$M_4 = \frac{P L_s}{4} \cdot 0,9206.$$

Na rozpatrywanej odległości 4 cm od punktu przyłączenia ciężaru wielkość momentu przebiega prawie ściśle liniowo, wobec czego średnia jego wartość wynosi:

$$M_m = \frac{M_0 + M_4}{2} = \frac{P \cdot L_s}{4} \cdot \frac{1,9206}{2} = \frac{P L_s}{4} \cdot 0,9603.$$

czyli o 4% mniej od wartości największej w punkcie przyłączenia ciężaru.

Wynika stąd, że dla otrzymania największego naprężenia w badanym miejscu należy zwiększyć naprężenie według obserwacji najwyżej o 4%.

<sup>1)</sup> Por. niżej, wzór (21).



*g. Wpływ temperatury.*

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

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

$\alpha$  współczynnik rozszerzalności materiału wsporniczków,  $E$  współczynnik sprężystości stali.

Przyjmując  $\alpha = 0,000022$  (dla aluminium) i  $E = 22\,000$  kg/mm<sup>2</sup> otrzymuje się  $\Delta n = 0,484$  kg/mm<sup>2</sup>.

Jakkolwiek trwanie zdjęcia nie przewyższało zwykle dwóch sekund, zdjęcie zaś lusterek w spoczynku starano się robić jak najkrócej przedtem, to jednak nie jest wyłączone, że zmiana temperatury wsporniczków w tym czasie mogła dochodzić do paru stopni, powodując błąd w naprężeniu dochodzący do jednego kilograma na mm<sup>2</sup>.

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

## II. Współczynnik podłoża.

### 1. Ważność badań nad współczynnikiem podłoża.

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

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

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

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

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

H. Zimmermann w dziele o obliczaniu nawierzchni<sup>1)</sup> opiera się na obserwacjach Haentschel'a na dr. żel. Alzacko-Lotaryńskich<sup>2)</sup>, według których otrzymano współczynniki podłoża średnio: w przypadku podsypki ze żwiru  $C = 3$ , w przypadku zaś podsypki ze żwiru na narzucie kamiennym  $C = 8$ , i udowadnia bardzo znaczny wpływ współczynnika podłoża na naprężenia w szynach. Z drugiej strony, jak widać ze sprawozdania P. P. Baumanna i Jaehna na Kongresie dróg żelaznych r. 1933 w Kairze, inżynierowie niemieccy są różnego zdania co do wpływu współczynnika podłoża na naprężenia obliczone w szynach, gdyż ze wzrostem tego współczynnika naprężenia maleją. Według metody obliczeń, poleconej w r. 1930 przez Związek zarządów dróg niemieckich, wpływ podsypki

<sup>1)</sup> Berechnung des Eisenbahnoberbaues. 1888 i 1930, str. 119 i 219.

<sup>2)</sup> Organ 1889, str. 141.