

WYDAWNICTWA NAUKOWE
KOMISJI WYDAWNICZEJ
TOWARZYSTWA BRATNIEJ POMOCY STUDENTÓW POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

TRAMWAJE I KOLEJE ELEKTRYCZNE

INŻ. ROMAN PODOSKI

TOM I.

Z ZAPOMOZI MINISTERSTWA
WYZNAŃ RELIGIJNYCH
I OŚWIECENIA PUBLICZNEGO

WARSZAWA — 1922.

DAR PROFESORA
Romana Trzeźniewskiego



SPÓŁKA AKC. ZAKŁADÓW GRAFICZNYCH „DRUKARNIA POLSKA”, SZPITALNA 12.
KLISZE WYKONANO W ZAKŁ. FOTOCHEMIGRAFICZNYM ROMANA SAWICKIEGO,
WSPÓLNA 45.

B505A/011-39

~~63-10-13~~

Od Wydawców.

Wypuszczając swe nowe wydawnictwo Zarząd T-wa Br. Pomocy Stud. Politechniki Warszawskiej składa niniejszym serdeczne podziękowanie

Ministerstwu Wyznań Religijnych i Ośw. Publicznego za subsydjowanie,

a Profesorskiemu Kołu Opiekuńczemu nad Komisją Wydawniczą T-wa Br. Pomocy Stud. Politechniki Warszawskiej za cenne wskazówki przy wydawaniu niniejszego dzieła.

**Zarząd Towarzystwa Bratniej Pomocy
Studentów Politechniki Warszawskiej.**

Czerwiec 1922 r.

PRZEDMOWA.

Zastosowanie elektryczności do trakcji zapoczątkowane zostało w roku 1879, kiedy na wystawie w Berlinie Werner v. Siemens zbudował po raz pierwszy małą kolejkę, po której biegła elektryczna lokomotywa, ciągnąca za sobą kilka wagoników. Nowy ten sposób napędu wykazał od razu tak ogromne zalety w porównaniu z trakcją konną, że począł ją szybko wypierać we wszelkich kolejach miejskich.

Obecnie niema już większego miasta w Europie i Ameryce, któreby nie miało swej sieci tramwajów elektrycznych i nikomu nie przyjdzie nawet na myśl projektować sieć inną, jak elektryczną.

Zastosowanie elektryczności nie zatrzymało się jednak na tramwajach miejskich, ale opanowawszy tę dziedzinę, poczęło się rozszerzać i na koleje dojazdowe, podmiejskie i międzymiastowe wypierając i tu stopniowo parę i inne środki napędu.

W ostatnich wreszcie latach zaczęły się mnożyć zastosowania trakcji elektrycznej na kolejach głównych, początkowo na krótkich odcinkach, pracujących w szczególnie ciężkich warunkach, a następnie na coraz dłuższych liniach i wreszcie całych sieciach. Dziś potężne lokomotywy elektryczne spółzawodniczą tu z najbardziej udoskonalonymi parowozami, ciągnąc cięższe od nich pociągi, rozwijając większe prędkości i zwiększając znakomicie zdolności przewozowe linji.

Większość państw albo już przystąpiła do szeroko pomyślanej elektryfikacji swych sieci kolejowych (np. Szwajcaria, Francja, Włochy, Stany Zjednoczone Ameryki Północnej), albo też przynajmniej opracowała plany przyszłej elektryfikacji kolei, uskuteczniając ją stopniowo w miarę sił i możliwości (np. Niemcy, Szwecja, Norwegja, Anglja, Belgja, Holandja i inne). Również i u nas w Polsce Rząd zajął się żywo tą sprawą i powołał międzyministerjalną komisję dla przestudjowania elektryfikacji kolei Polskich. Pierwsze szersze zastosowanie trakcji elektrycznej będziemy mieli niezadługo na obecnie budowanej linji średnicowej węzła kolejowego warszawskiego.

Oczywiste jest, że przy tak szerokiem zastosowaniu trakcja elektryczna wciąż się udoskonala i że stała się zupełnie już oddzielnym, obszernym działem elektrotechniki. Większość uczelni wyższych technicznych wprowadziła już od lat paru specjalne kursa kolejnictwa elektrycznego i powstała bogata wszechświatowa literatura specjalna. Tem niemniej daje się wszędzie, a zwłaszcza u nas, odczuwać wielki brak odpowiednich podręczników przeznaczonych dla inżynierów i techników pragnących się w trakcji elektrycznej specjalizować.

Ogłoszone dotychczas dzieła o trakcji elektrycznej dadzą się podzielić na dwa rodzaje, a mianowicie takie, które traktują szczegółowo o jednym jakimś specjalnym dziale kolejnictwa elektrycznego, n. p. motorach trakcyjnych, sieci, taborze lub temu podobnych, i takie, które obejmują kilka działów, lub, — rzadziej, — całokształt zagadnienia. Pierwsze przeznaczone dla fachowców, małą tylko korzyść przynieść mogą początkującym; drugie, wydane w Europie, jak np. w języku niemieckim: M. Schiemann „Elektrische Strassenbahnen“, F. Niethammer „Die elektrischen Bahnsysteme der Gegenwart“, M. Corsepilus „Elektrische Bahnen“ lub francuskim, jak: Dubois et Blondel „La traction Électrique“, E. Gérard „Traité complet d'électro-traction“ i t. d., wydane przed laty 10 — 20, są, wobec szybkiego rozwoju trakcji elektrycznej, przeważnie przestarzałe i aczkolwiek zawierają dużo bardzo cennego materiału teoretycznego, jako podręczniki już się nie nadają.

Nowszych dzieł nie brak wprawdzie w literaturze Angielskiej i Amerykańskiej, że wspomnę tylko o „Electric Raylway Engineering“ C. Francis Harding, wydawnictwach International Library of Technology, „Electric Raylway Engineering“ H. F. Parschall and H. M. Harding, dzieła te jednak, dostosowane do warunków zupełnie od europejskich odmiennych i oparte przytem na systemie miar angielskich, nie dają się bez gruntownych i mozolnych przeliczeń i przeróbek w naszych stosunkach zastosować.

Pozatem nie brak oczywiście i licznych, nieraz bardzo cennych, krótszych prac, ogłaszanych w różnych czasopismach fachowych, ale te, dostępne tylko dla fachowców, dla których są one zresztą przeznaczone, też niewiele pożytku początkującym przynieść mogą.

Jeszcze gorzej przedstawia się rzecz cała u nas, gdyż nie posiadamy w naszej literaturze technicznej nietylko żadnego dzieła oryginalnego, ale nawet dobrego przekładu dzieł obcych o kolejnictwie elektrycznem.

Toteż student lub technik, pragnący się specjalizować w kolejnictwie elektrycznem, znajduje się wszędzie, a zwłaszcza u nas, w fatalnem położeniu. Pozbawiony wszelkiej pomocy teoretycznej poza kursami na uczelniach, które wobec ogólnego przeładowania programów muszą z konieczności rzecz całą traktować mniej albo więcej pobieżnie, pozostają

staje mu tylko praktyka i mozolne dowiadywanie się o wszystkim od niezawsze życzliwie usposobionych starszych kolegów. Przez jakie trudności przejść musi początkujący, dostawszy się jako pracownik do większej eksploatacji, której całokształtu nie rozumie, wiele go to kosztuje pracy, trudu i czasu, zanim się wypłacie z mnóstwa, często pozornie sprzecznych, a zawsze dla niego nie zrozumiałych szczegółów i urządzeń, których celowości nie widzi, to wie tylko ten, kto sam przez te trudności przechodzić musiał.

Pragnąc tedy przyjść z pomocą młodszym kolegom i przyszłym fachowcom, oraz słuchaczom wyższych uczelni technicznych, postanowiłem zebrać rozproszone w wszechświatowej literaturze dane w jedną całość i, uporządkowawszy je, uzupełniwszy i poparałszy własnymi doświadczeniami, opracować niniejsze dzieło, obejmujące możliwie całokształt trakcji elektrycznej. Przeznaczeniem tego dzieła nie jest więc zupełne i ostateczne wykształcenie fachowców, do tego nigdy przestudjowanie jednego, chociażby najobszerniejszego dzieła wystarczyć nie może, lecz danie takiego całokształtu kolejnictwa elektrycznego, aby pragnący się specjalizować technik, mógł posługiwać się skutecznie dziełami bardziej specjalnymi, pracujący zaś praktycznie w trakcji elektrycznej mógł łatwiej zrozumieć całość organizacji technicznej i administracyjnej i ze swej praktyki wynieść rzeczywistą korzyść.

Piszę przedewszystkiem i głównie o tramwajach i kolejach dojazdowych, gdyż jestto dział najbardziej rozpowszechniony i jako taki rozporządzający najbogatszym materiałem i najbardziej skryształizowanymi formami, w drugim zaś dopiero rzędzie o kolejach głównych, gdyż trakcja elektryczna znajduje się tu w stadium szybkiego rozwoju, a stosowane dziś formy, mogą łatwo być jutro przestarzałymi. Obszerne więc opracowanie książkowe kolei głównych elektrycznych wydaje mi się być jeszcze przedwczesnem. Ponieważ jednak ogólne zasady trakcji elektrycznej pozostają zawsze i wszędzie te same, zmieniają się zaś tylko kształty zewnętrzne i detale wykonania, przeto mam nadzieję, że dzieło to pozwoli każdemu zorientować się również dostatecznie i w zagadnieniach dotyczących specjalnie kolei głównych.

Przeznaczając dzieło w pierwszym rzędzie dla inżynierów elektrotechników, pomijam zasady elektrotechniki, a również zwykle w podobnych podręcznikach rzuty oka na historyczny rozwój trakcji elektrycznej, przystępując odrazu do opisanie tramwajów, kolejek i kolei takich, jakimi one obecnie bywają budowane. Jeżeli przytem wspominam czasami o konstrukcjach już przestarzałych, to czynię to jedynie dla łatwiejszego zrozumienia konstrukcji nowych, oraz uniknięcia zawodów wynalazcom, którzy często myśląc, że wynaleźli nowe ulepszenie, wracają tylko do dawno znanych i zarzuconych form.

VIII

Ceny poszczególnych części składowych urządzeń trakcyjnych, materiałów i robocizny, były zawsze wysoce zależne od miejscowych warunków, państw i czasu, a ulegają tembardziej obecnie, przy nieustalonych walutach i warunkach, szybkim i nie dającym się zgóry przewidzieć zmianom. Aczkolwiek więc można przeważnie znaleźć w dawniejszych podręcznikach ceny tak poszczególnych części, jak i całych urządzeń, to uważałem pomieszczenie tych cen tu nietylko za zupełnie zbyteczne, ale nawet za wręcz szkodliwe i łatwo do fałszywych wniosków doprowadzić mogące.

Dzieło całe składa się z dwu tomów, obejmujących każde 4 części, na jakie treść dzieła podzielona została. Częściami temi są:

Tom pierwszy: I. Zużycie energii, II. Tory, III. Sieć, IV Tabor.

Tom drugi: V. Budunki, VI. Elektrownie i podstacje, VII. Koleje główne, VIII. Eksploatacja.

W części VIII-mej starałam się zebrać możliwie obfite dane czysto eksploatacyjne, tak o organizacji eksploatacji i jej poszczególnych działów, czynnikach na jej zyskowność wpływających, i trwałości różnych części składowych urządzeń, jako też pracach eksploatacyjnych, urządzeniu kontroli i niezbędnych ku temu pomiarach, przepisach bezpieczeństwa i t. p.

Przy tej sposobności wyrażam moją serdeczną wdzięczność prof. M. Pożaryskiemu i prof. K. Żurawskiemu za Ich cenne wskazówki i przejrzenie całego rękopisu, prof. Wysockiemu za wskazówki w sprawie słownictwa, inż. A. H. Armstrong, naczelnikowi wydz. kolejowego General Electric Co. i inż. Bachelder, naczelnikowi fabryki urządzeń trakcyjnych General Electric Co. w Erie, za obfite materiały, dotyczące konstrukcji General Electric Co., jakich mi łaskawie udzielili, a Komisji Wydawniczej Towarzystwa Bratniej Pomocy Studentów Politechniki Warszawskiej za gorliwą współpracę i pomoc przy wydawnictwie niniejszego dzieła.

Roman Podoski.

Warszawa, w czerwcu 1922 r.

C Z Ę Ś Ć I.

ROZDZIAŁ I.

Zużycie pracy.

1) **Opór trakcji.** Aby wóz, o wadze W ton, przesunąć o l metrów z jednostajną prędkością po szynach prostych i ułożonych poziomo potrzeba zużyć

$$A' = W \cdot l \cdot r \text{ kilogramometrów}$$

$$\text{lub } \frac{W \cdot l \cdot r \cdot 9,81}{3600} \text{ watt-godzin}$$

przyczem r oznacza siłę przeciwdziałającą poruszaniu wozu o wadze jednej tonny, mierzoną w kilogramach.

$W \cdot r = F$ nazywamy **oporem trakcji**, a ponieważ opór trakcji jest oczywiście równym sile, z jaką należałoby wóz ciągnąć (n. p. przy pomocy liny), aby się poruszał z jednostajną prędkością, można też F nazywać siłą pociągową.

Jeżeli przestrzeń l metrów wóz przebył w czasie t sekund, t. j. posuwał się z jednostajną prędkością $\frac{l}{t} = v$ metrów na sekundę, to moc potrzebna, aby poruszać wóz po szynach na szlaku prostym i poziomym z jednostajną prędkością będzie:

$$P' = \frac{F \cdot l \cdot 9,81}{t} = F \cdot 9,81 \cdot v \text{ wattów.}$$

Przy tramwajach elektrycznych moc tą, potrzebną do poruszania elektrowozu, dają umieszczone na nim elektromotory; jeżeli więc chcemy obliczyć moc, jaką należy doprowadzić do elektrowozu, względnie jego motorów, to musimy w powyższe równania wprowadzić jeszcze współczynnik sprawności η elektromotorów przy danem ich obciążeniu i otrzymamy:

Pracę zużytą na przebycie l metrów ze wzoru:

$$A = \frac{W \cdot l \cdot r \cdot 9,81}{3600 \cdot \eta} \text{ watt-godzin,}$$

a moc, jaką musimy doprowadzić do elektrowozu ze wzoru

$$P = \frac{W \cdot r \cdot 9,81 \cdot v}{\eta} \text{ watów.}$$

F możemy wyrazić równaniem $F = W \cdot r + Z$.

W oznacza wagę elektrowozu w tonnach, r współczynnik oporu trąceji, a Z opór powietrza: opór ten jest oczywiście od wagi wozu niezależnym.

Spółczynnik oporu trąceji r składa się z rozmaitych części, tak, iż możemy napisać:

$$r = r_1 + r_2 + r_3, \text{ wyrażając przez:}$$

r_1 współczynnik tarcia osi w panewkach

r_2 " " kół na szynach przy toczeniu

r_3 " " przy ślizganiu się kół po szynach.

Tarcie osi w panewkach jest proporcjonalne do wagi wozu i równe $W \cdot f'$, przyczem f' oznacza współczynnik tarcia między metalami panewki i osi. Ponieważ jednak liczymy siłę pociągową na haku (za jaki należałoby wóz ciągnąć) przeto musimy tarcie to zmniejszyć w stosunku średnicy kół elektrowozu D do średnicy osi d

$$r_1 = f' \frac{d}{D} \text{ na jednostkę wagi.}$$

Otóż f' , a zatem i r_1 , będzie zależne od samej budowy łożysk, sposobu ich smarowania, ilości i jakości smaru i większego lub mniejszego zanieczyszczenia panewek.

r_2 zależnem jest od kształtu szyn i obręczy kół, od ułożenia szyn, jakości styków i czystości torów: tarcie to będzie więc mniejsze n. p. na szynach czystych, jak zapyłonych, nowych, jak starych i t. d. Poza-tem zależnem też jest r_2 i od prędkości.

r_3 zależne jest także od stanu szyn, a zatem i pogody, gdyż koła ślizgają się więcej na szynach mokrych, jak suchych, zabłoconych, niż czystych i t. d.

W rezultacie nie jest więc r wielkością stałą, lecz w szerokich granicach zmienną i zależną tak od smarowania panewek, jakoteż rodzaju i stanu szyn i ich ułożenia, pogody i większego lub mniejszego zanieczyszczenia szyn, a wreszcie prędkości jazdy.

Na dobrych, starannie ułożonych i czystych torach mają r_2 i r_3 wartości niewielkie: ma to miejsce n. p. na kolejach magistralnych i wogóle torach ułożonych na własnym torowisku. Na torach natomiast ułożonych w jezdni ulic, a zatem przy tramwajach, mogą r_2 i r_3 przybrać wobec zanieczyszczenia torów, pokaźne wartości.

r_1 można by znacznie zmniejszyć, zmniejszając średnicę czopów d lub zwiększając średnicę kół D . Wytrzymałość mechaniczna czopów nie pozwala na zbytne zmniejszenie d (zwykle nie przekracza się obciążenia 20—25 kg. na cm^2): średnica kół D jest, zwłaszcza przy tramwajach, względami konstrukcyjnymi dość ściśle określoną i nie może przekraczać pewnej wielkości; ponieważ zaś współczynnik tarcia f' zmniejsza się w miarę zwiększenia szybkości trących o siebie metali, przeto niewiele da się tu zrobić.

Stosunek $\frac{d}{D}$ wynosi zwykle przy tramwajach 0,07—0,08 dla wozów doczepnych i 0,10—0,14 dla wozów motorowych. Współczynnik f' jest nader zmienny i może osiągnąć wartości 0,05, choć zwykle, przy dobrym smarowaniu i starannem utrzymaniu, nie powinien przekraczać 0,015—0,02

Dla wozów kolejowych wynosi zwykle $\frac{d}{D}$ około $\frac{1}{11}$, f' zaś $\frac{1}{70}$ — $\frac{1}{60}$. Z powyższego wynika, iż r_1 jest dla tramwajów 0,0015—0,002, dla kolei zaś 0,0014—0,0015.

Pamiętać przytem należy, iż r_1 jest zwykle w chwili ruszania znacznie większe, jak w czasie biegu; da się to może tem wytłumaczyć, iż oliwa (n. p. przy maźnicach poduszkowych) osmarowuje czopy całkowicie dopiero co najmniej po przekręceniu się czopa o $\frac{1}{2}$ obrotu. Tak n. p. wykazały próby dokonane na kolejach we Francji, iż r_1 wynoszące w chwili ruszania 140 kg., spada w czasie ruchu do 20 kg. (wóz o wadze 12 ton).

Podług prób v. Glinńskiego (Zeitschrift Vereins Deutscher Ingenieure r. 1912) wynosi opór trakcji w chwili ruszania dla: parowozów 20—26 kg., dla lokomotyw elektrycznych do 30 kg., dla: wagonów około 12 kg. Próby wykazały dalej, iż wartość r tembardziej zbliża się do wyżej podanych wartości maksymalnych, im dłużej pociąg stoi przed próbą. Tak n. p. znaleziono dla pociągu o wadze 172 ton po 4-minutowym postoju $r=6,2$ kg., po 5-minutowym postoju 8,2 kg., po 15-minutowym postoju 11,6 kg.

Praktycznie zwiększenie to oporu trakcji mogłoby mieć znaczenie tylko wtedy, gdyby siła pociągowa wywierana na obwodzie kół pędnych dorównywała oporowi trakcji lub przewyższała go o bardzo mało. W takim wypadku mogłoby się zdarzyć, że pociąg nie mógłby ruszyć z miejsca. Zwykle jednak pozostaje znaczna część siły pociągowej dla nadania pociągowi przyspieszenia, a skutek zwiększenia oporu trakcji jest taki, że przyspieszenie to jest w pierwszej, bardzo krótkiej chwili mniejsze jak obliczone.

r_2 powstaje, jak to już zaznaczyliśmy, z powodu tarcia kół toczących się po szynach, tarcia grzebienia kół o boki główki szyny, oraz z powodu nierówności jezdni szyny na złączach. Przy szynach rowko-

wych dochodzi do tego jeszcze tarcie obrzeży kół o ścianki rowków szyn. Tarcie obrzeży o boki główki, względnie o ścianki rowków, powstaje skutkiem bocznych wahań wozu, i jest tem większe, im mniej starannie są ułożone szyny. To też bywa na kolejach, gdzie szyny leżące na własnym planicie mogą być staranniej ułożone i utrzymane, r_2 bardzo małe i nie dosięga zwykle, przy niewielkich prędkościach, nawet wartości 0,001. Inaczej przy tramwajach: szyny, leżące w jezdni ulic nie mogą nigdy być tak dokładnie ułożone i utrzymane; już sama konieczność trzymania się profilu ulicy zmusza często do układania szyn w różnych poziomach. Różnice te w poziomie obu szyn jednego toru powodują przechylenie się i przesunięcie wozu i wywołują zwiększenie tarcia o bok szyny, a temsamem i wartości r_2 .

r_2 które przy małych prędkościach jest prawie stałe i od zmiany prędkości niezależne, rośnie szybko przy większych prędkościach ze wzrostem takowej. Wzrastanie to powodują prawdopodobnie wzmocnione przy większej prędkości wstrząśnienia przy przejeżdżaniu złączy a także wzmożone boczne kołysania i tarcie o boki szyn. Przy prędkościach więc większych jak 25—30 kil. na godzinę, nie można już r_2 uważać za stałe, lecz należy wartość tego współczynnika uzależniać od prędkości. Dla określenia zależności współczynnika r_2 od prędkości były robione liczne próby, między innymi przez M. du Bosquet na „chemin de fer du Nord” we Francji dla prędkości do 120 kil. na godz., M. Desdits dla prędkości do 60 kil/godz., M. Franck, M. L'Hoest (w Belgii) i innych. Próby te włączają tak r_1 , r_2 i r_3 jako też opór powietrza, powrócimy więc do nich nieco później.

Dla tramwajów można przy normalnych warunkach i suchych szynach przyjąć r_2 :

dla szyn typu „Vignol“ 0,0015—0,002

„ „ rowkowych 0,006—0,007

Co do r_3 wreszcie, to wartość jego, jako zależna od pogody i czystości szyn jest tak zmienną, iż żadne normy postawić się tu nie dadzą. Przy projektowaniu przyjmuje się zwykle $r_3 \approx 0,001$.

2) Opór powietrza. Opór powietrza Z zwiększa się nader szybko ze wzrastającą prędkością. Przy prędkościach nie przekraczających 10—12 kil. na godz., jakie były stosowane przy tramwajach konnych i pierwszych elektrycznych, jest ten opór tak mały, iż poważniejszego wpływu na siłę pociągową nie wywiera; przy prędkościach jednak stosowanych dziś przy tramwajach śródmiejskich, a tembardziej podmiejskich, jest ten wpływ już dość znacznym i pomijać go nie można. Przy kolejach o wielkich prędkościach zużywa pokonanie oporu powietrza znaczną część pracy potrzebnej dla poruszania pociągu.

Według wzoru Newtona opór powietrza jest proporcjonalny do powierzchni, na jaką działa, i do kwadratu prędkości:

$$Z = \lambda \cdot Q \cdot v^2$$

przyczem Q = powierzchni, na którą działa opór powietrza, mierzonej w metrach kwad.

v = prędkości w metr/sek. λ = około 0,08. Z wyrażone w kilogramach.

Liczne doświadczenia i pomiary wykonane między innymi przez Cailletet i Colardeau wykazały, iż teoretycznie nieścisły ten wzór daje jednak wyniki dość zgodne z praktyką, o ile prędkość nie przekracza 50 kil/godz., t. j. 14—15 metr/sek. Co do prędkości większych, to są zdania podzielone. Niektórzy, między innymi Crosby, twierdzą, iż opór powietrza wzrasta wolniej niż kwadrat prędkości, inni zaś, jak Cailletet i Colardeau są zdania wprost przeciwnego. Langley znowu dowodzi, iż wzór Newtona daje się zastosować dla prędkości do 108 kil/godz., podobne wyniki otrzymali także Smeaton i Hagen.

W każdym razie można dla tramwajów i kolejek podmiejskich stosować z dostateczną dokładnością wzór Newtona.

Co do współczynnika λ , to wartość jego wynosi podług pomiarów Poncelet'a, dla prędkości do 50 kil/godz., dla płaszczyzn prostopadłych do kierunku ruchu, 0,088, zaś podług Langley'a dla prędkości do 108 kil/godz. 0,07—0,09. Pomiary dokonane na wieży Eiffla przez pp. Cailletet i Colardeau dały dla prędkości do 25 m/sek. (90 kil/godz.) 0,071.

Dla innych powierzchni (nie prostopadłych płaszczyzn), a zatem innych kształtów przodu wozu, zmieniają się i wartości λ .

Tak np. otrzymano:

dla pół-cylindra	$\lambda_1 = 0,57—0,66 \lambda$
„ półkuli	$\lambda_1 = 0,36—0,50 \lambda$
„ klina o kącie wierzchołkowym 90°	$\lambda_1 = 0,60 \lambda$
„ takież 60°	$\lambda_1 = 0,54 \lambda$

Jeżeli porusza się nie jeden wóz, ale cały pociąg złożony z kilku wozów, to opór powietrza zwiększa się tak skutkiem tarcia o boczne ściany, jak głównie skutkiem wciskania się powietrza pomiędzy wozy; zwiększanie to oporu będzie tem znaczniejsze, im większa jest przestrzeń pomiędzy wozami. Zwykle przyjmuje się, iż każdego wóz doczepny zwiększa opór powietrza o 0,1—0,12 jego wartości.

Według prób Francka należy liczyć jako powierzchnię Q :

Dla lokomotywy 1,1 Q' , oznaczając przez Q' powierzchnię w metr. kwadr. poprzecznego przekroju lokomotywy.

Dla każdego wagonu osobowego lub krytego towarowego 0,56 m²

Dla każdego naładowanego niekrytego wozu towarowego 0,32 m²

Dla każdego niekrytego wagonu towarowego 1,62 m²
 Pozatem dla pierwszego wagonu za lokomotywą (event.
 bagażowego lub służbowego) dodatkowo 2,00 m².

Jeżeli więc np. pociąg składa się z lokomotywy o przekroju 7,5 m²,
 20 wagonów niekrytych pustych, 15 naładowanych i 10 wagonów towa-
 rowych krytych, to powierzchnia Q wyniesie:

$$1,1 \cdot 7,5 + 2 + 20 \cdot 1,62 + 15 \cdot 0,32 + 10 \cdot 0,56 = 53,05 \text{ m}^2$$

Franck przyjmuje dalej $\lambda = 0,07$.

Przy prędkości więc np. 50 kil/godz. = 13,88 m/sek byłoby

$$Z = 0,07 \cdot 53,05 \cdot 13,88^2 = 726,56 \text{ kg.}$$

Licząc zaś jak poprzednio otrzymalibyśmy, przy $\lambda = 0,08$:

Dla lokomotywy samej $0,08 \cdot 7,5 \cdot 13,88^2 = 117,2 \text{ kg.}$ zwiększone
 przez 45 wagonów po 0,12 dla każdego

$$45 \cdot 0,12 \cdot 117,2 = 632,58 \text{ kg.}$$

$$\frac{117,20}{\text{„}}$$

$$\text{Ogółem . . . } 749,78 \text{ kg.}$$

Opór wiatru wiejącego w kierunku torów uwzględnia się w ten
 sposób, iż szybkość jego dodaje się, względnie odejmuje od prędkości
 pociągu. Przy wietrze skośnym trudno ściśle obliczyć wywołane nim
 zwiększenie oporu; można jednak ze znacznym przybliżeniem brać rzut
 prędkości wiatru na kierunek torów jako dodatkową prędkość.

Powierzchnia przekroju poprzecznego normalnych wozów tramwajo-
 wych wynosi 6—7 metr. kwadr. Dla prędkości więc np. 25 kil/godz.
 otrzymamy:

$$Z = 0,071 \cdot 6 \cdot 6,95^2 = 20,58 \text{ kg.}$$

dla prędkości 20 kil/godz. otrzymamy $Z = 13,2 \text{ kg.}$, 15 kil/godz. 7.4 kg.

Przy wadze wozu 10 ton odpowiada to zwiększeniu oporu traktacji
 od 0,7 do 2 kg. na tonę.

Ogółem więc możemy przy tramwajach średniejskich, biegnących
 po szynach rowkowych, liczyć średnio:

$$r = r_1 + r_2 + r_3 = 0,0015 + 0,006 + 0,001 = 0,0085 \text{ do}$$

$$0,002 + 0,007 + 0,001 = 0,01$$

czyli 8 do 10 kg. na tonę, do czego należy jeszcze dodać opór powietrza,
 który dla obliczeń można przyjąć 1 kg. na tonę.

Zaznaczyć tutaj należy, iż r miewa zwykle inną wartość dla wozów
 doczepnych, jak dla motorowych. Nie mówiąc już o tem, iż średnice
 czopów i kół mogą być inne, co zmienia wartość r_1 wchodzi tu w grę
 jeszcze i waga motorów. Motory częścią swej masy (zwykle $\frac{1}{2}$) spo-
 czywają na osiach, co wywołuje dodatkowe tarcie w odnośnych panewkach.

Wartość tego tarcia bywa 0,5 do 1,5 kg. na tonnę wagi wozu, w zależności od jego budowy.

Wielu autorów popełnia ten zasadniczy błąd, iż w r włącza także straty w przekładni, np. kołach zębatych. Straty te, jako nie stałe i zależne nie od wagi wozu, lecz od obciążenia motorów, nie mogą wchodzić w wartość r , lecz winny być włączone w straty powstające w motorach.

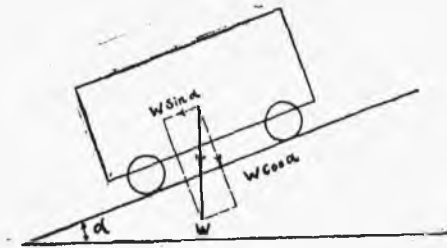
3. Opór na pochyłościach i opór łuków. Jeżeli tory nie leżą poziomo lecz na równi pochyłej, i wóz musi się poruszać pod górę, to do pracy potrzebnej, aby go posuwać po szynach ułożonych poziomo, przybywa dodatkowa praca dla podniesienia wozu na potrzebną wysokość.

Jeżeli kąt pochylenia toru nazwiemy α , to widzimy, iż równoległe do szyn działa siła:

$W \cdot r_w = W \cdot \sin \alpha$, starająca się wóz stoczyć na dół, a zatem przeciwdziałająca jego poruszeniu się pod górę.

Z powyższego równania wynika

$$r_w = \sin \alpha$$



Rys. 1.

Pochyłościom 10 — 13‰, jakie maksymalnie mogą być bez pomocy lin lub szyn zębatych przy trakcji przewyciężane, odpowiadają kąty do 7°. $\cos 7^\circ = 0,9925$, możemy więc przyjąć $W \cdot \cos \alpha = W$.

$$\begin{array}{ll} \sin 3^\circ = 0,0523 & \text{tang } 3^\circ = 0,0524 \\ \sin 7^\circ = 0,1219 & \text{tang } 7^\circ = 0,1228 \end{array}$$

Możemy więc dalej, nie popełniając błędu większego nad 1‰, brać zamiast $\sin \alpha$, $\text{tang } \alpha$, czyli biorąc W w tonnach, wstawić zamiast $\sin \alpha$ pochylenie w tysięcznych.

r_w będzie więc równe pochyłości wyrażonej w tysięcznych.

Dla pochyłości np. 3‰ będzie siła pociągowa

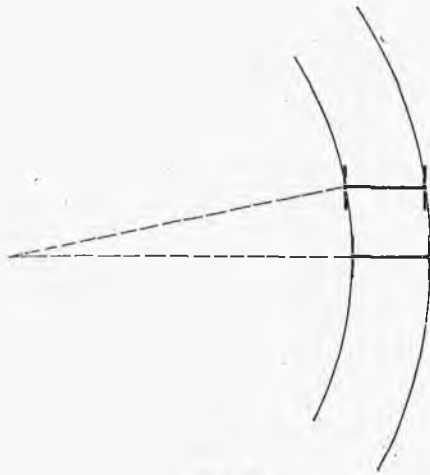
$$F = W (r + 3) + Z$$

Oczywiście, iż jeżeli wóz nie wjeżdża pod górę, lecz się z góry stacza, to będzie r_w ujemne:

$$F = W (r - r_w) + Z$$

Jeżeli wóz porusza się nie po linii prostej, lecz przejeżdża łuki, to powstaje dodatkowy opór r_k , spowodowany tak ślizganiem się kół, biegną-

cych po wewnętrznej stronie łuku i mających przez to do przebycia krótszą drogą od kół biegnących po łuku zewnętrznym, jakoteż przez



Rys. 2.

to, iż osie, szczególnie sztywne, leżąc równolegle do siebie, nie mogą się obie ustawić w promieniu łuku; skutkiem tego koła nie leżą na stycznej, klinują i trą silnie grzebieniami o boki szyny.

Opór r_k będzie tem większy, czem mniejszy jest promień łuku i czem większa jest odległość między osiami, czyli rozstaw kół.

Na kolejach, gdzie łuków o małych promieniach niema, bywa r_k naogół małe i daje się dość dokładnie obliczyć przy pomocy odpowiednich wzorów empirycznych; wzorów takich jest sporo, przytoczymy tu pare:

Zehme proponuje dla łuków o promieniu do 180 m. wzór:

$$1) \quad r_k = 1000 \frac{0,65}{R - 55} \quad R = \text{promień łuku w metrach}$$

2) M. Desdouits podaje wzór:

$$r_k = 500 \frac{e}{R} \quad e = \text{szerokość toru, dla toru normalnego} = 1,44$$

Wzór Röckla często stosowany n. p. w Polsce, brzmi:

$$3) \quad r_k = \frac{625}{R - 45}$$

Franck podaje wzór ogólnie stosowany w Niemczech

$$4) \quad r_k = \frac{d}{R} \left(180 - \frac{1000 \cdot d}{R} \right) \text{ dla pociągów osobowych } \left. \vphantom{r_k} \right\} d = \text{rozstaw kół}$$

$$r_k = \frac{d}{R} \left(180 - \frac{2000 \cdot d}{R} \right) \text{ dla pociąg. towarowych}$$

P. Dupuy proponuje dla łuków o małych promieniach:

$$5) \quad r_k = \frac{370}{R - 10}$$

Dla łuku n. p. o promieniu 1000 m. przy $d = 1,44$ otrzymalibyśmy

podług wzoru	1)	$r_k = 0,687$	kg.
"	"	2)	$r_k = 0,72$ kg.
"	"	3)	$r_k = 0,654$ kg.
"	"	4)	$r_k = 0,688$ kg. (pociąg towarowy)

a zatem wyniki dość zgodne. Dla łuku o promieniu 500 m. mielibyśmy

1) $r_k = 1,46$ kg.

2) $r_k = 1,44$ kg.

3) $r_k = 1,37$ kg.

4) $r_k = 1,31$ kg.

Natomiast dla łuków ostrzejszych n. p. o promieniu 200 m. otrzymamy

1) $r_k = 4,5$ kg.

2) $r_k = 3,6$ kg.

3) $r_k = 4,0$ kg.

4) $r_k = 2,8$ kg.

5) $r_k = 1,95$ kg.

Międzynarodowa komisja dla łuków o małym promieniu wyłoniona przez międzynarodowy kongres kolejowy w roku 1892 znalazła dla łuków o promieniu 200 m.:

$$r_k = 4,0 \text{ kg.}$$

Jeszcze gorzej przedstawia się rzecz dla tramwajów, gdzie zdarzają się łuki o promieniu 15 i nawet mniej metrów. Opór r_k jest tu tak zależny od ułożenia toru, wywyższenia zewnętrznej szyny, budowy wozu i t. p., że żaden wzór nie daje nawet przybliżonych wyników. Tak n. p. dałby wzór 5) dla łuku o promieniu 20 m.

$r_k = 37$ kg. na tonnę podczas kiedy pomiary dokonane w Warszawie w roku 1910 wykazały

$$r_k = 25,2 \text{ do } 29,2 \text{ kg/ton.}$$

Dla łuku o promieniu 50 m. otrzymalibyśmy $r_k = 9,3$ kg/ton., pomiary zaś dały

$$r_k = 16,8 - 18,5 \text{ kg/ton.}$$

Wszelkie więc wyliczenia dodatkowego oporu łuków dla tramwajów są zupełnie bezużyteczne; mając przy projektowaniu obliczyć zużycie pracy i sprawność maszyn nie pozostaje nic innego, jak zwiększyć opór trakcji r o 1 — 2 kg. na tonnę, w zależności od ilości łuków.

Przy projektowaniu nowych sieci tramwajowych można naogół przyjmować opór trakcji r , włączając w to opór powietrza i dodatkowy opór łuków;

$r = 12$ kg. przy szynach rowkowych starannie ułożonych i normalnym stanie ulic;

$r = 15$ kg/ton. przy mniej starannie ułożonych torach lub źle utrzymanych i słabo czyszczonych ulicach;

$r = 20$ kg. dla źle ułożonych torów, np. torów prowizorycznych;

$r = 9 - 10$ kg. dla szyn Vignolowskich starannie ułożonych.

4) Opór trakcji przy większych prędkościach. Jak to już zaznaczyliśmy nie jest r_2 , a zatem i r , dla większych prędkości stałe, lecz wzrasta w miarę jej wzrastania. Gra tu rolę, jak widzieliśmy, tyle zmiennych czynników, że o wyprowadzeniu matematycznym wzoru, któ-

ryby pozwalał obliczać z góry opór dla danej prędkości, nie może być mowy. Natomiast nie brak licznych wzorów empirycznych wyprowadzonych z wyników prób i doświadczeń wykonanych przez różnych badaczy w różnych krajach. Wzory te, aczkolwiek wszystkie oparte na licznych i możliwie dokładnych próbach, dają jednak przeważnie bardzo od siebie różniące się wyniki. Pochodzi to stąd, że odnośne doświadczenia robione były w różnych warunkach i z różnym materiałem; tak n. p. inne muszą oczywiście być wyniki na szynach ciężkich i mocnych, jak na lekkich, na gęsto ułożonych podkładach, jak w Ameryce a na rzadziej, jak w Europie: niemając rolę gra budowa łożysk, rodzaj smarowania, kształt przodu lokomotywy, odległość między wagonami, sztywne lub nastawialne osie względnie wózki, rozstaw kół i t. p. Dalej pewnem jest, że współczynnik oporu trąceji jest tem mniejszy, czem cięższe są wozy, względnie czem większem obciążenie osi. Stosując więc tego rodzaju wzory należy zawsze pamiętać, że dają one dostatecznie ścisłe wyniki tylko przy takich warunkach, przy jakich robione były próby, służące do ich zestawienia. Należy przeto starać się dobrać wzór odpowiedni do danych warunków, dla których ma być zrobione obliczenie.

Z licznych znanych wzorów przytoczymy poniżej najbardziej stosowane.

1) Wzór M. L'Hoest, inżyniera kolei państwowych belgijskich, dla wozów motorowych elektrycznych biegnących na szynach Vignolowskich

$$F = 1,8 W + 0,04 \cdot W \cdot v + 0,0415 \cdot v^2.$$

v = prędkość w kilometrach na godzinę.

Wzór ten włącza opór powietrza.

2) Wzór M. du Bosquet oparty jest na licznych i bardzo ścisłych doświadczeniach wykonanych we Francji; wzór ważny dla umiarkowanych prędkości do 90 km/g.:

$r = 1,6 + 0,46 \cdot v \left(\frac{v + 50}{1000} \right) = 1,6 + 0,023 \cdot v + 0,00046 \cdot v^2$ dla wozów ze stałemi osiami,

$r = 1,6 + 0,00456 \cdot v + 0,000456 \cdot v^2$ dla wozów cztero-osioowych na wózkach; v w kilom. na godz., wzór ważny dla pociągów bez lokomotywy.

Przerobiwszy wzory te podług Dupuis i Blondela dla kolei elektrycznych otrzymamy wzór ogólny dla pociągów złożonych z wozu motorowego, względnie lokomotywy i czteroosioowych wozów doczepnych:

$$F = \beta \cdot W + 1,6 \cdot D + (W + D) 0,456 \cdot v \left(\frac{v + 10}{1000} \right) + 0,9 (W + D) \cdot i + \frac{(W + D) \cdot 500 \cdot e}{R} + \lambda \cdot Q \left(\frac{v}{3,6} \right)^2$$

β = współczynnik oporu trąkci dla lokomotywy, względnie wozu motorowego, przy małych prędkościach; na szynach Vignolowskich 2 do 2,5.

W = waga lokomotywy w tonnach,

D = waga wozów doczepnych w tonnach,

i = pochyłość w tysięcznych (wzniesienie),

e = szerokość toru,

R = promień łuku w metrach,

Q = przekrój lokomotywy.

Jeżeli zamiast wozów doczepnych cztero-osioowych mamy wozy zwykłe ze stałymi osiami, to trzeci wyraz wzoru zastępujemy wyrazem

$$D \cdot 0,46 \cdot v \left(\frac{v+50}{1000} \right).$$

Wzór ten można przedstawić w nieco dogodniejszej formie:

$$F = W \cdot (\beta + 0,00456 \cdot v + 0,000456 \cdot v^2) + D \cdot (1,6 + 0,00456 \cdot v + 0,000456 \cdot v^2) + 0,9 (W + D) \cdot i + \frac{(W + D) \cdot 500 \cdot e}{R} + \lambda \cdot Q \left(\frac{v}{3,6} \right)^2.$$

3) W Niemczech ogólnie używany jest wzór Francka bardzo starannie opracowany i również oparty na bardzo licznych i ścisłych pomiarach.

Franck przyjmuje, że opór tarcia osi w panewkach i kół na szynach $r_1 + r_2$ jest wielkością stałą i od prędkości niezależną, wprowadza natomiast zależność r_3 od prędkości.

$r_1 + r_2$ wynosi podług Francka dla kolei głównych dla wagonów 2,5 a dla parowozów 4,0; dla lokomotyw elektrycznych należy liczyć również 2,5 (odpada tarcie suwaków, korbowodów i t. p.)

$$r_3 = 0,0142 \cdot \left(\frac{v}{10} \right)^2 \text{ kg. na tonnę.}$$

Opór trąkci całkowitego pociągu na szlaku prostym:

$$F = (W + D) \left[2,5 + 0,0142 \left(\frac{v}{10} \right)^2 + i \right] + 0,54 (1,1 \cdot Q' + 2 + n \cdot q) \cdot \left(\frac{v}{10} \right)^2$$

$n \cdot q$ = suma dodatkowych powierzchni dla wagonów, z których składa się pociąg podług str. 6

Q' = powierzchnia lokomotywy.

Dla lokomotywy samej:

$$F_l = W \cdot \left[2,5 + 0,0142 \left(\frac{v}{10} \right)^2 + i \right] + 0,54 \cdot 1,1 \cdot Q' \left(\frac{v}{10} \right)^2.$$

Dla pociągu zaś bez lokomotywy:

$$F_p = D \cdot \left[2,5 + 0,0142 \cdot \left(\frac{v}{10} \right)^2 + i \right] + 0,54 \cdot (2 + n \cdot q) \cdot \left(\frac{v}{10} \right)^2$$

W roku 1901 powtórzył Franck swe próby i wyprowadził nowe wzory, które zresztą dają wyniki prawie identyczne z poprzednimi:

Dla parowozu samego:

$$r_p = 4,0 + \left(0,00592 \frac{Q}{W} + 0,00014 \right) \cdot v^2$$

(Dla elektrowozu to samo, tylko zamiast 4,0 — 2,5).

Dla wagonów osobowych:

$$r_1 = 2,5 + \left(\frac{1,2 + 0,32 \cdot n}{106 \cdot D} + 0,000142 \right) \cdot v^2$$

D = waga wagonów

n = ilość wagonów

Dla wagonów towarowych niekrytych:

$$r_p = 2,5 + \left(\frac{1,2 + 0,18 \cdot n}{106 \cdot D} + 0,000142 \right) \cdot v^2 \quad \text{\textit{ładownych i}}$$

$$r_p = 2,5 + \left(\frac{1,2 + 0,925 \cdot n}{106 \cdot D} + 0,000142 \right) \cdot v^2 \quad \text{\textit{późnych.}}$$

Aby wzory te stosować, należy znać dokładnie skład pociągu, co, zwłaszcza przy projektowaniu nowych linii, nie zawsze jest możliwym. W takich wypadkach można posługiwać się wzorami uproszczonymi podanymi pod Nr. 4.

4) Zakładając normalne przeciętne wagi dla wagonów wyprowadził Strahl, a także Clark, ze wzorów Francka uproszczone wzory dla oporu pociągów. Wzory te są także bardzo często używane w Niemczech dla określania współczynnika oporu trakcji samych pociągów; opór trakcji lokomotywy bywa przy tem obliczany podług Francka.

Wzory Strahl'a lub Clark'a dla szlaku prostego i poziomego brzmią:

Dla pociągów pośpiesznych i ciężkich towarowych (np. węglowych):

$$r_p = 2,5 + \frac{1}{40} \left(\frac{v}{10} \right)^2$$

Dla pociągów osobowych zwykłych:

$$r_p = 2,5 + \frac{1}{30} \left(\frac{v}{10} \right)^2$$

Dla pociągów towarowych pośpiesznych:

$$r_p = 2,5 + \frac{1}{25} \left(\frac{v}{10} \right)^2$$

Dla zwykłych pociągów towarowych:

$$r_p = 2,5 + \frac{1}{20} \left(\frac{v}{10} \right)^2$$

Dla pociągów towarowych pustych (nienaładowanych):

$$r_p = 2,5 + \frac{1}{10} \left(\frac{v}{10} \right)^2$$

Liczne próby dokonane na zupełnie poziomo leżącym szlaku Isenbüttel-Dollbergen z pociągami złożonymi z wagonów osobowych 4 i 6 osiowych wykazały, że wzory te dają bardzo dokładne wyniki. Tak np. obliczono dla pociągu o wadze 450 ton i prędkości 92 km/g. 2078 kg., wymierzono zaś 2000 kg.: dla prędkości 91 km/g. obliczono 2058 kg., wymierzono 2100 kg.: dla prędkości 95 km/g. obliczono 2140 kg., wymierzono 2000 kg. i t. d.

5) Hruschka podaje w „Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen” rocznik 1910 wzór specjalny dla lokomotyw elektrycznych:

$$r_1 = 2,5 + c \cdot \left(\frac{v}{10} \right)^2$$

„c” przy 3 osiach pędnych = 0,07—0,06

„ 4 „ „ = 0,065

„ 5 „ „ = 0,055

$$\text{średnio więc } r_1 = 2,5 + \frac{1}{15} \left(\frac{v}{10} \right)^2$$

Wzór ten daje wartości nieco mniejsze jak wzór Francka, na którym jest wzorowany.

6) We Francji bywa przeważnie stosowany wzór Desdoutis:

Dla parowozów:

$$r_p = 4,0 + 0,9 \cdot v \cdot \frac{v + 40}{1000}$$

Dla wagonów dwuosiowych:

$$r_p = 1,6 + 0,3 \cdot v \cdot \frac{v + 90}{1000}$$

Dla wagonów czteroosiowych na wózkach:

$$r_p = 1,4 + 0,2 \cdot v \cdot \frac{v + 90}{1000}$$

dla szlaku prostego i poziomego, włącznie oporu powietrza.

Wzory te dają dla lokomotyw opory znacznie większe, jak wzory Francka, dla pociągów zaś przy małych prędkościach opory mniejsze, a przy większych, większe.

7) A. H. Armstrong opracował wzór dla krótkich pociągów elektrycznych (do 6 wagonów), np. pociągów kolei dojazdowych Amerykańskich:

$$r = \frac{50}{\sqrt{W}} + 0,3 \cdot v + \frac{0,002 \cdot v^2}{W} \cdot Q \left(1 + \frac{n-1}{10} \right)$$

r wyrażone w funtach angielskich na tonnę Amerykańską, prędkość w milach na godzinę, przekrój Q w stopach kwadr., W = waga całego pociągu w tonnach Ameryk.

Wyrażony w miarach metrycznych, a zatem kilogramach na tonnę, kilometrach i metrach kwadr. wzór ten brzmi:

$$r = \frac{23,8}{\sqrt{W}} + 0,0094 \cdot v + \frac{0,00388 \cdot v^2}{W} \cdot Q \left(1 + \frac{n-1}{10} \right)$$

Wyraz pierwszy ograniczony do minimum 1,75.

Wzór ten daje opory znacznie mniejsze jak inne wzory.

8) Wzór Amerykański Davis:

$$r = 5 + 0,13 \cdot v + \frac{0,0035 \cdot v^2}{W} \cdot Q \cdot \left(1 + \frac{n-1}{10} \right) \text{ w miarach Amerykańskich i}$$

$$r = 2,5 + 0,0352 \cdot v + \frac{0,0062 \cdot v^2}{W} \cdot Q \cdot \left(1 + \frac{n-1}{10} \right) \text{ w miarach metrycznych}$$

9) Często w Ameryce używany dla wszelkiego rodzaju pociągów jest wzór Sprague:

$$r = 4 + 0,16 \cdot v + \frac{0,333 \cdot v^2}{W} \text{ w miarach Amerykańskich lub}$$

$$r = 2 + 0,050 \cdot v + \frac{0,0586 \cdot v^2}{W} \text{ w miarach metrycznych.}$$

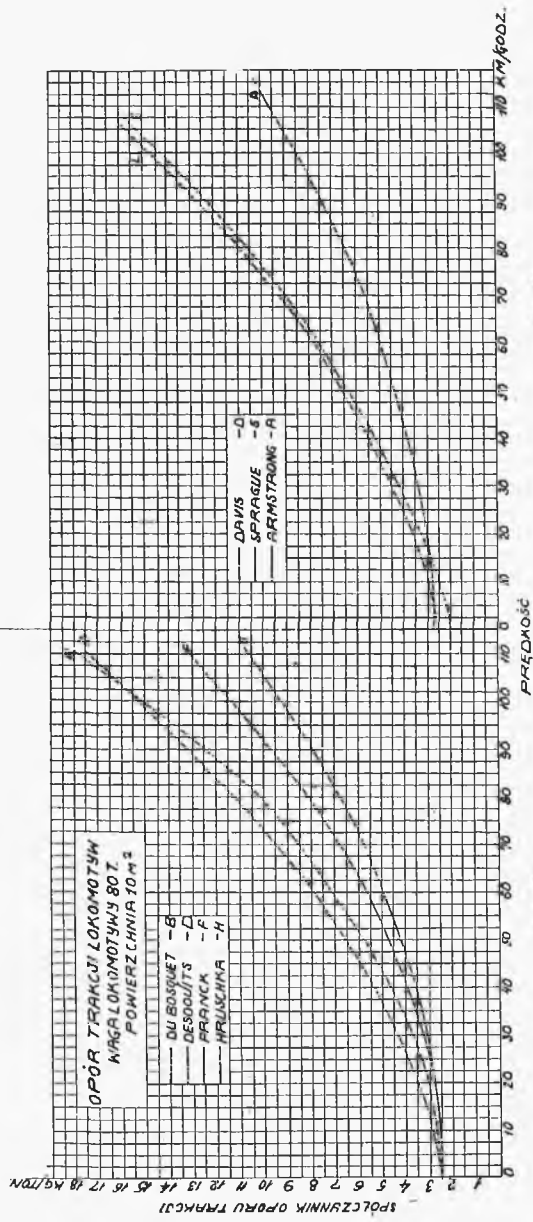
Oba ostatnie wzory dają dla lokomotyw wyniki dość zgodne z wynikami Desdouts.

10) W. N. Smith podaje dla pociągów elektrycznych złożonych z lokomotywy i wagonów o wadze 26—30 ton, wzór:

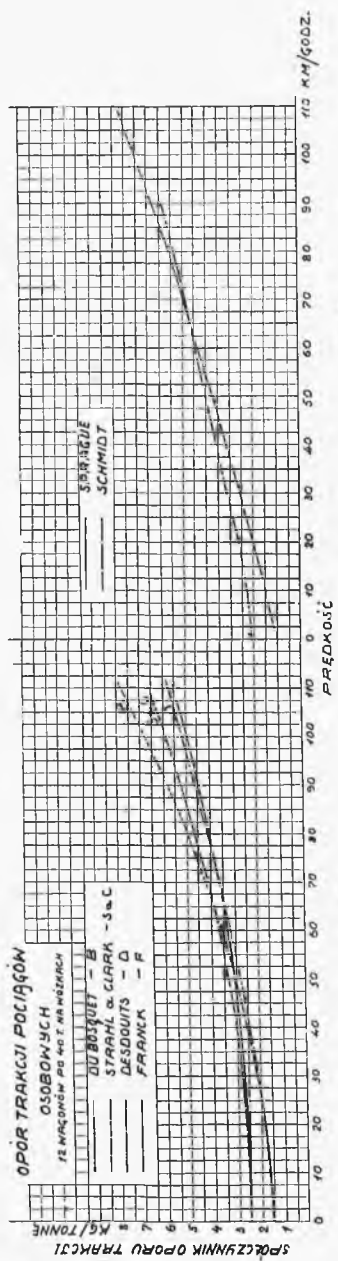
$$r = 3 + 0,167 \cdot v + \frac{0,0025 \cdot v^2}{W} \cdot Q \text{ w miarach amerykańskich lub}$$

$$r = 1,5 + 0,052 \cdot v + \frac{0,0586 \cdot v^2}{W} \cdot Q \text{ w miarach metrycznych.}$$

11) Dla pociągów towarowych (bez lokomotywy) bywa w Ameryce stosowany wzór Schmidt'a:



Rys. 3.



Rys. 5.

Rys. 4.

Rys. 6.

$$r = \frac{v + 39,6 - 0,031 \cdot W}{4,08 + 0,152 \cdot W} \text{ w miarach Amerykańskich lub:}$$

$$r = \frac{0,624 \cdot v + 39,6 - 0,0342 \cdot W}{8,16 + 0,332 \cdot W} \text{ w miarach metrycznych}$$

W = waga **jednego** wagonu.

Rys. Nr. 3 pokazuje współczynniki oporu trakcji dla lokomotywy elektrycznej o wadze 80 ton i przekroju 10 m.² obliczone podług wzorów M. du Bosquet, Desdouts, Francka i Hruschki, rys. Nr. 4 podług wzorów Amerykańskich A. H. Armstrong'a, Sprague i Dawis'a.

Współczynnik oporu trakcji pociągu osobowego, złożonego z 12 wagonów o wadze 40 ton każdy (bez lokomotywy) obliczone podług wzorów M. du Bosquet, Desdouts, Francka i Strahl-Clark widzimy na rys. Nr. 5 takiegoż pociągu, ale wraz z lokomotywą o wadze 80 ton i przekroju 10 m.² podług Sprague i pociągu towarowego złożonego z wagonów o wadze 18 ton podług Schmidta na rys. 6.

Wreszcie rys. 7 daje współczynniki oporu trakcji pociągu towarowego złożonego z 75 wagonów o wadze 18 ton każdy podług wzoru M. du Bosquet, Desdouts, Francka i Strahl-Clarka.

Dla lokomotywy n. p. o wadze 80 ton i przekroju 10 m.² otrzymujemy w kilogramach na tonnę:

Podług wzoru przy prędkości km/g	Du Bosquet	Desdouts	Frank	Hruschka	Armstrong	Davis	Sprague
30	3,75	4,35	3,28	3,10	3,39	4,95	4,17
50	5,82	6,51	4,75	4,20	4,35	6,56	6,35
70	8,50	9,45	6,80	5,75	5,69	9,39	9,11
100	15,10	15,25	11,35	9,25	8,46	14,80	14,34

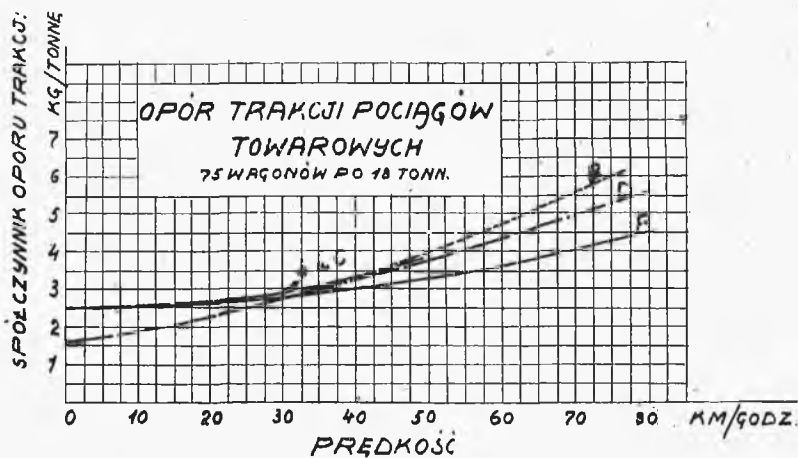
5. Przyspieszenie. Dotychczas mówiliśmy zawsze o wozie lub pociągu poruszającym się ze stałą prędkością: skoro tylko jednak prędkość przestaje być stałą, i ulega zmianom, to do wyżej rozpatrzonych sił, względnie zużycia pracy, przybywa jeszcze energia, potrzebna, aby nadać masie wozu, względnie pociągu, żywą siłę odpowiadającą nowej prędkości.

Jeżeli prędkość zamiast zwiększać się, powinna maleć, to osiągnąć to można w ten sposób, iż przerywa się dopływ prądu do motorów, poczem wóz, względnie pociąg, biegnie dalej nabytą siłą żywą z malejącą prędkością; możnaby w ten sposób odzyskać prawie całą pracę straconą na nadanie wozowi siły żywej. lecz zwykle wypada pod koniec

wóz hamować, niszcząc w ten sposób większą lub mniejszą część jego energii kinetycznej. W niektórych wypadkach zamiast niszczyć, względnie zamieniać bezużytecznie na ciepło, można tę pewną część energii zużytkować na wytworzenie prądu elektrycznego, który ze swej strony może już to być oddanym do sieci, już to służyć do hamowania pociągu (hamulce elektryczne).

W każdym jednak razie traci się znaczną część siły żywej pociągu, tak, iż niepodobna przy obliczeniach nie uwzględnić dodatkowej pracy niezbędnej dla nadawania pociągom prędkości.

Ilość metrów na sekundę, o jaką zwiększa się prędkość w przebiegu jednej sekundy, zwiemy przyspieszeniem na sekundę. Wielkość



Rys. 7.

tę oznaczać będziemy literą p i mierzyć w metrach w sekundę na sekundę. Jeżeli np. wóz, który posuwał się z prędkością 5 metrów na sekundę, ma po upływie jednej sekundy prędkość 5,6 metr/sek. to $p = 0,6$ metr/sek. na sekundę, co często wyrażamy: $p = 0,6$ metr/sek.²

Jeżeli przyjmiemy, iż p jest przez cały czas przyspieszenia jednokowe, t. j., iż mamy do czynienia z ruchem jednostajnie przyspieszonym, i nazwiemy prędkość, jaką wóz osiągnie w końcu ruchu przyspieszonego przez v , czas trwania przyspieszenia t sekund, to musimy rozwinąć siłę na jednostkę wagi wozu:

$$1) \frac{1}{g} \cdot \frac{v}{t} \text{ przyczem } g = \text{ przyspieszeniu ziemskiemu.}$$

Przez ten czas t wóz przebędzie drogę l , ze średnią prędkością $\frac{v}{2}$; mamy więc:

$$2) t = \frac{2 \cdot l}{v}; \text{ możemy przeto siłę wyrazić także wzorem:}$$

$$3) \frac{1}{g} \frac{v^2}{2 \cdot l}$$

Pracę wykonaną otrzymamy, pomnożywszy równanie 3) przez l :

$$4) \frac{1}{2} \frac{v^2}{g}$$

Moc w czasie ruchu przyspieszonego będzie średnio:

$$5) \frac{v^2}{2g} : t = \frac{v^2}{2g} : \frac{2 \cdot l}{v} = \frac{v^3}{4 \cdot l \cdot g}$$

6) $p = \frac{v}{t}$; możemy więc też napisać:

$$7) \text{Siła} = \frac{p}{g}$$

$$8) \text{Praca} = \frac{1}{2} \frac{p^2 \cdot t^2}{g}$$

$$9) \text{Moc} = \frac{1}{2} \frac{p^2 \cdot t^2}{g} : t = \frac{1}{2} \frac{p^2 t}{g}$$

Z powyższych równań widzimy, iż tak siła, jak praca i moc w czasie ruchu przyspieszonego będą tem większe, im większe będzie przyspieszenie p .

Aby z powyższych wzorów otrzymać siłę, moc lub pracę, potrzebną dla nadania wozowi o wadze W szybkości v , nie wystarcza jednak pomnożyć je przez wagę W , gdyż równanie $\frac{1}{2} \frac{W}{g} v^2$ wyraża siłę żywą, zawartą w bryle o wadze W poruszającej się z prędkością v , ale tylko dla ruchu prostoliniowego, podczas kiedy we wozie mamy też masy obracające się (koła, osie, motory), które siłę żywą wozu zwiększają.

Jeżeli oznaczymy przez:

q wagę jednego złożenia (oś, koła, koło zębate)

ω szybkość kątową tego złożenia

γ promień obrotowy

r promień kół

q' wagę twornika motoru wraz z kołem zębatem

γ' odpowiadający mu promień obrotowy

m stosunek liczby zębów koła zębatego dużego do liczby zębów koła małego, t. j. przekładnię

n liczbę złożów w danym wozie

n' liczbę motorów w danym wozie

to siła żywa całkowita będzie:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2g} \left[Wv^2 + n \cdot q \cdot \gamma^2 \cdot \omega^2 + n' \cdot q' \cdot \gamma'^2 \cdot m^2 \cdot \omega^2 \right] = \\ & = \frac{v^2}{2g} \left[W + n \frac{q \gamma^2}{r^2} + n' \frac{q' \gamma'^2 m^2}{r^2} \right]. \end{aligned}$$



Możemy więc uwzględnić wpływ mas obracających się, zastępując rzeczywistą wagę wozu W przez większą W' ;

$$W' = W \left[1 + n \frac{q}{W} \frac{\gamma^2}{r^2} + n' \frac{q'}{W} \cdot \frac{m^2 \gamma'^2}{r^2} \right]$$

$$W' = K \cdot W.$$

Wartość K wynosi dla normalnych dwuosiowych wozów motorowych z dwoma motorami 1,2—1,3, dochodząc dla lokomotyw do 1,45.

Jeżeliby prędkość w czasie ruszania wzrastała, jak to dotychczas przyjmowaliśmy, równomiernie, to linja prędkości, wyrażona jako funkcja czasu, byłaby linją prostą. W rzeczywistości jednak tak nie jest, gdyż prędkość wzrasta z początku szybciej, później wolniej, przechodząc nieznacznie w stałą; wyrażona jako funkcja czasu, daje ona linję krzywą, zbliżoną do paraboli, mającej jako oś linję czasu. Parabole taką możemy uważać jako wypadek skrajny, granicę, gdyż wtedy przyśpieszenie w pierwszej chwili musiałyby być nieskończenie wielkiem. Na podstawie równań paraboli otrzymamy:

$$v = v_0 \sqrt{\frac{t}{t_0}}; \quad \dot{p} = \frac{dv}{dt} = \frac{v_0}{2\sqrt{t_0 \cdot t}}; \quad l = \frac{v_0}{\sqrt{t_0}} \frac{2}{3} t^{3/2};$$

(v_0 = prędkość końcowa po upływie czasu t_0)

a dla $t = t_0$ (t. j. całego przebiegu):

$$l = \frac{2}{3} v_0 t_0 \quad \text{zamiast: } l = \frac{v_0 t_0}{2}$$

dla przyśpieszenia jednostajnego (linji prostej).

Drogę więc przebytą otrzymalibyśmy o $\frac{1}{3}$ większą; wartość rzeczywista leżeć będzie pośrodku, między dwiema temi granicami.

Co do mocy na jednostkę wagi, to mamy wzór:

$$\frac{v}{g} \dot{p} = \frac{v_0'^2}{2g t_0}, \quad \text{czyli to samo, co przy przyśpieszeniu jednostajnem.}$$

Przyjmując przeto dla obliczeń równomierne przyśpieszenie, nie popełniamy znaczniejszego błędu.

6) Przyczepność (Adhezja). Przyczepnością czyli adhezją zwiemy siłę, przeciwdziałającą ślizganiu się kół na szynach; dzięki przyczepności tylko może się wóz motorowy posuwać, bez niej bowiem koła kręciłyby się, lecz wóz by się nie posuwał (jak to rzeczywiście czasami ma miejsce, jeżeli przekroczymy siłę przyczepności).

Przyczepność powstaje prawdopodobnie skutkiem małych nierówności w kole i szynie, które, zazębiając się jedne za drugie, sprzeciwiają się ślizganiu się koła. Jeżeli szyny są zanieczyszczone, pokryte błotem lub lodem, wreszcie mokre, to przyczepność staje się mniejszą.

W normalnych warunkach bywa przyczepność znacznie większą, niż opór ślizgania się kół po szynach; ten ostatni zmniejsza się znacznie ze wzrastającą prędkością i wynosi n. p. przy 20 kil/godz. 0,072, a przy 80 kil/godz. już tylko 0,04 na jednostkę wagi.

Spółczynnik przyczepności natomiast, t. j. przyczepność na jednostkę wagi wynosi na suchych i czystych szynach 0,20—0,25; przy mgłę lub wilgotnych szynach spada on do 0,10. Średnio można na kolejach liczyć $\frac{1}{7}$ wagi.

Przy tramwajach bywa współczynnik przyczepności znacznie mniejszy i może nawet, przy nader niesprzyjających warunkach, spaść do 0,05. Posypując jednak szyny piaskiem, można zawsze osiągnąć 0,15, zwykle znacznie więcej, do 0,25.

Wagą przyczepności W' nazywamy obciążenie osi motorowych; przy wozie więc motorowym dwuosiowym, zaopatrzonym w dwa motory, będzie waga przyczepności równa całej wadze wozu;

$$W' = W.$$

Jeżeli współczynnik przyczepności oznaczymy przez a , to największa siła jaką będzie mógł rozwinąć wóz motorowy wyniesie $W' \cdot a$; siłę tę możemy nazwać siłą przyczepności. Jeżeli siła motorów przekracza tę granicę, to koła zaczynają się po szynach ślizgać i $W' \cdot a$ zamienia się na $W' \cdot f$ (f = współczynnik oporu ślizgania). Póki ślizganie się jest dowolnym, to f mało się różni od a i może mieć miejsce częściowe ślizganie się, przyczem wóz posuwa się naprzód; droga jednak, jaką zakreślił jakiś punkt na obwodzie kół, jest większą od drogi przebytej przez wóz; jeżeli różnicę tych dróg oznaczymy przez $l - l'$, to częściowe to ślizganie się spowoduje stratę pracy: $W' \cdot f \cdot (l - l')$.

Tego rodzaju straty zdarzają się w rzeczywistości bardzo często, n. p. przy szybkim ruszaniu, nierównej średnicy kół i t. p.

Skoro się jednak prędkość ślizgania zwiększa, to maleje równocześnie f szybko, dążąc do granicy 0,04, wóz więc posuwać się przestaje podczas kiedy koła coraz prędzej się obracają.

Jeżeliby więc nawet motory elektrowozu mogły rozwijać nieograniczoną siłę, to niemniej niebędzie elektrowóz mógł wjechać na pochyłość poza pewną granicą, ani osiągnąć większego ponad pewne maksimum przyspieszenia, ani wreszcie pociągnąć za sobą większej ponad pewną normę wagi, gdyż siła, jaką może ten elektrowóz rozwinąć równoległe do szyn, nie może w żadnym razie przekroczyć granicy $W' \cdot a$.

Te maksymalne wartości pochyłości, przyspieszenia i ciężaru zwiemy granicznymi dla danego wozu.

Siły działające na wóz poruszający się ze stałą prędkością są dwójakiego rodzaju, a mianowicie wewnętrzne i zewnętrzne. Wewnętrznymi siłami są: siła wywierana przez motory na osie oraz siły tarcia (w panewkach osi, motorów, przekładni i t. d.), zewnętrznymi zaś: siły równoległe do szyn, działające na obwodzie kół i powodujące ruch, których sumę znaczymy przez T , siły do szyn prostopadłe powodujące pracę toczenia się (nazwalimy ją $W \cdot r_2$) i wreszcie siły, stanowiące opór zewnętrzny.

Między siłami zewnętrznymi musi panować równowaga: jeżeli więc zrobimy rzut wszystkich tych sił na szyny i oznaczymy go przez x , to siły prostopadłe do szyn znikają, a x musi być $= T$.

Z drugiej jednak strony musi być siła F , jaką rozwijają motory na obwodzie kół, równą sumie oporów. Jeżeli więc przyjmiemy na razie, iż wszystkie osie danego wozu są pędne (t. j. zaopatrzone w motory), że zatem $W' = W$ to musi być

$$F = x + W \cdot r_1 \quad (r_1 \text{ nazwalimy tarcia w panewkach})$$

$$F = T + W \cdot r_1 \text{ a stąd}$$

$$T = F - W \cdot r_1.$$

Wynika z tego, iż siła równoległa do szyn na obwodzie kół T równą jest, nie jak to często fałszywie twierdzą, wadze wozu pomnożonej przez cały opór trakcji, lecz przez ten opór, zmniejszony o straty wewnętrzne. Różnica ta jest zresztą niewielką i praktycznie małe ma tylko znaczenie.

Siłami zewnętrznymi są naogół: waga wozu, opór powietrza, tarcie kół przy przejeżdżaniu luków; pozatem, jeżeli wóz motorowy ciągnie jeden lub kilka wozów doczepnych o wadze D , których współczynnik oporu trakcji jest ρ , to hak wywiera na wóz motorowy siłę zewnętrzną, której rzut na szyny (przy pochyłości α):

$$D \cdot \sin \alpha + D\rho \text{ albo z wielkiem przybliżeniem}$$

$$D(i + \rho) \quad i = \text{pochyłość w tysięcznych.}$$

Wreszcie, jeżeli prędkość wzrasta, to przyspieszenie wywołuje znowu siłę zewnętrzną, równą masie ogólnej, pomnożonej przez przyspieszenie.

Siła T , jaką równoległe do szyn wywierają koła wozu ciągnącego pociąg na pochyłości i z przyspieszeniem $\frac{dv}{dt}$, jest przeto:

$$T = (W + D) \left(i + r_k + \frac{1}{g} \frac{dv}{dt} \right) + D\rho + Z.$$

$$D = \text{waga wozu doczepnego}$$

$$Z = \text{opór powietrza.}$$

Jeżeli nie wszystkie osie są pędne, a np. z dwu osi tylko jedna zaopatrzona jest w motor, to zamiast wagi W należy wprowadzić wagę W' , zaś do wagi ciągniętej dodać W'' spoczywające na osi nie pędnej ($W' + W'' = W$); otrzymamy wtedy:

$$T = (W + D) \left(i + r_k + \frac{1}{g} \frac{dv}{dt} \right) + W''r + D\rho + Z$$

r = współczynnik oporu trakeji wozu motorowego.

Największą możliwą wartością T będzie $T = W'a$, w przeciwnym bowiem razie koła by się ślizgały. Ogólnie więc mamy:

$$(W + D) \left(i + r_k + \frac{1}{g} \frac{dv}{dt} \right) + W''r + D\rho + Z \leq W'a.$$

Z powyższego równania możemy łatwo wyprowadzić szereg wniosków a mianowicie:

1) Największa pochyłość, jaką może przebyć pociąg na linii prostej z jednostajną prędkością, możemy obliczyć z równania:

$$(W + D) i + W''r + D\rho + Z \leq W'a$$

$$\text{stąd } i_{\max} = \frac{W'a - W''r - D\rho - Z}{W + D}$$

Jeżeli mamy sam wóz motorowy ze wszystkimi osiami zaopatrzonymi w motory, to:

$$i_{\max} = a - \frac{Z}{W}$$

lub, nie uwzględniając oporu powietrza:

$$i_{\max} = a \text{ *)}$$

Jeżeli tylko część wagi zużytkowuje się na przyczepność, mamy:

$$i_{\max} \leq \frac{W'a - W''r}{W}$$

2) Największy ciężar, jaki może być ciągnięty w tychże warunkach na linii prostej o pochyłości i :

$$D_{\max} = \frac{W'a - W''r - W \cdot i - Z}{i + \rho},$$

a dla wozu ze wszystkimi osiami pędne:

$$D_{\max} = \frac{W \cdot (a - i) - Z}{i + \rho}$$

*) W literaturze spotyka się często mylne wyrażenie:

$i_{\max} = a - r_1$, spowodowane tem, iż przyjęto mylnie $T = F$.

3) Największe przyspieszenie, jakie można osiągnąć na tej pochyłości otrzymamy z wzoru:

$$(\bar{W} + D) \left(i + \frac{1}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \right) + \bar{W}''r + D\rho + Z \leq \bar{W}'a$$

$$\left(\frac{dv}{dt} \right)_{\max} = g \frac{\bar{W}'a - \bar{W}''r - D\rho - Z}{\bar{W} + D} - g \cdot i.$$

Dla wozu motorowego samego, ze wszystkimi osiami pędnymi mamy:

$$\left(\frac{dv}{dt} \right)_{\max} = g (a - i - Z).$$

Jeżeli wóz doczepny znajduje się na takiej pochyłości, iż $i' = \rho + r_k + Z$, albo też, włączając, jak to się zwykle dla tramwajów robi, w opór trakcji dodatkowy opór łuków i średni opór powietrza, $i' = \rho$, to wóz ten potoczy się sam na dół.

Również i wóz motorowy ze zdjętą przekładnią potoczy się z pochyłości $i' = r$; jeżeli jednak przekładnia nie będzie zdjęta, to powoduje ona hamowanie wozu, tak, iż toczenie się nastąpi dopiero na pochyłości większej, a mianowicie:

$$i'' = r + \phi.$$

Aby wóz mógł posuwać się po pochyłości i , potrzeba więc siły:

$$F = W (i - i').$$

Jeżeli $i' > i$, to F staje się ujemnem i trzeba wóz hamować.

7) **Obliczenie siły i pracy dla danej linii.** Poznawszy już czynniki, powodujące zużycie pracy, oraz warunki, w jakich motory potrzebną siłę wywrzeć mogą, możemy obecnie przystąpić do wyliczenia siły i pracy potrzebnej dla pewnej danej linii tramwajowej lub kolejowej.

Wiemy, iż, aby wóz poruszyć, musimy dać siłę pociągową:

$$F = W \left(r + i + r_k + \frac{1}{g} \frac{dv}{dt} \right) + Z.$$

Jeżeli v , czyli prędkość, wyrazimy w metrach na sekundę, to otrzymamy moc w kilogramometrach na sekundę:

$$F \cdot v = W \cdot v \left(r + i + r_k + \frac{1}{g} \frac{dv}{dt} \right) + Z \cdot v.$$

Do motorów zaś musimy doprowadzić:

$$\frac{9,81 \cdot F \cdot v}{\eta} \quad \text{wattów}$$

wyrażając przez η sprawność motorów wraz z przekładnią, przy danej prędkości.

Przyjmujemy na razie, iż wóz motorowy o wadze W ma przebyć bez zatrzymania i z jednostajną prędkością przestrzeń L metrów, z czego l' leży na linii prostej i poziomej, l'' w łukach i l''' pod górę, na pochyłościach nie przekraczających wartości i' .

Suma pracy zużytej na przebycie tej drogi będzie:

$$A' = W \cdot \Sigma l \left(r + r_k + i + \frac{Z}{W} \right),$$

$$\text{a ponieważ } r + r_k + \frac{Z}{W} = i',$$

$$A' = \overline{W} \cdot \Sigma l (i + i').$$

Dla drogi powrotnej, ponieważ obecnie wszystkie pochyłości są ujemne, mamy:

$$A'' = \overline{W} \cdot \Sigma l (i' - i).$$

Całkowita zaś praca zużyta na przejechanie tam i z powrotem będzie:

$$A' + A'' = A = W \cdot \Sigma l \cdot i' = W \cdot \Sigma l \left(r + r_k + \frac{Z}{W} \right).$$

Oczywiście, iż pod Σl rozumiemy tu sumę długości tam i napowrót $= 2L$.

Pochyłości mniejsze jak i' eliminują się wzajemnie tak, iż przy obliczeniu pracy uwzględnić ich nie potrzebujemy.

Jeżeli jednak niektóre pochyłości są od i' większe, to trzeba wóz przy zjeżdżaniu hamować, przez co traci się praca.

W takim wypadku będziemy mieli:

$$A = W \left[\Sigma l \left(r + r_k + \frac{Z}{W} \right) + \Sigma \cdot l \left(r + r_k + \frac{Z}{W} + i \right) \right], \text{ przyczem } i > i'.$$

Jeżeli wóz musi się kilka razy po drodze zatrzymywać, a następnie znowu ruszać, to każdorazowo zużyje dla nabycia żywej siły, odpowiadającej danej prędkości, pracę:

$$\frac{1}{2} \frac{W}{g} v^2,$$

jeżeli więc zatrzymań będzie n , cała zaś siła żywa będzie zniszczona przez hamowanie, to dla A otrzymamy równanie:

$$A = W \left[\Sigma l i' + \Sigma_{i > i'} l (i - i') + \frac{n \cdot v^2}{2g} \right].$$

Pracę tą należy jeszcze zwiększyć o stratę w motorach.

W rzeczywistości nigdy się nie traci całej siły żywej wozu przez hamowanie, gdyż nigdy się prawie nie zdarza, aby, przynajmniej przy normalnych zatrzymaniach na stacjach, hamowanie następowało natychmiast po wyłączeniu prądu; przeciwnie, wóz lub pociąg biegnie zwykle czas jakiś siłą nabytego rozpędu, poczem dopiero zaczynają działać hamulce. Również i podczas działania hamulców zużywa się część siły żywej na bieg wozu. Jaka część siły żywej zużyta będzie na poruszanie wozu (t. n. bieg z rozpędu), a jaka zniszczona przez hamowanie, to się zgóry określić nie da i zależnem jest od miejscowych warunków, maksymalnej prędkości, jaką mogą rozwinąć motory w porównaniu do średniej prędkości jazdy, odległości między przystankami, wielkości przyspieszenia i t. d.

ROZDZIAŁ II.

Motory elektryczne.

1) Rodzaj prądu. Pierwsze tramwaje, kolejki i koleje elektryczne zasilane były wyłącznie prądem stałym. Dopiero w miarę rozwoju kolejnictwa elektrycznego, zwiększenia wagi i prędkości pociągów oraz długości eksploatowanych elektrycznie linii, kiedy doprowadzenie znacznych ilości energii potrzebnych przy tych warunkach na znaczniejsze już odległości stało się przy stosunkowo małych napięciach, na jakie zastosowanie prądu stałego pozwala, trudnem, zwrócono się do prądów zmiennych; łatwość transformowania tych prądów pozwala na zastosowanie wysokich napięć, a tem samem ułatwia przenoszenie znaczniejszych ilości energii na większe odległości.

Do niedawna liczone, że największy prąd, jaki da się przeprowadzić z drutu roboczego do elektrowozu jednym kontaktem, wynosi 1 amp. na mm² przekroju drutu. Tak więc n. p. możnaby przy dwu drutach roboczych o przekroju 100 mm² każdy przeprowadzić jednym przyrządem doprowadzającym prąd 200 amp. Jeśliby więc potrzeba było doprowadzić do lokomotywy np. 2000 kilowatów przy 2000 woltów, to należałoby ustawić na niej aż 5 zbieraczy prądu. Przekrój drutu roboczego nie da się wiele powiększyć, gdyż uczyniłoby to sieć zbyt ciężką, ustawienie zaś takiej ilości przyrządów prąd doprowadzających jest oczywiście praktycznie również trudnem do wykonania. Zaradzić temu wprawdzie można, zamieniając drut roboczy t. n. trzecią szyną, ułożoną obok torów na niskich słupkach; przekrój takiej szyny może być dowolnie zwiększonym, a również można tu łatwiej stosować większą

liczbę zbieraczy łyżwowych, tak, iż trudność doprowadzenia dużych ilości prądu zupełnie prawie upada, ale zato jest taka trzecia szyna naogół drogą i przedstawia sporo niedogodności, zwłaszcza na skrzyżowaniach, zwrotnicach, przejazdach i t. p. Pozatem jest dostateczna jej izolacja trudną, napięcie więc nie może zwykle przewyższać 1000—1500 voltów.

Motory prądu stałego, budowane początkowo dla napięć, nie przewyższających 600 voltów, ulepszono o tyle, iż napięcie mogło być powiększone do 1000—1200 voltów, po zastosowaniu zaś biegunów zwrotnych nawet do 2000—2500 voltów. W ostatnich wreszcie czasach czynione są próby z napięciem 5000 voltów (dwa motory po 2500 voltów w szereg).

Zwiększenie szerokości powierzchni zetknięcia zbieraczy prądu wraz z ulepszeniem konstrukcji sieci pozwoliło znacznie zwiększyć moc prądu na zbieracz. Tak np. doprowadza jeden zbieracz prądu na kolei Chicago, Milwaukee and St. Paul w Ameryce przy dwu drutach roboczych o przekroju 120 mm² każdy do 3000 kilowatów przy 3000 voltach do lokomotywy bez najmniejszego iskrzenia. Mamy tu zatem już nie 1 amp. na mm² przekroju, lecz około 4 amp.

Z pośród prądów zmiennych wchodził tu w rachubę tylko prąd wielofazowy, gdyż niemożność ruszania pod obciążeniem motorów jednofazowych tak asynchronicznych, jak i synchronicznych, czyniła ich zastosowanie do trakcji elektrycznej prawie że niemożliwym.

Motory trójfazowe, odpowiadając naogół wymaganiom trakcji równie dobrze jak motory prądu stałego, a pod niektórymi względami nawet takowe przewyższając (n. p. brak kolektorów), posiadają jednak tę kardynalną wadę, iż stałą ich ilość obrotów daje się tylko trudno regulować. Regulować liczbę obrotów można albo przy pomocy zmiany liczby biegunów, co jednak zwiększa bardzo przesunięcie faz, a zatem i pozorną moc, albo też przez t. n. połączenie kaskadowe, zmniejszające moment obrotowy.

Pozatem jest sieć trójfazowa, wymagająca dwu od siebie izolowanych drutów zdawczych, kosztowną i trudną do wykonania. Napięcie nie może i tu przewyższać 5000—6000 voltów.

Toteż dopiero wynalazek motorów jednofazowych kolektorowych pohnął trakcję elektryczną o prądzie zmiennym na nowe zupełnie tory.

Motory kolektorowe odpowiadają wszelkim wymaganiom trakcji i zachowują się naogół zupełnie jak motory prądu stałego głównikowe. Sieć jednofazowa w niczem się od sieci prądu stałego nie różni, łatwość zaś transformowania pozwala na zastosowanie znacznie wyższych napięć niż przy prądzie stałym.

Przy prądzie zmiennym rozróżnić możemy dwa zasadnicze systemy doprowadzania prądu, a mianowicie:

1) Prąd o wysokim napięciu transformuje się w ustawionych wzdłuż linii transformatorach na prąd o niższym napięciu, który następnie z właściwej sieci dostaje się do motorów poszczególnych wozów, i

2) Sieć właściwa otrzymuje wysokie napięcie, transformatory zaś ustawione są na wozach motorowych i tam dopiero prąd transformują.

System pierwszy, obecnie mniej używany, wymaga znacznej liczby silnych transformatorów. Wobec możliwości skupienia się kilku pociągów na odcinku linii obsługiwanym przez jeden transformator, musi suma mocy wszystkich transformatorów wielokrotnie przewyższać moc elektrowni. Transformatory te, pracując przeważnie przy małym bardzo obciążeniu powodują bardzo znaczne straty energii.

System drugi, t. j. umieszczanie transformatorów na samych elektro-wozach, niema wprawdzie tych niedogodności, zwiększa natomiast dość znacznie ciężar elektrowozów. Już same motory kolektorowe są przy jednakowej mocy z natury rzeczy cięższe od motorów prądu stałego *) przybywa zaś do tego ciężar transformatora. Zwiększenie wagi powoduje dodatkowe zużycie energii zwłaszcza przy zastosowaniu nie loko-

*) Moment obrotu motoru prądu stałego wynosi w kilogramometrach :

$$M_{st} = \frac{2p}{2\pi \cdot 9,81} \cdot \Phi \cdot I_t \cdot Z_t \cdot 10^{-8}$$

p = ilość par biegunów

Φ = strumień magnetyczny na biegun

I_t = całkowity prąd w tworniku

Z_t = ilość szeregowo połączonych przewodników w tworniku

Ten sam motor zasilany prądem zmiennym dałby moment obrotu :

$$M_{zm} = \frac{M_{st}}{\sqrt{2}} \cdot \cos \varphi$$

φ = kąt fazowy pomiędzy strumieniem magnetycznym i prądem w tworniku.

Nawet więc przy $\varphi = 0$, co daje się czasami osiągnąć, jest zawsze moment obrotu przy prądzie zmiennym 1,42 razy mniejszy, jak przy stałym.

Tak np. motor prądu stałego Siemens-Schuckerta $D . 45$ wa, rozwijający przy 525 obrotach moc 25 koni waży 760 kg., prądu zaś zmiennego $W . B . M . 75$, rozwijający przy 725 obrotach 22 konie, waży 770 kg., mimo szybszego biegu i mniejszej mocy.

Motor Powszechnego Towarzystwa Elektryczności typ $U . 110 a$, rozwijający przy 500 obrotach 100 koni, waży 1640 kg., zaś prądu zmiennego typ $W . E . 49$, rozwijający przy 500 obrotach 125 koni — 2750 kg.

motyw, a właściwych elektrowozów, ciągnących za sobą conajwyżej parę wozów doczepnych.

Porównyując ze sobą prąd stały i zmienny widzimy, że:

1) Elektrowozy, względnie lokomotywy prądu zmiennego są przy jednakowej mocy znacznie cięższe, niż prądu stałego.

2) Przewody zasilające (a poniekąd i cała sieć) wymagają przy prądzie zmiennym i tych samych stratach, mniejszych przekroji, jak przy prądzie stałym, są zatem tańsze. Czem dłuższe są poszczególne linje, tem większą staje się ta różnica.

3) Bardzo rozległe sieci i bardzo długie linje nie dają się wogóle racjonalnie zasilac prądem stałym z jednej elektrowni; należy wtedy albo budować parę oddzielnych elektrowni; albo też wytwarzać w elektrowni prąd zmienny i dopiero takowy przetwarzać na prąd stały w podstacjach odpowiednio wzdłuż linji rozłożonych. Tak jedno, jak i drugie jest bardzo kosztowne i powoduje liczne dodatkowe straty i wydatki eksploatacyjne.

4) Prąd stały daje możność zastosowania baterji akumulatorów, które, wyrównyując obciążenie, pozwalają nieco zmniejszyć moc prądnic i zapewniają takowym równomierniejsze obciążenie.

Wprawdzie próbowano i przy prądzie zmiennym wyrównywać przynajmniej chwilowe wahania obciążenia przez zastosowanie ciężkich kół rozpędowych (system Ilgenera), ale są to dotychczas tylko próby.

Z powyższego zestawienia wynika, iż prąd zmienny może się okazać korzystniejszym dla długich linji przy ciężkich a niezbyt licznych pociągach; większy koszt lokomotyw pokrywa tu oszczędność na przewodach. Przy gęstym natomiast ruchu, wymagającym znacznej liczby elektrowozów, przeważa zwykle względ na większy ich koszt, tak, iż zastosowanie prądu stałego staje się korzystniejszym.

Do pierwszej kategorii należą niewątpliwie przedewszystkiem koleje magistralne, główne, do drugiej tramwaje śródmiejskie. Co do kolejek podmiejskich i kolei dojazdowych, to sprawa jest tu mniej jasną, gdyż zbliżają się one, w zależności od warunków miejscowych, bardziej do typu kolejowego, to tramwajowego.

Przeważnie jednak, o ile długość poszczególnych linji nie przekracza 30—40 kilometrów, ruch zaś nie jest zbyt rzadkim, a pociągi wyjątkowo ciężkimi, bywa i tu prąd stały korzystniejszym. Toteż widzimy, iż ogromna większość tego rodzaju kolejek używa prądu stałego. W każdym razie nie da się przy takich kolejkach z góry powiedzieć, jaki rodzaj prądu będzie odpowiedniejszy, gdyż rozstrzygnięcie tej kwestji wymaga tu zawsze szczegółowego obliczenia i rozważenia.

Ponieważ zamierzamy przedewszystkiem zapoznać się z tramwajami i kolejami dojazdowymi, a dopiero później przejść do studjowania kolei głów-

nych, zajmiemy się narazie wyłącznie prądem stałym, do prądów zaś zmiennych przejdziemy później w części drugiej, poświęconej kolejom głównym.

2) **Motory elektryczne. (Prąd stały).** Wychodząc z założenia, iż czytelnik obznajmiony jest z ogólną teorią motorów elektrycznych i przeznaczając dzieło to nie tyle dla konstruktorów, jak dla inżynierów, pracujących przy budowie i eksploatacji tramwajów i kolei elektrycznych, poruszymy tak teorię motorów jak i różne zmiany w ich konstrukcji, wywołane specjalnymi warunkami i wymaganiami trakcji tylko o tyle, o ile nam się to wyda dla łatwiejszego zrozumienia ich działania koniecznym.

W tworniku motoru, obracającego się z pewną prędkością n obrotów na sekundę, powstaje siła przeciwelektrodynamiczna E' , która zależną jest od ilości zwojów twornika N i strumienia magnetycznego Φ wypływającego z jednoznacznych biegunów magnesów. Jeżeli nazwiemy Φ_0 wartość teoretyczną tego strumienia (t. j. bez magnetycznej reakcji twornika), zaś ϵ dodatkową siłę elektrodynamiczną, wywołaną przez reakcję twornika, to otrzymamy:

$$E' = N \cdot n \cdot \Phi = N \cdot n \cdot \Phi_0 - \epsilon;$$

tu Φ wyrażamy w weberach (weber = 10^8 c . g . s) zaś E' i ϵ w woltach.

Ponieważ siła przeciwelektrodynamiczna musi zawsze być równą napięciu pomiędzy szczotkami E mniej straty w tworniku, to oznaczając opór twornika przez r_a , prąd zaś przepływający przez twornik przez i_a otrzymamy:

$$E' = E - r_a i_a.$$

Ilość obrotów n wynosi przy tem:

$$n = \frac{E - r_a i_a + \epsilon}{N \cdot \Phi_0}.$$

Przy jednakowym więc strumieniu i prądzie jest ilość obrotów zależną od napięcia E . Ponieważ naogół tak $r_a i_a$ jak i ϵ są w porównaniu do E małe, przeto można w przybliżeniu przyjąć, iż:

$$n = \frac{E}{N \cdot \Phi_0}.$$

Praca elektryczna, zużyta w tworniku dla wykonania pracy mechanicznej, jest:

$$A_0 = E i_a = (E - r_a i_a) i_a.$$

Gdyby strat nie było, to cała ta praca przetworzyłaby się na mechaniczną, oddaną na osi motoru; moment obrotu wyraziłby się stosunkiem tej pracy do kąta zakreślonego w jedną sekundę:

$$O' = \frac{E' i_a}{2 \pi n} = \frac{1}{2 \pi} \cdot N i_a \Phi.$$

Z powodu jednak strat wywołanych przez prądy wirowe (Foucaulta), hysterezę i tarcia, musi być moment obrotu rzeczywisty zmniejszony o pewien współczynnik sprawności η'

$$O = \frac{\eta'}{2 \pi} N i_a \Phi.$$

Wyrażając i_a w amperach, Φ w weberach, otrzymamy O w dżaulach (joule) czyli watt-sekundach. Ponieważ 1 dżaul (joule) = $\frac{1}{9,81}$ kilogramometra, przeto:

$$O = \frac{1}{9,81} \frac{\eta'}{2 \pi} N i_a \Phi \text{ w kilogramometrach.}$$

Jeżeli sumę strat przez prądy wirowe, hysterezę i tarcia w motorze nazwiemy s , to możemy też napisać:

$$O = \frac{E' i_a - s}{2 \pi n}$$

albo też, oznaczając przez i_o prąd zużyty na pokrycie strat, to jest $s = E' i_o$ wyrazić moment obrotowy wzorem:

$$O = \frac{E' (i_a - i_o)}{2 \pi n} = \frac{N \Phi}{2 \pi} (i_a - i_o).$$

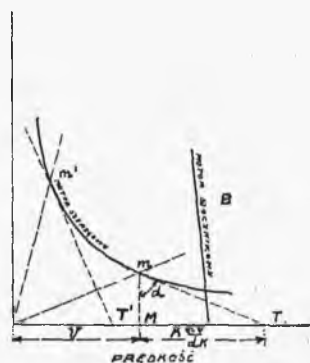
Aby bieg motoru był stałym, potrzeba, aby wszelka zmiana w warunkach pracy wywołała odpowiednią reakcję, działającą w kierunku przeciwnym. Jeżeli więc np. zwiększa się szybkość, względnie ilość obrotów, to winien równocześnie zmniejszać się moment obrotu i naodwrot.

Jeżeli w punkcie „ m ” wykreślimy styczną do krzywej momentów obrotu k , to współczynnik kątowy tej prostej będzie:

$$\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{dk}{dv},$$

zaś stałość ruchu określa się przez:

$$\frac{dk}{dv} = \frac{Mm}{MT}.$$



Rys. 8.

Krzywe momentów obrotu w zależności od prędkości.

Widzimy łatwo, iż stałość będzie mniejszą dla krzywej A , niż dla krzywej B , i mniejszą n. p. w punkcie m , niż w punkcie m' .

Jak wiadomo, rozróżniamy trzy rodzaje motorów prądu stałego, a mianowicie: bocznikowe, szeregowe i szeregowo-bocznikowe; każdy z tych rodzajów zachowuje się inaczej, musi więc być rozpatrzony oddzielnie.

3) Motor bocznikowy.

a) Wzbudzenie z oddzielnego źródła prądu (np. baterji, akumulatorów) przy stałym napięciu.

1) Prędkość motoru nie może przekroczyć pewnej granicy; granicą tą będzie teoretycznie ta prędkość, przy której siła przeciwelektrodynamiczna twornika równa się sile elektrodynamicznej źródła prądu; prąd staje się wtedy $= 0$.

$$n_{\max} = \frac{E}{N \cdot \Phi_0}$$

Praktycznie, skutkiem strat w motorze i tarć, moment obrotu znika przy prędkości

$$n_0 < n_{\max}$$

Jeżeli z jakiegobądź powodu, n. p. przy zjeżdżaniu z pochyłości, prędkość przekroczy tę granicę, to siła przeciwelektrodynamiczna przewyższa napięcie sieci i motor zaczyna pracować jako prądnicą, oddając prąd do sieci i hamując wóz. Naodwrot, jeżeli prędkość jest od granicznej mniejszą, to motor bierze prąd z sieci tem silniejszy, czem mniejszą jest prędkość.

Prędkość zmienia się wogóle bardzo mało podług wzoru:

$$n = n_{\max} \left(1 - \frac{r_a i_a - \epsilon}{E} \right)$$

tu wyraża:

r_a = opór twornika

i_a = prąd w tworniku = prądowi wziętemu z sieci

ϵ = siła elektrodynamiczna, wywołana przez magnetyczną reakcję twornika.

Ponieważ tak r_a jak i ϵ są zawsze małe, przeto pozostaje prędkość prawie stałą.

Moc na osi motoru równą jest iloczynowi prądu pożytecznego ($i_a - i_0$) i wzbudzonej siły przeciwelektrodynamicznej ($E - r_a i_a$) wynosi zatem:

$$P = (E - r_a i_a) (i_a - i_0).$$

Moc więc wzrasta z prądem po linii parabolicznej.

Moment obrotu można wyliczyć z równania:

$$1) O = \frac{N \cdot \Phi}{2 \pi} (i_a - i_0).$$

Prąd wyrazi się przez:

$$i_a = \frac{E - N n \Phi}{r_a},$$

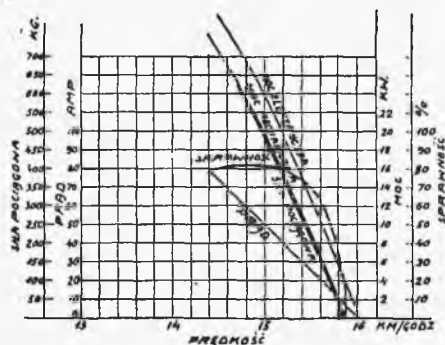
$$O = \frac{N \Phi}{2 \pi} \left(\frac{E}{r_a} - i_0 \right) - \frac{N^2 \Phi^2}{2 \pi r_a} n$$

lub też, nie uwzględniając nieznacznych na ogół zmian Φ :

$$O = \frac{E}{2 \pi n_0} \left(\frac{E}{r_a} - i_0 \right) - \frac{E^2}{2 \pi r_a n_0^2} n$$

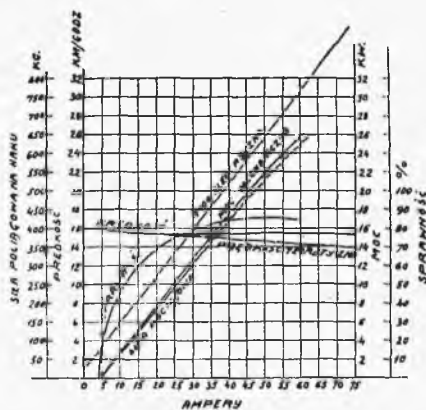
(n_0 = ilość obrotów, jakie robi motor obracając się bez obciążenia).

Moment przeto obrotu (równ. 1) jest proporcjonalny do prądu; ponieważ prąd jest najsilniejszy w chwili ruszania, przeto jest wtedy i moment obrotu największy.



Rys. 10.

Charakterystyka wymierzona motoru tramwajowego 20 kilowatt z oddzielnym wzbudzeniem w zależności od prędkości.



Rys. 9.

Charakterystyka motoru tramwajowego 20 kilowatt z oddzielnym wzbudzeniem w zależności od prądu.

Z wykresów, rys. 9 i 10, widzimy łatwo, że bieg tego rodzaju motorów jest bardzo stały.

b) Wzbudzenie bocznikowe od sieci.

Ponieważ napięcie sieci możemy uważać w przybliżeniu za stałe, przeto charakterystyka tych motorów ma te same cechy, jak charakterystyka motorów, wzbudzanych oddzielnie z innego źródła.

4) **Motory szeregowe.** Strumień magnetyczny Φ nie jest w tych motorach stały, lecz zależy od wielkości prądu. Ponieważ moment obrotu jest do strumienia proporcjonalny, przeto jest moment obrotu, jak i przy motorach bocznikowych, zależny li tylko od wielkości prądu; zależność ta będzie jednak inną.

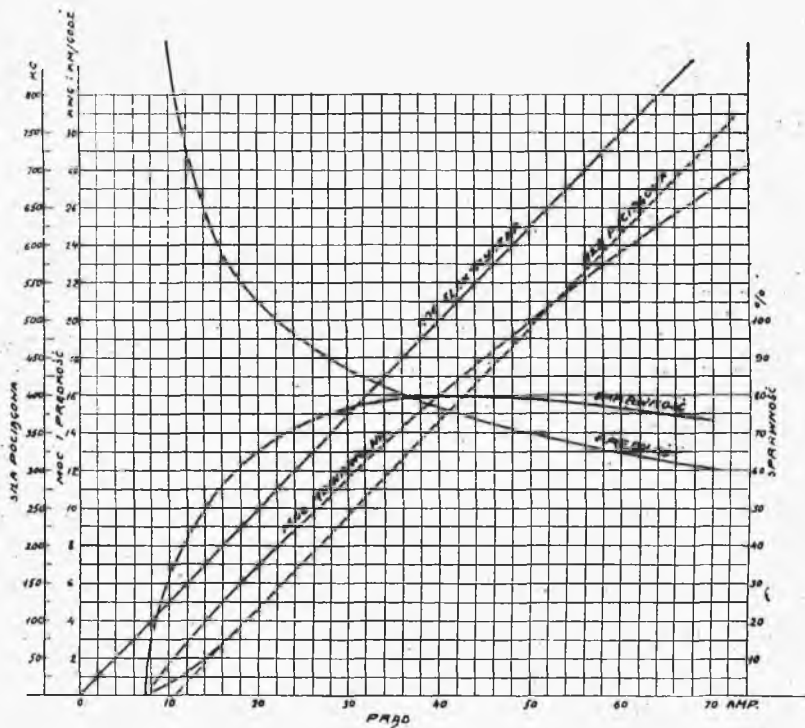
Jeżeli zależność strumienia magnetycznego od prądu oznaczymy przez $\Phi = f(i)$ to otrzymamy:

$$n = \frac{E - r \cdot i + \varepsilon}{N f(i)} \quad O = \frac{N \cdot i f(i)}{2 \Pi} - O'$$

(O' = moment obrotu zużyty na straty).

Dopóki magnesy nie są nasycone, a zatem przy słabym prądzie, strumień wzrasta mniej więcej proporcjonalnie do prądu, moment więc obrotu będzie wzrastał proporcjonalnie do kwadratu wielkości prądu (ściślej według równania parabolicznego). Skoro jednak nastąpi nasycenie, strumień magnetyczny wzrastać przestaje, moment więc obrotu wzrasta proporcjonalnie do prądu; krzywa momentu obrotu staje się linią prostą, równoległą do prostej zużytej mocy. Odległość pomiędzy O a punktem, w którym linja momentu obrotu przecina oś rzędnych daje nam wielkość prądu zużytego na pokonanie strat.

Prędkość nie jest stałą, lecz w szerokich granicach zmienną, w zależności od wielkości prądu. Przy małych obciążeniach, kiedy wzbudzenie jest słabe, prędkość rośnie nadmiernie.



Rys. 11.

Wykres, zdjęty pomiarami, motoru tramwajowego 20 kilowatt szeregowego.
Wielkość prądu jako rzędna.

Z wykresu rys. 12-go widzimy, iż bieg motoru jest znacznie mniej stały, jak motoru bocznikowego, zwłaszcza przy małych obciążeniach.

Z powyższych wywodów możemy wyciągnąć pewne wnioski co do zalet i wad rozpatrzonych sposobów wzbudzenia:

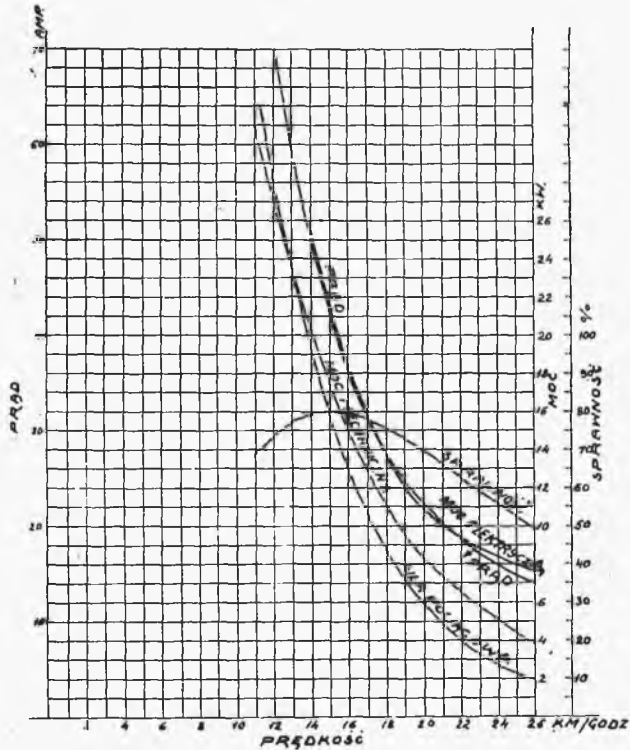
1) Zaletami wzbudzenia bocznikowego i oddzielnego są:

a) Automatyczne regulowanie prędkości, która pozostaje stałą na wszelkich pochyłościach. Zaleta ta może się jednak stać i wadą, gdyż wymaga dostosowania mocy motorów do maksymalnej pochyłości i pełnej prędkości.

b) Działanie motoru jako prądnic przy zjeżdżaniu z pochyłości, a zatem z jednej strony, niemożliwość przekroczenia maksymalnej prędkości, z drugiej zaś, możliwość odzyskiwania prądu.

2) Wadami zaś:

a) Możliwość, iż przy znaczniejszym spadku napięcia w sieci, moment obrotu okaże się, zwłaszcza przy ruszaniu, zbyt mały. Przy wzbudzeniu oddzielnym być tego oczywiście nie może.



Rys. 12.

Wykres motoru, rys. 12-ty, prędkość jako rzędna (motor rys. 11-ty).

b) Znaczna samo-indukcja uzwojeń magnesowych, która przy nagłym przerwaniu prądu może wywołać przepalenie uzwojeń.

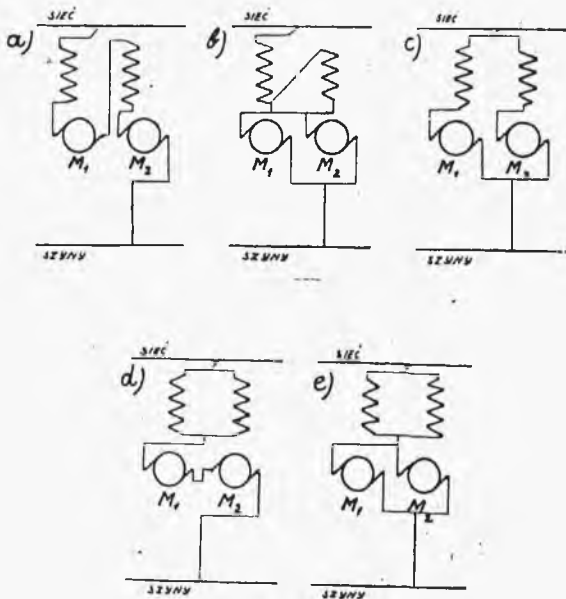
c) Trudniejsza izolacja uzwojeń magnesów i większa ich objętość.

- 2) Zaletami motorów szeregowych są:
- Łatwiejsza i mechanicznie mocniejsza budowa uzwojeń.
 - Ruszanie zupełnie zapewnione, nawet przy znaczniejszych spadkach napięcia na linii.
 - Zmniejszone do minimum iskrzenie na kolektorach.
 - Samoregulowanie zużytej energii, gdyż ze wzrastaniem momentu obrotu zmniejsza się prędkość.

Porównyując wreszcie ze sobą dwa motory jednakowej mocy, szeregowy i bocznikowy, widzimy, iż przy małych obciążeniach motor bocznikowy da pewien moment obrotu przy nieco mniejszym natężeniu prądu, jak szeregowy, przy większych natomiast obciążeniach wypada natężenie prądu, wywołujące określony moment obrotu w motorze bocznikowym, większe, jak w szeregowym. Przy ruszaniu więc, kiedy natężenie prądu jest zawsze duże, ma motor szeregowy nad bocznikowym przewagę. Co do utrzymania jednakowej prędkości na wszelkich pochyłościach, to widzieliśmy już, iż jest to zaleta mocno wątpliwa.

Z powyższego wynika, iż w ogromnej większości wypadków najodpowiedniejszymi dla trakcji będą motory szeregowe; bocznikowe mogą być wskazane w wyjątkowych tylko wypadkach, n. p. przy trakcji za pomocą akumulatorów.

5) Wzbudzenie szeregowo-bocznikowe. Wzbudzenie to jest zbyt



Rys. 13.

skomplikowane, aby mogło znaleźć szersze zastosowanie przy trakcji elektrycznej. Zastosowanie więc jego skończyło się na paru próbach.

6) Połączenie motorów w elektrowozach.

Dwa motory szeregowe mogą być ze sobą połączone pięcioma różnymi sposobami, uwidoczonymi na rys. 13-tym.

Z tych sposobów używane w praktyce są tylko sposoby „a” i „c”.

Co do sposobów „b” i „e”, to, aczkolwiek upraszczałyby, one nieco

konstrukcję regulatorów, to zato mogłyby łatwo spowodować wielkie nierówności w obciążeniu motorów i przez to wywołać uszkodzenia jednego z nich.

W praktyce niemożliwym jest prawie otrzymanie zupełnie jednakowego pola magnetycznego we wszystkich motorach, gdyż tak opory uzwojeń mogą się nieco różnić, jako też różną może być wielkość szczeliny powietrznej między twornikiem a elektromagnesami. Nierówność pól magnetycznych wywołuje oczywiście nierówność sił przeciwelektrobo-
dźczych, a co zatem idzie i prądów, przepływających przez tworniki. Prądy te będą:

$$i_1 = \frac{E - E'}{r_a} \quad i_2 = \frac{E - E''}{r_a} \quad \frac{i_1}{i_2} = \frac{E - E''}{E - E'}$$

Ponieważ zaś E różni się mało od E' i E'' , przeto najmniejsza różnica pomiędzy E' i E'' wywoła ogromne różnice pomiędzy i_1 i i_2 .

Przykład to wyjaśni:

Niech motor 25-cio konny, zużywający przy 500 voltach normalnie 40 amperów ma opory: twornika = 0,5 oma, magnesów = 0,9 oma.

Przy połączeniu podług szkicu „e” otrzymamy:

$$E = 500 - 0,9 \times 40 = 464 \text{ volty}$$

$$E' = 464 - 0,5 \times 40 = 444 \text{ volty.}$$

Wyobraźmy sobie, iż łączymy równolegle dwa takie motory, przy-
czem jednak E' i E'' różnią się między sobą o 4%, tak, iż

$$E' = 452, \text{ a } E'' = 436 \text{ (średnio 444).}$$

Otrzymamy wtedy:

$$i_1 = \frac{464 - 452}{0,5} = 24 \text{ ampery} \quad i_2 = \frac{464 - 436}{0,5} = 56 \text{ amperów.}$$

Różnica więc o 4% w polu magnetycznym wywoła już różnicę o przeszło 100% w natężeniu prądu.

Co do połączenia wreszcie według układu „d” to nie przedstawia ono żadnych korzyści.

Przy połączeniu równoległym (szemat „c”), jeżeli obciążenie motorów jest równe, a koła nie ślizgają się, przeciwdziałają siły przeciwelektrobo-
dźcze każdego z motorów oddzielnie różnicy potencjałów na szczotkach motorów; prędkość więc v będzie zależna od natężenia prądu i , niezbędnego dla wytworzenia momentu obrotu o , potrzebnego w danej chwili.

Jeżeli motory połączone są szeregowo (szemat „a”), to obie siły przeciwelektrobo-
dźcze sumują się; jeżeli więc nie uwzględniać wpływu

oporów wewnętrznych, to dla osiągnięcia potrzebnego natężenia prądu i , będzie musiała prędkość być o połowę mniejszą $= \frac{v}{2}$.

Jeżeli więc przyjmiemy, iż opór trakeji nie zmieni się ze zmianą prędkości, to otrzymamy przy połączeniu szeregowem prędkość w przybliżeniu, o połowę mniejszą, jak przy równoległym.

ROZDZIAŁ III.

Regulowanie natężenia prądu i prędkości.

1). **Sposoby regulowania.** Jeślibyśmy motor nieruchomy włączyli odrazu, to natężenie prądu byłoby ograniczone li tylko oporem omicznym motoru, a to wobec braku wszelkiej siły przeciwelektrodynamicznej.

Jeżeli przez E oznaczymy napięcie na zaciskach motoru, a przez r opór: twornika i magnesów $r = r_a + r_m$, to:

$$i = \frac{E}{r}.$$

W rzeczywistości nie osiągnie i nigdy tej granicy, a to skutkiem samoindukcji, która opóźnia wzrastanie prądu; twornik obracać się zaczyna, powstaje siła przeciwelektrodynamiczna, która dalsze wzrastanie prądu uniemożliwia.

Nie mniej jednak prąd wzrósłby do siły, bezwarunkowo dla motoru szkodliwej, wytwarzając równocześnie nader silny moment obrotu, a co zatem idzie, i siłę pociągową, któraby ze swej strony nadała wozowi nagle bardzo wielkie przyspieszenie, dające się odczuć jako szarpnięcie, szkodliwe dla wozu i niemiłe dla podróżnych.

Musimy więc siłę prądu w chwili włączania motoru regulować i powiększać w miarę potrzeby, tak, aby przyspieszenie utrzymać w odpowiednich granicach i wozowi nadawać prędkość stopniowo. Również i w czasie biegu wozu należy umożliwić zwiększanie i zmniejszanie prędkości, dostosowując takową do miejscowych warunków.

Jak to już poprzednio widzieliśmy, jest prędkość, czyli ilość obrotów motoru, zależną od natężenia prądu, a zatem i siły pociągowej, tak, iż przy danem napięciu odpowiada każdemu natężeniu prądu (lub sile pociągowej) ściśle określona ilość obrotów. Prędkość tę zwiemy **naturalną**. Otóż idealną regulacją byłaby taka, przy pomocy której moglibyśmy przy każdym natężeniu prądu osiągnąć dowolną ilość obrotów, już to większą, już to mniejszą od naturalnej.

Z równania, określającego ilość obrotów w zależności od natężenia prądu (str. 32): $n = \frac{E - r \cdot i + \varepsilon}{N \cdot f(i)}$ widzimy, iż mamy trzy różne sposoby regulowania prędkości, a mianowicie:

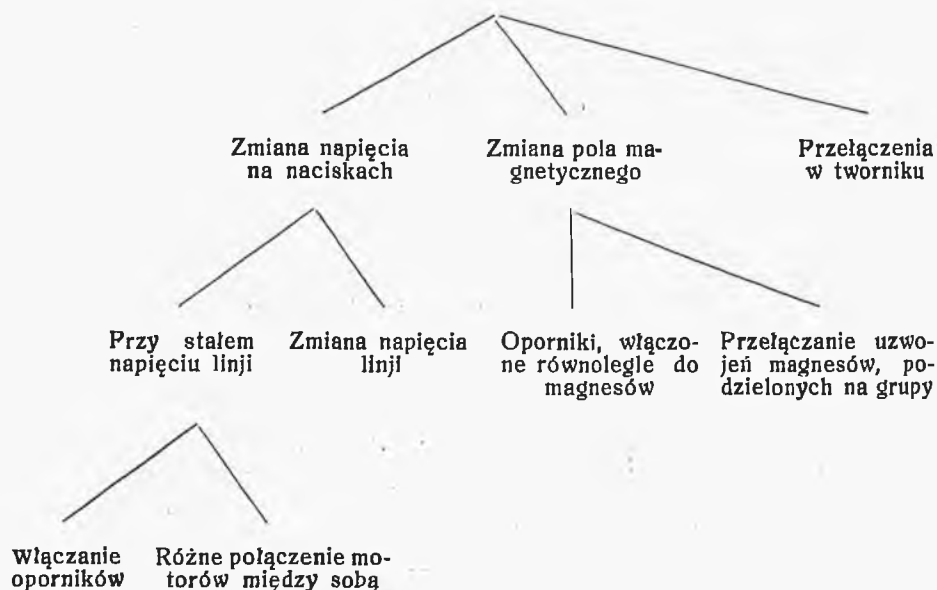
1) Zmieniając [napięcie na zaciskach motoru, do którego liczba obrotów jest proporcjonalna.

2) Zmieniając strumień magnetyczny, do którego ilość obrotów jest odwrotnie proporcjonalna.

3) Zmieniając ilość zwoji na tworniku (np. podzieliwszy uzwojenie na kilka oddzielnych części, zaopatrzonych w oddzielne kolektory).

Zmieniać napięcie na zaciskach możemy w dwojaki sposób: albo zmieniając napięcie w linii, co może być uskutecznione chyba tylko przy wozach, zaopatrzonych w baterje akumulatorowe, albo też, przy stałym napięciu w linii, włączając w szereg z motorem oporniki. Tym sposobem możemy prędkość tylko zmniejszać poniżej naturalnej, nigdy zaś powiększać powyżej. Jeżeli wreszcie mamy w wozie nie jeden, lecz dwa lub więcej motorów, to możemy jeszcze napięcie na zaciskach zmieniać, włączając motory raz w szereg, drugi raz równoległe.

Zmieniać strumień magnetyczny możemy zmieniając ilość ampero-zwoji magnesów. Osięgnąć to możemy, albo włączając równoległe do uzwojeń magnesów oporniki, skutkiem czego przez uzwojenia magnesów przepływa tylko część prądu — co zwiemy szuntowaniem lub boczn-



Rys. 14.

kowaniem — lub też, dzieląc uzwojenia magnesów na części zaopatrzone w oddzielne zaciski i łącząc je między sobą rozmaicie (szeregowo lub równolegle).

Ponieważ motory winny pracować normalnie zawsze przy zupełnem nasyceniu, przeto tym sposobem będziemy mogli pole magnetyczne tylko osłabiać, a zatem prędkość tylko zwiększać powyżej normalnej, nigdy zaś zmniejszać.

Co do sposobu trzeciego, t. j. podziału uzwojeń twornika na oddzielne obwody, to sposób ten w praktyce stosowany nie bywa, jako zbyt skomplikowany i wymagający conajmniej dwóch kolektorów.

Szematycznie możemy sobie regulowanie prędkości przedstawić jak wskazuje rys. 14-ty.

Niezależnie od obranego sposobu regulowania, jest jednak niezbędne włączanie oporników w chwili ruszania dla zmniejszenia natężenia prądu. Toteż mamy w praktyce zawsze do czynienia z kombinacją conajmniej dwu sposobów regulowania, chyba że poprzestajemy na regulowaniu opornikowem.

2) Regulowanie przy pomocy oporników. Jest to system najprostszy i najdawniej stosowany, ma on jednak tę kardynalną wadę, iż niszczy bezużytecznie dużo energii w opornikach. Pozatem energia ta, zamieniając się na ciepło, nagrzewa oporniki, które skutkiem tego muszą albo być bardzo duże i ciężkie, albo też dłuższy czas pod prądem pozostawać nie mogą, a więc mogą być używane tylko przez czas krótki. Oporniki możemy stosować właściwie tylko przy przejściu od mniejszej prędkości do większej, prędkość zaś jezdna, t. j. taka, na której regulator przez czas dłuższy postawionym być może, pozostaje jedna, a mianowicie naturalna.

Strata energii w opornikach wynosi: $R \cdot i^2$, oznaczając przez R wielkość dołączonego oporu w omach.

Napięcie przy szczotkach motoru będzie:

$$\text{dla motoru szeregowego } e = E - (R + r_m) i$$

$$\text{dla motoru zaś bocznikowego } e = E - R i_a.$$

Prędkość, względnie ilość obrotów będzie w przybliżeniu (nie uwzględniając reakcji twornika):

$$\text{dla motoru szeregowego: } n' = \frac{E - (R + r_a + r_m) i}{N \cdot \Phi}$$

$$\text{dla motoru bocznikowego: } n' = \frac{E - (R + r_a) i_a}{N \cdot \Phi}$$

Moment obrotu nie zmienia się przez dodanie oporu R ani przy motorze szeregowym, ani bocznikowym.

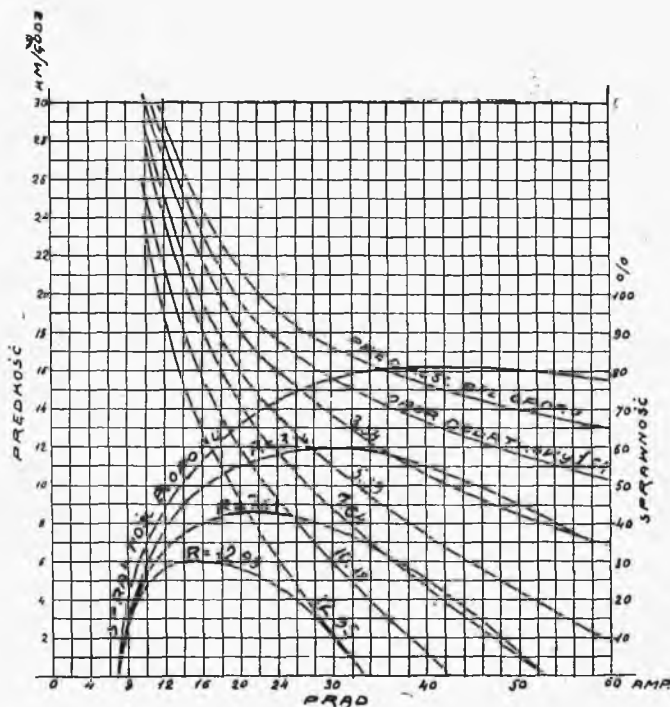
Jeżeli nową ilość obrotów nazwiemy n' , to stosunek jej do naturalnej n wyrazi się:

$$\text{dla motoru szeregowego: } \frac{n'}{n} = 1 - \frac{R \cdot i}{E - (r_a + r_m) i}$$

$$\text{dla motoru bocznikowego: } \frac{n'}{n} = 1 - \frac{R \cdot i_a}{E - r_a i_a}$$

Oczywiście, iż i moc będzie zmniejszona w tym samym stosunku $\frac{n'}{n}$ a taksamo i sprawność, gdyż ilość zużytej energii pozostaje ta sama.

Jeżeli więc mamy krzywe ilości obrotów (prędkości naturalnej), oraz sprawności danego motoru, to możemy łatwo skonstruować te krzywe dla dowolnych dodatkowych oporów.



Rys. 15.

Wykres regulowania opornikowego motoru tramwajowego szeregowego; krzywe prędkości i sprawności.

Z wykresu rys. 15-go widzimy, iż przy danej prędkości możemy otrzymać różne momenty obrotu (w przybliżeniu proporcjonalne do prądu) i na odwrót, iż dla danego momentu obrotu możemy otrzymać kilka różnych prędkości.

Praktycznie zwykle postępujemy tak:

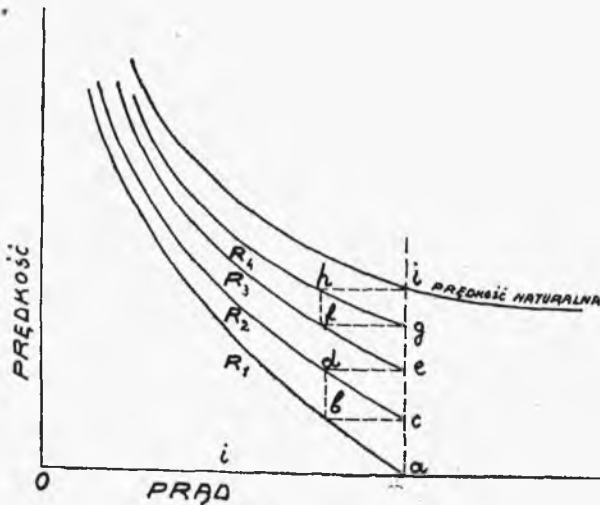
określiwszy największe dopuszczalne przyspieszenie (tak ze względu na wygodę podróżnych, jak i na wagę przyczepności, aby nie wywołać ślizgania się kół), obliczamy odpowiednią siłę pociągową, a z niej moment obrotu, co nam daje możliwość odczytania na wykresie prądu, odpowiadającego temu momentowi.

Na podstawie tego prądu i wyliczamy wielkość oporu przy ruszaniu:

$$R_1 = \frac{E}{i} - r \quad (r \text{ opór twornika i magnesów})$$

i wykreślamy, rys. 16-ty, krzywą prędkości dla tego oporu. Krzywa ta rozpoczyna się przy prądzie i .

W miarę zwiększania się prędkości zmniejsza się prąd, aż w punkcie b zmniejszymy opór o tyle, aby prąd osiągnął znowu swe maximum, t. j. oa ; okre-



Rys. 16.

śla nam to następujący opór R_2 ; tak postępujemy dalej, aż w punkcie „ i ” motor osiągnie swą naturalną prędkość, poczem prędkość wzrasta dalej już podług krzywej naturalnej prędkości aż do chwili, kiedy wóz nabierze prędkości, odpowiadającej danemu oporowi trakcji.

Im więcej oporników zastosujemy, tem mniejsze będą oczywiście wahania

prądu przy przechodzeniu z jednego kontaktu na drugi i tem równiejszem będzie ruszanie, ale też tem bardziej skomplikowanym stanie się aparat do regulowania prędkości.

W praktyce więc musimy zadowolić się zwykle przy tramwajach 3—4, najwyżej 5 stopniami opornika.

3) Regulowanie przez zmianę połączenia motorów. System ten bywa stosowany tam, gdzie wozy zaopatrzone są conajmniej w dwa motory i polega na połączeniu ich przy ruszaniu i dla małych prędkości

w szereg, dla osiągnięcia zaś większej prędkości równolegle. Przytem muszą zawsze być dodawane oporniki. Wobec tego jednak, iż przy połączeniu szeregowem, a zatem w chwili ruszania, siły przeciwelektrobodźcze oraz opory omiczne motorów sumują się, czyli inaczej powiedziawszy, każdy motor otrzymuje tylko $\frac{1}{2}$ napięcia linii, opory te wypadają znacznie mniejsze i zmniejszają się również straty.

Dalszą ważną zaletą tego systemu jest to, iż zamiast jednej tylko, mamy obecnie dwie prędkości jezdne, a mianowicie jedną przy połączeniu szeregowem motorów bez oporników i drugą, w przybliżeniu dwa razy większą, przy równoległym ich połączeniu również bez oporników.

Krzywą ilości obrotów dla połączenia szeregowego dwu motorów, a zatem napięcia dwa razy mniejszego, możemy w przybliżeniu wykreślić (nie uwzględniając siły elektrobodźczej, wywołanej magnetyczną reakcją twornika), jeżeli znamy opór omiczny motoru R .

Siła przeciwelektrobodźcza motoru E_a musi być:

$$E_a = E - I \cdot R;$$

jeżeli więc natężeniu prądu I odpowiada przy napięciu na zaciskach E ilość obrotów n , to napięciu $\frac{E}{2}$ odpowiadać będzie przy tym samym prądzie ilość obrotów n_1 :

$$n_1 = n \frac{\frac{E}{2} - I \cdot R}{E - I \cdot R}.$$

Dla łatwiejszego zrozumienia sposobów obliczania tych systemów regulowania przytoczymy najlepiej przykład liczbowy.

Elektrowóz, o wadze 10 ton, a z podróznymi 12 ton, zaopatrzone jest w dwa motory szeregowo o sile 25-30 koni każdy, których wykresy widzimy na rys. 17-ym.

Motory działają na koła elektrowozu przy pomocy przekładni, (kół zębatych) o stosunku 1 : 5,1. Średnica kół elektrowozu wynosi 0,8 metr. Elektrowóz ten ma chodzić bez wozów doczepnych na torach, na których współczynnik oporu trakcji wynosi 10 kg. na tonnę.

Maksymalne dopuszczalne przyśpieszenie niech będzie 0,7 m. s. s.

Musimy przedewszystkiem sprawdzić, czy przyczepność pozwoli na osiągnięcie takiego przyśpieszenia.

Przyjąwszy, iż wpływ obracających się części wyraża się współczynnikiem $k = 1,2$, otrzymamy: $W' = 10000 \times 1,2 + 2000 = 14000$.

Aby więc wozowi nadać przyśpieszenie $p = 0,7$ m. s. s., musimy zastosować siłę pociagową: $F = \frac{14000}{9,81} \times 0,7 = 1000$ kg.

Do tego należy dodać siłę niezbędną dla pokonania oporu trakcji $12 \times 10 \dots \dots \dots \frac{120}{n}$
Razem więc $\dots \dots \frac{1120}{n}$ kg.

Spółczynnik przyczepności możemy przyjąć $= 0,1$, moglibyśmy więc zastosować siłę większą, a mianowicie: $12000 \times 0,1 = 1200$ kg.

Na wykresach mamy krzywą momentu obrotu O . Siła pociągowa na obwodzie kół o promieniu R , przy przekładni z i współczynniku jej sprawności x będzie:

$$F = \frac{O \cdot z \cdot x}{R},$$

przyjawszy więc $x = 0,97$ otrzymamy:

$$1120 = \frac{O \cdot 5,1 \cdot 0,97}{0,4}$$

$$O = \frac{1120 \cdot 0,4}{0,97 \cdot 5,1} = 91 \text{ kg. metr.}$$

Ponieważ mamy dwa motory, więc każdy z nich będzie musiał wytworzyć moment obrotu $= 45,5$ kg/metr.

Z wykresu rys. 17-go widzimy, iż moment ten obrotu odpowiada natężeniu prądu $= 48,5$ amperów.

Ponieważ opór każdego z danych motorów wynosi $0,8$ omów, więc przy połączeniu w szereg wypadnie $1,6$ omów, napięcie zaś na linii jest 550 woltów, przeto musimy, aby siła prądu nie przekroczyła $45,5$ amperów, dodać opór $R_1 = \frac{550}{48,5} - 1,6 = 9,8$ omów.

Mając jednak na uwadze, iż prąd skutkiem samoindukcji nie osiągnie prawdopodobnie pełnej swej siły, przyjmujemy $R_1 = 9,4$ omy, co odpowiada natężeniu prądu 50 amperów.

Wiemy, iż ilość obrotów n' przy dołączeniu oporu R_1 jest:

$$n' = n \left[1 - \frac{R_1 \cdot i}{E - (r_a + r_m) i} \right]$$

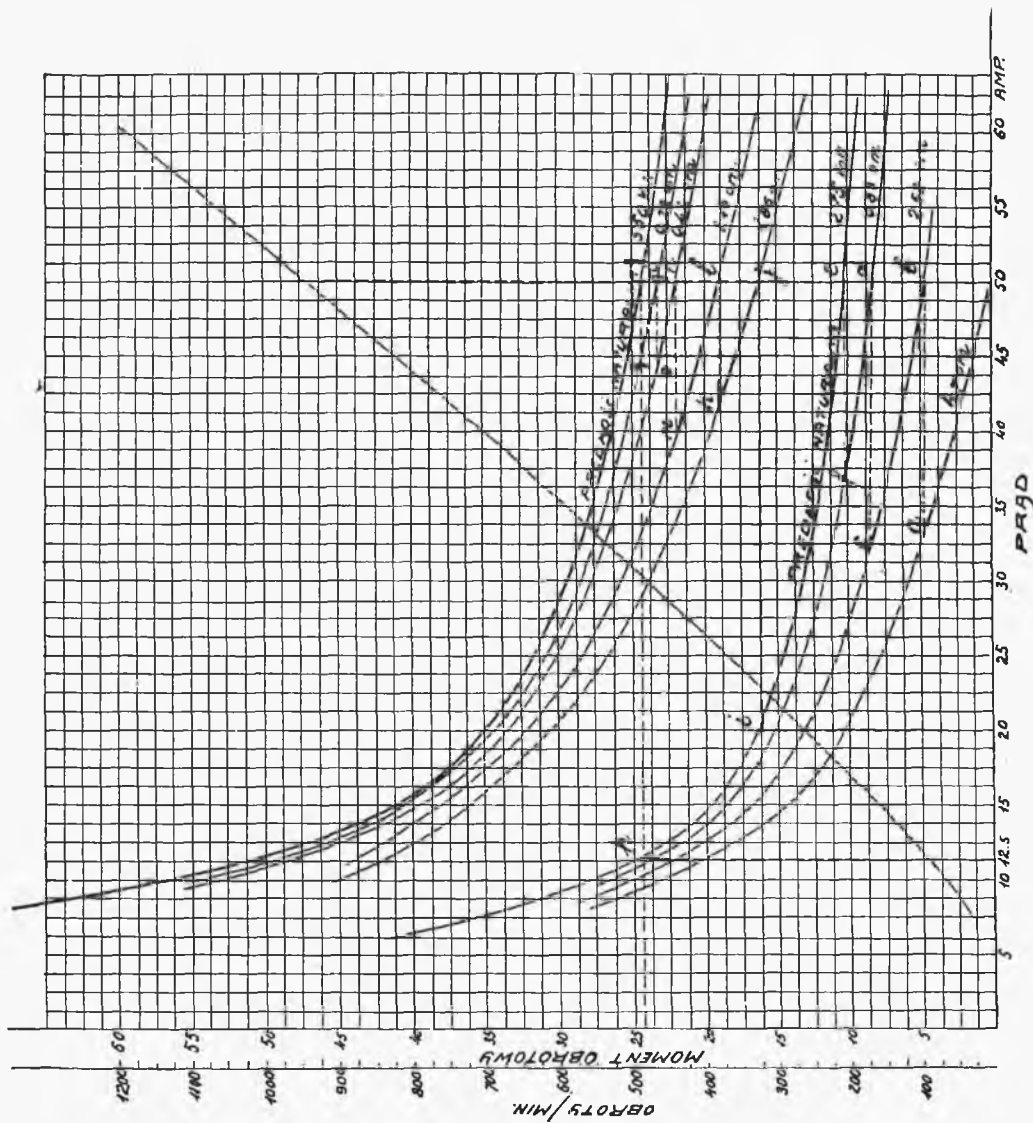
Ponieważ przy ruszaniu motory połączone są w szereg, więc E dla każdego z nich wynosi 275 woltów, a $R_1 = 4,7$ omów.

Mamy więc:

$$n' = n \left[1 - \frac{4,7 \cdot 50}{275 - 0,8 \cdot 50} \right] = 0,$$

t. j. krzywa prędkości przy dodaniu oporu $9,4$ omy zaczyna się przy 50 -ciu amperach.

Wstawiając różne wartości dla i , oraz odczytując odpowiadającą tym wartościom ilość obrotów n , na krzywej, wykreślonej dla 275 vol-



Rys. 17.

tów, obliczamy dalsze punkty nowej krzywej prędkości dla dołączonego oporu 9,4 omy.

Skoro ilość obrotów dostatecznie wzrosnie, zmniejszamy opór; robimy to tak, aby natężenie prądu nie przekroczyło początkowego, t. j. 50 amp.

Niech prędkością tą będzie 95 obrotów; linja pozioma *ab* przeprowadzona przez punkt nowej krzywej prędkości, odpowiadający 95 obrotom da nam w punkcie przecięcia z pionową, wystawioną na rzędnej = 50 amp. punkt poszukiwanej krzywej prędkości.

Gdyby dodatkowego oporu nie było, to natężeniu prądu 50 amp. odpowiadałaby ilość obrotów = 210. Ponieważ zaś motor ma robić tylko 95 obrotów, przeto możemy nowy opór R_2 wyliczyć z równania:

$$95 = 210 \left[1 - \frac{R_2 \cdot 50}{275 - 0,8 \cdot 50} \right]; \quad R_2 = \frac{115 \cdot 235}{50 \cdot 210} = 2,53 \text{ omy},$$

czyli dla obu motorów razem $R_2 = 5,06$ omów; wykonano = 5,05 om. Przy 170 obrotach zmniejszamy znowu opór (punkt *c*) i licząc w ten sam sposób otrzymujemy $R_3 = 0,89$ oma, czyli dla obu motorów razem 1,78 oma, wykonano 1,66 omów.

Linja pozioma, przeprowadzona przez punkt przecięcia pionowej, wystawionej na rzędnej = 50 amp. z krzywą prędkości dla 275 voltów *e* przecina krzywą prędkości dla oporu 0,83 omy w punkcie *f*, odpowiadającym 205 obrotom. Przy tej więc prędkości możemy opory zupełnie wyłączyć, przyczem natężenie prądu nie przekroczy 50 amp.

Dalej prędkość wzrasta podług krzywej naturalnej prędkości dla 275 voltów. Aby przejść na połączenie równoległe nie przekraczając normy 50 amp należałoby prędkości dać wzrosnąć do 490 obrotów (linja *g-h*); prędkość ta odpowiada na krzywej 275 volt prądowi 12,5 amp.

Osiągnięcie tak znacznej prędkości wymaga jednak sporo czasu, a pozatem nie zawsze jest możliwem, gdyż łatwo może się zdażyć, iż opór trakeji jest takim, że wóz prędkości odpowiadającej 490 obrotom przy połączeniu szeregowem wogóle osiągnąć nie może.

Musimy więc i tu uciec się do pomocy dodatkowych oporów.

Jeżeli przełączenie skutecznymy w punkcie *i* przy 325 obrotach i 200 amp., to mamy:

$$325 = 490 \left(1 - \frac{R_4 \cdot 50}{550 - 0,8 \cdot 50} \right); \quad R_4 = \frac{165 \cdot 510}{490} = 3,44 \text{ omy}.$$

Wykonano 3,32 oma.

Pamiętać przy tem należy, iż prąd wzięty z sieci będzie teraz podwójny, gdyż motory połączone są równoległe; R musi więc być:

$$\frac{3,32}{2} = 1,66 \text{ oma}.$$

Punkt *j* jest punktem nowej krzywej prędkości.

W ten sposób postępując dalej otrzymujemy:

$$R_5 = 1,10 \text{ oma}, \quad R_6 = 0,44 \text{ oma} \text{ i } R_7 = 0,22 \text{ oma}.$$

Zupełne wyłączenie oporów następuje w punkcie *g* przy 490 obrotach i 45 amperach na motor.

Jeżeli przyjmiemy, iż opór trakcji razem z oporem powietrza wynosi przy pełnej prędkości 11, to siła pociągowa będzie:

$12 \times 11 = 132 \text{ kg.}$, co odpowiada momentowi obrotu 10,7 kg. na motor. Daje to na krzywej prędkości 750 obrotów przy 17,5 amp.

Przy ruszaniu mamy więc następujące zjawiska:

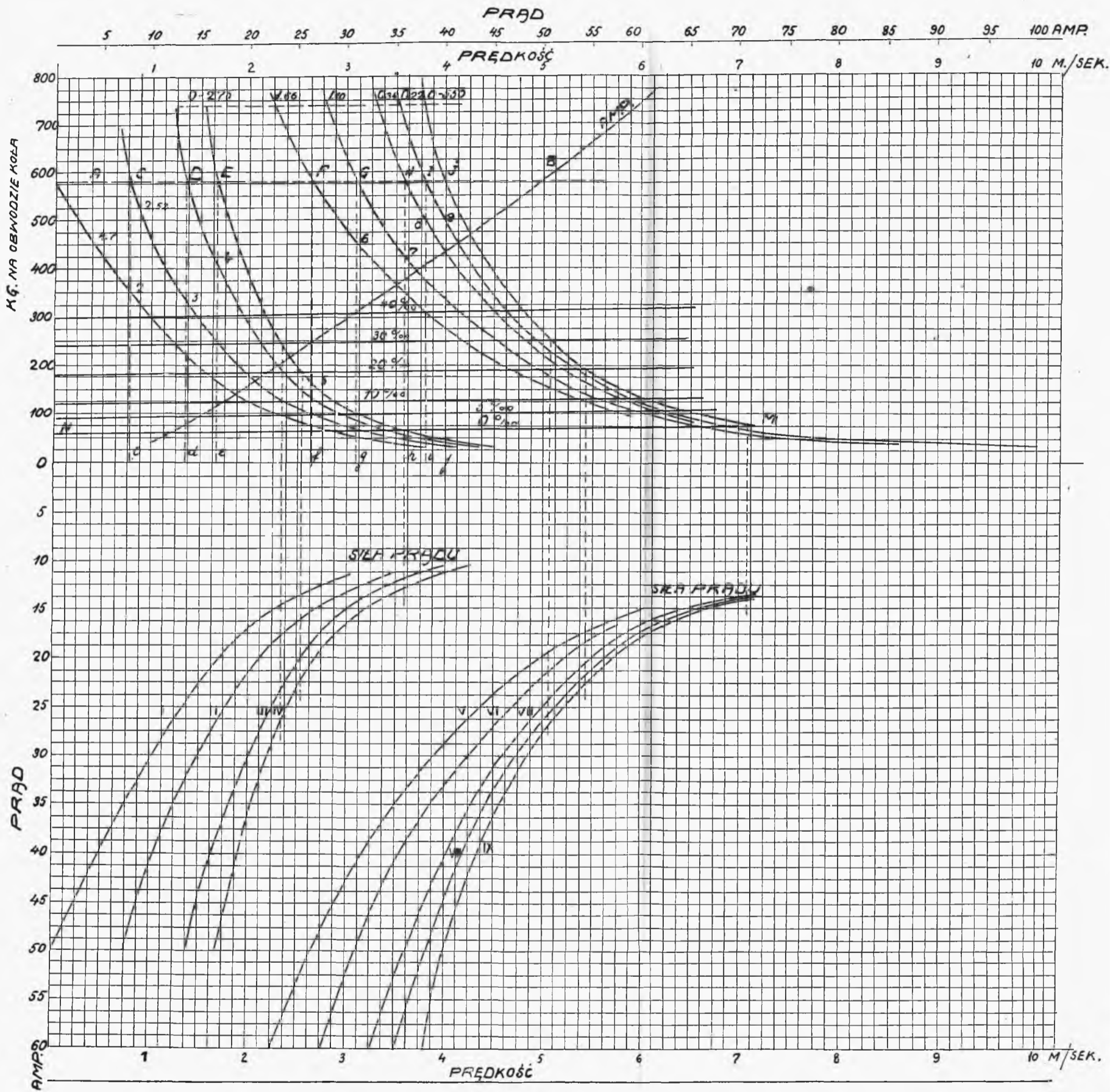
Kontakt.	Ilość obrotów		Natężenie prądu amper.		Skok prądu	U W A G I
	od	do	od	do		
1	0	95	50	33,6	50	Motory połączone w szereg.
2	95	170	50	32	16,4	
3	170	205	50	37,5	18	
4	205	325	50	20	12,5	
5	325	380	50	41,2	30	
6	380	440	50	39,5	8,8	Motory połączone równolegle
7	440	470	50	44	10,5	
8	470	490	50	45	6	
9	490	750	50	17,5		

Krzywe prędkości w tej postaci, jakąśmy dotychczas widzieli, nie dają nam możliwości wykreślenia linii prędkości wozu w czasie ruszania. Aby to umożliwić, musimy wykresy motoru przerobić tak, aby rzędą była prędkość i natężenie prądu, a odcietą moment obrotu. Dla wygody przekształcamy ilość obrotów na minutę na prędkość wozu w metrach na sekundę.

$$v = \frac{n \cdot 2 R \cdot \pi}{z \cdot 60} = \frac{n \cdot 0,8 \cdot 3,14}{5,1 \cdot 60},$$

a momenty obrotu na siłę pociągową na obwodzie kół:

$$F = \frac{m \cdot 5,1 \cdot 0,97}{0,4}.$$



Rys. 18.

Na rys. 18-ym widzimy tak przekształcone krzywe, wyrażające prędkości w zależności od prądu. Z wykresu rys. 17-ty widzimy, iż natężenie prądu 50 amp. odpowiada moment obrotu 47,5 kgm., a zatem:

$$F = \frac{47,5 \cdot 5,1 \cdot 0,97}{0,4} = 580 \text{ kg.},$$

przez ten więc punkt przechodzić musi krzywa dla dodatkowego oporu 4,7 oma na motor (rys. 18-ty).

Przez punkt *B* krzywej prądu, odpowiadający 50 amp. przeprowadzamy linię poziomą *AB* aż do przecięcia z osią odciętych; linja ta przecina krzywe prędkości dla różnych dodatkowych oporów i połączeń w punktach *C, D, E, F, G, H, I, J*.

Z każdego z tych punktów spuszczaamy prostopadłe na oś rzędnych *Cc, Dd, Ee, Ff*, i t. d. Linja *Cc* przecina krzywą dla 4,7 omów w punkcie 2, *Dd* krzywą dla 2,52 oma w punkcie 3 i t. d.

Punkty te określają nam prędkość, natężenie prądu i siłę pociągową, przy których musi mieć miejsce przełączanie, jeżeli natężenie prądu nie ma przekroczyć 50 amp. na motor.

Wykres rys. 18-ty, wskazuje nam, iż siła pociągowa maleje w miarę zwiększania się prędkości; możemy więc napisać:

$$F = f(v)$$

Przyspieszenie ρ zmniejsza się również ze wzrastającą prędkością; możemy więc dalej zestawzić równanie:

$$\frac{W'}{g} dv = (F - Wr) dt; \quad t = \frac{W'}{g} \int_0^v \frac{dv}{F - Wr}$$

W danym wypadku jest $Wr = 12 \times 10 = 120$ kg. czyli 60 kg. na motor.

Jeżeli więc przyjmujemy wartość r za stałą, to możemy na wykresie 18-ym przeciągnąć w wysokości odpowiadającej 60 kg. poziomą, lub jeśli chcemy uwzględnić zmianę r ze zmianą prędkości, odpowiednią krzywą. W danym wypadku, ponieważ mamy do czynienia z prędkościami nieznacznymi, zadowolimy się linią prostą *WW*, pochyloną tak, aby przy prędkości 6 m/s r było 12 kg., czyli $Wr = 144$ kg. Wysokość każdego punktu którejbaż z krzywych prędkości nad linią *WW* da nam każdorazową wartość $F - Wr$.

Zakładając $y = \frac{1}{F - Wr}$ otrzymamy:

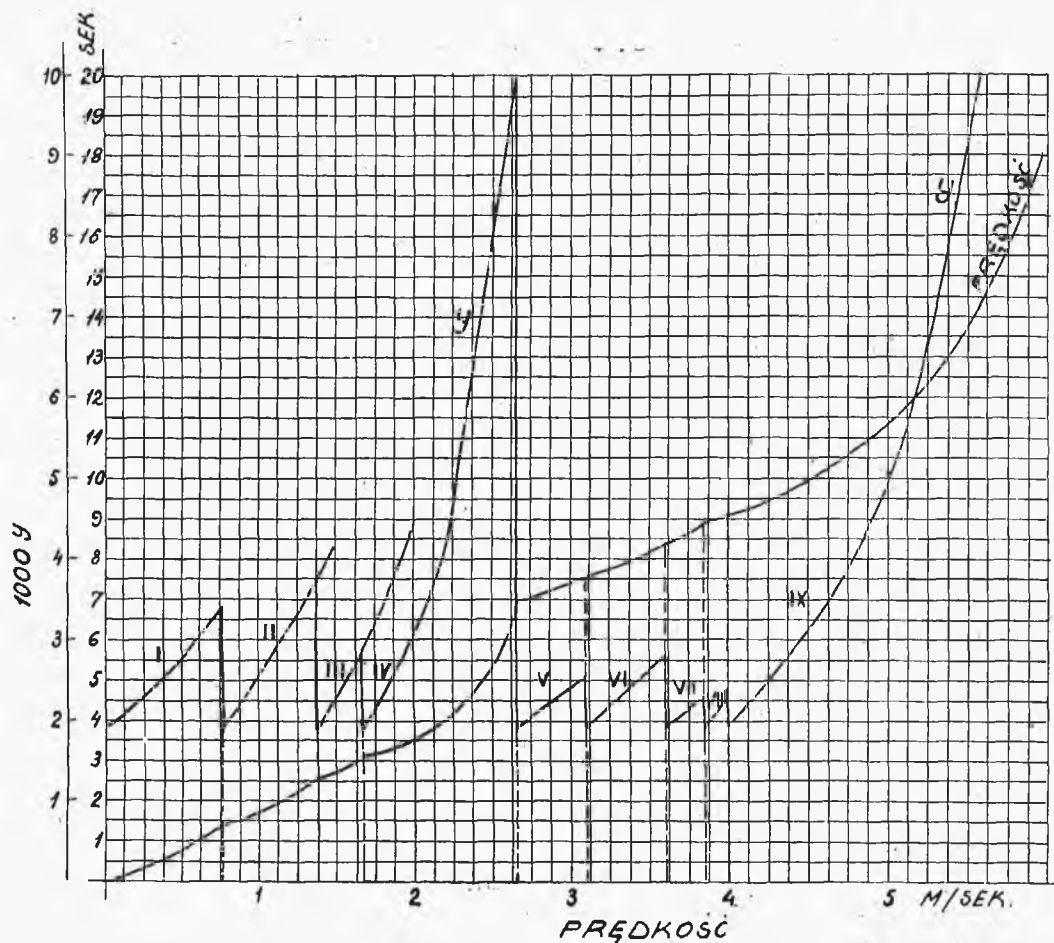
$$t = \frac{W'}{g} \int_0^v y \cdot dv.$$

Wartość całki najlepiej wyznaczyć wykreślnie. W tym celu wy-

kreślamy przedewszystkiem krzywe y dla wszystkich kontaktów (połączeń) po kolei. Krzywe takie widzimy na rys. 19-ym.

Dla wykreślenia krzywych y obliczamy na podstawie równania:

$$y = \frac{1}{F - W_r}$$
 poszczególne wartości y dla pewnej ilości punktów, leżących na używanej do jazdy części obranej krzywej prędkości, n. p. dla krzywej 4,7 oma między prędkościami 0 i 0,76 m., krzywej 2,52 oma między 0,76 i 1,38 m. i t. d.



Rys. 19.

Dla krzywej 4,7 omów otrzymany przy prędkości 0,76 m.:

$$y = \frac{1}{292} = 0,0034.$$

Dla wygodniejszego kreślenia powiększamy najlepiej y 1000 razy, czyniąc je = 3,4.

Otrzymane w ten sposób poszczególne punkty łączymy ze sobą, co nam daje właśnie szukane krzywe y .

Powierzchnia, zawarta pomiędzy krzywą y , prostopadłami wystawionymi w punktach 0 i v , oraz osią rzędnych, przedstawia wartość szukanej całki $\int_0^v y \, dv$, którą możemy obliczyć, planimetrując tę powierzchnię.

Czas t jaki upływa, zanim wóz nabierze danej prędkości obliczamy podług wzoru:

$$t = \frac{W'}{g} \int_0^v y \, dv.$$

Tak n. p. wynosi powierzchnia, zawarta pomiędzy krzywą y dla 4,77 omów, rzędną i prostopadłami wystawionymi przy prędkościach 0 i 0,25 m. $\frac{0,525}{1000}$ (rys. 19-ty), a zatem:

$$t_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{14000}{9,81} \cdot \frac{0,525}{1000} = 0,374 \text{ sekund.}$$

$$\left(\frac{1}{2} \text{ gdyż mamy dwa motory} \right)$$

pomiędzy prędkościami 0,25 i 0,50 metra;

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{14000}{9,81} \cdot \frac{0,63}{1000} = 0,42 \text{ sekund i t. d.}$$

Wóz nabierze prędkości 0,5 metr. na sek. po upływie:

$$0,374 + 0,42 = 0,794 \text{ sekundy.}$$

Postępując w ten sposób dalej dla wszystkich oporów otrzymujemy krzywą prędkości, w zależności od czasu, uwidocznioną na rys. 19-tym.

Czas jazdy na poszczególnych kontaktach wskazuje tablica na str. 48-mej.

Po upływie około 19 sekund od chwili ruszenia, prędkość staje się prawie stałą.

Wykresy, rys. 18-ty, pozwalają także określić prędkość wozu lub pociągu na dowolnej pochyłości. W tym celu wyliczamy całkowity opór trakcji na danej pochyłości dla wozu, względnie pociągu:

$$F = W (r + i) + D (\rho + i) \text{ lub, uwzględniając}$$

zmianę oporu powietrza, jeśli idzie o prędkości większe:

$$F = W (r + i) + D (\rho + i) + Z$$

i otrzymujemy w pierwszym wypadku szereg linii prostych, w drugim szereg krzywych, równoległych *W W*. Przecięcie tych linii z krzywami prędkości dla różnych kontaktów daje nam prędkość, jaką może osiągnąć wóz na danej pochyłości przy danym położeniu regulatora.

Tak n. p. będzie prędkość wozu na poziomej dla położenia 4, t. j. motorów połączonych w szereg = 3,6 m/s. = 13 km/godz. zaś dla 9, t. j. motorów połączonych równolegle = 7,1 m/s. = 25,6 km/godz.

Na pochyłości 20‰:

dla kontaktu 4 = 2,55 m/s. = 9,2 km/godz.

" " 9 = 5,45 m/s. = 19,7 km/godz.

Kontakt	Opór dołączony	Czas jazdy w sekund.	Czas od ruszenia	U W A G A
1	9,4	1,37	1,37	Motory w szereg
2	5,05	1,23	2,60	
3	1,66	0,46	3,06	
4	0	3,9	6,96	
5	1,66	0,71	7,67	Motory równoległ.
6	1,10	0,78	8,45	
7	0,44	0,37	8,82	
8	0,22	0,21	9,03	
9	0			

Na pochyłości 40‰:

dla kontaktu 4 = 2,35 m/s. = 8,5 km/godz.

" " 9 = 5,07 m/s. = 18,3 km/godz.

Wykres 18-ty uzupełniamy wreszcie, wykreślając (dla większej wyraźności u dołu osi rzędnych) krzywe prądu dla każdego kontaktu. Wtedy prostopadłe, spuszczone z punktów przecięcia linii oporów z linjami prędkości dają nam w punktach przecięcia z krzywami prądu, natężenie prądu na danej pochyłości.

Tak n. p. mamy dla kontaktu 4:

na poziomej 12,5 amp.

na pochyłości 20‰ 22,0 amp.

na pochyłości 40‰ 26,5 amp.

dla kontaktu 9:

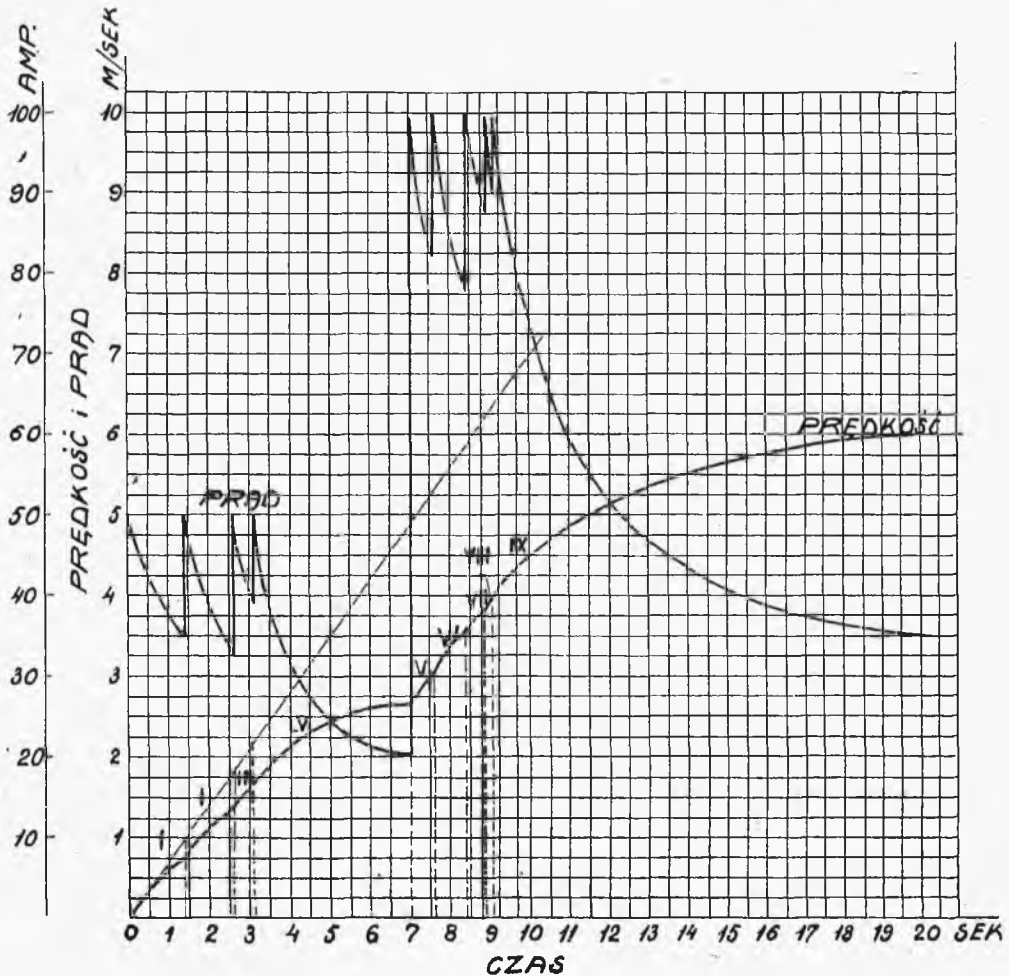
13,75 amp. na motor

22,5 " " "

26,5 " " "

Wykres, rys. 19-ty, przerysowujemy, biorąc czas jako rzędną, i wrysowujemy w ten nowy wykres wzięte z wyk. 18-go natężenia prądu; otrzymujemy w ten sposób wykres 20-ty dający nam dokładny obraz wszystkich zjawisk w chwili ruszania wozu.

Podana powyżej metoda obliczenia jest możliwie dokładna, ale zato wymagająca dużo czasu i pracy. Zwykle bowiem nie wystarcza znajomość przebiegu ruszania w jednych warunkach, n. p. na poziomej, ale potrzeba też mieć obraz ruszania pod górę na różnych pochyłościach, z wozami doczepnymi i t. d. Dla każdego takiego wypadku należy na-



Rys. 20.

nowo obliczać i wykreślać krzywe y , z nich krzywe czasu, a z tych dopiero przebieg prędkości i t. d. Toteż metodę tę należy stosować tylko wtedy, kiedy idzie o bardzo wielką dokładność, n. p. kiedy się ma

do czynienia z ciężkimi pociągami i wielkimi prędkościami. Poza tem zadawałamy się zwykle metodą uproszczoną. Jest to tembardziej racjonalne, iż obliczone krzywe i tak nie mogą nigdy ściśle odpowiadać rzeczywistym. Samoindukcja uzwojeń nie pozwala na zbyt gwałtowne skoki prądu, łagodzi więc ostrza krzywej prądu; w czasie przyspieszania następuje zawsze częściowe ślizganie się kół, co znowu łagodzi przebieg krzywej prędkości. Dalej zmieniają się w miarę nagrzania dość znacznie wartości dołączonych oporów, a wreszcie i przełączanie nie będzie odbywało się w ściśle obliczonej chwili.

Zasadą metody uproszczonej jest, iż zamiast wykreślać krzywe y i planimetrować ich powierzchnie, przyjmuje się, iż przyspieszenie jest przez pewien okres czasu jednostajne.

Jak już wiemy jest przy stałym przyspieszeniu siła przyspieszająca:

$$f = W' \frac{p}{g} \quad \text{zaś przyspieszenie } p = \frac{v}{t};$$

$$\text{a zatem: } f = \frac{W' \cdot v}{g \cdot t}; \quad t = \frac{W' \cdot v}{f \cdot g}.$$

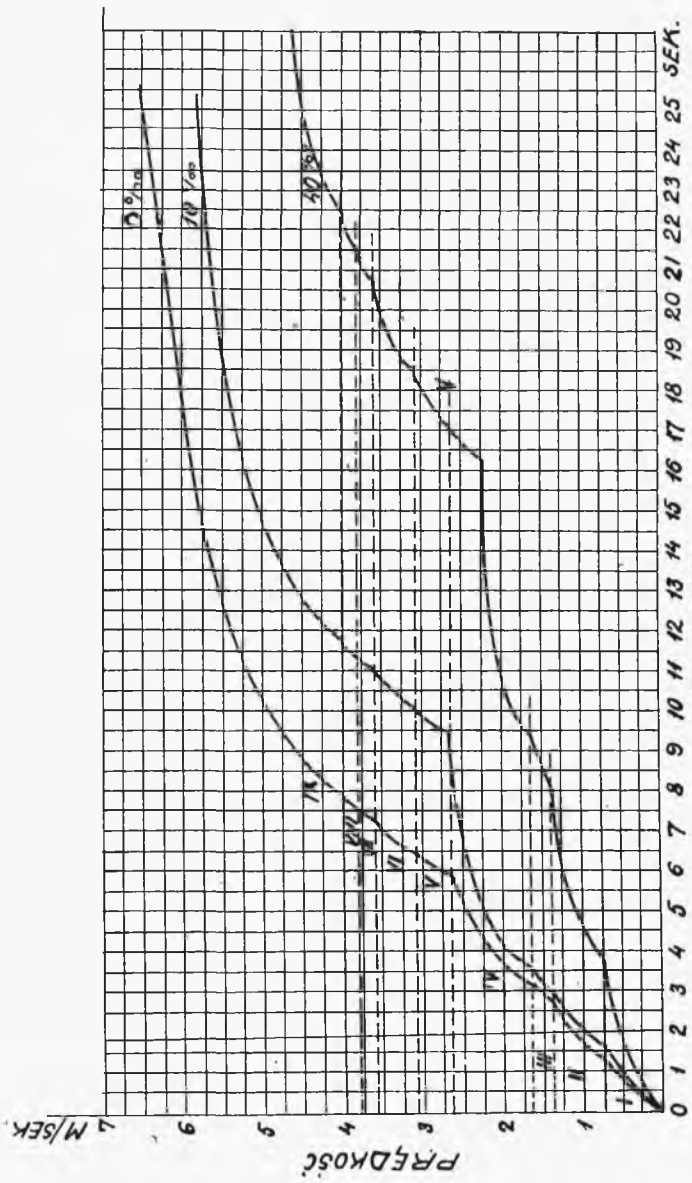
Siłę przyspieszającą f możemy odczytać na wykresach, rys. 18-ty, jako wysokość punktów danej linii prędkości nad odpowiednią linią oporu MN . Za pomocą tego równania możemy teraz obliczyć po jakim czasie wóz nabierze prędkości v .

Odbieramy więc na wykresie 18-tym pewną długość jednej z krzywych prędkości i odmierzamy wielkość siły przyspieszającej f , działającej na początku i na końcu obranego odcinka; przyjmujemy, iż przez czas rozpatrywany działa stale średnia tych dwu wartości f i wyliczamy odpowiednie t ; jeżeli obieramy dość krótkie odcinki, to osiągniemy zupełnie wystarczającą dokładność.

Tak n. p. jeżeli zrobimy takie obliczenie dla krzywej kontaktu 1, dzieląc takową na odcinki co 0,25 m. s.; to otrzymamy:

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{(580 - 60) + (500 - 60)}{2} = 480 & t_1 &= \frac{7000 \cdot 0,25}{9,81 \cdot 480} = 0,37 \text{ sek.} \\ f_2 &= \frac{(500 - 60) + (420 - 60)}{2} = 400 & t_2 &= \frac{7000 \cdot 0,25}{9,81 \cdot 400} = 0,445 \text{ „} \\ f_3 &= \frac{(420 - 60) + (350 - 60)}{2} = 325 & t_3 &= \frac{7000 \cdot 0,25}{9,81 \cdot 325} = 0,548 \text{ „} \\ & & t &= \underline{\hspace{1.5cm}} = 1,363 \text{ sek.} \end{aligned}$$

zamiast wyliczonych metodą ścisłą 1,37 sek.



Rys. 21.

Na rys. 21-szym widzimy w ten uproszczony sposób wykreślone krzywe prędkości wozu przy ruszaniu na poziomej, na pochyłości 10‰ oraz na pochyłości 40‰.

Rzut oka na rys. 20-ty i 21-szy pokazuje, że krzywe dla poziomej bardzo mało od siebie się różnią, że zatem metoda uproszczona jest w danym wypadku zupełnie wystarczająco dokładna. Krzywa dla pochyłości 10‰ wykazuje w chwili przejścia z połączenia szeregowego na równoległe znaczny już brak ciągłości, co wywołać musi szarpnięcie. Na pochyłości wreszcie 40‰ nie pozwalają obrane opory wogóle spełnić warunku, aby natężenie prądu nie przekroczyło 50 amp. na motor, gdyż wóz przy połączeniu szeregowem motorów nie może nabrać potrzebnej nato prędkości; przy przełączeniu więc tem niepodobna będzie uniknąć prądu do 60-ciu amp. na motor.

Opory, spełniające doskonale swe zadanie na poziomym szlaku, są więc dla ruszania na większych pochyłościach zupełnie nie odpowiednie. Nie należy przeto nigdy określać z góry wielkości oporników dla danego typu motorów (jak to się często spotyka w katalogach), lecz przeciwnie, należy ich wielkość dostosowywać do warunków, w jakich elektrowozy mają pracować.

Powyższy przykład przeliczyliśmy, opierając się na znanych z praktyki wielkościach oporników. Mając jednak określić te wielkości dla nowego urządzenia, znajdującego się w odmiennych warunkach, musimy postępować nieco inaczej. Możemy w takich wypadkach albo wykreślić krzywe dla oporników, zastosowanych w podobnym urządzeniu i następnie wielkość ich dopóty zmieniać, aż otrzymamy zadawalające nas krzywe, albo też zastosować dla wyliczenia metodę, podaną przez E. Körnera z Norymbergji.

E. Körner podaje równanie prędkości w nieco odmiennej formie.

Oznaczmy siłę przeciwelektrobodźczą motoru, przy prędkości obwodowej = 1 m. s. i natężeniu prądu = 1 amp., przez E_1 ;

napięcie na linii przez e .

prędkość obwodową osi motoru, mierzoną na obwodzie koła o średnicy 1 m. w metrach na sek., przez v_1 .

całkowity opór obwodu elektrycznego (a zatem opór motorów + oporniki), przez r ; wtedy:

$$E = E_1 v_1 = e - I \cdot r; \quad E_1 = \frac{e - I \cdot r}{v_1}.$$

Przy innym oporze r_2 , ale tym samym prądzie (a zatem i sile pociągowej), otrzymamy:

$$E_1 = \frac{e - I r_2}{v_2}, \text{ a stąd:}$$

$$v_1 = v_2 \frac{e - I \cdot r}{e - I r_2}, \text{ czyli:}$$

$$v_1 = \frac{v_2}{e - I r_2} (e - I r), \text{ a dla jakiegoś oporu } r_3:$$

$$v_3 = \frac{v_2}{e - I r_2} (e - I r_3); \quad v_1 - v_3 = \frac{v_2}{e - I r_2} I (r_3 - r).$$

Wynika z tego równania, iż dla równomiernych stopniowań oporników, przy stałej wartości $r_3 - r$, również i $v_1 - v_3$ zachowuje tę samą wartość.

Jeżeli więc mamy dane dwie linje prędkości dla różnych oporów, to możemy wykreślić dowolną ilość linii, leżących pomiędzy nimi, dla odpowiedniej ilości różnych oporów, odejmując od siebie prędkości, odpowiadające na obu znanych liniach oporów pewnej sile pociągowej, i dzieląc otrzymaną różnicę na tyle równych części, ile różnych linii chcemy wyznaczyć.

Metodę tę najlepiej wyjaśni przykład.

Wóz motorowy, tej samej budowy i wagi, co w poprzednim przykładzie, ma zwykle ciągnąć wóz doczepny o wadze 6500 kg. (wraz z podróżnymi). Oporniki mają być obliczone tak, aby zapewniały jak-najlepsze ruszanie na pochyłości 9,2‰, umożliwiały jednak i ruszanie na pochyłości 15‰.

Na rys. 22-im wykreślamy najpierw krzywe prędkości dla 275 i 550 voltów bez oporów dodatkowych. Widzieliśmy już, iż przyczepność nie pozwala na wyzyskanie większej siły prądu, jak 50 amp., przeto więc i opór pierwszego kontaktu będzie musiał wynosić, jak w poprzednim przykładzie, $9,4 + (2 \cdot 0,8) = 11$ omów. Wykreślamy więc i krzywą dla dodatkowego oporu 9,4 oma przy 275 voltach. Między linją dla 11 omów a linją dla 1,6 omów (połączenie szeregowo, bez dodatkowych oporów) wykreślamy 9 linii, co 0,94 oma, a zatem dla 10,06—9,12—8,18 i t. d. omów.

Jeżeli współczynnik oporu trakcji dla wozu doczepnego wynosi 8 kg., to dla poruszania pociągu na pochyłości 9,2‰ potrzebować będziemy siły pociągowej

$$12 \cdot (10 + 9,2) + 6,5 \cdot (8 + 9,2) = 342 \text{ kg.} = 171 \text{ kg. na motor.}$$

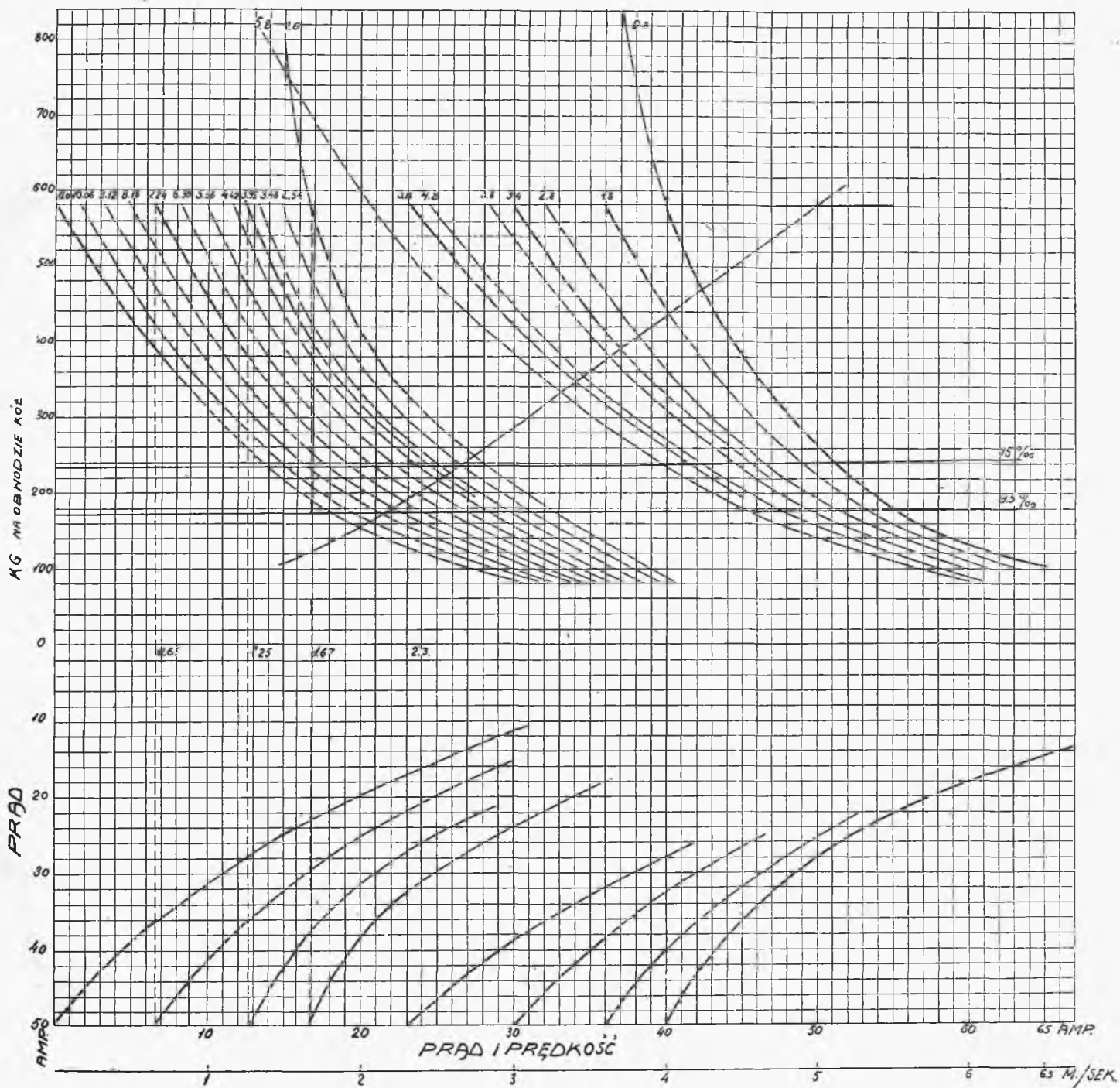
Wpływ części obracających się w wozie doczepnym uwzględniamy, przyjmując $D' = 1,1 D = 1,1 \cdot 6,5 = 7,15$ ton.

Dla przyspieszenia więc mamy wagę:

$$W' + D' = 14000 + 7150 = 21150 \text{ kg.}$$

Dla czasu t otrzymamy równanie:

$$t = \frac{21150 \cdot v}{2 \cdot f \cdot 9,81}$$



Rys. 22.

Znanym już sposobem wykreślamy na rys. 23-im prędkość pociągu dla jazdy na kontakcie pierwszym.

Wychodzimy dalej z założenia, iż przełączenia mają następować po sobie w odstępach czasu około 2,5 sekund. Z wykresu rys. 23-go widzimy, iż po upływie 2,5 sek. pociąg ma prędkość 0,7 m. s.; na wykresie rys. 22-go znajdujemy, iż opór 7,24 oma daje przy 50 amperach prędkość 0,65 m. s. Jako opór kontaktu 2 obieramy więc 7,24 oma (opornik 7,24 — 1,6 = 5,64 oma). Przełączenie z kontaktu pierwszego na drugi winno przeto nastąpić po upływie 2,4 sek. przy prędkości 0,65 m. s. Teraz wykreślamy na rys. 23-im przebieg prędkości, odpowiadającej krzywej (rys. 22-gi) dla 7,24 oma, według wzoru:

$$t = \frac{21150 \cdot v}{2 \cdot f \cdot 9,81}$$

Po upływie 2,4 sek. osiągnie teraz pociąg prędkość 1,25 m. s. Na wykresie, rys. 22-gi, widzimy, iż krzywa dla oporu 4,42 oma daje przy 50 amp. 1,16 m. s., zaś 3,48 oma 1,32 m. s.; żadna więc z tych krzywych nie odpowiada naszym wymaganiom. Dzielimy przeto odległość między krzywymi dla 4,42 i 3,48 oma na dwa i wykreślamy nową krzywą dla $4,42 - \frac{4,42 - 3,48}{2} = 3,95$ omów, która daje przy 50 amp. żadaną prędkość 1,25 m. s.

Opór więc dla kontaktu trzeciego wynosić będzie 3,95 oma (opornik 2,35 oma), a przełączenie następuje przy prędkości 1,25 m. s. po upływie 4,8 sek. od ruszenia.

Krzywa połączenia szeregowego bez oporów, rys. 22-gi, wskazuje, iż 50 amp. odpowiada prędkość 1,67 m. s. Prędkość tę osiągnie pociąg po upływie 2,2 sek. od chwili przełączenia na kontakt trzeci, w tej więc chwili winno nastąpić wyłączenie oporów i przełączenie na kontakt czwarty, rys. 23-ci.

Dla połączenia równoległego mamy tylko jedną krzywą, a mianowicie dla połączenia bez dodatkowych oporów, t. j. dla oporu motoru 0,8 oma. Wyliczamy więc przedewszystkiem krzywą dla n. p. 5,8 omów, poczem pomiędzy tą krzywą a krzywą bez oporów wykreślamy 4 nowe krzywe (dzieląc odległość między nimi na 5 części) dla 4,8, — 3,8, — 2,8 i 1,8 oma.

Krzywa prędkości pociągu przy jeździe na kontakcie czwartym, rys. 23-ci, wskazuje, iż między 9-tą a 10-tą sekundą od chwili ruszenia przyśpieszenie zaczyna się znacznie zmniejszać; chcąc więc uniknąć szarpnięcia musimy w tym czasie przełączyć. Ponieważ jednak krzywa dla 5,8 omów daje przy 50-ciu amp. prędkość 2,06 m. s., którą pociąg

osiągnie już po upływie 8 sek. (rys. 23-ci), zaś dla 4,8 omów 2,44 m. s. co wymagałoby 10 sek.; przeto dzielimy odległość między temi krzywymi na 3 części i wykreślamy dodatkową krzywą dla 5,13 omów, dającą przy 50 amp. 2,3 m. s.; prędkość tę pociąg osiąga po upływie 9,7 sek., a zatem w żądanym czasie. Obieramy więc dla kontaktu 5-go opór 5,13 oma i uskuteczniamy przełączenie po upływie 9,7 sek. od ruszenia a 2,7 sek. od włączenia kontaktu 4-go.

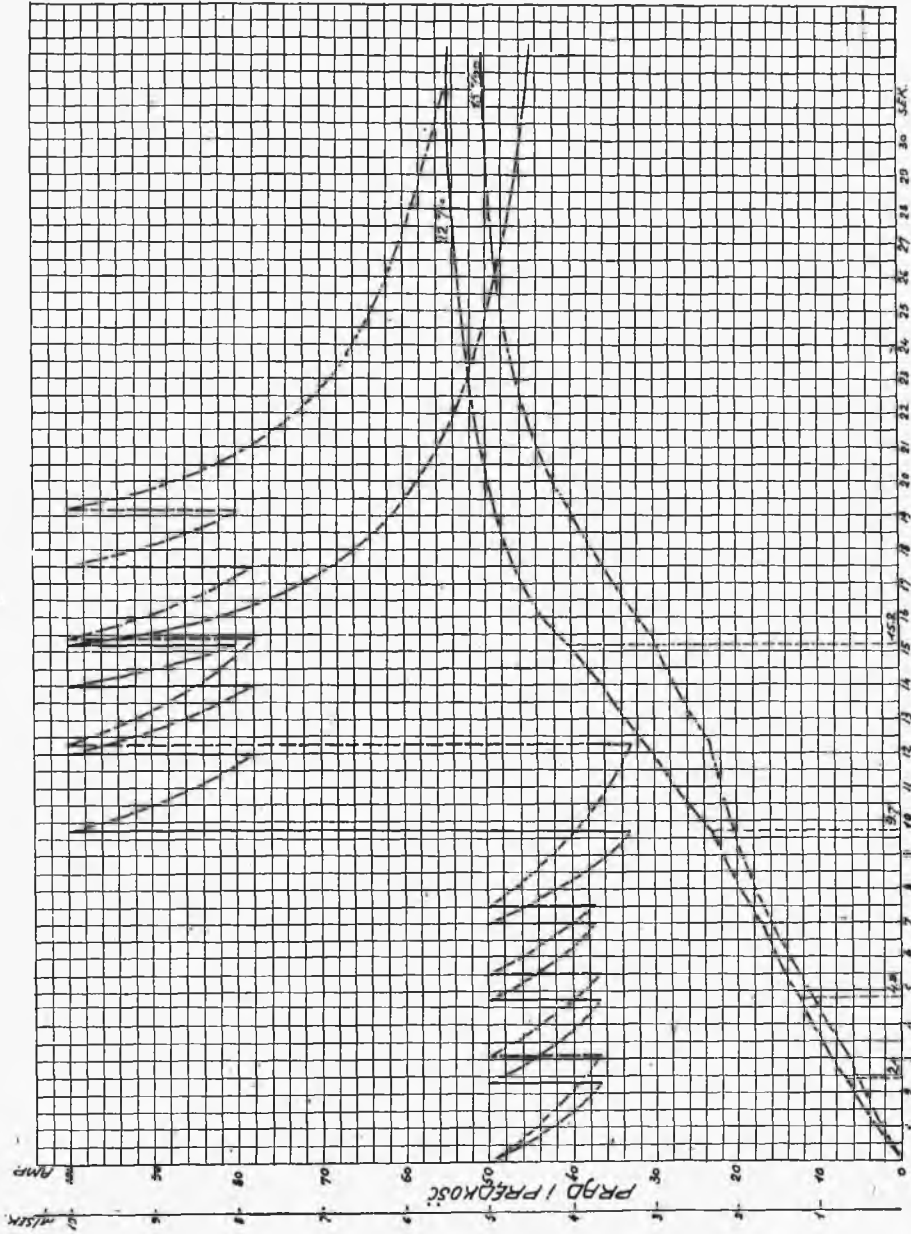
Ponieważ przez opornik płynąć będzie prąd dla dwu motorów, przeto musi wielkość opornika wynosić $\frac{5,13 - 0,8}{2} = 2,16$ oma.

Tak samo postępując dalej znajdujemy dla kontaktu 6-go 3,4 omy (opornik 1,3 oma), przełączenie po 12-tu sek., przy prędkości 3 m. s. i dla 7-go 1,8 oma (opornik 0,5 oma), przełączenie przy 3,6 m. s. po upływie 14 sek.

Na wykresie, rys. 22-gi, widzimy, iż krzywa prędkości dla 0,8 oma, t. j. połączenia równoległego bez dodatkowych oporów, daje przy 50-ci amp. prędkość 4 m. s., krzywa zaś kontaktu 7-go, rys. 23-ci, wskazuje, iż prędkość tę pociąg osiąga po upływie 1,2 sek. od włączenia tego kontaktu; wynika z tego, iż dalszy dodatkowy opór byłby zbyteczny i że odrazu można już wyłączyć dodatkowe opory. Obliczone wielkości zestawiamy w formie tablicy.

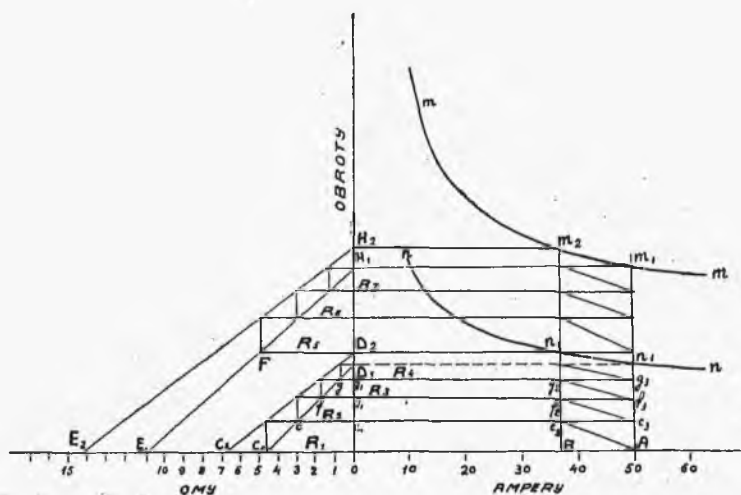
Kontakt	Wielkość dodatkowego oporu	Prędkość m. s.	Przełączenie po sekundach		
			od wł. kont.	od ruszenia	
1	9,4	0—0,65	2,4	2,4	Motory łącz. w szereg.
2	5,64	0,65—1,25	2,4	4,8	
3	2,35	1,25—1,67	2,2	7,0	
4	0	1,67—2,3	2,7	9,7	
5	2,16	2,3—3,0	2,3	12,0	Motory równoległe
6	1,30	3,0—3,6	2,0	14,0	
7	0,50	3,6—4,0	1,2	15,2	
8	0	4,0			

Dla znanych już obecnie oporów obliczamy i wykreślamy na wykresie, rys. 23 ci, krzywą prędkości dla jazdy na pochyłości 15‰ i widzimy, że i teraz dają obrane oporniki zupełnie zadawalniającą krzywą prędk.



ČAS
Ry s. 25.

kości. Wykres wreszcie uzupełniamy wrysowaniem w wyk. 22-gi krzywych wielkości prądu dla obranych oporów i wniesieniem w wykres 23-ci przebiegu wielkości prądu.



Rys. 24.

Pewną trudność sprawiać może trafne określenie po jakim czasie, względnie przy jakich prędkościach, mają nastąpić przełączenia. Wiemy już, że czem więcej obierzemy stopni opornikowych, tem równomierniejszem będzie ruszanie, tem stałszem przyspieszenie.

Rozwiązanie tego zadania możemy sobie znacznie ułatwić stosując metodę wykreślną, opartą na założeniu, że przełączając będziemy przy pewnym, z góry obranem i stałym natężeniu prądu, tak, że w czasie ruszania prąd wahać się będzie od I_{max} do I_{min} .

Obrawszy motor, którego charakterystykę widzimy na rys. 24 tym, określamy przedewszystkiem znanym już sposobem wartość maksymalną prądu I_{max} w chwili włączenia motorów, $I_{max} = OA$ i obieramy dowolnie pewien prąd minimalny $I_{min} = OB$.

Wielkość pierwszego dodatkowego oporu R_1 otrzymujemy z równania:

$$R_1 = \frac{E}{I_{min}} - r \text{ przyczem } E = \text{napięciu na linii,}$$

a dla połączenia szeregowego dwu motorów, połowa tego napięcia, a $r =$ oporowi motoru.

Na osi rzędnych w lewo od O odnosimy w obranej skali omowej:

$$OC_1 = R_1 \text{ i } OC_2 = \frac{E}{I_{min}} - r,$$

i wystawiamy w punktach A i B prostopadłe aż do przecięcia z linjami nn i mm liczby obrotów przy połączeniu szeregowem i równoległem. Przez punkty n_1 , n_2 przeciągamy poziome, które przecinają oś odciętych w punktach D_1 D_2 ; punkty te łączymy z punktami C_1 C_2 .

Wystawiając teraz w C_1 prostopadłą i przeciągając przez punkt przecięcia jej z linią C_2 D_2 poziomą, otrzymamy w skali omowej wartość oporu dodatkowego:

$$R_2 = e e_1 \text{ oraz w przecięciu z prostopadłymi,}$$

wystawionymi w A i B e_2 'punkt krzywej obrotów z oporem R_1 i e_3 z oporem R_2 .

Tak postępując dalej, a zatem wystawiając prostopadłą w e aż do przecięcia z C_2 D_2 , otrzymamy:

$$R_3 = f f_1 \text{ oraz punkty } f_2 f_3 \text{ krzywych dla } R_2$$

i R_3 i t. d.

Oczywiście, że ostatnia prostopadła, na rys. 24-ym, a wystawiona w g musi przecinać C_2 D_2 w wysokości D_1 , gdyż n_1 jest punktem krzywej obrotów dla połączenia szeregowego.

Jeżeli tak nie jest, to zmieniamy odpowiednio wielkość I_{\min} , a zatem i położenie punktów B , C_2 i D_2 tak długo, aż warunek ten spełnimy.

To samo powtarzamy teraz dla połączenia równoległego, zdwajając tylko wartość E przez co otrzymujemy nowe punkty E_1 E_2 oraz H_1 H_2 .

$O E_1$ określa wielkość oporu dodatkowego, jaki musieliśmy zastosować, gdybyśmy nie mieli połączenia szeregowego. Ponieważ jednak połączenie to mamy, przeto pierwszy opór połączenia równoległego R_5 otrzymamy, przedłużwszy poziomą n_2 D_2 aż do przecięcia z linią E_2 H_2 :

$$R_5 = F D_2.$$

Sposób ten wykreślny jest bardzo wygodny, gdyż pozwala łatwo zmieniać liczbę stopni opornikowych zmieniając wartość I_{\min} , a pare prób wystarcza już zwykle, aby trafić na właściwe wielkości.

Pamiętać oczywiście należy, że wielkość oporników dla połączenia szeregowego będzie równą podwójnej wartości R otrzymanych z rysunku (ponieważ mamy dwa motory), dla połączenia zaś równoległego, dwa razy mniejszą (ponieważ prąd jest podwójny).

4) Regulowanie przez zmianę pola magnetycznego.

a) *Oporniki włączone równoległe do uzwojeń magnesów.* Boczni-kowanie. Jeżeli równoległe do uzwojeń magnesów włączymy opór r_0

i oznaczymy liczbę zwojów magnesów przez M , ich opór przez r_m , zaś prąd płynący w tworniku przez I_a , to zamiast $M \cdot I_a$ ampero-zwojów otrzymamy:

$$M \frac{r_b}{r_b + r_m} I_a \text{ ampero-zwojów.}$$

Zmieniając więc wartość oporu r_b , możemy, nie zmieniając natężenia prądu, zmieniać liczbę ampero-zwojów, a co zatem idzie i ilość obrotów motoru.

Krzywą ilości obrotów z bocznikiem najlepiej jest wymierzyć, względnie dla obliczeń dostać takową wymierzoną; w braku jednak takiej krzywej, można ją z dość znaczną dokładnością obliczyć i wykresić, wychodząc przy tem ze znanych krzywych bez bocznika.

Dodanie bocznika o oporze r_b zmienia ilość ampero-zwojów w stosunku

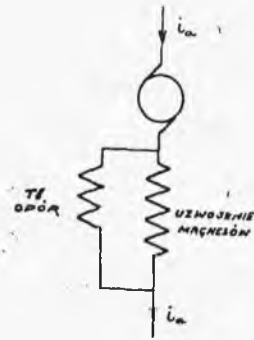
$$\frac{M'}{M} = \frac{r_b}{r_m + r_b},$$

Natężenie prądu wywołujące jednakową siłę przeciw elektrodźczą, a zatem i ilość obrotów, zmienia się w stosunku odwrotnym, t. j. $\frac{M}{M'}$; jeżeli więc nie uwzględnić różnic strat w tworniku, spowodowanych różnym natężeniem prądu, to zmniejszenie ilości ampero-zwojów w stosunku $\frac{M'}{M}$ wywoła, przy jednakowej prędkości, zwiększenie prądu w stosunku $\frac{M}{M'}$. Mając więc daną krzywą prędkości bez bocznika, możemy z niej wykresić krzywą dla danego bocznika.

Na rys. 26-tym widzimy, iż prędkości 270 obrotów odpowiada przy 275 voltach prąd 30 amp., z bocznikiem zaś takim, iż $\frac{M'}{M} = 0,5$ — 56,5 amp., podczas kiedy wyliczenie dałoby 60 amp.; prędkości 325 obrotów odpowiada na wykresie prąd 20 amp. bez bocznika i 40 amp. z bocznikiem, wyliczenie zaś daje również 40 amp. Dokładność więc wyliczenia jest przeważnie wystarczającą.

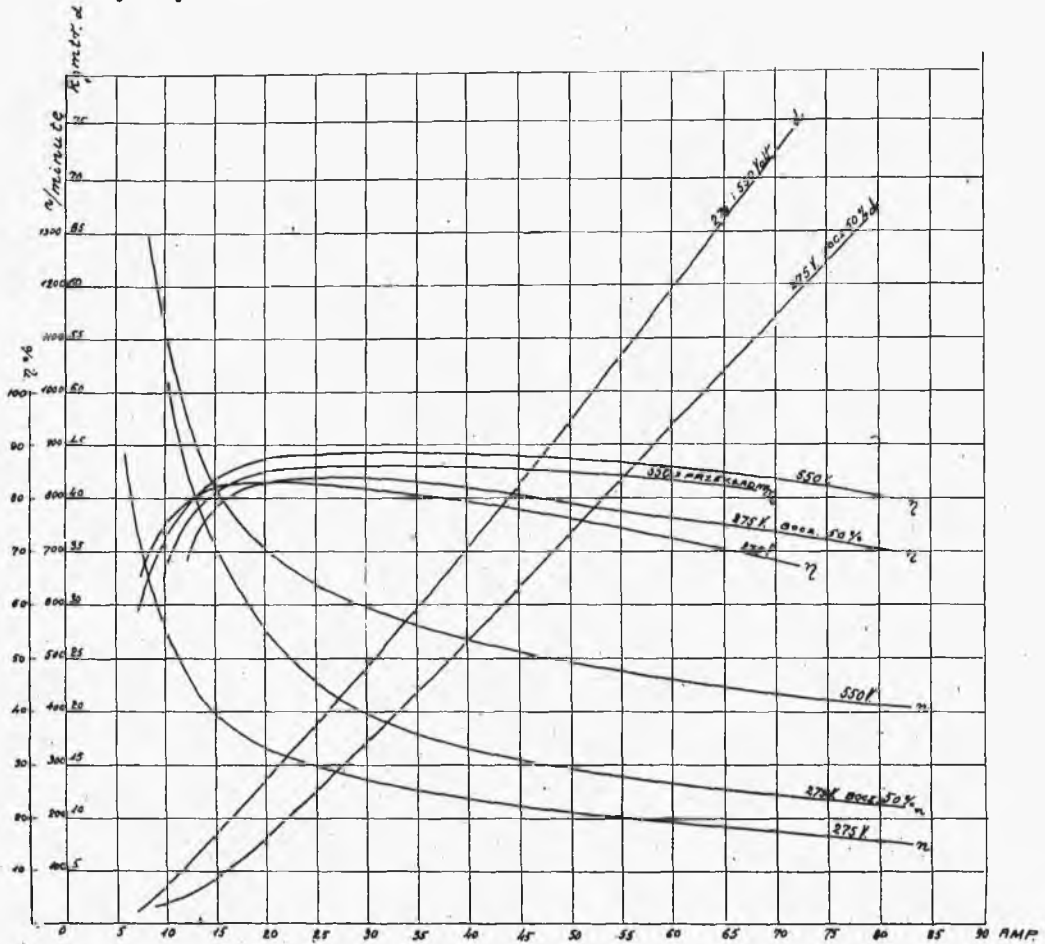
Dokładniej jeszcze można obliczyć ilość obrotów z bocznikiem na podstawie linii magnetycznej danego motoru.

Linję tę można znanym sposobem obliczyć lub też wykresić mając



Rys. 25.

daną krzywą ilości obrotów w zależności od natężenia prądu oraz opór wewnętrzny motoru.



Rys. 26.

Wykres motoru tramwajowego Siemens i Halske D 53 dla napięcia 275 i 550 voltów, z bocznikiem 50% przy 275 voltach.

Na wykresie motoru, rys. 27-my którego opór wewnętrzny wynosi 0,8 oma, rysujemy linię poziomą E_k w wysokości odpowiadającej napięciu robocznemu w dowolnej skali; linja E_a przedstawia siłę przeciwelektro-bodźczą motoru:

$$E_a = E_k - I \cdot r; \quad r = \text{opór motoru.}$$

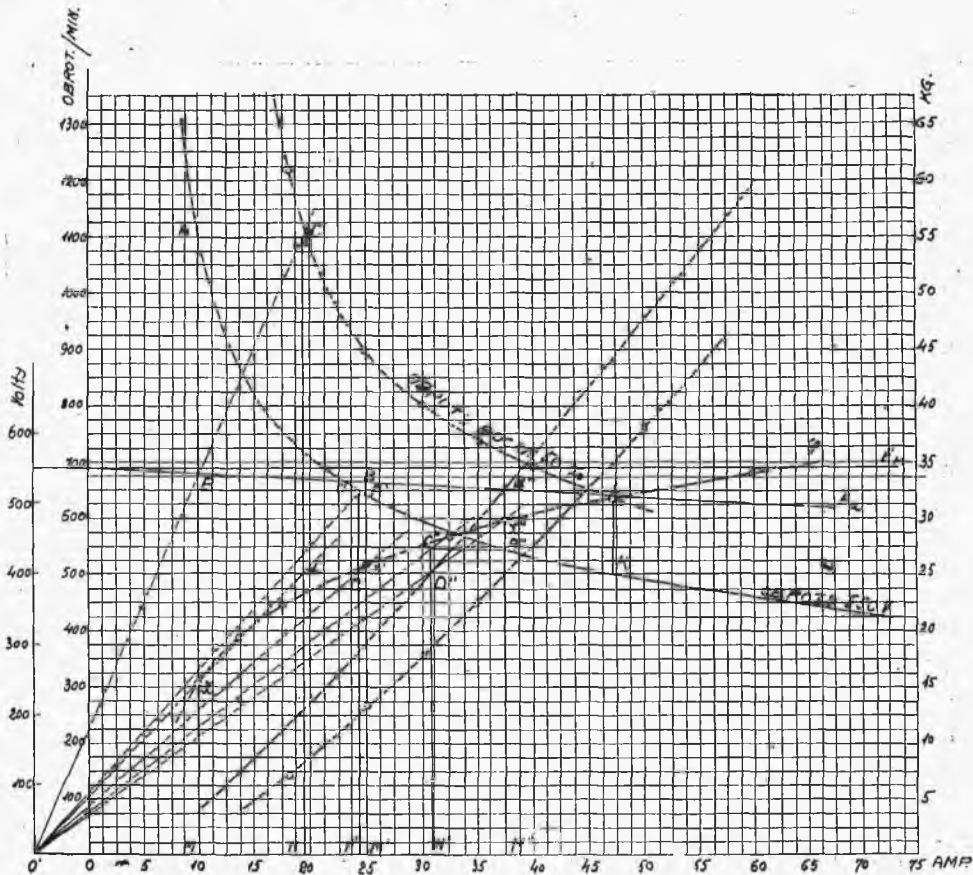
W dowolnej wysokości przekładamy linię pomocniczą poziomą PQ i obieramy na osi rzędnych dowolny punkt O' .

Z punktu A krzywej obrotów spuszczaemy prostopadłą AM , która przecina linię E_a w punkcie B ; punkt ten łączymy z punktem O' na

osi rzędnych i przedłużamy linię $O'B$ aż do przecięcia z poziomą, przełożoną przez A w punkcie C . Z punktu C spuszcza prostopadłą CN , która przecina linię PQ w punkcie D i łączymy ten punkt z O' . Przecięcie linii DO' z prostopadłą AM daje nam strumień magnetyczny, odpowiadający prądowi OM , a zatem szukany punkt linii magnetycznej x .

$$\frac{MB}{xM} = \frac{CN}{CD}, MB = E_a, CN = AM = n, xM = \Phi, DN = \text{stała dowolna}$$

$$\frac{E_a}{\Phi} = \frac{n}{DN}; \Phi = \frac{E_a}{n} DN.$$



Rys. 27.

Tak postępując dalej dla punktów A' , A'' i t. d. otrzymujemy szereg punktów x' , x'' i t. d., dających szukaną krzywą magnetyczną.

Dla punktu przecięcia linii PQ z krzywą obrotów K będzie przecięcie wystawionej tu prostopadłej z linią E_a , L punktem linii magnetycznej.

Po włączeniu bocznika przez uzwojenia magnetyczne płynie nie prąd I , płynący przez twornik, lecz prąd mniejszy I' , któremu odpowiada strumień Φ' .

Prądowi I odpowiadał bez bocznika strumień magnetyczny Φ i ilość obrotów n , które odczytujemy z wykresu, rys. 27-my. Odczytawszy więc na tymże wykresie Φ' obliczamy łatwo nową ilość obrotów n' :

$$n' = \frac{\Phi}{\Phi'}$$

Tak samo będzie nowy moment obrotu: $m' = m \frac{\Phi'}{\Phi}$

Tak n. p. odczytujemy dla bocznika 50% na rys. 27-ym: $I = 20$ amp., $\Phi = 465$ (w skali voltów), $n = 720$ obr. min., $m = 13,75$ kgm., a z bocznikiem $I' = 10$ amp., $\Phi' = 305$, a zatem:

$$n' = 720 \frac{465}{305} = 1090; \quad m' = 13,75 \frac{305}{465} = 9 \text{ kgm.}$$

Tak wykreślone krzywe ilości obrotów i momentu obrotu z bocznikiem 50% widzimy na rys. 27-ym.

Jeżeli opór motoru R nie jest dany, to można go w przybliżeniu obliczyć, mając dane krzywe obrotów w zależności od prądu dla dwu napięć, n. p. połączenia równoległego i szeregowego.

Z równania ilości obrotów, podanego na str. 32-giej:

$$n = \frac{E - RI + \epsilon}{N \cdot \Phi} \text{ mamy: } E = N \cdot \Phi \cdot n + I \cdot R - \epsilon,$$

jeżeli więc nie uwzględnimy ϵ siły elektrobodźczej, wywołanej przez magnetyczną reakcję twornika i odczytamy ilości obrotów n_1 i n_2 , odpowiadające dwu napięciom E_1 i E_2 przy tym samym prądzie I , a zatem i strumieniu Φ , to możemy łatwo obliczyć wartość R .

Oczywiście jest, iż razem z natężeniem prądu, zmienia się i moment obrotu, i że przy danym naprężeniu prądu motor z bocznikiem da mniejszy moment obrotu, jak bez bocznika. Bocznikowanie więc można stosować tylko przy mniejszej sile pociągowej, a zatem większej prędkości, nigdy zaś n. p. w czasie ruszania, kiedy idzie o rozwinięcie jaknajwiększego momentu obrotu. Co do współczynnika sprawności, to bocznikowanie obniża go przy małych obciążeniach, przy większych natomiast nieco polepsza (mniejsze straty omiczne, mniejsze nasycenie i t. d.), różnice te są jednak naogół małe i nie przekraczają zwykle 2 - 4%.

Zbyt silne osłabienie pola magnetycznego może łatwo, zwłaszcza przy dużych obciążeniach, wywołać iskrzenie na kolektorze, nie należy więc zmniejszania prądu w uzwojeniach elektromagnesów posuwać zbyt daleko. Dobre nowoczesne motory, zwłaszcza zaś z biegunami zwrotnymi, znoszą jednak bez żadnej trudności zmniejszenie tego prądu do 50%.

Jak to już zaznaczyliśmy, nie może być bocznikowanie stosowane samo jako system regulowania, lecz musi być zawsze połączone z innym jeszcze systemem. Najczęściej spotykamy je w połączeniu z systemem opornikowym i przełączeniowym, szeregowo-równoległym.

Początkowo stosowano bocznikowanie bardzo często, dodając po jednym a czasami nawet po dwa kontakty z bocznikami tak dla połączenia szeregowego, jak i równoległego. Później bocznikowanie prawie że zupełnie zarzucono, wychodząc z założenia, iż lepiej jest stosować motory, obracające się szybciej, aniżeli zwiększać sztucznie prędkość bocznikowaniem.

Często dawały się słyszeć głosy, iż w razie nagłego przerwania, a następnie włączenia prądu przy jeździe z bocznikiem, cały prąd mógłby wobec silnej samoindukcji ominąć uzwojenia magnetyczne i popłynąć przez bocznik; motory by więc nie były wzbudzone, siła przeciw-elektrodynamiczna powstać by nie mogła, prąd zaś wzrósł do bardzo znacznej i szkodliwej dla tworników siły. Obawy te są jednak, zdaniem naszym, zupełnie nieuzasadnione, gdyż praktycznie jest zupełnie niemożliwe, aby prąd zupełnie ominął uzwojenia magnetyczne. Dowodzą tego liczne próby, przy których przy włączonym boczniku rozmyślnie nagle prąd przerywano i również nagle włączano; prąd przy tem bardzo tylko nieznacznie wzrastał ponad poprzednią swą siłę.

Ostatniemi dopiero czasy, a zwłaszcza po wynalezieniu biegunów zwrotnych, ostatecznie niebezpieczeństwo iskrzenia usuwających, zaczęto do bocznikowania powracać, stosując przy tem często tylko jeden kontakt z bocznikiem, a mianowicie przy połączeniu szeregowem. System regulowania przez połączenie szeregowo-równoległe daje, jak to już widzieliśmy, tylko dwie prędkości jezdne, których stosunek bliskim jest do 1:2. Prędkość przy połączeniu równoległym obiera się przy tem największą, na jaką tylko pozwalają warunki miejscowe. Na ulicach bardziej ruchliwych oraz ciasnych jest prędkość ta zbyt wielką, należy więc takie ulice przejeżdżać ze zmniejszoną prędkością połączenia szeregowego. Prędkość ta jednak bywa często znowu zbyt małą, zwłaszcza, jeżeli wóz musi wjeżdżać na górę, lub, chodząc zwykle bez wozów doczepnych, ciągnąć takowe.

W takich wypadkach może posiadanie trzeciej, pośredniej prędkości okazać się bardzo pożyteczne i dać znaczne nawet korzyści. Że zaś przy tramwajach miejskich ma się bardzo często do czynienia z po-

dobnem położeniem (bardzo często n. n. bywa tak, iż wozy normalnie chodzą same, a tylko w niektórych godzinach biorą doczepne), przeto jest bocznikowanie dla tramwajów miejskich przeważnie bardzo wskazane. Przy kolejkach podmiejskich znowu może się okazać bardzo pożyteczną możność czasowego zwiększenia prędkości ponad normę, co się osiąga przez bocznikowanie przy połączeniu równoległym, gdyż pozwala to na wyrównywanie ewent. opóźnień.

Zdarza się często, że projektując motory dla kolejek dojazdowych lub kolei obiera się motor, który daje wprawdzie wymaganą siłę pociągową na obwodzie kół pędnych, rozwija jednak zbyt małą prędkość przy pełnym biegu. Zmiana przekładni nie wiele tu pomoże, gdyż zmniejszając ją otrzymujemy wprawdzie większą prędkość, ale natomiast zmniejszamy siłę pociągową. W takich wypadkach uniknąć można konieczności zastosowania większych motorów, stosując przy pełnym biegu bocznikowanie i w ten sposób zwiększając sztucznie prędkość.

Pozatem przemawia za stosowaniem bocznikowania przy połączeniu szeregowym jeszcze jedna, dość ważna okoliczność. Rozpatrując wykresy prędkości przy regulowaniu opornikowem i szeregowo-równoległym, wychodziliśmy z założenia, że przejście z kontaktu na kontakt, a zatem i z połączenia szeregowego na równoległe, następuje w takiej chwili, gdy natężenie prądu nie przekracza pewnej normy, a mianowicie natężenia prądu w chwili ruszania. Jestto wprawdzie dla osiągnięcia maksymalnego przyśpieszenia zupełnie słuszne, nie należy jednak zapominać, iż w chwili przejścia na połączenie równoległe prąd, pozostając dla każdego motoru jednakowym, wzrasta jednak dla całego wozu w dwójnasób, n. p. z 50 amp. do 100 amp. Otóż skoki takie są dla elektrowni i równomierności jej obciążenia wysoce niepożądane, zwłaszcza przy mniejszej ilości wozów.

Toteż zwykle starają się skoki te zmniejszyć, wytrzymując nieco dłużej na kontakcie odpowiadającym połączeniu szeregowemu bez oporników, czyli przechodząc na połączenie równoległe przy większej prędkości, kosztem zmniejszenia przyśpieszenia. Daleko jednak skuteczniej działa tu bocznikowanie, gdyż, nie tracąc nic na przyśpieszeniu, zwiększa ono prędkość, przy której następuje przełączenie.

b) Połączenie „Sprague”. Zamiast bocznika, można uzwojenie magnesów podzielić na części i części te łączyć ze sobą jużto szeregowo, jużto równoległe.

System ten został opracowany w Ameryce przez J. Sprague i jest pod tym nazwiskiem znany. Ponieważ jednak motory tramwajowe są przeważnie cztero-biegunowe, przeto można, zamiast dzielenia uzwojenia na części, łączyć ze sobą rozmaicie uzwojenia biegunów, zmieniając w ten sposób stosunek ampero-zwojów jak 1:2:4.

System ten jednak wymaga znacznej ilości przewodów i jest dość skomplikowany; toteż bywa on, zwłaszcza przy tramwajach śródmiej-
skich, rzadko stosowany. O ile nam wiadomo został on w nowszych
czasach na szerszą skalę zastosowany w Europie tylko przy tramwajach
Piotrogradzkich.

ROZDZIAŁ IV.

Określenie wielkości motorów. Praca zużyta przez pociąg. Moc Elektrowni.

1) **Wielkość przyspieszenia i moc motorów.** Jak wiadomo, jest
moc motoru elektrycznego ograniczona jego grzaniem się, które nie
może przekroczyć pewnych granic.

Grzanie się to zależnem jest przedewszystkiem od natężenia prądu.
Otóż motor może przy jednym i tej samem natężeniu prądu i wysokości
napięcia na szczotkach, a zatem i mocy, mieć bardzo różne ilości
obrotów, a więc i różne momenty obrotowe.

Wykresy ruszania pokazują tymczasem, iż miarodajny jest właśnie
moment obrotu, względnie siła pociągowa, jaką rozwinąć może dany
motor. Toteż należy uznać, powszechnie zresztą przyjęte, określenie
wielkości motorów dla trakcji przez ich moc, wyrażoną w koniach czy
też kilowattach, przy stałem obciążeniu, trwającym godzinę lub 1½ go-
dziny, za zupełnie fałszywe i niestosowne. Daleko odpowiedniejszym
byłby już moment obrotu przy określonej ilości obrotów. Aby jednak
móc rzeczywiście osądzić zdatność lub nie pewnego typu motorów dla
danej eksploatacji, niezbędnem jest mieć wykresy tych motorów, a mianowicie wykres momentu obrotu i ilości obrotów w zależności od
prądu i to dla dwu napięć, odpowiadających połączeniom szere-
gowemu i równoległemu, a jeżeli ma być stosowane bocznikowanie,
to i z bocznikiem.

Podanie spólczynnika sprawności przy normalnem obciążeniu jest
też niewystarczające: należy koniecznie mieć krzywą tego spólczyn-
nika (zwłaszcza przy małych obciążeniach!).

Co do dopuszczalnego grzania się motoru, to jest ono, w zależności
od zastosowanych materiałów izolacyjnych, nader zmienne. Na ogół
jednak można przyjąć, iż dopuszczalną jest temperatura do 70°.

Chwilowe przeciążenia do 2,5 razy normalnego nie powinny przy
tem wywoływać szkodliwego iskrzenia na kolektorze.

Zaznaczyć tu musimy z góry, iż wybór odpowiedniego motoru nie
jest bynajmniej rzeczą łatwą, lecz przeciwnie wymaga dużej wprawy

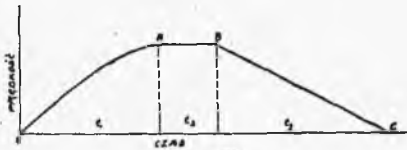
i praktyki. Dostosowanie n. p. wielkości motorów do średniej siły pociągowej byłoby zupełnie fałszywe, jak również i do maksymalnej, gdyż należy przecie uwzględnić i to, jak często i jak długo musi motor ową maksymalną siłę rozwijać. Uwzględnić dalej należy i rozkład jazdy, a zatem czas pracy motoru, względnie te przerwy w jeździe, w czasie których motory mogą stygnąć. Dalej należy się liczyć z wielką zmiennością oporu trakcji i ze stopniowem jego zwiększaniem się z biegiem czasu i zjeżdżeniem szyn (zwłaszcza na złączach). Z drugiej znowu strony nie należy oczywiście przesadzać w obranej mocy motorów, gdyż zbyt wielkie motory niepotrzebnie obciążają wozy i zwiększają zużycie pracy.

Jak to z wykresów ruszania widzieliśmy, winny motory rozwijać największy moment obrotu w chwili ruszania; moment ten będzie tem większy, czem większe przyspieszenie pragniemy nadać wozowi. Zachodzi więc pytanie, jakie przyspieszenie należy obierać?

Jeżeli pociąg ma przebyć przestrzeń L metrów między dwoma przystankami w czasie T sekund, to musi się on poruszać ze średnią prędkością $\frac{L}{T} = v$ metrów na sekundę.

Ponieważ jednak prędkość pociągu nie jest stałą, lecz zwiększa się w chwili ruszania od 0 do pewnego maksimum, a następnie przed zatrzymaniem zmniejsza od owego maksimum do 0, to oczywiście jest, iż v_{\max} będzie musiało być większem od v , t. j. prędkości średniej.

Prędkość pociągu wzrasta od chwili ruszenia przez czas t_1 podług linii OA rys. 28-my, potem pozostaje stałą $= v_{\max}$ przez czas t_2 aż do punktu B . Jeżeli teraz, po upływie czasu $t_1 + t_2$ wyłączymy prąd, to pociąg będzie się dalej poruszał pod wpływem nabytej siły żywej, przyczem prędkość jego będzie się stale zmniejszała, aż po upływie czasu t_3 stanie się ona $= 0$.



Rys. 28.

Jeżeli nie uwzględnimy zmienności oporu trakcji ze zmieniającą się prędkością, to linia BC będzie prosta, pochylenie jej zaś da miarę oporu trakcji (wraz ze stratami w przekładni i obracających się bez prądu motorach); opór ten wywołuje w danym wypadku stałe ujemne przyspieszenie, czyli opóźnienie.

$t_1 + t_2 + t_3 = T$, zaś powierzchnia zawarta pomiędzy rzędną, a linią $OABC$ daje nam miarę drugą L , jest więc z góry określona.

Gdybyśmy mogli pociąg zupełnie nie hamować, a zatem otrzymać przebieg prędkości taki, jak na rys. 28-ym, to przyspieszenie powodowałoby bardzo tylko nieznaczne straty, gdyż zużytkowalibyśmy całą prawie siłę

zywą, nadaną pociągowi w chwili ruszania na t. n. „bieg z rozpędu“. Straty te spowodowane by były tarciami motorów, obracających się w czasie biegu z rozpędu, oraz koniecznością włączania oporników w chwili ruszania. W rzeczywistości jednak nie możemy nigdy prawie zużytkować całej siły żywej na bieg z rozpędu, gdyż czas t_3 byłby bardzo wielki wobec małego oporu trakcji, a zatem i małego opóźnienia, wywołanego przez t. n. opór.

Jeżeli n. p. wóz o wadze 12 ton rusza ze średnim przyspieszeniem 0,4 m. s. s., to maksymalną prędkość, przypuśćmy 7 m. s., osiągnie po upływie 17,5 sek. i przejechaniu $17,5 \cdot \frac{7}{2} = 61,25$ metrów; jeżeli wóz ten jedzie dalej przez czas 30 sek. ze stałą prędkością, to przebędzie dalszych $30 \cdot 7 = 210$ metrów. Niech opór trakcji wynosi 10 kg., strata w motorach $\phi = 20$ kg., zaś $K = 1,2$, to otrzymamy:

$$12 \cdot 10 + 20 = \frac{12000 \cdot 1,2 \cdot \rho}{9,81}$$

$$\text{a stąd: } \rho = 0,0955 \text{ m. s. s.}$$

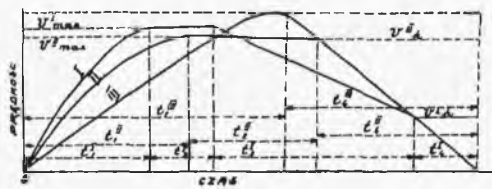
Zatrzymanie więc nastąpiłoby po upływie $\frac{7}{0,0955} = 73$ sek. i przeje-

chaniu $73 \cdot \frac{7}{2} = 255,5$ metr. Ogółem więc wóz przebyłby $61,25 + 210 + 255,5 = 526,75$ metrów w $17,5 + 30 + 73 = 120,5$ sek., osiągnąłby więc średnią prędkość tylko 4,35 m. s.

Aby uniknąć tak znacznej straty czasu musimy przeważnie przed zatrzymaniem stosować hamulce, niszcząc w ten sposób większą lub mniejszą część siły żywej i zwiększając temsamem straty.

Wyłączwszy bieg z rozpędu zupełny, widzimy trzy możliwości przebycia przestrzeni L w czasie T , a mianowicie, rys. 29-ty:

I. Wóz przez czas t_1^I nabiera prędkości do v_{\max}^I , poczem przez czas t_2^I biegnie ze stałą prędkością v_{\max}^I ; po upływie czasu $t_1^I + t_2^I$ następuje wyłączenie prądu i wóz biegnie dalej siłą nabytego rozpędu z jednostajnym opóźnieniem przez czas t_3^I , przyczem prędkość jego zmniejsza się do v_{\min}^I ; teraz następuje hamowanie, które po upływie czasu t_4^I wóz zatrzymuje.



Rys 29.

II. Wóz przez czas t_1^{II} nabiera prędkości do v_{\max}^{II} , poczem przez czas t_2^{II} biegnie ze stałą prędkością v_{\max}^{II} ; po upływie czasu $t_1^{II} + t_2^{II}$ następuje wyłączenie prądu i wóz biegnie dalej siłą nabytego rozpędu z jednostajnym opóźnieniem przez czas t_3^{II} , przyczem prędkość jego zmniejsza się do v_{\min}^{II} ; teraz następuje hamowanie, które po upływie czasu t_4^{II} wóz zatrzymuje.

II. Biegu z rozpędu niema zupełnie, a hamowanie zaczyna się po upływie czasu $t_1^{\text{II}} + t_2^{\text{II}}$ przy prędkości $v_h^{\text{II}} = v_{\text{max}}^{\text{II}}$.

III. Hamowanie następuje natychmiast po osiągnięciu maksymalnej prędkości $v_{\text{max}}^{\text{III}}$, po czasie t_1^{III} przy prędkości $v_{h_1}^{\text{III}} = v_{\text{max}}^{\text{III}}$.

Oczywiście powierzchnie, zawarte między krzywymi prędkości a rzędną muszą być zawsze równe L .

Rzuca się odrazu w oczy, iż najniekorzystniejszym jest sposób III, gdyż wymaga on (dla otrzymania żądanej powierzchni L , przy danej podstawie T) największej prędkości v_{max} , hamowanie zaś rozpoczyna się również przy największej prędkości $v_h = v_{\text{max}}$, powoduje więc największe straty. Zato jest tu przyspieszenie najmniejsze, a przeto i motory najslabsze.

Najekonomicznym zdaje się być sposób I, gdyż hamowanie następuje tu przy najmniejszej prędkości v_h ; zato musi tu być przyspieszenie największe, co znowu wymaga najsilniejszych motorów, których obciążenie jest przy pełnej prędkości małe; przy małym obciążeniu jest współczynnik sprawności mały, co znowu powoduje większe straty.

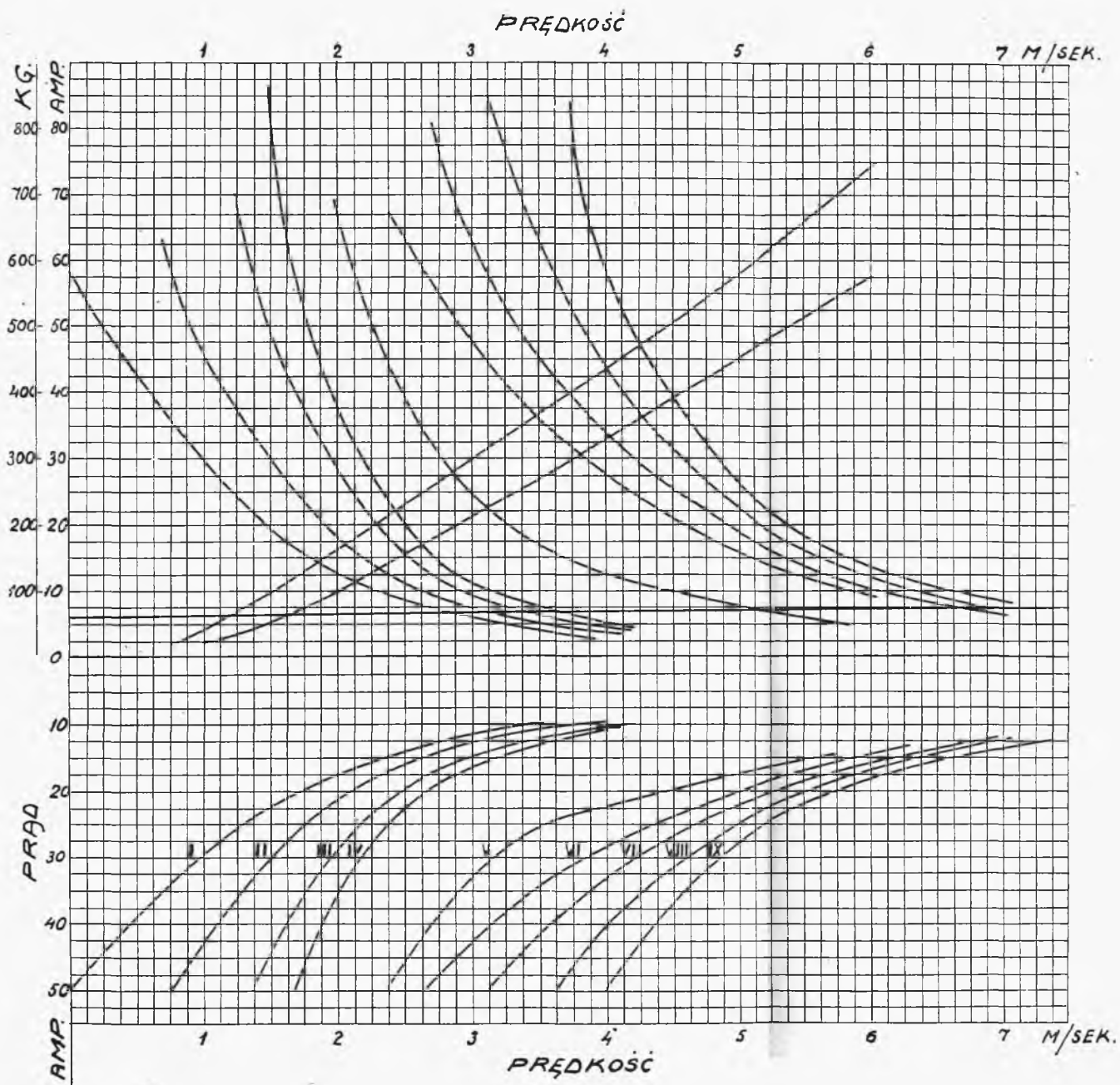
Przy sposobie II są wprawdzie straty hamowania większe, jak przy sposobie I, ale zato jest przyspieszenie mniejsze, motory więc mogą być mniejsze; również jest i $v_{\text{max}}^{\text{II}}$ mniejsze jak $v_{\text{max}}^{\text{I}}$.

Z powyższego wynika, iż sposobu III należy możliwie unikać, czyli obierać motory dostatecznie silne, aby wystarczały na sposoby I lub II. Który zaś z tych dwu sposobów będzie lepszy, to się z góry określić nie da. Jeżeli n. p. przystanki są od siebie dość odległe, tak, iż pociąg będzie czas dłuższy jechał pełną prędkością, to może się sposób II okazać ekonomicznym; jeżeli naodwrot przystanki są tak gęste, że czas jazdy pełną prędkością jest krótki, to wpływ mniejszego współczynnika sprawności znika wobec mniejszych strat przy hamowaniu i sposób I staje się odpowiedniejszy.

Ma to miejsce, naogół biorąc, przy tramwajach miejskich o gęstych przystankach. Nie należy przytem zapominać, iż prędkość maksymalna ograniczona jest zwykle przepisami bezpieczeństwa, dowolnie więc obierana być nie może; należy więc zawsze zbadać, czy sposób I pozwoli wogóle na osiągnięcie żądanej prędkości średniej.

W każdym razie należałoby zawsze przy tramwajach starać się stosować sposób I, czyli starać się osiągnąć jaknajwiększe przyspieszenie. Gdyby się potem okazało, że, n. p. skutkiem wzmożonego ruchu i zbyt długiego zatrzymywania się na przystankach jechać z rozpędu niepodobna, to zawsze można przejść na sposób II, a nie być zmuszonym do sposobu III.

Granice dopuszczalnego przyspieszenia określa z jednej strony



Rys. 30.

pryczepność, z drugiej zaś wygoda podróży. Liczne próby wykazały, iż przyspieszenie 1,3—1,5 m. w sek. na sek. nie wywołuje jeszcze nieprzyjemnego wrażenia; zwykle jednak normy się tej nie osiąga, zadawalając się przyspieszeniem 0,7—1,0 m. s. s. Mówimy tu o przyspieszeniu maksymalnym; średnie jest, jak to widzieliśmy na wykresach ruszania, zawsze znacznie mniejsze i nie przekracza zwykle przy tramwajach 0,3—0,5 m. s. s.

Oczywiste jest, iż wszystko wyżej powiedziane odnosi się i do hamowania, czyli opóźnienia; czem większe będzie opóźnienie, tem krócej będzie trwało hamowanie, a zatem tem dłużej może trwać bieg z rozpędu i tem mniejszemi będą straty.

Dla lepszegoświetlenia wyżej opisanych zjawisk przekalkulujemy znowu przykład liczbowy.

Niech wóz, którego wykresy ruszania rozpatrzyliśmy na str. 41-ej i nast., ma chodzić po linii, gdzie średnia odległość między przystankami wynosi około 500 metrów. Średnia prędkość między przystankami ma wynosić 16—17 kil. na godz. = 4,5—4,7 m. s., maksymalna winna nie przekraczać 27 kil. na godz. = 7,5 m. s.

Regulator zaopatrzony jest w 9 kontaktów, a mianowicie 4 dla połączenia szeregowego, 5-ty z bocznikiem i 4 dla połączenia równoległego. Poszczególne kontakty mają następujące dodatkowe opory: Kont. I—9,4 omy, II—5,05 oma, III—1,66 oma, IV—0, V—0, bocznik 50%, VI—1,66 oma, VII—1,1 oma, VIII—0,44 oma, IX—0.

Wykresy zastosowanych motorów widzimy na rys. 26-tym (str. 58).

Przekładnia wynosi 5,1; średnica kół 0,8 m., wyliczamy więc prędkość w metrach na sekundę ze wzoru:

$$v = \frac{n \cdot 0,8 \cdot \pi}{5,1 \cdot 60}$$

a siłę pociągową, przyjmując iż współczynnik sprawności przekładni = 0,97:

$$F = \frac{5,1 \cdot m \cdot 0,97}{0,4}$$

i wykreślamy na rys. 30-tym linie prędkości i prądu dla poszczególnych kontaktów regulatora, biorąc jako rzędne prędkość, a jako odcięte siłę pociągową, względnie prąd.

Jak to już obliczyliśmy (str. 42) będzie prąd w chwili włączenia = 50 amperów, co przy oporze trakcji = 120 kg. odpowiada przyspieszeniu 0,7 m. s. s. Znany już sposobem wykreślamy na rys. 31-y linie prędkości wozu tak, aby prąd przy przejściu z kontaktu na kontakt wynosił 50 amp.

Prędkość pełną 7,35 m. s. osiągnąłby wóz teoretycznie dopiero po

upływie około 89 sek., gdyż prędkość wzrasta pod koniec bardzo wolno, zbliżając się prawie asymptotycznie do swego maksimum.

Ponieważ jednak od prędkości 5,75 m. s. prędkość wzrasta już bardzo wolno, przeto możemy jako właściwe przyspieszenie uważać czas od początku do 5,75 m. s.; prędkość tę osiąga wóz po upływie 14,5 sek., średnie więc przyspieszenie wynosi:

$$\frac{5,75}{14,5} = 0,4 \text{ m. s. s.}$$

Pełnym biegiem idzie wóz jeszcze 29,5 sek. osiągając prędkość 1,15 m. s., poczem następuje wyłączenie prądu, wóz zaś biegnie dalej z jednostajnym opóźnieniem wynoszącym:

$$\frac{(120 + 20) \cdot 9,81}{14000} = 0,0981 \text{ m. s. s. przez 58 sekund,}$$

przyczem prędkość spada do 1,5 m. s.

Teraz następuje hamowanie z opóźnieniem 0,5 m. s. s., które zatrzymuje wóz po upływie 3-ch sek. Planimetrowanie powierzchni zawartej między krzywą prędkości, a rzędną wskazuje, iż wóz w przeciągu 44-ch sek. jazdy pod prądem przebiegnie 245,8 metrów.

Otrzymujemy przeto:

jazda pod prądem	44 sek.	245,8 metr.
bieg z rozpędu	58 „	249,4 „
hamowanie	3 „	2,2 „
	<hr/>	<hr/>
	105 sek.	497,4 metr.

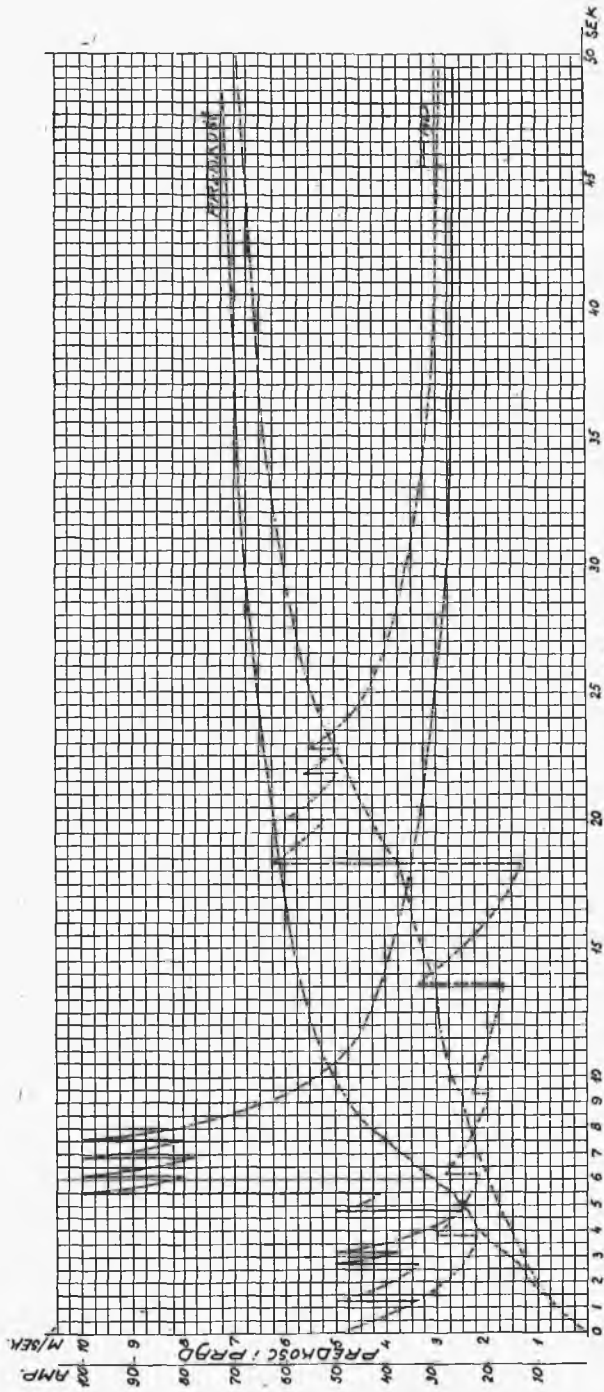
$$\text{Prędkość średnia: } \frac{497,4}{105} = 4,7 \text{ metr. na sek.}$$

Planimetrowanie powierzchni, zawartej między krzywą natężenia prądu a rzędną, daje ilość zużytych ampero-sekund; ilość ta wynosi w danym wypadku 1670, co, przy napięciu 550 voltów, daje 918,5 kilowatt-sekund.

Wyobraźmy sobie teraz, iż motorniczy włącza regulator wolniej, tak, iż natężenie prądu przy przejściu z kont. I na II wynosi tylko 30 amp., z II na III — 28,5 amp., z III na IV — 23 amp., z IV na V — 33,5 amp., z V na VI — 62 amp. (po 31 na motor), z VI na VII — 60 amp., z VII na VIII — 56 amp. i z VIII na IX — 55 amp.

Oдноsne linje prędkości i prądu widzimy na rys. 31-ym (linje kropkowane).

Prędkość 5,75 m. s. osiąga teraz wóz dopiero po upływie 27 sek., średnie więc przyspieszenie wyniesie tylko: $\frac{5,75}{27,0} = 0,213 \text{ m. s. s.}$



Rys. 51.

Wóz biegnie pod prądem 52 sek., osiągając prędkości 7,15 m. s., bieg z rozpędu trwa 48 sek. i hamowanie z opóźnieniem 0,5 m. s. s. — 5 sek.:

jazda pod prądem	52 sek.	263,5 metr.
bieg z rozpędu	48 „	228 „
hamowanie	5 „	6 „
	<hr/>	<hr/>
	105 sek.	497,5 metr.

W czasie jazdy pod prądem zużyto 1776 ampero-sekund = 976,8 kilowatt-sekund, a zatem o 58,3 kilowatt-sekund = 6,3% więcej, jak w pierwszym wypadku.

Straty w opornikach możemy też łatwo wyliczyć na podstawie wykresów rys. 30-go. Wyliczamy w tym celu z wykresu średnie natężenie prądu dla danego kontaktu, czas jazdy na nim odczytujemy z wykresu, a znając wartość dodatkowego oporu, wyliczamy łatwo stratę z równania:

$$i^2 r \cdot t.$$

Tak n. p. dla ruszania pierwszego mamy dla kontaktu I: i średnio = 42 amp.; t = 1,4 sek.; r = 9,4 omy, a zatem strata 23200 watt-sekund. Wyliczając w ten sposób straty dla innych kontaktów, otrzymamy jako całkowite straty w opornikach przy ruszaniu I = 53,5 kilowatt-sekund, a ruszaniu II = 73,4 kilowatt-sek.

Większy więc prąd przy przechodzeniu z kontaktu na kontakt nie tylko że nie spowodował większych strat, lecz przeciwnie, stały się te straty, skutkiem krótkiego włączania oporników, mniejsze.

Na przejechanie 497-miu metrów z jednostajną prędkością (a zatem bez ruszania i zatrzymywania), potrzebowałby wóz przy oporze trakcji 10, oraz współczynniku sprawności motorów 1:

$$\frac{12 \cdot 10 \cdot 497 \cdot 9,81}{1000} = 585 \text{ kilowatt-sekund,}$$

zużył zaś ogółem w pierwszym wypadku 918,5, a w drugim 976,8 kw. sek. Prędkość w chwili hamowania wynosiła w pierwszym wypadku 1,5 m. s., a w drugim 2,4 m. s.; na hamowanie więc stracono:

$$\frac{W' \cdot v^2}{2 \cdot 1000} \text{ watt-sekund,}$$

w pierwszym wypadku 15,8, a w drugim 40,5 watt-sekund.

Średni współczynnik sprawności motorów wynosił więc:

$$\frac{585}{918,5 - (53,5 + 15,8)} = 69\%, \text{ względnie:}$$

$$\frac{585}{976,5 - (73,4 + 40,5)} = 68\%,$$

był więc w wypadku pierwszym, skutkiem większego obciążenia motorów przy ruszaniu, większym, jak w drugim.

Przykład ten dowodzi dobitnie, jak korzystnem jest możliwie szybko ruszanie, czyli jaknajwiększe przyśpieszenie. Jako normę przeto dla momentu obrotowego motorów stawia się zwykle siłę przyczepności, tak, aby motory były w możności, bez szkodliwego nagrzania się, doprowadzić do kręcenia się koła unieruchomionego wozu.

Określiwszy (lub oszacowawszy) opór trakcji i znając maksymalną dopuszczalną prędkość na poziomej, możemy obrać odpowiednią krzywą prędkości, gęstość zaś przystanków i ogólny charakter ruchu pozwala wnioskować o nagrzewaniu się obranych motorów.

Co do współczynnika sprawności, to widzieliśmy, iż motory pracują przy tramwajach przeważnie przy małym obciążeniu (n. p. w ostatnim przykładzie wykres 31-szy). Daleko więc ważniejszy będzie tu możliwie płaski przebieg krzywej tego współczynnika, t. j. możliwie wysoki współczynnik przy małych obciążeniach, aniżeli rzucająco się w oczy wysoki, reklamowy, współczynnik przy pełnem obciążeniu.

Doświadczenie pokazuje, że motory tramwajowe nie nagrzewają się zbyt, jeżeli prąd w chwili ruszania równym jest prądowi, jaki motor może bez szkodliwego nagrzania wytrzymać stale w przeciągu godziny. Przyjętem więc jest określać godzinną moc motorów tramwajowych natężeniem prądu w chwili ruszania.

Znacznie trudniej rzecz się przedstawia, jeżeli zamiast z tramwajami ma się do czynienia z kolejkami lub kolejami o większej prędkości i rzadszych zatrzymaniach. Tak określone motory byłyby w takich wypadkach zbyt wielkie. Dobre nowoczesne motory wytrzymują łatwo chwilowo przeciążenia do 100, a nawet więcej procent, a jakie można w danym wypadku dopuścić przeciążenia przy ruszaniu zależy już będzie tak od gęstości przystanków i prędkości jazdy, a zatem przeciągu czasu, przez który motory pracują bez przerwy, jak i profilu linji, a zatem natężenia prądu w czasie pełnego biegu.

Motory prądu stałego nagrzewają się, jak wiadomo, głównie skutkiem powstających w nich strat omicznych, tak, że miarą nagrzewania się danego motoru będzie kwadrat przepływającego przez niego prądu.

Jeżeli prąd ten nie jest stały, lecz ma wartości zmienne, wtedy powstaną w czasie t w motorze straty omiczne:

$$r \cdot \int_0^t I^2 dt.$$

Takie same straty wywołałby, przepływając przez czas t , prąd o stałym natężeniu:

$$I_{\text{śred.}} = \sqrt{\frac{1}{t} \int_0^t I^2 dt},$$

prąd więc ten będzie prądem, jaki motor winien wytrzymywać stale bez szkodliwego nagrzania, określa przeto stałą moc motoru.

Obliczyć ten średni prąd możemy, ale tylko już po obiorze typu motoru i na podstawie szczegółowego profilu linji, który pozwala nam, jak to widzieliśmy, obliczyć tak prędkość w każdym punkcie profilu, a zatem i czas każdego przejazdu, jak i odpowiadające każdej prędkości natężenie prądu.

Całkę $\int_0^t I^2 dt$ obliczamy najlepiej wykreslnie; jest to bowiem powierzchnia zawarta między krzywą kwadratów prądu, wykreśloną na czasie, jako rzędnej, osiami rzędnych i odciętych oraz prostopadłą wystawioną w czasie t .

Tak otrzymaną wartość całki dzielimy następnie przez cały czas jazdy T , włączający w siebie również i czas postoju na przystankach, czas jazdy bez prądu (bieg z rozpędu lub jazda z góry, hamowanie) i t. d. i otrzymujemy $I^2_{\text{śred.}}$, a zatem $I_{\text{śred.}}$.

W ten sposób można sprawdzić, czy obrane motory nie są zbyt małe lub wielkie, aby je jednak obrać nie pozostaje nic innego, jak tylko doświadczenie, wzorowanie się na podobnych urządzeniach i t. d.

Posługiwać się też można niżej podanemi tablicami, opracowanemi na podstawie używanych w Ameryce empirycznych tablic i danych. Pamiętać jednak przytem należy, że tablice oparte są na warunkach Amerykańskich i dają wogóle dane bardzo tylko przybliżone, mogą więc służyć li tylko jako orientacja. Tablice podają maksymalne prędkości handlowe, jakie dają się osiągnąć bez szkodliwego nagrzania motoru o danej mocy godzinnej na torze leżącym poziomo przy różnej odległości między przystankami przy następujących założeniach:

przyśpieszenie i opóźnienie przy hamowaniu $0,67 \text{ m. s}^2$, współczynnik oporu trakcji $11,3 \text{ kg. na tonnę}$, bieg z rozpędu 75 m. przed każdym zatrzymaniem, czas stania na przystanku 10 sek. , podwyższenie temperatury motoru 65° C.

Idzie tu więc o jazdę bardzo forsowną, jaka w Europie rzadko tylko bywa stosowana; naogół bywa n. p. bieg z rozpędu znacznie dłuższy, zwłaszcza przy większych odległościach między przystankami.

Z tablicy jasno widać jak wielki wpływ na moc motorów ma gęstość przystanków; n. p. przy obciążeniu $4,5 \text{ ton}$ na motor i prędkości około 24 km. g. wystarcza dla odległości między przystankami 800 m. motor o normalnem natężeniu prądu 37 amp. , chcąc zaś osiągnąć tę samą prędkość przy odległości między przystankami 530 m. należałoby już wziąć motor o normalnym prądzie 73 amp.

Odległość między przystankami metrów	Godzinna moc motoru kw. i amp.	Maksymalna prędkość handlowa w kilometrach na godzinę przy obciążeniu na motor ton.								
		3,6	4,5	6,3	8,1	10	11,7	14,4	18	
320	18,5— 37 amp.	17,2	17,0							
	29,5— 60 "		18,2	18,0						
	37 — 73 "		18,6	18,3	17,8	16,8	15,8			
	48 — 95 "		19,0	18,5	18,0	17,3	16,8			
400	18,5— 37 amp.	19,1	18,8							
	29,5— 60 "		20,6	20,0						
	37 — 73 "		21,2	20,4	19,6	18,5	17,2			
	48 — 95 "		21,6	20,8	20,6	18,6	18,9			
	59 —117 "				20,7	19,6	19,0			
530	18,5— 37 amp.	21,4	20,8							
	29,5— 60 "		23,2	22,6	21,1					
	37 — 73 "		24,0	23,0	22,2	20,6	20,0			
	48 — 95 "		25,2	23,8	23,2	22,5	21,0			
	59 —117 "				23,6	23,2	21,5	20,8		
800	18,5— 37 amp.	24,3	23,6							
	29,5— 60 "		27,5	26,2	24,0					
	37 — 73 "		28,6	27,4	26,1	24,5	22,4			
	48 — 95 "		30,2	29,7	27,8	25,9	25,0			
	59 —117 "				28,0	27,4	26,6	23,5		
1600	29,5— 60 amp.		34,4	32,2	30,6					
	37 — 73 "		37,0	34,4	32,2	31,2	28,0			
	48 — 95 "		40,0	38,2	33,8	32,8	30,0			
	59 —117 "				37,4	33,2	32,1	28,4	26,8	
3200	29,5— 60 amp.		40,0	37,0	34,6					
	37 — 73 "		44,4	40,2	37,0	35,4	31,0			
	48 — 95 "		48,0	45,6	43,5	41,0	40,0			
	59 —117 "				48,2	43,8	41,8	41,4	32,8	
6400	29,5— 60 amp.		43,0	39,5	36,8					
	37 — 73 "		48,6	43,4	40,1	37,8	33,0			
	48 — 95 "		53,5	50,5	48,0	45,8	44,0			
	59 —117 "				55,8	52,0	49,8	43,0	35,2	
12800	59 —117 amp.				60,0	56,2	42,8	49,4	41,8	

2) Obliczenie pracy zużytej przez pociąg. Obrawszy typ i wielkość motorów i mając dany profil i plan linii po której pociąg, względnie wozy mają chodzić, możemy bez większych trudności obliczyć prędkość, jaką pociąg będzie miał w dowolnym punkcie linii i prąd, odpowiadający tej prędkości, a ztąd obliczyć całkowite zużycie pracy na jeden przejazd.

Jeżeli idzie o możliwie wielką dokładność, n. p. kiedy się ma do czynienia z linią zamiejską dojazdową lub linią kolei magistralnej, o ciężkich i względnie rzadkich pociągach i wielkiej prędkości, tam posługiwać się musimy wyżej opisaną metodą wykreślną.

Wykreślamy więc przedewszystkiem na podstawie linii charakterystycznych obranych motorów krzywe prędkości dla różnych połączeń regulatora (prędkość jako rzędna) i wrysowujemy w te wykresy linie wyliczonych znanym sposobem oporów trakcji, tak dla poziomej, jak dla różnych pochyłości (dodatnich i ujemnych), oraz łuków. Następnie obliczamy jużto metodą ścisłą (przy pomocy krzywych γ) jużto uproszczoną i wykreślamy prędkości pociągu i natężenia prądu w zależności od czasu dla całej długości linii, jak to zrobiliśmy w poprzednim przykładzie liczbowym dla przestrzeni między dwoma przystankami, rys. 31-szy.

Planimetrowanie otrzymanych powierzchni daje nam zużycie pracy dla całego przebiegu.

Metoda ta jest jednak bardzo uciążliwa, przytem nie chodzi często bynajmniej o tak wielką dokładność, n. p. kiedy mamy lżejsze pociągi, mniejsze prędkości i gęstszy ruch, a tembardziej, kiedy mamy do czynienia z tramwajami śródmiejskimi lub wogóle wozami biegnącymi po torach ułożonych na ulicach i drogach.

Na ulicach ruchliwych nie może przecież być mowy o ściśle regularnym, odpowiadającym wyliczeniom, ruchu; pociąg musi ciągle to zwalniać bieg, to nanowo prędkość zwiększać, to zatrzymywać się zupełnie skutkiem różnych przeszkód, to nadrabiać stracony czas i t. d. Tak więc ściśle wyliczenia byłyby, zwłaszcza przy projektowaniu nowych linii, zupełnie bezcelowe.

W takich więc wypadkach posługujemy się zwykle metodami uproszczonemi.

Na linii, której profil widzimy na rys. 32-gim, u góry ma chodzić pociąg złożony z wozu motorowego i jednego doczepnego. Waga wozu motorowego $W = 12$ ton, w czem sam wóz 10 ton, opór trakcji, włącznie z oporem powietrza 10 kg., waga wozu doczepnego $D = 6,5$ ton, opór trakcji dla niego $\rho = 8$ kg.

Dla jazdy w kierunku od lewej ku prawej mamy:

1) Dla części poziomej

$$F = 12 \cdot 10 + 6,5 \cdot 8 = 172 \text{ kg.}$$

- 2) Dla pochyłości $1 : 200 = 5\text{‰}$:
 $F = 12 (10 - 5) + 6,5 (8 - 5) = 79,5 \text{ kg.}$
- 3) Dla pochyłości $1 : 333 = 3\text{‰}$:
 $F = 12 (10 - 3) + 6,5 (8 - 3) = 116,5 \text{ kg.}$
- 4) Dla poziomej, jak wyżej: $F = 172 \text{ kg.}$
- 5) Dla pochyłości $1 : 250 = 4\text{‰}$:
 $F = 12 (10 - 4) + 6,5 (8 - 4) = 98 \text{ kg.}$
- 6) Dla pochyłości $1 : 1000 = 1\text{‰}$:
 $F = 12 (10 - 1) + 6,5 (8 - 1) = 153,5 \text{ kg.}$
- 7) Dla pochyłości (pod górę) $1 : 66,7 = 15\text{‰}$:
 $F = 12 (10 + 15) + 6,5 (8 + 15) = 449,5 \text{ kg.}$

Wielkości F wykreślamy (jako odcięte) pod profilem linii, przez co otrzymujemy powierzchnię, na rys. kreskowaną, dającą miarę zużytej pracy. To samo powtarzamy i dla jazdy w odwrotnym kierunku.

Z wykresów obranych motorów możemy odczytać prędkość odpowiadającą każdej sile pociągowej. Niech w danym wypadku wóz będzie zaopatrzony w dwa motory, których wykresy widzieliśmy na rys. 26-ym. Znajomość prędkości pozwala nam przerobić wykresy F tak, aby rzędną był czas.

(Dla jazdy z pochyłości $1 : 66,7$ przyjmujemy prędkość $5,55 \text{ m. s.}$.)

Aby uwzględnić straty, spowodowane przez zatrzymywanie się na przystankach, względnie ruszanie, przyjmujemy pewne stałe przyspieszenie, n. p. $0,3 \text{ m. s. s.}$ Dodatkową siłę pociągową, niezbędną dla nadania wozowi tego przyspieszenia, wyliczamy z równania:

$$f = (W' + D') \frac{p}{g}$$

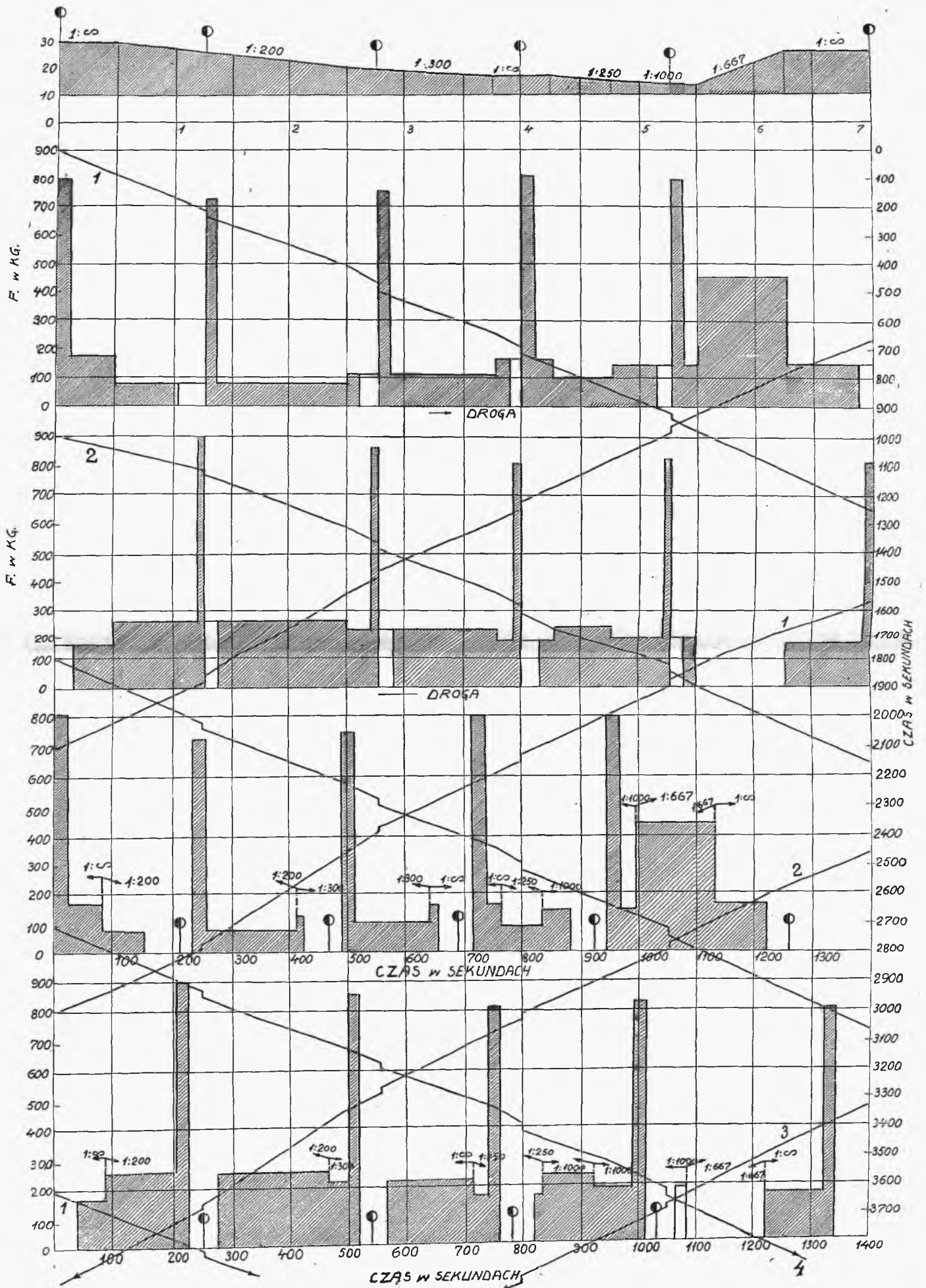
Przyjmąwszy współczynnik K dla wozu motorowego $= 1,2$, a dla doczepnego $1,1$ (waga samego wozu doczepnego $= 5 \text{ ton}$) otrzymamy:

$$W' = 10 \cdot 1,2 + 2 = 14 \text{ ton}; \quad D' = 5 \cdot 1,1 + 1,5 = 7 \text{ ton};$$

$$f = 21000 \frac{0,3}{9,81} = 640 \text{ kg.}$$

Czas, po jakim będzie osiągnięta prędkość v , otrzymujemy z równania: $t = \frac{v}{p}$, poczem siły te dodatkowe wnosimy w wykresy rys. 32 gi.

Dla poziomej n. p. odczytujemy z wykresu motorów: $v = 6,97 \text{ m. s.}$ a zatem: $t = \frac{6,97}{0,3} = 23,23 \text{ sekundy.}$ W tym czasie przebiegnie pociąg: $\frac{6,97}{2} 23,23 = 80 \text{ metrów;}$ pozostałe: $500 - 80 = 420 \text{ metr.}$ przebiegnie



Rys. 32.

pociąg w $\frac{420}{6,97} = 60$ sek., ogółem więc linję leżącą poziomo przebiegnie w 83 sek.

Dla częściowego uwzględnienia biegu z rozpędu, przyjmujemy dla hamowania małe opóźnienie; n. p. 0,093 m. s. s., dodając do tego opóźnienie, spowodowane oporem trakcji; jeżeli mamy zatrzymać wóz, idący pod górę, to opóźnienie hamulców pozostaje niezmienione, całkowite zaś opóźnienie zwiększa się odpowiednio.

Na pochyłości n. p. 1:200 będzie opóźnienie spowodowane oporem trakcji, przyjmując $\psi = 15$ kg.:

$$\frac{(79,5 + 15) 9,81}{21000} = 0,044;$$

opóźnienie hamowania = 0,093, razem więc = 0,137 m. s. s. Prędkość na tej pochyłości wyniesie 7,5 m. s.; na zahamowanie więc potrzeba:

$$\frac{7,5}{0,137} = 55 \text{ sek.}$$

przyczem pociąg przebiegnie:

$$55 \cdot \frac{7,5}{2} = 206 \text{ metr.}$$

Obrawszy czas jako rzędną i przeprowadziwszy rachunek podług powyższych zasad, wykreślamy u dołu, rys. 32-gi, nowe wykresy F . Powierzchnia, zawarta pomiędzy rzędną a linją F , daje ilość kilogramometrów, zużytych na jeden przejazd.

Przyjąwszy dalej jako średni spólczynnik sprawności motorów n. p. 0,7, wyliczamy ilość energii, jaką należy do pociągu doprowadzić.

Na wykresach 32-gich rzuca się w oczy, iż czas, w ciągu którego działa siła przyspieszająca, (a zatem i przestrzeń, na jakiej ona działa) jest tem mniejszy, czem większa jest pochyłość (pod górę).

Jest to oczywiście niezgodne z rzeczywistością, a pochodzi stąd, iż przyjęliśmy stałą, dla wszelkich pochyłości, siłę przyspieszającą; że zaś ze wzrastaniem pochyłości, maleje prędkość, zmniejsza się więc i czas, potrzebny na jej osiągnięcie. Ponieważ jednak siła przyspieszająca, będzie w rzeczywistości na pochyłości mniejsza, przeto nie popełniamy wielkiego błędu przyjmując większą, działającą krócej.

Planimetrowanie daje nam:

dla jazdy od lewej ku prawej 1275000 kilogramometrów

„ „ od prawej ku lewej 1483000 „

Razem . 2758000 kilogramometrów

czyli $\frac{2758000 \cdot 9,81}{3600 \cdot 1000} = 7,5$ kilowatt-godzin na obwodzie kół,

t. j. $\frac{7,5}{0,7} = 10,7$ kil. godz. na zaciskach motorów.

Podzieliwszy ilość zużytej pracy przez przebytą drogę w kilometrach otrzymamy zużycie pracy na pociągo-, względnie wozokilometr:

$$\frac{10,7}{14} = 0,765,$$

podzieliwszy zaś to ostatnie na wagę pociągu, względnie wozu, w tonnach, otrzymamy zużycie na tonno-kilometr dla danej linii:

$$\frac{0,765}{18,5} = 0,0413 \text{ kw. godz.} = 41,3 \text{ watt-godzin.}$$

Przy projektowaniu należy w ten sposób wyliczone zużycie pracy jeszcze nieco powiększyć (do 25%) w zależności od przewidywanego charakteru ruchu, gęstości ruchu ulicznego, przewidywanych przeszkód i t. d.

Często bywa jednak i takie nawet uproszczone wyliczenie niepotrzebnie dokładne, n. p. kiedy mamy do czynienia z tramwajami miejskimi o nader gęstym i nieregularnym ruchu i nieznaczących tylko pochyłościach.

Wtedy zupełnie wystarczającą dokładność daje równanie, podane na str. 23-ej:

$$P = (W + D) \left[\sum l \left(r + r_k + \frac{Z}{W + D} \right) + \right. \\ \left. + \sum l_i \left(r + r_k + i + \frac{Z}{W + D} \right) + K \frac{n \cdot v^2}{2g} \right]$$

r = współczynnik oporu trakeji

r_k = dodatkowy opór na łukach

Z = opór powietrza

i = pochyłość w tysięcznych $> i'$

i' = pochyłość po jakiej pociąg stacza się bez prądu:

$$= r + r_k + \frac{Z}{W + D} + \varphi$$

W = waga wozu motorowego w tonnach

D = waga wozu doczepnego w tonnach

l = poszczególne długości linii w metrach

v = prędkość, przy której zaczyna się hamowanie.

Oczywiście, iż Σl oznacza sumę długości w obu kierunkach, a zatem $= 2 L$.

Zastosujemy tę metodę do poprzednio obliczonego przykładu.

Ponieważ nie uwzględniliśmy ani dodatkowego oporu łuków, ani oporu powietrza, lecz oba włączyliśmy w współczynnik oporu trąceji r , przeto i teraz stawiamy: r_k i $Z = 0$.

r dla wozu motorowego przyjęliśmy 10, dla wozu zaś doczepnego $\rho = 8$, średnio więc $\frac{12 \cdot 10 + 6,5 \cdot 8}{12 + 6,5} = 9,3$

i' możemy przyjąć około 10, musimy więc tylko uwzględnić pochyłość $1:66,7 = 15\text{‰}$. Ruszań mamy po 5 w każdym kierunku, prędkość v waha się od 5,3 do 7,5 m. s. Aby częściowo uwzględnić bieg z rozpędu przyjmiemy tu 5 m. s.

Wpływ części obracających się K jest średnio dla wozu motorowego i doczepnego $= 1,14$.

Wstawwszy te wartości, otrzymamy:

$$18,5 \left[(12500 \cdot 9,3) + 750 (9,3 + 15) + 1000 \frac{10 \cdot 5^2}{2 \cdot 9,81} \right] =$$

$= 2752300$ kilogramometrów na obwodzie kół, a zatem prawie ściśle to samo, co przy zastosowaniu dokładniejszej metody.

Wyliczywszy w jeden z podanych wyżej sposobów zużycie pracy na wozo- lub tonn-kilometr, możemy, o ile znaną nam jest ilość wozokilometrów, jaka ma być przejechana na danej linii na godzinę, obliczyć zużycie pracy na godzinę, a z niego, dodawszy straty w przewodach, doprowadzających prąd, i średnie obciążenie elektrowni w daną godzinę.

Powtarzając ten rachunek dla poszczególnych godzin i sumując rezultaty, otrzymamy zużycie pracy na dobę; zestawienie średnich obciążeń na godzinę da nam wykres średniego obciążenia elektrowni.

Wykres taki jest jednak nie zawsze wystarczający dla określenia mocy maszyn w elektrowni, gdyż nie uwzględnia wahań obciążenia, które mogą być bardzo znaczne. Wyobraźmy sobie n. p., iż na pewnej linii chodzić ma tylko jeden ciężki pociąg, zaopatrzony w odpowiednio mocne motory. Natężenie prądu, a zatem i moc oddawana z elektrowni, będzie wzrastała w takim wypadku od 0 w chwili postoju pociągu na stacjach, prawie nagle do maksimum w chwili ruszania, spadając następnie szybko do normy w czasie pełnego biegu, aby znowu stać się nagle 0 w chwili biegu z rozpędu.

Jeżeli n. p. na linii, której profil widzieliśmy na rys. 32-im, chodzić ma tylko jeden pociąg, który na stacji końcowej B stać będzie 5 minut, a zatem odbędzie całą drogę tam i z powrotem w:

$$1257 + 300 + 1342 = 2899 \text{ sekund} = 48 \text{ minut } 19 \text{ sek.},$$

na stacji zaś *A* stać będzie 12 minut, to całkowity czas jednego kursu wyniesie 1 godzinę. Średnie zapotrzebowanie mocy wynosi, jak to widzieliśmy, w tym czasie 10,7 kilowattów; minimum będzie 0 w czasie postojów i biegu z rozpędu, maksimum zaś, n. p. w chwili ruszania pod górę 1 : 200, 45 kilowattów (siła pociągowa 904,5 kg., co wymaga 82 amperów przy 550 voltach).

Jeżeli pociągów jest kilka, to łatwo zdarzyć się może, iż kilka z nich równocześnie rusza, kiedy inne są w pełnym biegu, lub też, że wszystkie razem stoją, względnie biegną bez prądu. Wahania więc w zapotrzebowaniu energii staną się jeszcze większe.

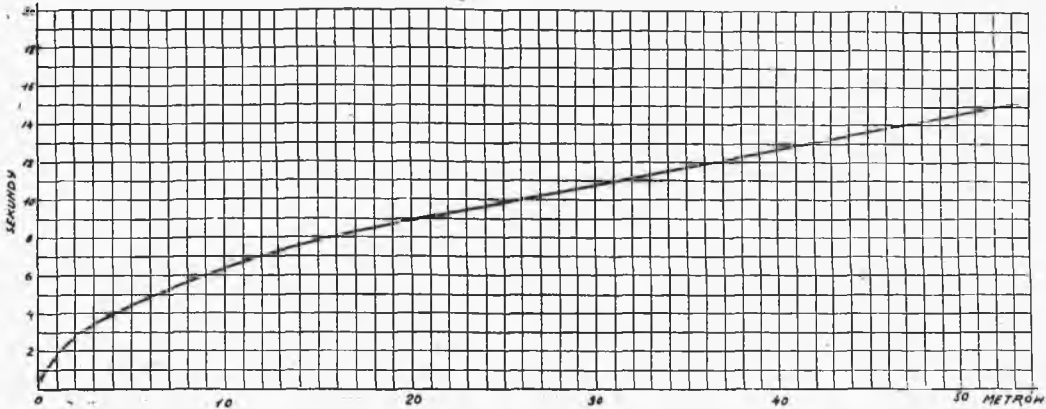
Jeżeli jednak pociągów jest dużo, t. j. jeżeli mamy do czynienia z bardzo gęstym, a przytem nieregularnym ruchem, jak n. p. przy tramwajach w większych miastach, gdzie na linii znajduje się równocześnie 100 lub więcej wozów, tam te wahania znacznie się wyrównują, i to tem więcej, im więcej jest wozów. Dokładniejsze obliczanie maksimów i minimów obciążenia byłoby więc w takich wypadkach zupełnie bezcelowe i dałoby zawsze niezgodne z rzeczywistością rezultaty. Projektując więc tego rodzaju urządzenia, określamy tylko średnie obciążenie elektrowni, dodając do takowego dla określenia mocy maszyn 30—50%, w zależności od ilości równocześnie chodzących pociągów.

Gdzie wozów jest mniej, n. p. przy mniejszych urządzeniach tramwajowych, rozporządzających jakimiś 40—60 wozami, lub kolejkach podmiejskich, tam wahań tych pomijać nie można, lecz należy koniecznie wielkość i charakter ich bliżej zbadać.

W tym celu musimy przedewszystkiem określić, w jakich punktach linii znajdują się w dowolnym momencie poszczególne pociągi. Zadanie to ułatwia znakomicie wykreślnie przedstawiony rozkład jazdy.

8) Graficzny rozkład jazdy i jego zastosowanie do określenia mocy elektrowni. Graficzny rozkład jazdy, jestto wykres czasu w zależności od drogi; możemy więc przy jego pomocy określić, w jakim miejscu linii znajduje się pociąg po upływie dowolnego czasu.

Powierzchnia, zawarta między rzędną (czas) a linią prędkości, przedstawia drogę, przebytą przez pociąg. Jeżeli więc n. p. w wykresie, rys. 31-szy, wyplanimetrujemy powierzchnie, zawarte między linią prędkości (ruszanie szybsze, linja pełna), rzędną i prostopadłami, wystawionymi na rzędnej co 1 sekunda, i obrawszy czas jako odciętą, powierzchnie te = długościom, odniesiemy na rys. 33-im jako rzędne, to otrzymamy szukaną linię czasu, w zależności od przejechanej przestrzeni jako rzędnej.



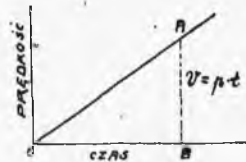
Rys. 33.

Jest to linja krzywa, podobna do paraboli. Jeżeli przyjmiemy, jak to robiliśmy przy rachunku uproszczonym, iż przyspieszenie jest stałe — ρ , to prędkość v po upływie t sekund będzie:

$$v = \rho \cdot t.$$

Powierzchnia trójkąta OAB równa jest odległości l , rys. 34-ty, w jakiej znajduje się pociąg od punktu początkowego po upływie:

$$t \text{ sek.} = \frac{t \cdot v}{2} = \frac{t^2 \rho}{2}.$$



Rys. 34.

Mamy więc parabolę, której osią jest oś rzędnych. Hamowanie ze stałym opóźnieniem daje oczywiście także parabolę. Prędkość stała daje linję prostą, której nachylenie względem osi odległości jest tem mniejsze, czem większą jest prędkość.

Jeżeli więc zamiast prędkości zmiennej przyjmiemy dla pewnego czasu prędkość stałą, biorąc jako takową średnią z prędkości na początku i końcu danego odstępu czasu, to, zamiast linji krzywej, otrzymamy szereg rozmaicie nachylonych linji prostych. Daje to zwykle zupełnie wystarczającą dokładność. Dla wykreślenia graficznego rozkładu jazdy postępujemy więc w ten sposób, iż określamy średnią prędkość między dwoma punktami linji, wykreślamy odnośną linję czasu, określamy prędkość średnią między ostatnim punktem i jakimś dalszym i t. d.

Tak n. p. dla pociągu, którego bieg i zużycie pracy przedstawiliśmy na wykresach, rys. 32-gi, mamy, dla jazdy A ku B :

1) 500 metrów leżących poziomo przebywa pociąg w 83 sek., ze średnią prędkością 5,85 m. s.

2) 750 metr. do przystanku 1-go w 128 sek., ze średnią prędkością 5,85 m. s.

3) Postój na przystanku wynosi 20 sek. i t. d., i t. d.

Tak wyliczoną linję czasu widzimy na rys. 32-gim.

Jeżeli na danej linii ma n. p. odchodzić pociąg co 15 minut, cały zaś kurs trwa 60 minut, to potrzeba na to będzie 4 pociągi; odpowiednie linje czasu wnosimy w rys. 32-gi. Punkty przecięcia linii poszczególnych pociągów wskazują miejsca skrzyżowania idących w przeciwnych kierunkach pociągów. Przy linii jednotorowej muszą tam być umieszczone rozjazdy.

Wykreśliwszy graficzny rozkład jazdy możemy z łatwością określić punkty linii, na jakich znajdują się w dowolnym momencie pociągi, a zatem i obliczyć dokładniejszy diagram obciążenia elektrowni.

Zacznijmy n. p. na rys. 32-gim od czasu 2000 sekund.

W tej chwili dążą od *A* ku *B*: pociąg Nr. 3, który znajduje się o 1150 metrów od *A* i dojeżdża do przystanku 1-go bez prądu, oraz pociąg Nr. 2 o 6050 metr. od *A*, wjeżdżający na górę 1 : 66,7.

Od *B* ku *A* dążą: pociąg Nr. 4 o 575 metr. od *A*, wjeżdżający na górę 1 : 200 i pociąg Nr. 1 o 4600 m. od *A* wjeżdżający na górę 1 : 250.

Pociąg Nr. 3 potrzebuje 0 kg. = 0 amper.

„ Nr. 2 „ 449,5 kg. = 49 amp. (wyk. 26-ty).

„ Nr. 4 „ 264,5 kg. = 36 amp.

„ Nr. 1 „ 246 kg. = 34 amp.

Ogółem . 119 amp. = 65,45 kilow.

W tensam sposób otrzymamy w minutę później, t. j. dla 2060 sek. 107 amp. = 58,85 kw., po dalszej minucie 49 amp. = 26,95 amp. i t. d.*)

Wyniki te wykreślone dają nam wykres obciążenia elektrowni, rys. 35-ty.

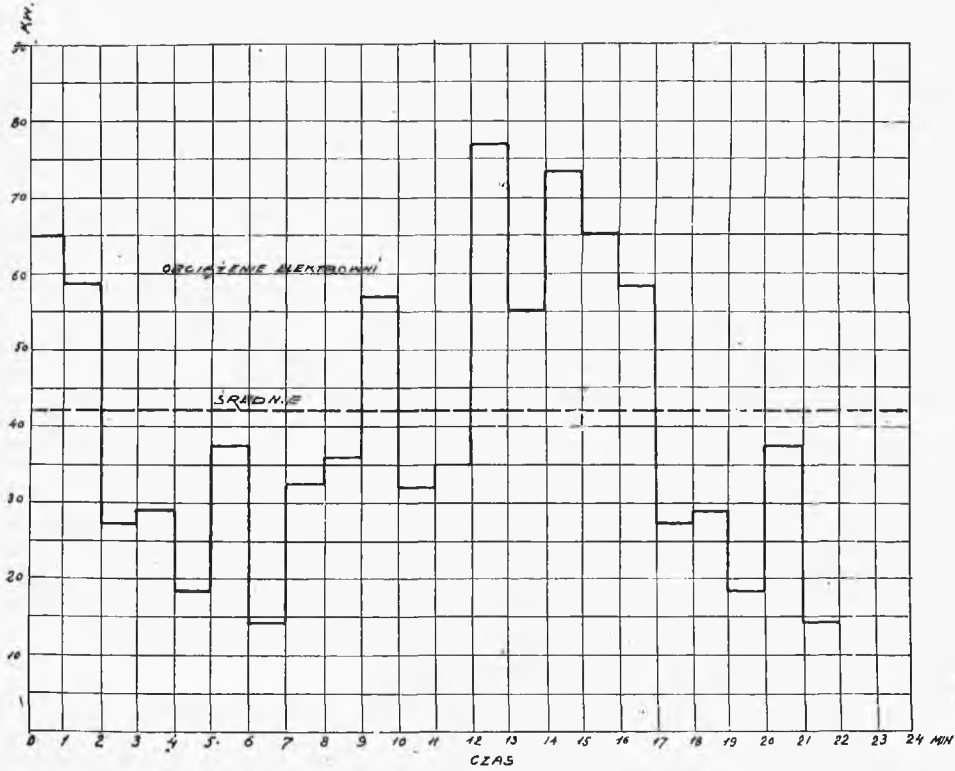
Po upływie 900 sek. = 15 minut, wzajemne położenia pociągów są znowu te same, a przeto i wahania obciążenia powtarzają się znowu.

Z wykresu, rys. 35-ty, widzimy, iż obciążenie waha się od 19,5 do 77 kilowatów; średnia 15 minut daje 42 kilowatty. Poprzednio otrzymaliśmy dla jednego pociągu 10,7 kw., a zatem dla 4 pociągów 42,8 kw. Rezultaty te są dla uproszczonego obliczenia zupełnie dostatecznie zgodne.

Naturalnie będą chwilowe wahania w rzeczywistości znacznie większe, gdyż braliśmy tu średnie minutowe, pozatem zastąpiliśmy w wykresach, rys. 32-gi, rzeczywiste obciążenia przy ruszaniu średniemi; wahania te jednak, jako krótkotrwałe, nie wywrą większego wpływu

*) Przy posługiwaniu się wykresami, rys. 26-ty, należy uważać, czy motory połączone są w szereg, jak n. p. przy ruszaniu, czy też równolegle.

na prądnicę, gdyż będą chwytaone przez baterję akumulatorów, włączoną na elektrowni równolegle do prądnicy.



Rys. 35.

Dla przybliżonego oszacowania wielkości maszyn można też posłużyć się następującą tabliczką, opartą na wynikach osiągniętych przy eksploatacji różnych tramwajów:

Ilość wagonów ruchu	Stosunek średniego obciążenia do maksymalnego
2	3,5 — 4
6	2,4 — 2,6
10	2,0 — 2,2
15	1,8 — 1,9
25	1,6 — 1,7
35	1,5 — 1,6
50	1,4 — 1,5

Dodawszy do obliczonych w ten sposób obciążeń około 15% na straty w przewodach otrzymamy jako średnie obciążenie 48 i jako maksymalne 89 kilowatów. Wielkość prądnicy obierzemy, w przewidy-

waniu ewent. przeciążeń = 60 kilowatów i dołączymy do niej baterję akumulatorów mogącą dać chwilowo do 70-ciu amp. prądu.

4) Dokładne obliczenie pracy zużytej na danej linii. Jako przykład obliczenia metodami ściślejszemi, przekalkulujemy zapotrzebowanie energii na kolejce podmiejskiej.

Na linii podmiejskiej o długości 20-tu kilometrów mają chodzić co 15 minut pociągi złożone z wozu motorowego i jednego do dwu wozów doczepnych. Średnia prędkość winna wynosić 35 — 40 kil. na godz., maksymalna nie może przekraczać 60-ciu kil. na godz.

Wozy motorowe, cztero-osiove ważą po 18 ton, doczepne po 8 ton; waga podróżnych tak w wozie motorowym, jak i w doczepnych po 4 tonny. Tory podwójne, ułożone na własnym torowisku, szyny typu Vignol.

Profil linii widzimy na rys. 39-ym; cała linja leży przeważnie prawie poziomo, największa pochyłość nie przekracza 20‰, najmniejszy promień krzywizny 500 metrów.

Opór trakeji wyliczamy n. p. podług wzorów M. du Bousquet:

$$F = \beta \cdot W + 1,6 \cdot D + (W + D) \cdot 0,456 \cdot v \frac{v + 10}{1000} + \lambda \cdot A \cdot v^2$$

dla linii prostej i poziomej, przyjmując przytem $\beta = 2,5$, $A =$ powierzchni przekroju wozu motorowego = 7 m.², $\lambda = 0,071$.

Dla prędkości 50 kil. na godz. = 13,8 metr. na sek. mamy:

$$F = 2,5 \cdot 22 + 1,6 \cdot 24 + 46 \cdot 0,456 \cdot 50 \cdot \frac{50 + 10}{1000} + \\ + 0,071 \cdot 7 \left(\frac{50}{3,6} \right)^2 = 251 \text{ kg.}$$

Wzór Franek'a dałby dla wozu motorowego:

$$22 \left[2,5 + 0,0142 \cdot \left(\frac{50}{10} \right)^2 \right] + 0,54 \cdot 1,1 \cdot 7 \left(\frac{50}{10} \right)^2 = 62,8 + 104 = 166,8 \text{ kg.}$$

dla wozów doczepnych:

$$24 \left[2,5 + 0,0142 \cdot \left(\frac{50}{10} \right)^2 \right] + 0,54(2+2 \cdot 0,56) \left(\frac{50}{10} \right)^2 = 68,5 + 42,1 = 110,6 \text{ kg.}$$

Razem . 277,4 kg.

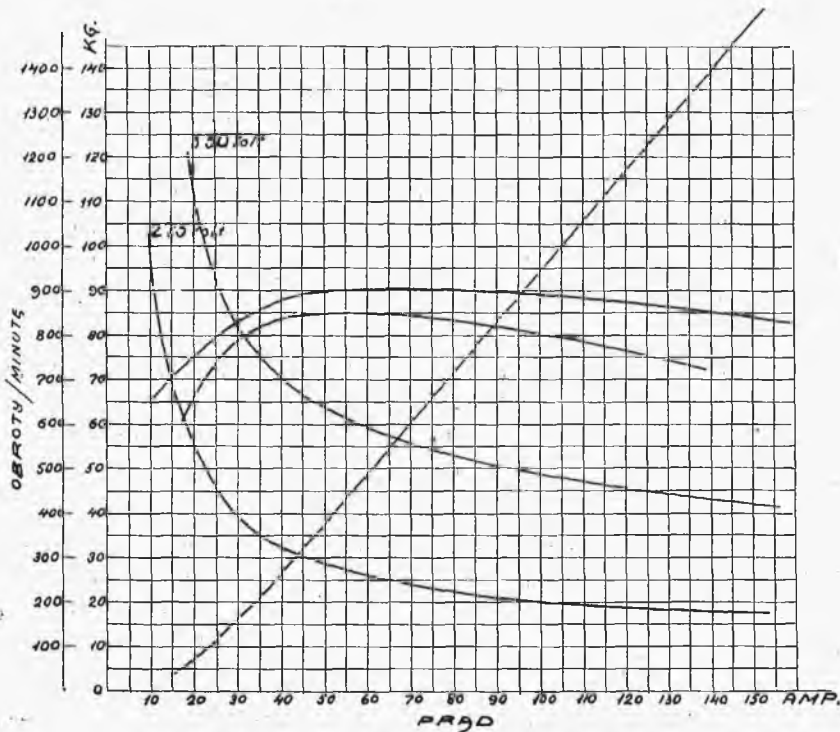
jeżeli wozy doczepne obliczać jako wagony kolejowe. Ponieważ jednak są one zwykle od wagonów kolejowych mniejsze, zatem otrzymany rezultat będzie zbyt wielki. Posługiwać się więc będziemy w danym wypadku wzorami du Bousquet'a.

Na wzniesieniu 20‰ przy prędkości około 12 m. s. = 43 kil. na godz.:

$$F = 2,5 \cdot 22 + 1,6 \cdot 24 + 46 \cdot 0,456 \cdot 43 \cdot \frac{43 + 10}{1000} + \\ + 0,9 \cdot 46 \cdot 20 + 0,071 \cdot \left(\frac{43}{3,6}\right)^2 = 1042 \text{ kg.}$$

Aby wyzyskać całą wagę jako wagę przyczepności, zaopatrujemy wozy motorowe w cztery motory, po jednym na każdą oś. Przy współczynniku przyczepność = $\frac{1}{7}$ możemy wtedy rozwinąć siłę pociągową:

$$\frac{18000}{7} = 2571 \text{ kg.}$$



Rys. 36.

Na wzniesieniu 20‰ będą musiały motory rozwinąć, przyjmując współczynnik sprawności = 0,75:

$$\frac{1042 \cdot 12 \cdot 9,81}{1000 \cdot 0,75} = 166 \text{ kilowattów.}$$

Motory więc, w jakie mamy zaopatrzyć wozy motorowe, muszą:

1) Przy sile pociągowej okragło 320 kg. (pochyłość 1,5—2‰) rozwinąć prędkość nie mniejszą jak 13,8 m. s.

- 2) Być w stanie wyrzucić siłę pociągową do 2600 kg.
- 3) Znieść bez szkodliwego nagrzania się przez 7—10 minut obciążenie 166-ciu kilowatów.

Warunkom tym odpowiadają motory, których wykresy widzimy na rys. 36-tym.

Przy przekładni 1:3 i średnicy kół wozu motorowego = 1000 mm. oraz współczynnika sprawności przekładni = 0,97 odpowiada sile pociągowej 320 kg. moment obrotu = 55 kg., czyli okrągło po 14 kg. na motor, sile zaś pociągowej 2600 kg., moment obrotu 445 kg. t. j. 111 kg. na motor.

Z równania :

$$v = \frac{n \cdot 1,0 \cdot \pi}{3,0 \cdot 60}$$

wynika dla: $v = 13,8$ m. s $n = 790$ obrotów na minutę.

Wykres (rys. 36-ty) wskazuje nam, iż motory dają przy 14 kg. momentu obrotu 850 obrotów.

Motory łączymy stale po dwa w szereg, obie zaś pary w szereg lub równoległe, z dodaniem odpowiednich oporów dla kontaktów przejściowych. Napięcie na linii wynosić ma 1100 voltów, opór każdego z motorów jest = 0,8 oma, przy połączeniu więc szeregowem wszystkich motorów ogółem 3,2 omy.

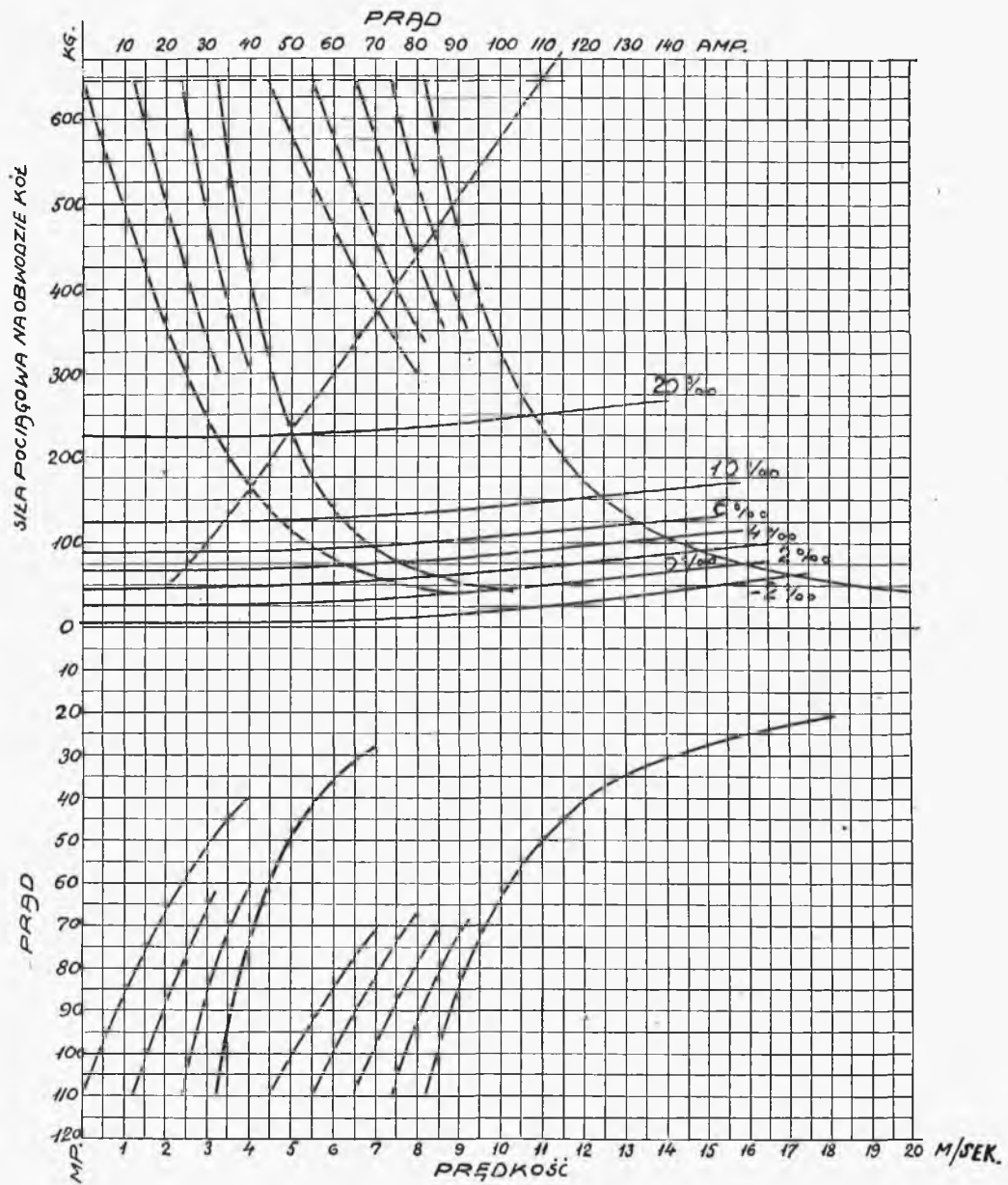
Z wykresu, rys. 36-ty, widzimy, iż momentowi obrotu 110 kg. odpowiada natężenie prądu 115 amp. Na pierwszym więc kontakcie regulatora dajemy opór dodatkowy = 6,8 omów, poczem natężenie prądu w chwili włączenia wyniesie: $\frac{1100}{3,2 + 6,8} = 110$ amp.

Wykres, rys. 36-ty, przerysowujemy, biorąc prędkość w metrach na sekundę jako rzędną, zaś jako odciętą siłę pociągową na obwodzie kół w kilogramach, rys. 37-my, poczem wykreślamy linię prędkości dla dodatkowego oporu $\frac{6,8}{4} = 1,7$ omów.

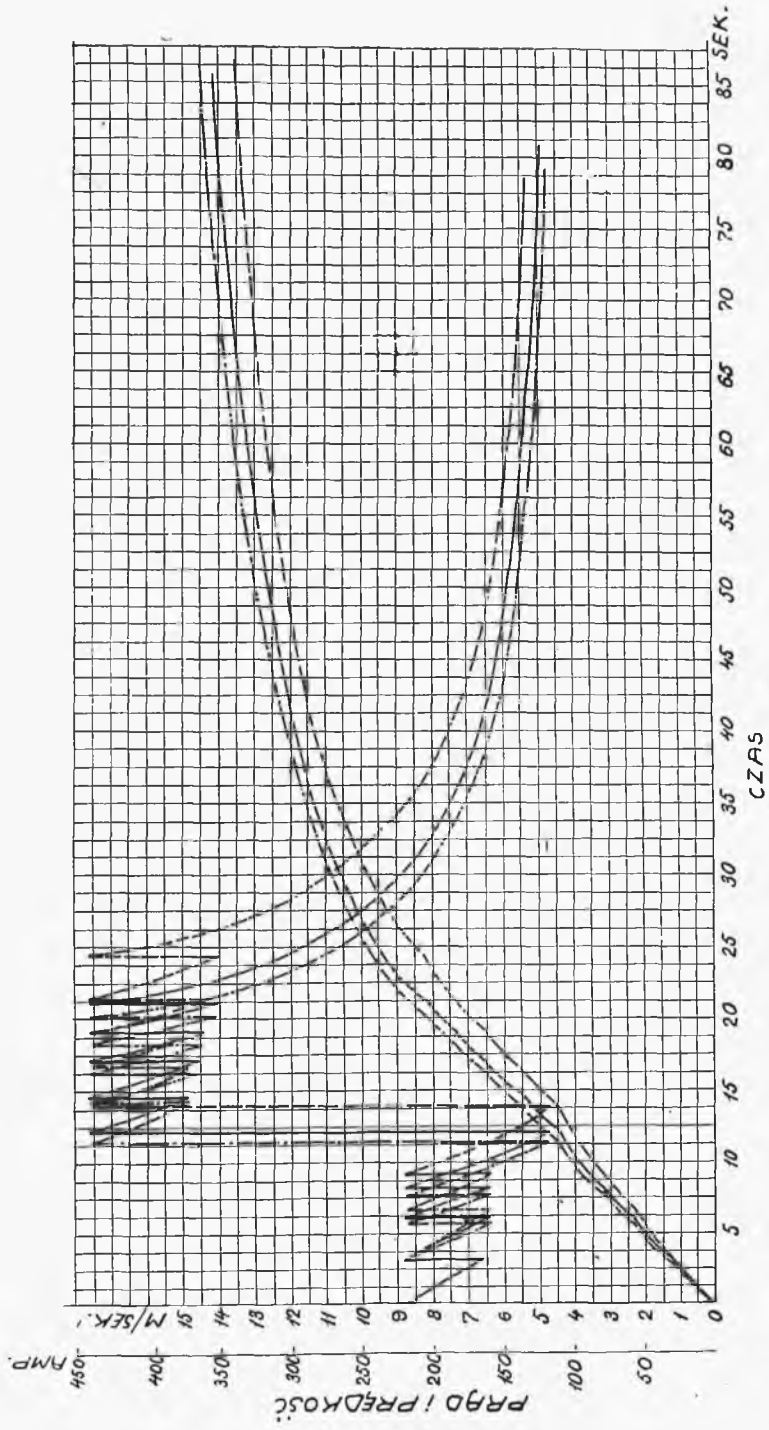
W wykres ten wnosimy obliczone jak wyżej linie oporów trakcji dla różnych pochyłości. Linia oporu trakcji dla poziomej przecina linię prędkości dla połączenia równoległego przy prędkości 16 m. s. = 57,6 kil. godz.; taką więc prędkość osiągnie pociąg na poziomej. Dla wzniesienia 2‰ mamy 15 m. s. = 52,5 kil. godz.; dla jazdy z góry 2‰ 17 m. s. = 61,2 kil. godz.

Znanym sposobem wykreślamy teraz linię prędkości pociągu, ruszającego na poziomej dla kont. I, rys. 38-my.

Po upływie trzech sekund osiągnie pociąg prędkość 1,2 m. s. Pionowa, przeprowadzona na rys. 37-mym, z prędkości 1,2 m. przetnie pozio-



Rys. 37.



Rys. 58.

mą, przeprowadzoną przez 110 amp., w punkcie, przez który musi przejść krzywa prędkości dla kont. II, jeżeli, przełączając przy tej prędkości, natężenie prądu nie ma przekroczyć 110 amp. Linja prędkości połączenia szeregowego bez oporów przecina linję 110 amp. przy 3,2 m. prędkości, nowa więc linja odpowiadać będzie dodatkowemu oporowi:

$$6,8 - \frac{6,8}{3,2} 1,2 = 4,27 \text{ omów.}$$

Wykreślamy więc nową linję prędkości dla kont. II; po dalszych 3-ch sek., przy prędkości 2,35 m. s. przełączamy znowu. Linja pionowa, wystawiona w punkcie 2,35 m., daje w przecięciu z poziomą 110 amp. punkt linji kontaktu III; opór dodatkowy dla tego kontaktu wynosi:

$$6,8 - \frac{6,8}{3,2} 2,35 = 1,8 \text{ oma.}$$

Dla przejścia na połączenie równoległe obieramy opornik 1,9 oma, wyliczamy i wykreślamy znanym sposobem odpowiednią linję prędkości, poczem, postępując jak poprzednio i pozostając na kont. V 2,5 sek., VI 2,5 sek., VII 2,5 sek. i VIII 2 sek., znajdujemy łatwo odpowiednie oporniki i wykreślamy linję prędkości.

Otrzymujemy następujące oporniki i opory poszczeg. kontaktów:

Kontakt	Opór całkowity	Opór dodatkowy	Czas włączenia	UWAGA
I	10 o.	6,8 o.	3 sek.	4 motory w szereg.
II	7,47 "	4,27 "	3 "	
III	5,0 "	1,8 "	2 "	
IV	3,2 "	0,0 "	4 "	
V	2,7 "	1,9 "	2,5 "	Dwie grupy po dwa motory równoległe.
VI	2,14 "	1,34 "	2,5 "	
VII	1,62 "	0,82 "	2,5 "	
VIII	1,22 "	0,42 "	2,0 "	
IX	0,8 "	0,0 "		

Profil linji, rys. 39-ty, wskazuje nam, iż mamy łuki o promieniach 500 m., 600 m., 750 m., 1000 m., i 2000 m.

Opory dodatkowe tych łuków wyliczymy podług wzoru:

$$r_k = 500 \frac{e}{R} \quad e = \text{szerokość toru} = 1,432$$

Otrzymamy więc:

dla R	500	$r_k = 1,432$,	czyli przy wadze 46 ton	$F_k = 56$	kg.
" "	600	$r_k = 1,19$	" "	" "	$F_k = 54,5$ "
" "	750	$r_k = 0,95$	" "	" "	$F_k = 43,6$ "
" "	1000	$r_k = 0,716$	" "	" "	$F_k = 34,0$ "
" "	2000	$r_k = 0,358$	" "	" "	$F_k = 16,5$ "

Wobec małego dodatkowego oporu łuków o promieniu 2000 m., uwzględnić go przy dalszych obliczeniach nie będziemy.

Dla hamowania przyjmujemy całkowite opóźnienie, t. j. wywołane oporem trakcji oraz hamulcami = 0,7 m. s. s., tak, iż na spadkach będzie praca hamulców większa, pod górę zaś mniejsza. Na spadku 20‰ nie powinna prędkość przekraczać 40-tu kil. godz.

Ponieważ, jak to widzimy z profilu linii, przystanki leżą tak, iż pociąg musi ruszać tak na poziomej, jak i na pochyłości 2‰, wykreślamy na rys. 38-ym linie prędkości pociągu i natężenia prądu tak dla poziomej, jak i dla ruszania pod górę 2‰ i spadku 2‰.

Dla ułatwienia konstrukcji graficznego rozkładu jazdy, wykreślamy najpierw na podstawie rys. 38-go krzywe prędkości i czasu, biorąc jako rzędne przebytą drogę, rys. 40-ty (z planimetrywania krzywych prędkości rys. 38-my). Co do hamowania, to przy stałym opóźnieniu linia prędkości w zależności od czasu jest oczywiście linią pochyłą prostą (na rys. 38-ym byłaby to prosta pochyłona od lewej ku prawej). W zależności od drogi otrzymamy, jak to już zaznaczono, parabolę.

Z wykresu, rys. 38-my, widzimy, iż prędkość 14 m. s. osiągnie pociąg po upływie 78-miu sek., wykres zaś 40-ty wskazuje, iż przez ten czas przebiegnie on drogę 780 m. Extrapolacją otrzymamy, iż prędkość 16-tu m. osiągnie pociąg po upływie 250-ciu sek. i przebieżeniu 3320-tu m. Hamowanie z prędkości 16-tu m. s. trwać będzie 22,8 sek. na drodze 183 m. Jeżeli więc dwa przystanki leżą od siebie w odległości 3500 m., to drogę tę przebyłby pociąg w 272,8, okrągło 273 sekundach.

Licząc dalej 30 sek. na postój, otrzymamy 303 sek., czyli średnią prędkość 11,5 m. s. = 41,4 kil. godz.

Gdyby prąd wyłączyć na 1000 m. przed przystankiem, to, licząc 160 m. na hamowanie, pociąg przebiegłby siłą nabytego rozpędu z jednostajnym opóźnieniem spowodowanym oporem trakcji, 840 m.

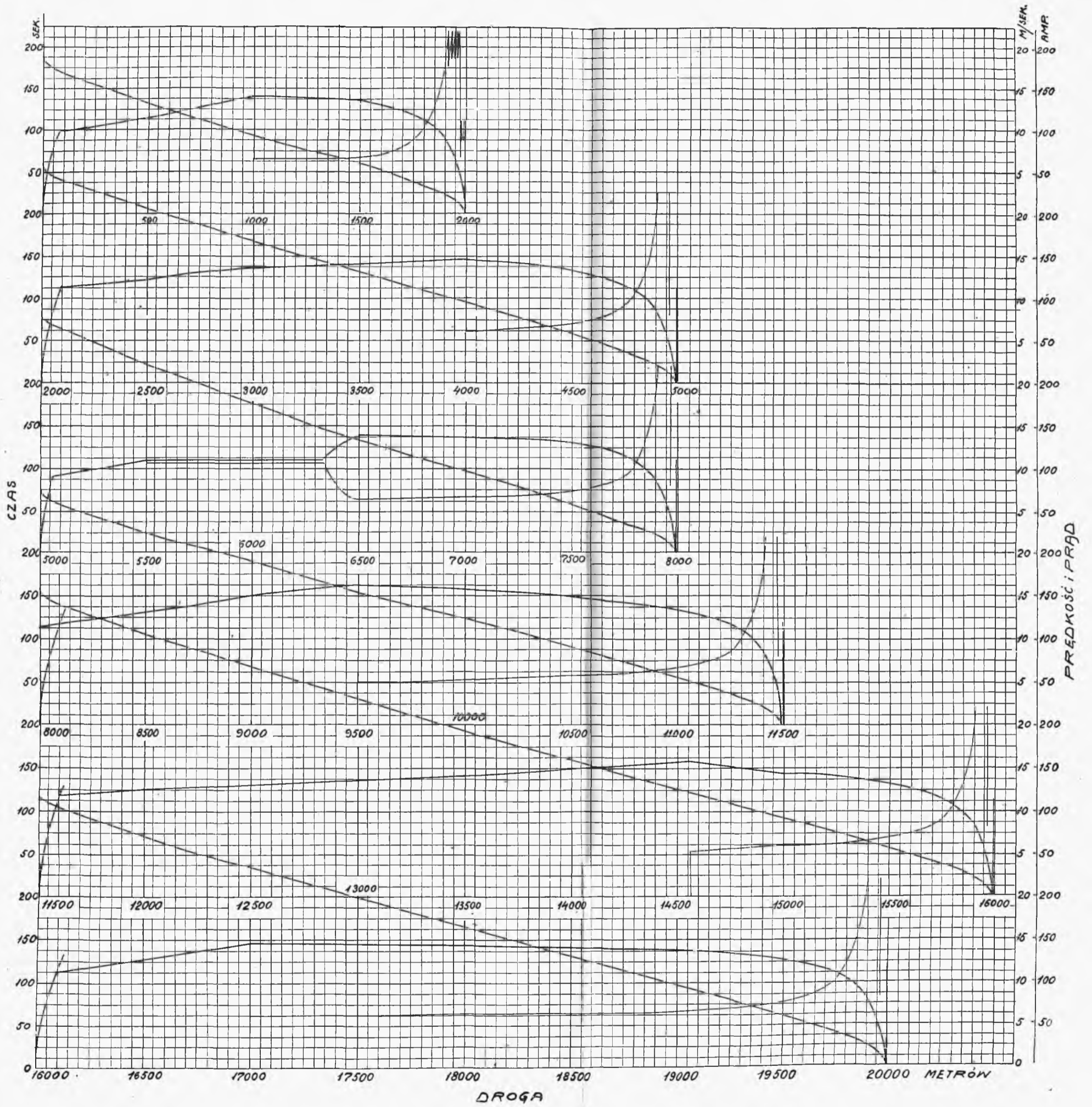
Przy prędkości 16 m. s. wynosi opór trakcji 300 kg. Należałoby do tego dodać jeszcze tarcie w motorach i przekładniach, w danym wypadku około 24—30 kg. Stanowi to jednak, wobec i tak niezbyt wielkiej dokładności w obliczeniu oporu trakcji, tak małą różnicę, iż można dla uproszczenia rachunku śmiało ten dodatek opuścić.

Przyjmując współczynnik K dla wozu motorowego = 1,2, a dla doczepnych = 1,1 otrzymamy jako $W' + D'$:

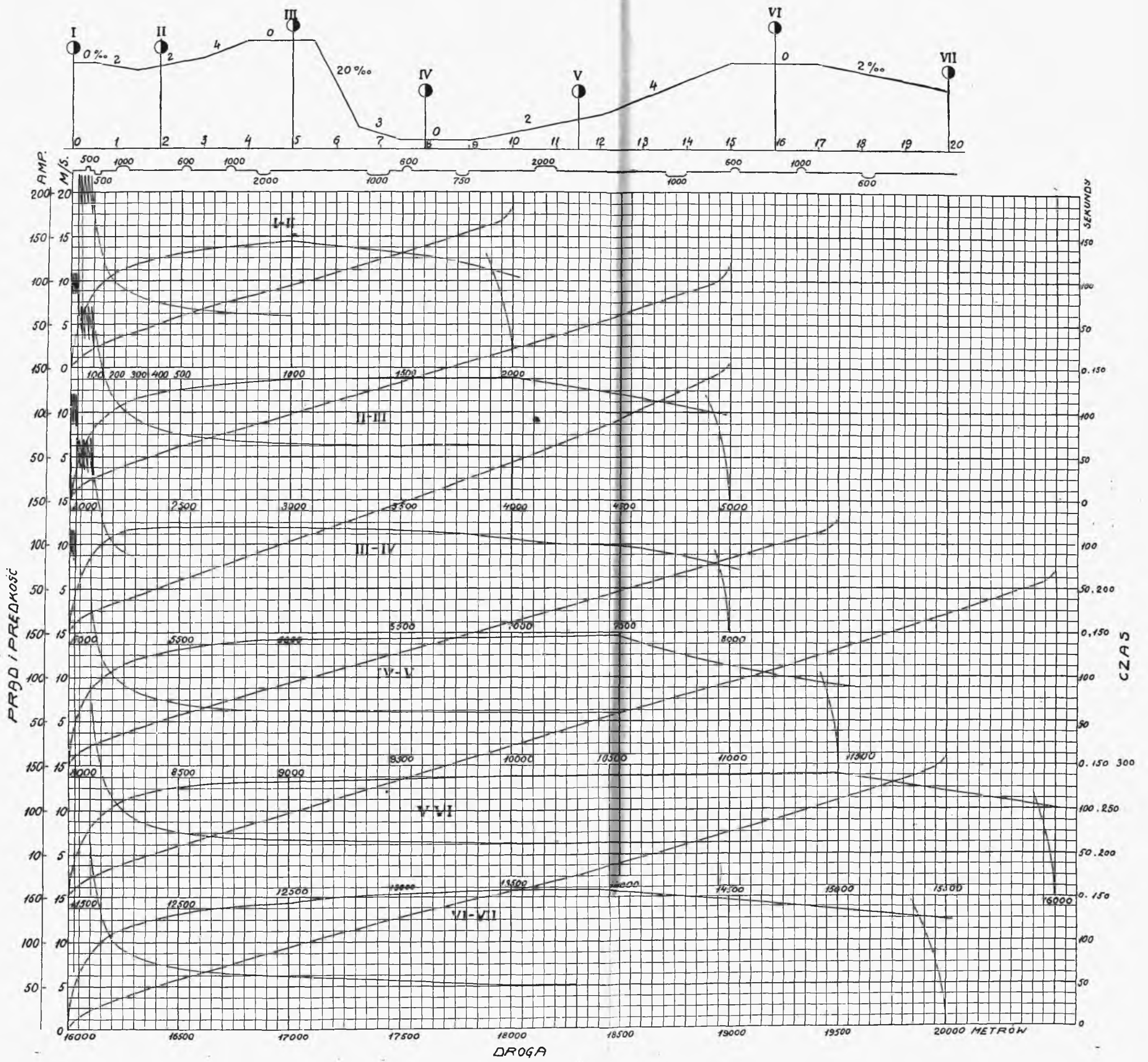
$$\begin{aligned} & 18.1,2 + 16.1,1 + \text{waga podróżnych} = \\ & = 18.1,2 + 16.1,1 + 3.4 = 51,2 \text{ okrągło } 51 \text{ ton.} \end{aligned}$$

Opóźnienie więc spowodowane oporem trakcji wyniesie:

$$p = \frac{300,9,81}{51000} = 0,0576 \text{ m. s. s.}$$



Rys. 59 a.



Rys. 39.

Prędkość w chwili wyłączenia prądu, t. j. po przejechaniu 2500 m. wyniesie 15,5 m. s.; od ruszenia do chwili wyłączenia upłynie 193 sekundy.

Po upływie czasu t , przez jaki pociąg biegnąc z jednostajnym opóźnieniem 0,0576 m. s. s. przebiegnie 840 m., prędkość wynosić będzie: $v = 15,5 - t \cdot 0,0576$ m. s.; średnia więc prędkość w czasie biegu z rozpędu będzie:

$$v = 15,5 - \frac{t \cdot 0,0576}{2} \quad \text{i} \quad v \cdot t = 840 \text{ m.}$$

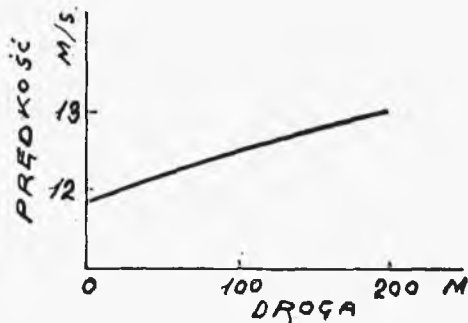
Z tych równań wyliczamy t . W danym wypadku otrzymamy $t = 63$ sek. *).

Całą więc przestrzeń 3500 m. przebiegnie pociąg w $193 + 63 + 23 = 279$ sek., a wraz z 30-tu sek. postoju w 309 sek., a zatem ze średnią prędkością = 40,8 kil. godz.

Możemy więc przyjąć, iż normalnie prąd wyłączać będziemy na 1000 metrów przed przystankami, zwiększając odległość tę dla jazdy z góry i zmniejszając dla jazdy pod górę.

Określiwszy w ten sposób chwilę wyłączania prądu, możemy przystąpić do wykreślenia linii prędkości w zależności od drogi dla całego przebiegu. Dla większej wyraźności rysunku powiększamy przytem skalę długości profilu linii, rys. 39-ty.

Ruszając ze stacji krańcowej I przebiega najprzód pociąg 300 metrów linii prostej i poziomej, osiąga więc prędkość 11,9 m. s. (odeczytujemy to na rys. 40-tym), poczem wjeżdża na łuk o promieniu 500 m. Łuk ten powoduje dodatkowy opór 56 kg., czyli 14 kg. na motor. Przy pomocy wykř. 37-go wykreślamy nową linię prędkości w zależności od czasu (naturalnie poczynając od prędkości 11,9 m. s.) dla zwiększonego oporu, a z niej linię prędkości w zależności od przybytej drogi



Rys 39 a.

$$*) \quad t = \frac{840}{15,5 - \frac{t \cdot 0,0576}{2}} \quad 840 = 15,5 \cdot t - 0,0288 \cdot t^2$$

$$t = \frac{535}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{535}{2}\right)^2 - 29200} = 63 \text{ sek.}$$

Łatwiej jeszcze możemy wielkość t określić wykreślnie, wykreślając linię prędkości przy danym jednostajnym opóźnieniu.

rys. 39a. Długość łuku wynosi 100 m.; z nowej linii widzimy, iż prędkość wyniesie po przebyciu tych 100 m. 12,5 m. s., co wnosimy na rysunek.

Pociąg ma dalej przebiec 100 m. po linii prostej i poziomej. Wyszukujemy na wykresie, rys. 40-ty, punkt odpowiadający prędkości 12,5 m. s.; prędkość tę byłby pociąg osiągnął już po przebyciu 385 metrów, łuk więc opóźnił pociąg o 15 m.; od tego punktu posuwamy się o 100 m. i widzimy, iż prędkość wynosić będzie obecnie 13,0 m. s., co wnosimy na rys. 39-ty. Teraz wjeżdża pociąg znowu na łuk o promieniu 500 m., leżący na spadku 2‰. Łuk wywoła opór dodatkowy 56 kg., spadek 2.46 = 92 kg.; różnica stanowi—36 kg. Zamiast wykreślać nowe krzywe możemy różnicę tę uwzględnić, biorąc prędkość pośrednią pomiędzy prędkościami dla poziomej i spadku 2‰. Dla poziomej odpowiada prędkości dla 13, m. s., rys. 40-ty, — odległość 485 m., dla spadku zaś 2‰, 420 m.; bierzemy więc 460 m. i posuwamy się o długość łuku, t. j. 150 m.; prędkość wyniesie teraz 13,6 m. s., co znowu wnosimy na rys. 39-ty. Dalej biegnie pociąg 350 m. po linii prostej, na spadku 2‰; wykres 40-ty wskazuje (ekstrapolując), iż nabierze on prędkości 14,5 m. s.

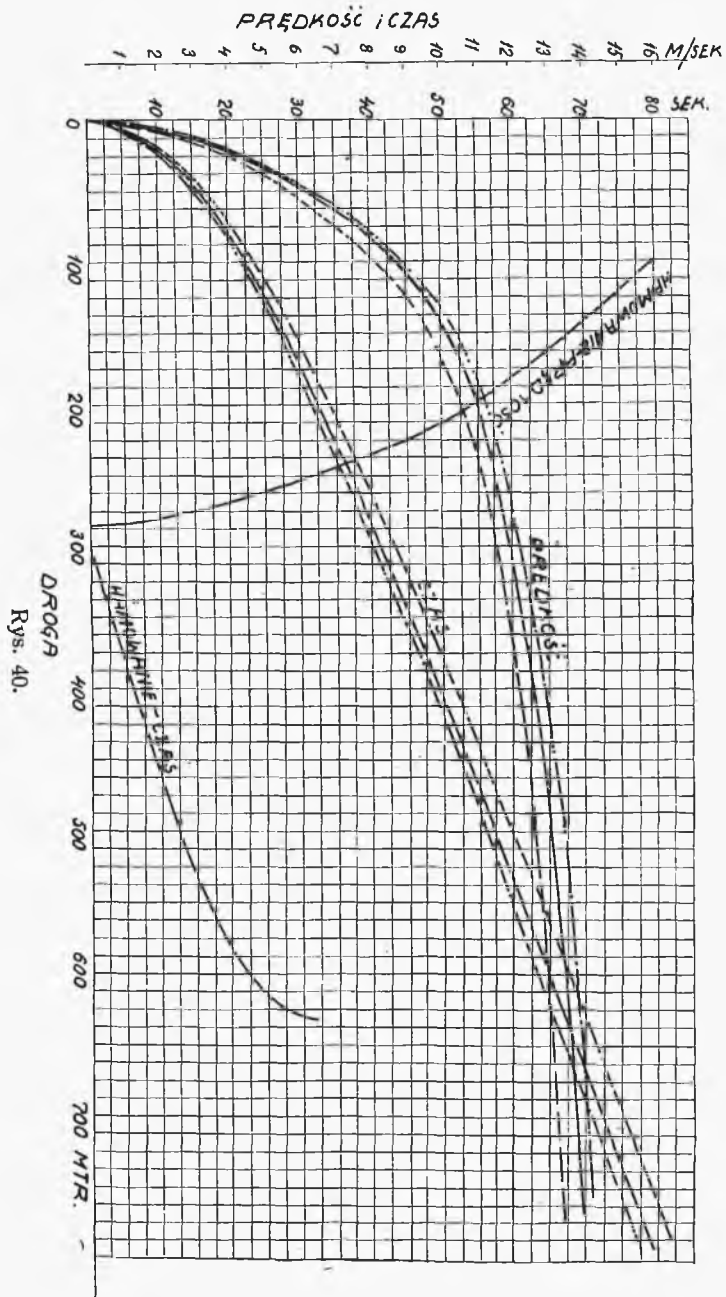
Ponieważ do przystanku pozostaje już tylko 1000 m., przeto prąd w tej chwili wyłączamy. Pierwsze 300 m. ma pociąg przebiec po łuku o promieniu 1000 m. na spadku 2‰; łuk powoduje opór dodatkowy 34 kg., spadek—92 kg. Opór trakcji wynosi na poziomej przy prędkości 14,5 m. s., rys. 37-my, 270 kg., mamy więc 270 + 34 — 92 = 212 kg., które

powodują jednostajnie opóźnienie $p = \frac{212 \cdot 9,81}{51000} = 0,0405$ m. s. s. Czas t ,

w jakim pociąg przebędzie 300 m., obliczamy wskazanym już sposobem i otrzymujemy 21,3 sek., poczem prędkość wynosić będzie 14,5 — 21,3 · 0,0405 = 13,65 m. s. Dalej mamy 200 m. linii prostej na pochyłości 2‰. Opór trakcji wynosi przy 13,6 m. s. 160 kg. Wyliczamy więc $p = 0,0306$ m. s. s. i $t = 14,9$ sek., z czego wynika, iż pociąg po przebyciu tych 200 m. będzie jeszcze miał prędkość = 13,19 m. s. Na wzniesieniu + 2‰ wynosi opór trakcji przy prędkości 13 m. s. 320 kg. a zatem $p = 0,061$ m. s. s. Pozostałe 500 m. przebiegłby pociąg w 43 sek. Punkt przecięcia odpowiedniej linii prędkości z linią hamowania, wykreśloną na przystanku (linię tę mamy na rys. 39-ym), wskazuje, iż hamulce powinny zacząć działać w odległości 90-ciu m. od przystanku, przy prędkości 11,2 m. s.

Z otrzymanej w ten sposób całej linii prędkości dla przestrzeni pomiędzy przystankami I—II obliczamy i wykreślamy, również na rys. 39-ym, linię czasu w zależności od odległości.

Całą przestrzeń 2000 m. przebył pociąg w 185 sek.; daje to, włączając 30 sek. postoju, średnią prędkość $\frac{2000}{185} = 9,3$ m. s. = 33,3 kil. godz.



W taki sam sposób wykreślamy linje prędkości, a następnie czasu dla dalszych części linji i to dla jazdy w obu kierunkach *).

Przy pomocy wykresów, rys. 38-my i 40-ty, wrysowujemy dalej linję natężenia prądu dla każdej części linji między dwoma przystankami.

Znacznie ułatwia całą pracę zestawienie w tablicy wartości sił F , działających przyspieszająco przy różnych prędkościach i oporach trąceji. Przebieg linji prędkości na łukach oraz różnych pochyłościach, dla których nie wykreślamy na rys. 38-ym i 40-ym całych linji prędkości, znajdujemy wtedy łatwo, wyszukawszy w tablicy prędkość, jaką ma pociąg, wjeżdżając na dany łuk lub pochyłość i zwiększając lub zmniejszając dalsze siły przyspieszające o dodatkowy opór łuku lub pochyłości (oczywiście zawsze podzielony przez 4, gdyż mamy 4 motory); przy pomocy określonej w ten sposób nowej siły przyspieszającej f , obliczamy czas, po jakim nastąpi pewne obrane zwiększenie prędkości, a z tego i przebytą przez ten czas drogę, a zatem i punkt szukanej nowej krzywej prędkości.

Wartości sił przyspieszających f , potrzebne dla zestawienia tablicy, odczytujemy z wykresu, rys. 37-my.

Ilość zużytych ampero-godzin otrzymujemy, planimetrując powierzchnię zawartą na rys. 38-mym pomiędzy krzywą prędkości, a rzędną (czas). Wobec stałości napięcia na linji daje nam ilość amperogodzin również i ilość zużytych kilowatt-godzin.

Dla okresów ruszania najdogodniej będzie przeprowadzić to planimetrowanie dla krótkich odstępów czasu, n. p. co 2 sekundy i to dla wszystkich wykreślonych, rys. 38-my, krzywych ruszania, w danym więc wypadku dla poziomej i pochyłości $+ 2\text{‰}$ i $- 2\text{‰}$, a wyliczywszy następnie, względnie odczytawszy w wykry. 40-ym przebyte w danym

*) Pewną trudność mogą spowodować obliczenia dla drogi powrotnej IV—III. Pociąg mając prędkość 13,83 m. s. wjeżdża na wzniesienie 20‰ , któremu odpowiada prędkość ustalona 10,8 m. s. Siła pociągowa, która byłaby potrzebna aby na wzniesieniu 20‰ utrzymać prędkość 13,82 m. s. wynosi, jak to wynika z wykresu, 275 kg. na motor, podczas kiedy motor rozwija przy tej prędkości tylko 107 kg. Różnica tych dwu sił, $275 - 107 = 168$ działać więc będzie opóźniająco. Ponieważ po dojeściu do prędkości 10,8 m. s. prędkość się ustala, przeto siła opóźniająca staje się tu 0. Średnio więc działa opóźniająco $\frac{165}{2} = 84$ kg. Prędkość 10,8 m. s. osiągnie pociąg po czasie t :

$$t = \frac{51000 \cdot (13,83 - 10,8)}{4 \cdot 9,81 \cdot 84} = 46,3 \text{ sek.}$$

i przebyciu drogi s :

$$s = 46,3 \cdot \frac{13,83 - 10,8}{2} = 580 \text{ m.}$$

czasie drogi, wyniki zestawieć znowu w tablicy. Dla większych prędkości a zatem przy stalszem natężeniu prądu, wystarczy brać większe odstępy czasu.

T A B L I C A I.

Siły przyspieszające przy różnych prędkościach i pochyłościach.

Prędkość m. s	P o z i o m a			Poch. + 2‰			Poch. — 2‰		
	S i ł a f kg.	czas t sek.	czas od ruszenia t _r	f	t	t _r	f	t	t _r
8,2			21			24,25			20,0
8,7	528	1,23	22,23	503	1,29	25,54	549	1,18	21,18
9,2	430	1,50	23,73	407	1,60	27,14	453	1,43	22,51
9,7	350	1,85	25,58	327	2,0	29,14	373	1,73	24,24
10,2	285	2,27	27,85	260	2,50	31,64	307	2,13	26,37
10,7	228	2,84	30,69	205	3,18	34,82	251	2,60	28,97
11,2	187	3,48	34,17	164	3,96	38,78	210	3,10	32,07
11,7	145	4,46	38,63	122	5,35	44,13	168	3,85	35,92
12,2	117	5,53	44,16	94	6,90	51,03	140	4,64	40,56
12,7	93,5	7,00	51,16	70,5	9,20	60,23	116	5,60	46,16
13,2	74,5	8,7	59,86	51,5	12,6	72,83	97,5	6,65	52,81
13,7	56,0	11,6	71,46	33	19,6	92,43	79	8,20	61,01
14,2	42	13,1	84,56	10	65	157,4	65	10	71,01
14,7	25	26	110,56	5	130	287,4	49	13,3	84,31
15,2	20	32,5	143,06				42	15,5	99,81
15,7	10	65	208,06				31	21,0	120,81
16,2							20	32,5	153,31

Aby obliczyć ilość pracy, zużytej na przebycie przestrzeni między dwoma przystankami, postępujemy jak następuje; n. p. dla przestrzeni od I do II

Dla pierwszych 300 m. na prostej poziomej znajdujemy na wyk. 40-ym czas 41 sek. Wyk. 38-my wskazuje nam, iż w czasie tych 41 sek. pociąg zużył 10521 ampero-sekund. Poprzebyciu łuku 100 m. o promieniu 500 m. na pociąg prędkość 12,5 m. s., zużył zaś czasu 8,5 sek. Natężenie prądu przy 11,9 m. s. (prędkość, z jaką pociąg na łuk wjeżdża) wynosi 165 amp., przy 12,5 m. 152 amp., średnio więc 158,5 amp.

Zużycie prądu $158,5 \cdot 8,5 = 1347$ amp. sek.

Następne 100 m. prostej poziomej przebywa pociąg w 7,5 sek. nabywając prędkość 13 m. s.; prędkości tej odpowiada prąd 140 amp.

zużycie więc prądu wyniesie: $\frac{140+152}{2} \cdot 7,5 = 1095$ amp. sek. i t. d.

Otrzymane wyniki zestawiamy znowu w tablicy.

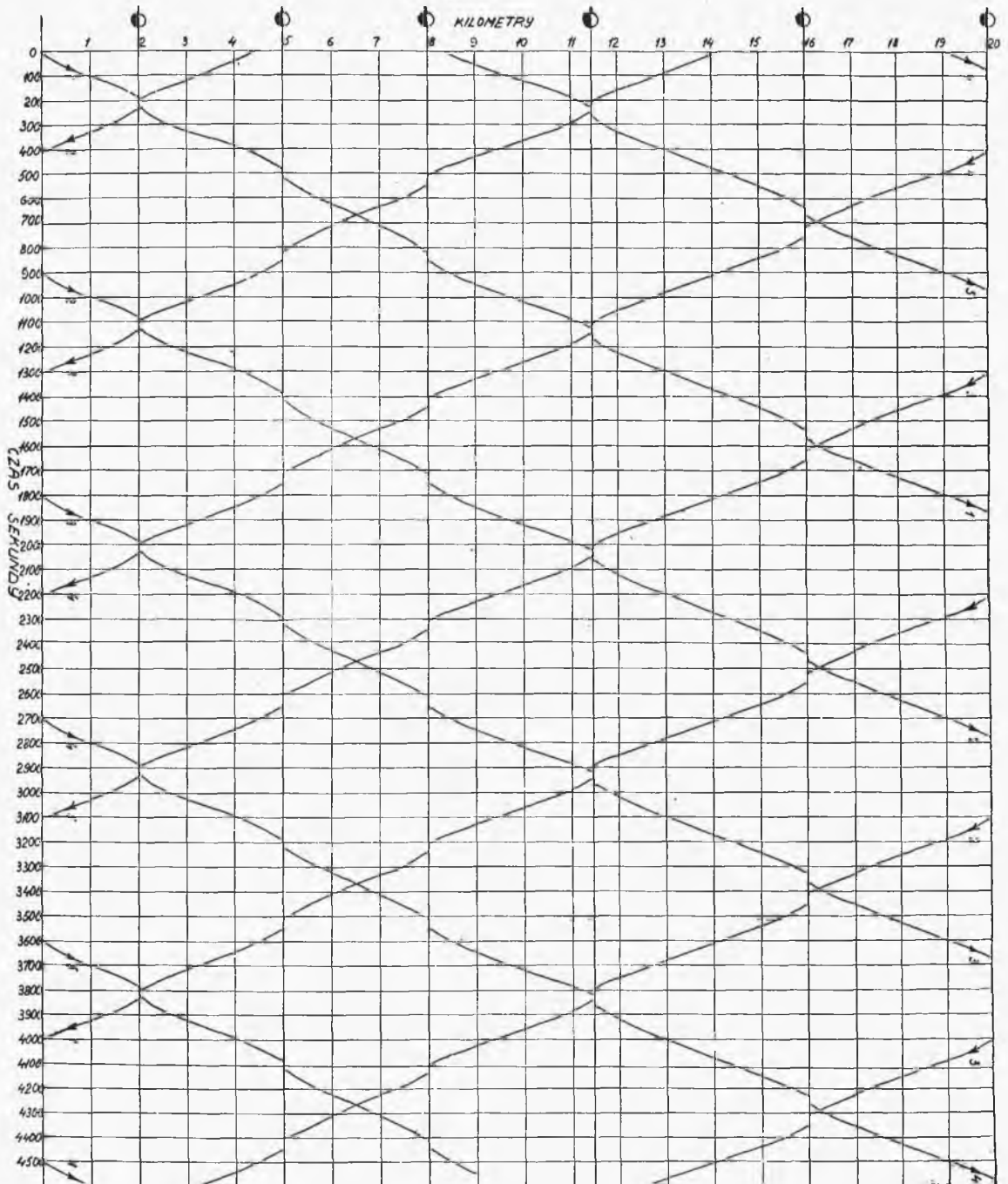
T A B L I C A I I.
Zużycie pracy na poszczególnych odcinkach linii.

Stacja	Linja			Jazda tam				Jazda z powrotem			
	Długość m.	Pochyłość ‰	Promień łuku m.	Prędkość na końcu m. s.	Czas sekund	Natężenie prądu na końcu amp.	Zużyto amp. sekund	Prędkość na końcu m. s.	Czas sekund	Natężenie prądu na końcu amp.	Zużyto amp. sekund
I	300	0	8	11,9	41	165	10521	0	36,7	0	0
	100	0	500	12,5	8,5	152	1347	10,6	9,2	0	0
	100	0	8	13,0	7,5	140	1095	11,06	8,9	0	0
	150	-2	500	13,6	11,3	132	1537	11,4	12,7	0	0
	350	-2	8	14,5	25	120	3150	12,26	26,9	0	0
	300	-2	1000	13,65	21,3	0	0	13,92	21,5	126	2730
	200	-2	8	13,19	14,9	0	0	13,72	14,5	128	1899
	500	-2	8	0	55,5	0	0	13,4	56	134	12457
	2000			10,8	185		17650	10,72	186,4		17086
	II	post.				30				30	
500		+2	8	12,6	60	148	14067	0	51,3	0	0
200		+2	500	13,04	16,6	140	2390	12,12	16,0	0	0
300		+2	8	13,7	22,0	128	2948	12,73	23,0	0	0
500		+4	8	14,0	36,0	124	4536	13,35	37,0	0	0
200		+4	1000	13,9	14,3	126	1887	13,78	14,4	0	0
300		+4	8	14,0	21,5	124	2688	14,08	21,0	0	0
1000		0	8	0	101,0	0	0	14,41	93,3	120	17511
3000			9,95	301,4		30516	10,50	286		17511	
III	post.				30				30		
	300	0	8	11,9	41,0	165	10521	0	59	0	0
	200	0	8	11,2	18,1	0	0	0	0	0	0
	1000	-20	8	11,2	89,5	0	0	10,8	90,4	212	18319
	200	-3	8	10,98	18,2	0	0	13,83	14,5	126	1841
	500	-3	1000	10,13	46,0	0	0	13,72	35,9	128	4703
	300	-3	8	9,77	30,0	0	0	13,36	22,9	134	3183
	200	0	600	8,8	21,5	0	0	12,8	17,0	144	2652
	300	0	8	0	42,8	0	0	11,9	41	168	10523
	3000			8,92	337,1		10521	9,65	310,7		41221
IV	post.				30				30		
	700	0	8	13,8	72	127	14873	0	64,3	0	0
	300	0	750	14,25	21	121	2604	13,7	21,0	0	0
	500	+2	8	14,6	104	118	16730	14,96	32	0	0
	1000	+2	8	0	84	0	0	16,2	155,9	100	23360
	1000	+2	8	0	84	0	0	16,2	155,9	100	23360
3500			11,2	311		34207	11,5	303,2		23360	

Stacja	Linja			Jazda tam				Jazda z powrotem			
	Długość m.	Pochyłość ‰	Promień łuku m.	Prędkość na końcu m. s.	Czas sekund	Natężenie prądu na końcu amp.	Zużyto amp. sekund	Prędkość na końcu m. s.	Czas sekund	Natężenie prądu na końcu amp.	Zużyto amp. sekund
V	post.				30				30		
	500	+ 2	8 8	12,6	60	148	14067	0	50,3	0	0
	1500	+ 4	8 8	13,6	112	128	15456	12,5	112	0	0
	500	+ 4	1000	13,8	36,3	128	4646	14,13	34	0	0
	574	+ 4	8 8	14,0	71,8	124	9011	15,70	28,3	104	3170
	426										
	200	0	8 8	0	76,3	0	0	14,2	79,3	122	15783
800	0										
	4500			11,2	400		43180	11,7	384,9		20647
VI	post.				30				30		
	500	0	8 8	13,1	57	138	12899	0	51,0	0	0
	200	0	1000	13,7	14,9	128	1982	12,64	15,0	0	0
	300	0	8 8	14,38	21,4	120	2654	13,42	21,5	0	0
	1000	- 2	8 8	16,0	65,0	100	7150	14,54	69,0	118	8211
	300	- 2	600	16,0	18,7	100	1870	14,3	21,2	120	2565
	1700	- 2	8 8	0	131,3	0	0	14,12	143,0	122	24919
	4000			11,75	338,3		26555	12,5	320,7		35695

Z e s t a w i e n i e .

Stacje	Jazda tam				Jazda z powrotem		
	Odległość m.	Czas jazdy włącz. post.	Prędkość śred. m. s.	Zużycie amp. sek.	Czas jazdy włącz. post.	Prędkość śred. m. s.	Zużycie amp. sek.
I—II	2000	185	10,8	17650	186,4	10,72	17086
II—III	3000	301,4	9,95	30516	286,0	10,5	17511
III—IV	3000	337,1	8,92	10521	310,7	9,65	41221
IV—V	3500	311,0	11,2	34207	303,2	11,5	23360
V—VI	4500	400,0	11,2	43180	384,9	11,7	20647
VI—VII	4000	338,3	11,75	26555	320,7	12,5	35695
	20000	1872,8	10,7	162629	1791,9	11,3	155520



Rys. 41.

Zmniejszamy teraz znowu powiększoną dla większej wyraźności, rys. 39-ty, skalę długości do skali przyjętej dla profilu podłużnego i zestawimy ze sobą poszczególne krzywe czasu, rys. 39-ty, otrzymujemy graficzny rozkład jazdy, rys. 41-szy.

Na stacji krańcowej VII ma pociąg 327,2 sek. czyli okrąży licząc 5'30" postoju, powraca więc na stację czołową I po upływie $1872,8 + 327,2 + 1791,9 = 3991,9$ sekund; tu wynosi postój 508,1 sek. czyli okrąży 8'30", tak, iż po upływie 4500 sek., czyli godziny i 15 minut pociąg może znowu wyruszyć w drogę. Ponieważ pociągi mają chodzić co 15 minut, przeto potrzeba ogółem 5 pociągów.

Co do średniej prędkości jazdy, to takowa wynosi w kierunku od I do VII 10,7 m. s. = 37,6 kil. godz., w kierunku zaś od VII do I 11,3 m. s. = 40,2 kil. godz., średnio zaś 38,9 kil. godz., odpowiada więc wymaganiom.

Dla jazdy tam i z powrotem zużyto ogółem $162629 + 155520 = 318149$ ampero-sekund, co odpowiada, przy napięciu 1100 voltów 350000 kilowatt-sekund = 97,4 kilowatt-godzin.

Ponieważ waga pociągu wynosi 46 ton, przebyta zaś droga = 40 kil., przeto zużycie pracy na tonno-kilometr wynosi: $\frac{97,4 \cdot 1000}{40 \cdot 46} = 52,8$ watt-godzin.

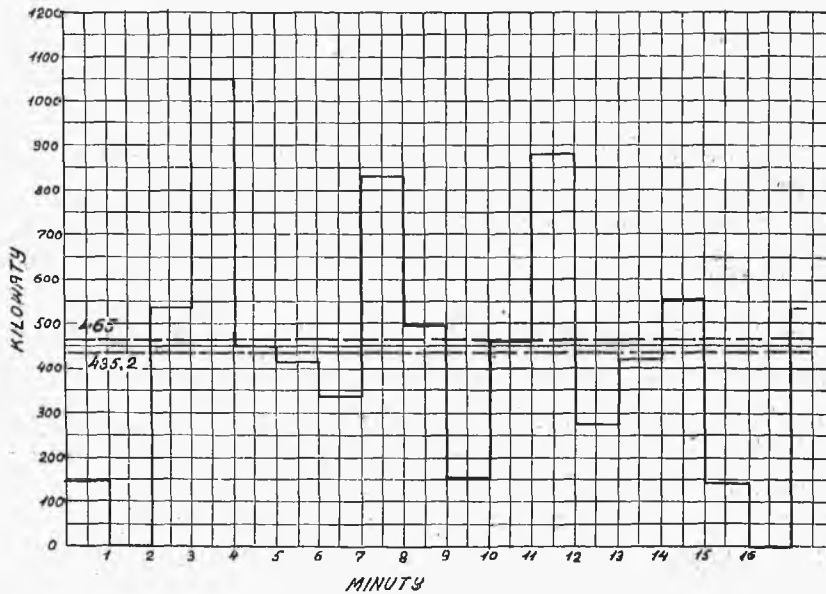
Jestto zużycie duże, gdyż normalnie nie powinno ono przy tego rodzaju kolejkach przekraczać 35—40 watt-godzin. Wielkie to zużycie pracy usprawiedliwione jest jednak dużą średnią prędkością (w porównaniu z maksymalną 60 kil. godz.) Gdybyśmy n. p. dojeżdżając do przystanku III wyłączyli prąd nie na 1000, lecz na 1500 m. przed przystankiem, to zużycie pracy wyniosłoby zamiast 30516 amp. sek., tylko 25941 amp. sek.; natomiast potrzebowałyby pociąg na przejechanie tych 500 m. zamiast 35,8 sek., około 50 sek., czyli o 14 sek. więcej, tak, iż średnia prędkość zmniejszyłaby się z 9,95 do 9,55 m. s. Zmniejszenie więc prędkości o około 4% wywołałoby zmniejszenie zużycia pracy o blisko 15%. Jeżeli założyć, iż w przybliżeniu tak samoby było i na innych częściach linii, to zmniejszywszy prędkość do 37,2 kil. godz. zmniejszylibyśmy zużycie pracy do około 45 watt-godzin/tonno-kilometr.

Przy pomocy graficznego rozkładu jazdy, rys. 41-szy, określamy teraz obciążenie elektrowni. Ponieważ wzajemne położenie pociągów na linii powtarza się co 15 minut, przeto i obciążenie elektrowni będzie co 15 minut jednakowe, wystarcza więc przestudjowanie jednego takiego okresu czasu.

Obieramy dowolną chwilę, n. p. 1000 sek. i prowadzimy w tym miejscu linię poziomą. Punkty przecięcia tej linii z linjami pociągów

wskazują, iż w tej chwili dążą od I ku VII pociągi Nr. 2 w odległości 1050 m. i Nr. 1 w odległości 9700 m., zaś od VII ku I pociągi Nr. 3 w odl. 3200 m. i Nr. 4 w odl. 12700 m.; pociąg Nr. 5 znajduje się na stacji krańcowej VII. Wyszukawszy odpowiednie odległości w wykresach, rys. 39-ty, znajdujemy, iż tylko pociąg Nr. 2 zużywa w danej chwili 120 amp., podczas kiedy wszystkie inne prądu nie biorą.

Powtarzając to samo co 60 sek. i zamieniając ampery na kilowatty oraz dodając 10% na straty w przewodach, otrzymujemy wykres, rys. 42-gi.



Rys. 42.

Z wykresu tego widzimy, iż obciążenie waha się od 0 (1060-ta sek.) do 1050 kilowattów i wynosi średnio 465 kilowattów.

Ponieważ pociągi w ciągu godziny przebiegają 160 kilom., to otrzymalibyśmy jako średnie obciążenie elektrowni:

$$\frac{160 \cdot 465 \cdot 52,8}{1000} \cdot 1,1 = 430 \text{ kilow.}$$

Różnica pochodzi stąd, iż na wykresie przyjmowaliśmy, że każde wahanie trwa 1 minutę, co oczywiście nie jest zgodne z rzeczywistością gdybyśmy n. p. zamiast 1-ej min. rachunek przeprowadzili co 15 sek., to otrzymalibyśmy znacznie większą dokładność.

Moc maszyn określimy na podstawie powyższego na 500 kilow., dodając do nich baterję akumulatorów, mogącą dać chwilowo do 500 amp.

5) Porównanie sposobów obliczania zużytej pracy. Streszczając wyżej powiedziane widzimy, iż mamy trzy sposoby obliczania wielkości elektrowni, a mianowicie:

1) Jeżeli rzecz idzie o tramwaje śródmiejskie z dużą ilością wozów, o profilu dość płaskim, wystarczy wyliczyć średnie obciążenie na podstawie zużycia pracy na wagono-kilometr.

2) Jeżeli ilość wozów jest niewielka, lub profil górzysty, to lepiej będzie zastosować metodę uproszczoną, wyjaśnioną na str. 73 i nast.

3) Jeżeli wreszcie rzecz idzie o kolej lub kolejkę podmiejską ze znacznieszą prędkością i cięższymi pociągami, to należy bezwarunkowo stosować metodę ścisłą, na ostatnim przykładzie wyjaśnioną.

O wartościach, jakie należy przy projektowaniu przyjmować dla współczynnika oporu traktacji r , mówiliśmy już na str. 9. Zaznaczyliśmy też już, iż współczynnik ten zawsze się z biegiem czasu zwiększa, tak skutkiem zjeżdżenia i rozregulowania się torów, jak i starcia obręczy panewek, przekładni i t. d. Lepiej jest więc zawsze przyjmować przy projektowaniu nieco większy współczynnik.

Wybór odpowiedniej wartości r i kontrolę wyników otrzymanych z wyliczeń ułatwią niżej przytoczone dane co do wielkości oporu traktacji i zużycia pracy w różnych miastach.

Podług danych, zebranych przez Międzynarodowy Związek tramwajów i kolei dojazdowych w roku 1908 wyniosło zużycie pracy na tonno-kilometr:

w Brukseli	82	watt-godzin
„ Dreznie	60—70	„
„ Glasgowie	64	„
„ Hamburgu	75	„
„ Kolonji	50	„
„ Chrystjanji	83	„
„ Monachjum	51	„
„ Turynie	72	„
„ Wiedniu	73	„
„ Zürichu	77	„

Zużycie na wagono-kilometr wyniosło:

w Amsterdamie	525—560	watt-godzin
na kolejce Barmen—Elberfeld	441—459	"
w Frankfurcie	487	"
" Hamburgu	516	"
" Helsingborgu	585—627	"
" Würzburgu	479	"

W Warszawie wynosiło zużycie pracy na tonno-kilometr w latach 1912—13 45—50 watt-godzin; opór trakcji wahał się, w zależności od stanu szyn i pogody, w granicach średnio 8—11 kg. na tonnę.

C Z Ę Ś Ć II.

ROZDZIAŁ V.

T o r y.

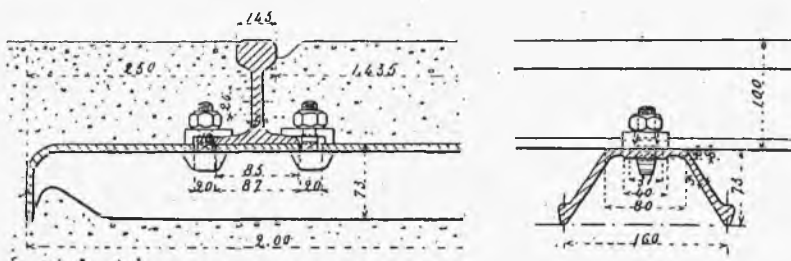
1) **Szyny.** Budowa i ułożenie torów dla kolei, kolejek oraz tramwajów elektrycznych na własnym torowisku niezem się nie różni od budowy i ułożenia torów dla kolei i kolejek parowych. Przedmiot ten jest już tak dokładnie i w tylu dziełach specjalnych opracowany, iż dłuższe zatrzymywanie się nad nim byłoby tu zupełnie zbyteczne. Odsyłamy więc pragnących bliżej się z nim zaznajomić do dzieł specjalnych, jak n p. K. Skibiński „Tyczenie tras dróg żelaznych“ (o tyczeniu czyli trasowaniu wyłącznie), K. Skibiński „Połączenie torów“ (Obliczenia bez konstrukcji), A. Knelles „Die Berechnung von Gleis und Weichenanlagen“ (Głównie dla tramwajów i kolei dojazdowych), A. Stane „Theorie und Praxis des Eisenbahngleises“, „Handbuch der Ingenieurwissenschaften“ (Obliczenie, budowa, wykonanie i utrzymanie torów), A. Wasiutyński „Drogi żelazne“ i inne.

Rzecz się ma jednak zupełnie inaczej, jeżeli tory nie mogą być ułożone na własnym torowisku, lecz muszą być umieszczone na drodze względnie ulicy, jak to ma przeważnie miejsce przy tramwajach miejskich. Zupełnie odmienne warunki wytworzyły z biegiem czasu zupełnie odrębne kształty tak szyn, zwrotnic i skrzyżowań, jak i budowy spodniej i sposobów ułożenia i umocowania torów.

Konieczność nie tamowania ruchu kołowego nie pozwala na ułożenie szyn ponad powierzchnią jezdni, lecz przeciwnie wymaga zupełnego zatopienia szyny tak, aby tylko główka jej dosięgała powierzchni jezdni; dla obrzeży kół muszą być przy tem pozostawione odpowiednie rowki.

Tam, gdzie tory mogą być ułożone z boku ulicy lub drogi, tak, iż wozy zwykle wcale, albo tylko rzadko przez tory przejeżdżają, dają się

stosować szyny typu normalnego t. n. „Vignol“ zagłębione w ziemię, jak to wskazuje rys. 43.



Rys. 45.

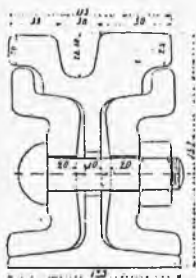
Poprzeczny i podłużny przekrój toru z szyn Vignolowskich na żelaznych podkładach.

Konstrukcja taka bywa niekiedy stosowana nawet i na ulicach brukowanych; t. n. p. tory tramwajów w Kijowie są przeważnie tak wykonane. Zaznaczyć jednak należy, iż ułożenie takie zawsze jest dla ruchu ulicznego niedobre i nie da się żadną miarą zastosować na ulicach wąskich i ruchliwych. Wogóle nie należałoby takiego ułożenia stosować w prawdziwie dobrze urządzonych miastach.

Rowek, potrzebny dla obrzeża, można też otrzymać przy pomocy ułożenia t. n. przeciwszyny (kontrszyna); jestto jednak sposób kosztowny, a przy tem nie estetyczny, bywa więc stosowany tylko w wyjątkowych wypadkach, n. p. kiedy tory ułożone zresztą z boku drogi lub na własnym torowisku, przechodzą na nieznacznej przestrzeni przez jezdnię ulicy.

Najlepszym jednak i powszechnie dziś już stosowanym rozwiązaniem kwestji, jest zastosowanie szyn rowkowych typu „Phoenix“ lub „Broca“.

Szyny takie bywają walcowane w przeróżnych profilach, od 18 do 53 i więcej kilogramów wagi na metr szyny i wysokościach od 75 do 210 i więcej mm.



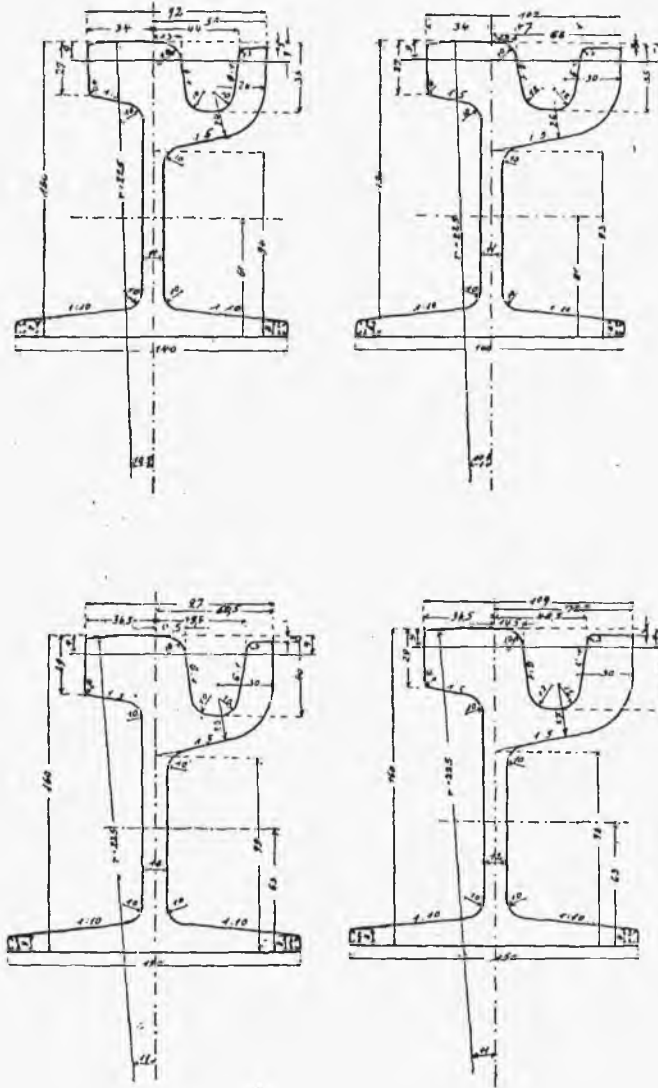
Rys. 44.

Szyna rowkowa.

Obliczenie profilu potrzebnego dla danych elektrowozów i danej prędkości jest rzeczą zupełnie niemożliwą. Gra tutaj rolę zbyt wiele z góry nieokreślonych czynników, jak n. p. wytrzymałość i sprężystość podłoża, siły wywołane zmianami temperatury, ciśnienia boczne bruku, uderzenia na złączach, lepsze lub gorsze odsprężynowanie mas elektrowozów i t. p., i t. p. Można przeto w wyborze profilu powodować się tylko doświadczeniem.

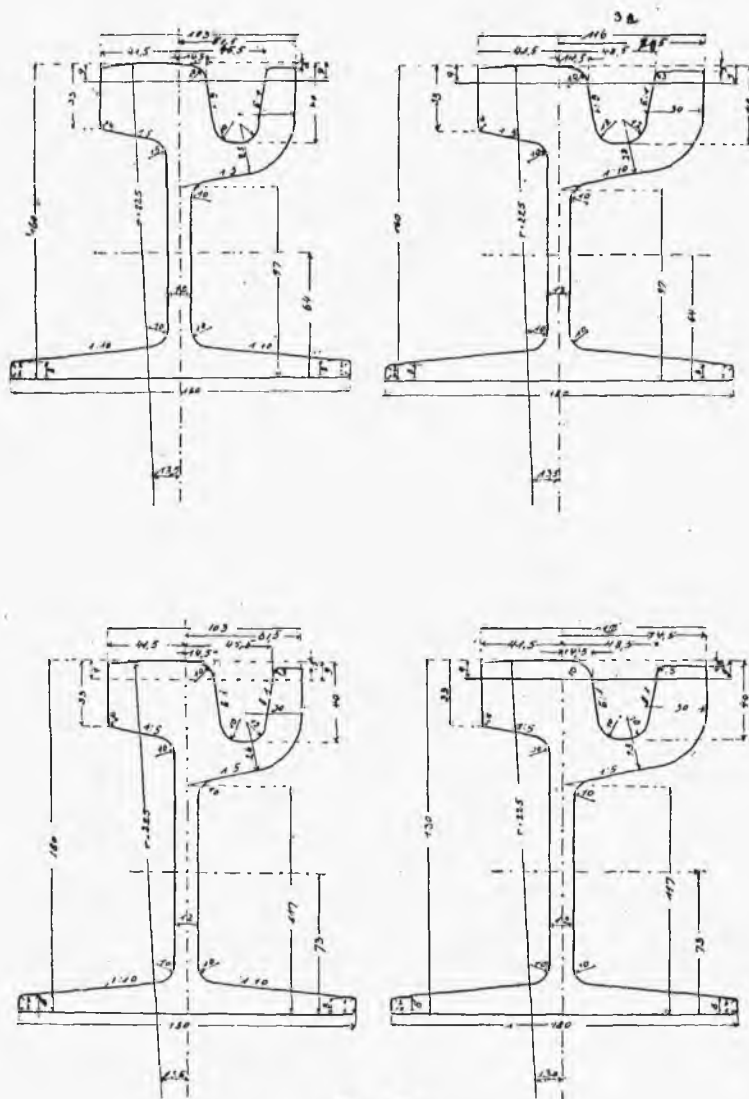
Doświadczenia te wykazały, iż nie tylko lekkie szyny, stosowane dawniej dla trakcji konnej, ale i znacznie już cięższe szyny, stosowane

w pierwszych czasach wprowadzenia trakcji elektrycznej, są naogół zbyt słabe; to też ciężar stosowanych szyn rósł stale w miarę zwiększania się wagi elektrowozów, prędkości i intensywności ruchu, aż osiągnął dziś wagi 45 — 58 kg. na metr bieżący szyny.



Rys. 45.

Wysokość szyny uzależnia się często od rodzaju bruku, tak, iż przy brukach drogowych n. p. granicie kostkowym, drzewie, asfalcie i t. p. starają się używać szyn niskich, gdyż koszt zatopienia szyny w betonie



Rys. 45a.

	1	1 ^a	2	2 ^a	3	3 ^a	4	4 ^a
Moment bezwładności w cm. ⁴	1630	1740	2130	2278	2452	2580	3202	3454
„ wytrzymałości w cm. ³	208,2	214,8	250,6	253,8	299,0	307,2	342,5	356,0
Powierzchnia przekroju w mm. ²	5490	5860	6310	6750	7180	7670	7410	7820
Waga w kg. na metr szyny	42,8	45,7	49,2	52,4	56,0	59,8	57,8	61,0

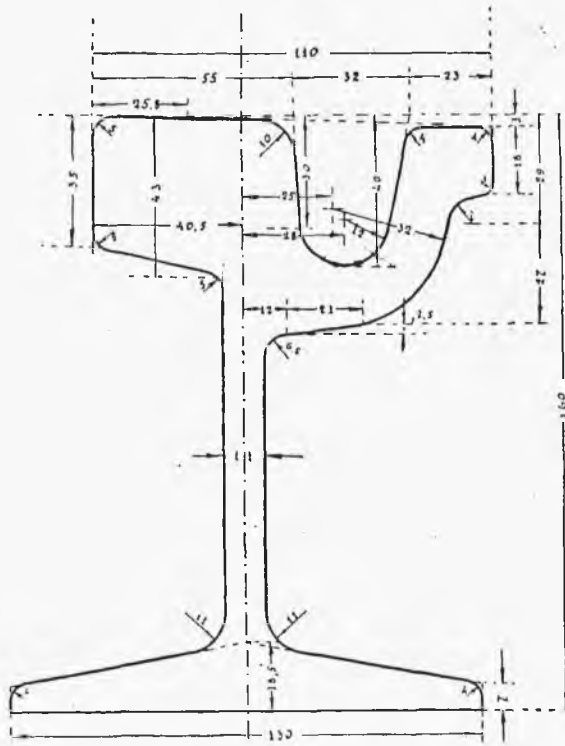
rośnie oczywiście z jej wysokością. Natomiast rozszerza się stopę, aby osiągnąć potrzebną wytrzymałość oraz zmniejszyć ciśnienie na podłoże.

Ostatnimi czasy starano się, głównie w Niemczech, unormować ilość profili, aby tem samym ułatwić i zmniejszyć koszt walcowania. Zajmowała się między innymi tą kwestją komisja specjalna (B) na XII-tym zjeździe Zjednoczenia Niemieckich Tramwajów i Koleji Dojazdowych, odbytym w roku 1909-ym w Hamburgu. Komisja ta wypracowała 4 typy normalne szyn rowkowych dla linii prostych oraz 4 typy uzupełniające z rozszerzeniem rowków dla łuków. Typy te, oznaczone Nr. Nr. 1, 1^a, 2, 2^a, 3, 3^a, 4, 4^a, widzimy na rys. 45-tym i 45-tym a.

Na rys. 46-tym widzimy profil szyn rowkowych, zastosowanych w Warszawie.

Rozszerzenie toru na łukach, stosowane powszechnie przy kolejach i wogóle torach, ułożonych na własnym torowisku, nie bywa stosowane przy szynach rowkowych; zastępuje je rozszerzenie o 2—3 mm. rowka, dające większą grę obrzeżom kół. Brzeg rowka, czyli przeciw-szyna, leży zawsze nieco niżej, około 3 mm., od główki szyny; ma to na celu zapobieżenie wystawianiu tego brzegu ponad główkę szyny, w razie starcia tej ostatniej.

Szyny, walcowane dawniej w długościach 8 metrów, przedłużano stopniowo, w miarę udoskonalenia sposobów walcowania. Dziś szyny krótsze, jak 12 m., stosowane nie bywają, szyny zaś 15—18-metrowe coraz bardziej się rozpowszechniają; stosowano nawet już niejednokrotnie szyny 20—24-



Rys. 46.

metrowe. Oczywiście jest, iż czem dłuższe są szyny, tem mniejsza staje się ilość złączy, a zatem i tem mniej kosztowny tor i łatwiejsze

jego ułożenie, a co najważniejsza, tem tańsze jego utrzymanie. Natomiast zbyt długie szyny są ciężkie, więc trudne do przewiezienia i ułożenia. Wszystko więc tu będzie zależało od miejscowych warunków, zgody walcowni na walcowanie żądanej długości, możliwości przewozu kolejowego, posiadania odpowiednich przyrządów do układania torów i t. p.

Co do materiału, z jakiego szyny bywają wykonywane, to mowa dziś może być już li tylko o stali. Stosowana dawniej stal Thomassowska lub Bessemerowska, o wytrzymałości 60 kg. na mm.² oraz wydłużalności 15%, uważana już bywa dziś za zbyt słabą i miękką. Tak n. p. szyny, ułożone w Warszawie (rok budowy 1906—1908), wykonane są ze stali Siemens-Martenowskiej, o wytrzymałości na rozerwanie 75 kg. na mm.² i wydłużeniu nie mniejszem, jak 10%.

Materiał szyn bywa zwykle próbowany dwoma sposobami, a mianowicie przez rozrywanie wytoczonych z szyny wałków, przyczem mierzone bywa tak wydłużenie, jak i zwężenie w miejscu przerwania, oraz przez uderzenie masy spadającej z określonej wysokości na szynę, opartą na dwu podporach.

Materiał n. p. szyn warszawskich odpowiadać musiał następującym warunkom:

rozrywanie = 75—80 kg. na mm.²,

wydłużenie nie mniej, jak 10%,

pod uderzeniem 3000 kg. metr. i odległości punktów oparcia 1 m., strzałka przegięcia 100 mm. bez pęknięcia.

Ale i na tem się nie zatrzymano, lecz starano się dalej zmniejszyć zużycie szyn, zwiększając ich twardość. Już w roku 1907-ym zaczęto w Ameryce stosować stal z domieszką tytanu; próby wykazały, iż zużycie takich szyn jest 3 razy mniejsze od zużycia szyn Bessemerowskich. Pozatem stosowana też bywa stal z domieszką manganu, dająca jej nadzwyczajną twardość i moc. Stal taka ma wytrzymałość 94,5—98 kg., wydłużalność 30—40% i granicę sprężystości 42—49 kg. na mm.² Szyny, wykonane z takiej stali, ścierają się 4—5 razy mniej, jak szyny Bessemerowskie.

W ostatnich czasach dały się słyszeć głosy, iż ogólnie dotychczas przyjęty sposób próbowania szyn jest niewystarczający, gdyż nie daje pojęcia o „ścieralności“ próbowanej szyny, a zatem o jej praktycznej trwałości. Zaproponowano więc dodać próby, wykonywane już to za pomocą elektrycznie napędzanego przyrządu szlifującego, przyczem porównywano ilość zużytej energii elektrycznej z ilością startego materiału, już to przy pomocy specjalnych, po szynie toczących się i ślizgających kół stalowych. Odpowiednie normy porównawcze nie zostały jednak dotychczas opracowane.

Oczywiste jest, iż im szyna będzie mocniejsza i twardsza, tem ona będzie i trwalsza. Przw wyborze odpowiedniego materiału rozstrzygać będą warunki miejscowe, a zatem możność dostania odpowiedniego materiału i jego koszt. Pamiętać przytem należy, iż im stal twardsza, tem trudniejsze jest świdrowanie w szynach dziur, a zatem tem droższe montowanie toru; dalej, iż twarde szyny wymagają również twardych obręczy kół, które znowu wymagają twardych (a zatem i kosztowniejszych) klocków hamulcowych.

Przy wyborze tak twardych materiałów, należy liczyć się z faktem, iż współczynnik tarcia między metalami twardymi bywa mniejszy, jak pomiędzy miękkimi, że więc mechanizm hamulcowy musi wywierać większy nacisk na klocki i koła, i że wogóle ślizganie się kół na szynach będzie ułatwione, czyli, że zmniejszy się współczynnik przyczepności,

Dotychczas nie zwracano dostatecznej uwagi na ten ważny fakt, iż wraz z rosnącą twardością materiału szynowego, maleje zwykle jego współczynnik przewodnictwa elektrycznego, i to w bardzo znacznej mierze. Podczas kiedy dawniej, a przeważnie i dziś, przyjmowany bywa dla szyn opór właściwy 0,1 oma (liczbę tę znaleźć można w większości podręczników), to n. p. szyny tramwajów miejskich warszawskich wykazały opór właściwy = 0,2446 oma.

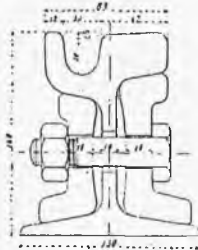
Parchall podaje w „Elektrotechnische Zeitschrift“ rok 1898 str. 313 następującą tablicę:

D o m i e s z k i w %					Opór właściwy w omach
Węgiel	Mangan	Silicium	Siarka	Fosfor	
0,378	0,550	0,181	0,041	0,40	0,189
0,446	0,568	0,188	0,044	0,046	0,195
0,536	0,592	0,201	0,059	0,051	0,198
0,568	0,608	0,204	0,061	0,053	0,200
0,588	0,632	0,214	0,065	0,056	0,201
0,610	0,652	0,220	0,071	0,062	0,225

Znajomość prawdziwego oporu elektrycznego szyn jest jednak dla dobrego obliczenia sieci i uniknięcia nader szkodliwych prądów błądzących rzeczą tak ważną, zaś opór właściwy stali tak dalece od jej składu, a raczej jakości i ilości domieszek, zależny, iż tablicami powyższemi należałoby się posługiwać tylko dla przybliżonych, ogólnikowych obliczeń. Skoro tylko jednak rzecz idzie o ostateczne zaprojektowanie,

zwłaszcza większej, sieci, to należy bezwarunkowo zmierzyć opór właściwy stali, która ma być zastosowana do wyrobu szyn. Gdyby takie pomiary były zawsze robione, uniknięto by nieraz znacznych bardzo nieprzyjemności i poważnych nieprzewidzianych kosztów.

2) **Złącza.** Słabym punktem wszelkich torów są zawsze miejsca, gdzie jedna szyna styka się z drugą, t. j. złącza. Pierwotnie łączono szyny ze sobą w ten sposób, iż w miejscu zetknięcia się łączonych szyn umieszczano po obu stronach szyn po jednej płycie żelaznej, sięgającej od podstawy do główki i następnie płyty te, czyli **łubki**, ześrubowywano z szynami przy pomocy 4 — 6 śrub, pozostawiając przytem między końcami szyn pewną przestrzeń na rozszerzanie pod wpływem ciepła. Najprostsze takie złącze widzimy na rys. 47-ym.



Rys. 47.

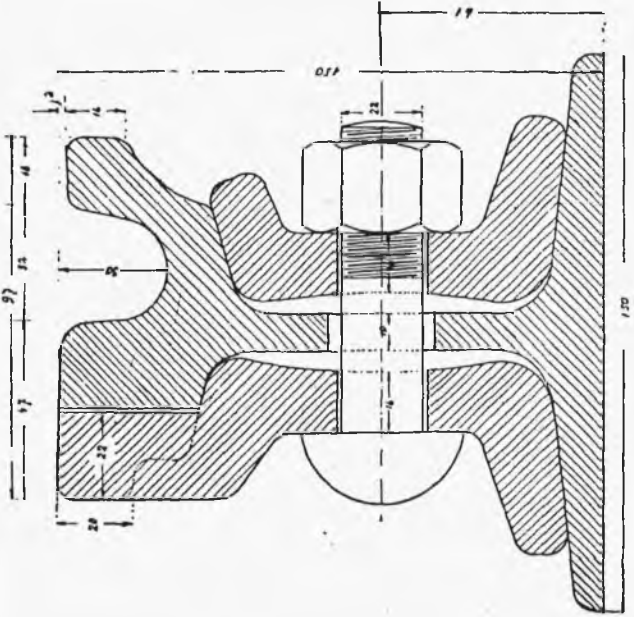
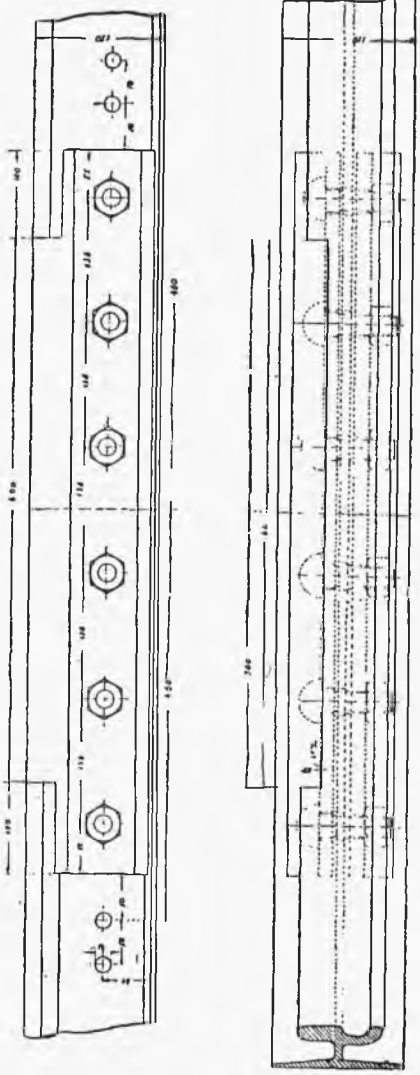
Sposób jednak taki łączenia szyn okazał się już bardzo prędko niedostateczny. Skutkiem nieuniknionego rozluźniania się śrub powstaje wkrótce pewna gra; końce szyn drgają silniej, jak same szyny, skutkiem czego powstają przy przejeżdżaniu wozów uderzenia; uderzenia te znowu powodują w tych miejscach silniejsze starcie szyn, powstają więc wgłębienia, które naturalnie potęgują jeszcze uderzenia, tak, iż po krótkim już stosunkowo czasie musi być złącze wymienione. Oczywiście jest, iż ciągle takie uderzenia i wstrząśnienia odbijają

się fatalnie na trwałości elektrowozów, a również znacznie zwiększają opór trakcji, a tem samem powodują zwiększenie zużycia pracy.

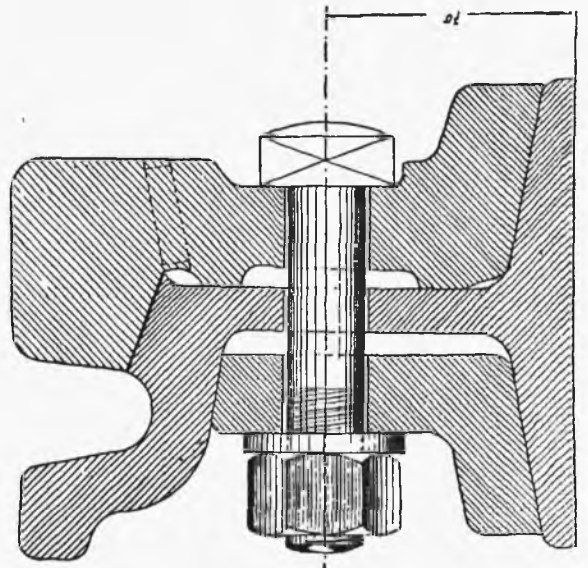
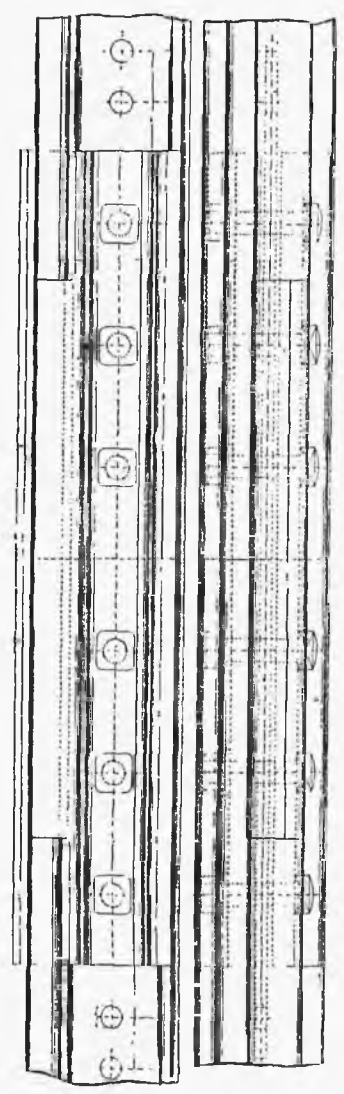
Przekonano się też niebawem, iż pozostawianie znaczniejszej przestrzeni pomiędzy końcami szyn dla umożliwienia wydłużania się pod wpływem wzrostu temperatury, przy szynach zagłębionych całkowicie w jezdni ulicy jest zbyt duże, gdyż szyny tak ułożone znacznie mniej podlegają zmianom temperatury, jak szyny ułożone całkowicie na powierzchni. Poza tem przeszkadza też swobodnej zmianie długości szyny zabrukowanie ulicy. Obecnie więc układa się szyny ściśle koniec z końcem, umieszczając co najwyżej w wyjątkowych wypadkach, n. p. przy ułożeniu w asfalcie, co jakie 500—700 metrów specjalne złącza rozszerzalne. Złącza takie rozszerzalne są też niezbędne przy torach ułożonych na żelaznych mostach zmieniających swą długość pod wpływem ciepła.

Wkrótce powstała znaczna ilość najróżnorodniejszych konstrukcji ulepszonych złączy, starających się nadać miejscu złączenia możliwie wielką sztywność i stałość. Konstrukcje takie wciąż jeszcze powstają, tak, iż kwestji tej jako ostatecznie rozwiązanej uważać nie podobna, przeciwnie, dużo jeszcze w tym względzie pozostaje do zrobienia.

Jednym z najdawniejszych ulepszeń jest t. zw. **pół-złącze Schmidta**.



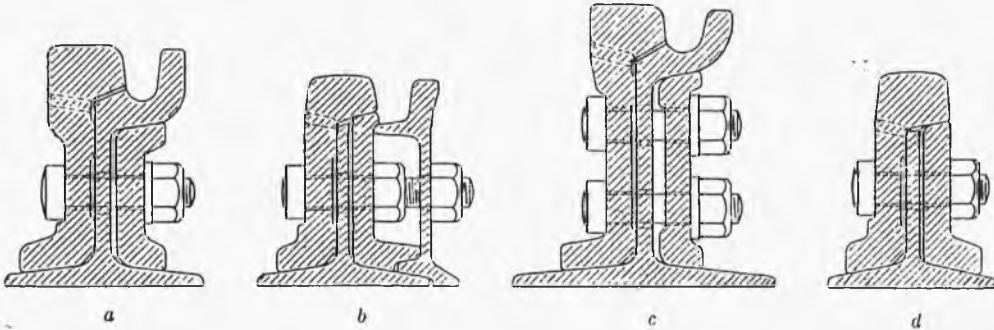
Rys. 48.



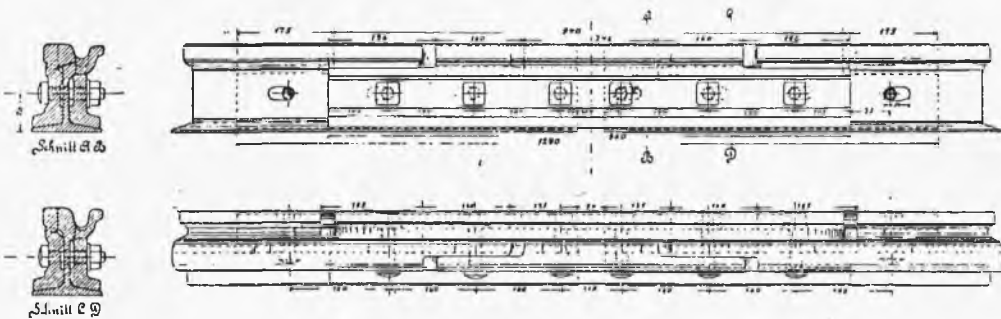
Rys. 49.

Zasada tego złącza polega na tem, iż główka szyny zostaje na pewnej długości i mniej więcej do połowy swej grubości zfrezowana, łupka zaś zewnętrzna, ściśle do główki dopasowana, wchodzi w to wycięcie, tak, iż stanowi sama częściowo powierzchnię jezdnią. Złącze tego rodzaju widzimy na rys. 48-ym.

Złącza takie zdawały się na razie odpowiadać wszelkiemu wymaganiu, toteż znalazły one nader szerokie zastosowanie. W ostatnich jednak czasach dały się słyszeć ogólne narzekania, iż złącza te są nie trwałe, gdyż szybko się „wybijają“, a pozatem są bardzo trudne do



Rys. 50.
Złącza Melaun dla różnych profili.



Rys. 51.
Złącze rozszerzalne Melaun.

naprawiania. Że zaś są to złącza drogie i wymagające bardzo dokładnej roboty, przeto wychodzą one coraz bardziej z użycia.

Nowsze jest złącze t. zw. „Melaun”. Złącza takie zostały, między innymi, zastosowane i w Warszawie na przeszło 28-miu kil. toru podwójnego i dały dotychczas wszędzie jaknajlepsze rezultaty.

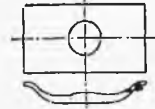
Złącze Melaun, zastosowane w Warszawie, widzimy na rys. 49-ym.

Główkę szyny zdejmuje się na długości 550 mm.; na tej przestrzeni zastępuje ją odpowiednio ukształtowana łupka, która przeto, zastępując na tem miejscu szynę, musi być tak silna, aby moment bezwładności jej profilu był równy momentowi bezwładności całej szyny.

Dla zapobieżenia rozluźnianiu się śrub z mocujących złącza stosowane bywają, oprócz zwykłych podkładek pod naśróbkami, różne ulepszone konstrukcje. Najprostszą z takich konstrukcji stanowi sprężyna uwidoczniona na rys. 52-im. Płytkę sprężynującą uwidoczniona na rys. 53-im, stosowana także na kolejach państwowych pruskich, daje znacznie już większe ciśnienie. Przy zupełnem zaciśnięciu naśrubka wynosi ciśnienie 1800 kg. na śrubę, przy grze płytki 1,5 mm. Iloczyn ciśnienia, pomnożony przez grę i podzielony przez 2, nazwany „możnością ściśnięcia“ wynosi więc tu 1350 kg. Płytki z dwoma dziurami, rys. 54-ty, dają przy grze 6 mm. już 5250 kg. zaś płytki, rys. 55-ty, przy 3000 kg. na śrubę i grze 6 mm. 10500 kg. Ostatnio pojawiło się na rynku nowe złącze, rys. 56-ty i 56a, opatentowane przez „Gesellschaft für Stahlindustrie in Bochum“, które jakoby ma zastąpić spawanie szyn. Przy układaniu „pęczy“ się nieco na zimno

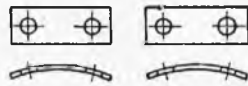
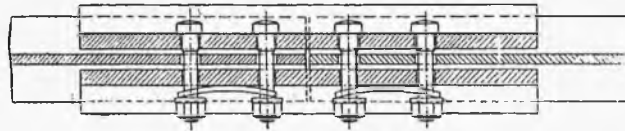
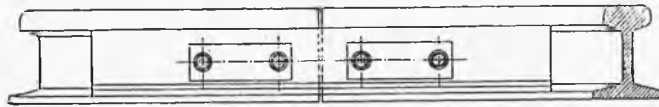


Rys. 52.

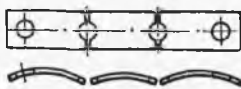
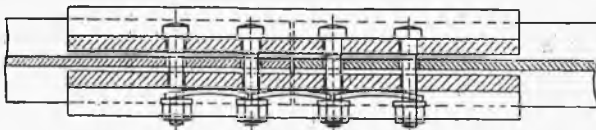
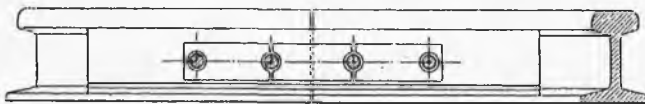


Rys. 53.

końce szyn, tak, iż powstaje na jezdni małe wzniesienie, około 1 mm. wysokie i kilka milimetrów długie, jak to uwidocznione jest na rys. 57-ym. Rdzenie śrub są o około 2 mm. ekscentryczne; łupki można stosować wszelkich systemów. Otwory w szynach i łupkach

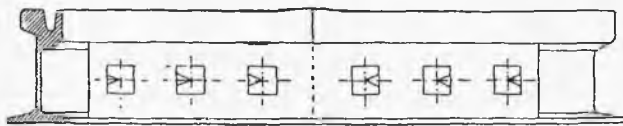


Rys. 54.



Rys. 55.

małe wzniesienie, około 1 mm. wysokie i kilka milimetrów długie, jak to uwidocznione jest na rys. 57-ym. Rdzenie śrub są o około 2 mm. ekscentryczne; łupki można stosować wszelkich systemów. Otwory w szynach i łupkach



Rys. 57.

Że zmiany temperatury nie mogą być w normalnych warunkach szkodliwe o tem łatwo przekonać się przy pomocy obliczenia.

Oznaczmy przez α współczynnik wydłużenia stali przy zmianie temperatury. Szyna o długości L metrów, którą nagrzemy od temperatury pierwotnej t_0 do t stopni, wydłuży się o:

$$L \cdot \alpha (t - t_0) .$$

Aby zapobiec temu wydłużeniu, należy szynę skrócić o:

$$\alpha (t - t_0) \text{ na metr długości.}$$

Jeżeli E będzie współczynnikiem sprężystości, a Q przekrojem szyny, to potrzeba na to wywrzeć siłę:

$$F = E \cdot Q \cdot \alpha (t - t_0)$$

α jest dla stali = około 0,000012, $E \approx 20000$ kg. na mm.²

Jeżeli więc przyjąć zmianę temperatury od -25° do $+50^\circ$, co, dla szyn ułożonych w ziemi, jest, jak to już zaznaczono, stanowczo za wiele, to szyna, ułożona przy temperaturze $+10^\circ$, będzie musiała wytrzymać maksymalnie:

$$\frac{F}{Q} = 20000 \cdot 0,000012 \cdot 40 = 9,6 \text{ kg. na mm.}^2 \text{ przekroju;}$$

ciśnienie to dodatkowe oczywiście szkodliwe być nie może.

Spajanie jest naturalnie tylko w takim razie możliwe, jeżeli jesteśmy w stanie zapobiec rzeczywiście wydłużaniu się spojonej szyny pod wpływem temperatury; wydłużenie to bowiem wyniosłoby n. p. dla 1000 m. długości i różnicy temperatury 40°

$$0,000012 \cdot 40 \cdot 1000 = 0,48 \text{ metra.}$$

Wydłużeniu zapobiega zakotwienie szyn oraz tarcie materiałów brukowych o boki szyny. Już same poprzeczki (trawersy) zatopione w bruku stanowią doskonałe zakotwienie. Suma sił, potrzebnych dla zapobieżenia wydłużeniu, jest oczywiście od długości szyny niezależna, gdyż tak rozszerzenie się, jak i skrócenie, spowodowane ściśnieniem, są do długości proporcjonalne. Siła więc zakotwienia na jednostkę długości będzie odwrotnie proporcjonalna do długości i tem mniejsza, im dłuższą spojona linja.

Wyobraźmy sobie szynę, której jeden koniec jest nieruchomy i która na całej swej długości jest zakotwiona; siła ściskania takiej szyny będzie wzrastała linjowo od 0 w końcu swobodnym do maksimum w końcu nieruchomym; jeżeli oba końce są swobodne, to możemy środek uważać jako nieruchomy. W obu tych wypadkach będzie średnia siła zciśnienia, nazwawszy siłę zakotwienia (lub tarcia) na jednostkę długości f : $f \cdot \frac{L}{2}$; siła ściskania wywoła skrócenie:

$$\frac{f \cdot L}{2 \cdot Q \cdot E} \cdot L$$

Skrócenie to odejmuje się od wydłużenia, spowodowanego wzrostem temperatury, tak, iż pozostaje wydłużenie:

$$\Delta L = L \left[a(t-t_0) - \frac{f \cdot L}{2 \cdot Q \cdot E} \right].$$

Aby wydłużenia nie było, t. j. aby ΔL było = 0 potrzeba, żeby siła zakotwienia była równa lub większa od siły wywołanej przez rozszerzenie się:

$$f \cdot L \geq 2 \alpha (t-t_0) E \cdot Q.$$

Dla szyny n. p. o przekroju 6500 mm.², dla różnicy temperatury 40° musi być:

$$f \cdot L = 2 \cdot 0,000012 : 40 \cdot 20000 \cdot 6500 = 124800 \text{ kg.}$$

Jeżeli szyny spojono n. p. na długości 1000 m. to otrzymamy na metr 124,8 kg., co się zawsze łatwo da osiągnąć tak skutkiem poprzeczek, jako też tarcia zabrukowania o boki szyn.

Przyjmowaliśmy dotychczas, iż szyna pozostaje zupełnie prosta; w rzeczywistości jest tak jednak tylko wtedy, kiedy szyna zamocowana jest w licznych, bliskich od siebie punktach (jak n. p. przy torach ułożonych na podkładach). Maksymalna odległość tych stałych punktów a , może być wyliczona z wzoru Eulera:

$$\frac{E \cdot I \cdot \pi^2}{a^2} = \text{sile ściskania } P, \text{ czyli } = E \cdot Q \cdot \alpha (t-t_0).$$

$$a = \frac{\pi \cdot \sqrt{I}}{\sqrt{Q \cdot \alpha (t-t_0)}}$$

a oznaczywszy przez r promień obrotu danego przekroju:

$$a = \frac{\pi \cdot r}{\sqrt{\alpha \cdot (t-t_0)}}.$$

Niech będzie n. p. $r = 0,025$ m., w takim razie mamy dla 40°:

$$a = \frac{3,14 \cdot 0,025}{\sqrt{0,00048}} = 3,56 \text{ m.}$$

Przy większej wartości a szyna, przytwierdzona na obu końcach, stara się przybrać kształt sinusoidy o równaniu:

$$y = f \cdot \sin \frac{\pi}{a} \cdot x \quad f = \text{największe odchylenie.}$$

Siła ściskania P byłaby wtedy zmniejszona proporcjonalnie do $\frac{1}{a^2}$.

Długość kawałka sinusoidy o międzywęźle a wynosi:

$$a \left[1 + \left(\frac{f \cdot \pi}{2a} \right)^2 \right]$$

Długość ta musi być równa długości początkowej, t. j. a , zwiększonej o wydłużenie $\alpha (t - t_0)$, a zmniejszonej o ściśnieniu e :

$$\frac{P}{Q} \cdot \frac{a}{E} = \frac{r^2 \pi^2}{a} \cdot a \left[1 + \left(\frac{f \cdot \pi}{2a} \right)^2 \right] = a \left[1 + \alpha (t - t_0) - \left(\frac{r \cdot \pi}{a} \right)^2 \right]$$

$$f = \frac{2a}{\pi} \sqrt{\alpha (t - t_0) - \left(\frac{\pi \cdot r}{a} \right)^2}.$$

Przyjąwszy n. p. $a = 25$ m. i $r = 0,025$ m., otrzymujemy $f = 0,207$ m., podczas kiedy bruk może pozwolić na wychylenie co najwyżej paru milimetrów. Takie więc odkształcenie jest niemożliwe i musi powstać ciśnienie boczne na bruk. Jeżeli przyjmiemy, iż kształt szyny pomimo tego ciśnienia pozostanie sinusoidalny, to kąt α osi jej do osi toru w węźle będzie:

$$\alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{a}{\pi} f.$$

Pomiędzy dwoma siłami, ciśnieniem u węzłów sinusoidy i siłą boczną S musi panować równowaga, a zatem:

$$S = 2 \frac{\pi}{a} f \cdot P.$$

Ponieważ f jest zawsze bardzo małe, przeto siły P mało się zmniejszają i możemy przyjąć, jak to poprzednio wyliczyliśmy, $\frac{P}{F} = 9,6$ kg. na mm.²

Dla szyny więc o przekroju 6500 mm.² otrzymamy:

$$S = 2 \cdot 3,14 \cdot 9,6 \cdot 6500 \cdot \frac{f}{a} = 394000 \cdot \frac{f}{a},$$

zas dla $f = 0,01$ m. oraz $a = 25$ m.

$S = 157$ kg., co w żadnym razie na bruku szkolidwie odbić się nie może. Tak samo ma się rzecz i na łukach; rozsze-

rzanie się stara się wprowadzić wygiąć je bardziej, nie pozwala na to jednak bruk.

Co do wygięcia szyny w górę, to mogłoby ono powstać wtedy gdyby dla kawałka szyny dl składowa pionowa ściskania na obu końcach była większa, jak waga danego kawałka szyny.

Oznaczmy przez w wagę jednostki długości, przez $d\alpha$ zaś kąt, pod jakim działają obie wyżej podane siły F , to równowaga nastąpi, jeżeli.

$$w \cdot dl = F d\alpha.$$

Jeżeli promień wygięcia szyny w kierunku pionowym nazwiemy R , to musi być:

$$R \geq \frac{F}{w}. \quad \text{Ciężar gatunkowy stali można przyjąć 7,9,}$$

$$R \geq 127 \cdot \frac{F}{Q}. \quad \text{Dla przekroju 6500 mm.}^2 \text{ mamy } \frac{F}{Q} = 9,6 \text{ kg.}$$

$$R > 1220 \text{ m.}$$

Ponieważ jednak waga szyn zwiększoną zostaje przez wagę spojeń, poprzeczek oraz bruku, tudzież tarcie bruku o boki szyny, przeto można przyjąć, iż wystarcza, aby promień zgięcia w kierunku pionowym nie był mniejszy, jak 600 m.

Dla przejścia n. p. z linii poziomej na pochyłość 50‰, odpowiadającej kątowi $\alpha = 3^\circ$, będzie długość łuku l , rys. 58-my, przy $R = 600$ m.:

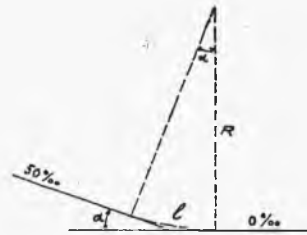
$$l = \frac{600 \cdot 2 \cdot 3,14}{360} = 31,5 \text{ m.}$$

Długość taka łuku da się niezbyt trudno osiągnąć, niemniej jednak trzeba przy układaniu torów spajanych pamiętać o tej możliwości odkształcenia w kierunku pionowym.

Jak to już zaznaczyliśmy, praktyka stwierdziła w zupełności prawdziwość powyższych obliczeń, i nigdzie, nawet w Piotrogradzie, pomimo zdarzających się tam ogromnych różnic temperatury, nie skonstatowano szkodliwych odkształceń, wywołanych wahaniami temperatury.

Co do samego sposobu wykonywania spojeń, to rozróżniamy tu trzy główne systemy, a mianowicie:

a) System **Falk**, polegający na zalaniu złącza roztopionem żelazem lanem. Po ułożeniu szyn i starannem oczyszczeniu ich końców szczotkami metalowymi i pilnikami, nakłada się na złącze metalową, dwudzielną formę, zaopatrzoną w odpowiedni lej; obie połowy formy



Rys. 58.

ściska się specjalnymi cęgami. W przewoźnym piecyku kupolowym na 3000 kg. żelaza, ustawionym wraz z kotłem, wentylatorem i t. d. na kołach, roztopia się żelazo lane i wypełnia się formę. Po upływie 3—4 minut formę się zdejmuje, a po upływie 3—4 godzin złącze wystyga już zupełnie. Na jedno złącze potrzeba, w zależności od profilu szyn, 40—60 kg. żelaza.

System ten, mało w Niemczech stosowany, jest natomiast szeroko rozpowszechniony w Ameryce, Francji, Belgji i Holandji, gdzie dał doskonałe rezultaty.

b) System aluminjo-termitowy **Goldschmidta**.

Dr. Hans Goldschmidt z Essen znalazł, iż zapalona w jednym miejscu mieszanina, złożona z tlenku żelaza, oraz rozdrobnionego aluminium, pali się sama dalej, wytwarzając przy tem temperaturę do 3000°; powstaje przy tem chemiczny związek aluminium z tlenem, znany w krystalicznej swej formie jako Corund. Ponieważ mieszanina taka jest trudno zapalna, przeto używa się do jej zapalania innej, łatwo zapalnej mieszaniny (n. p. nadtlenek baru i aluminium), która, zapalając się sama od zwykłej zapałki, zapala główną mieszaninę.

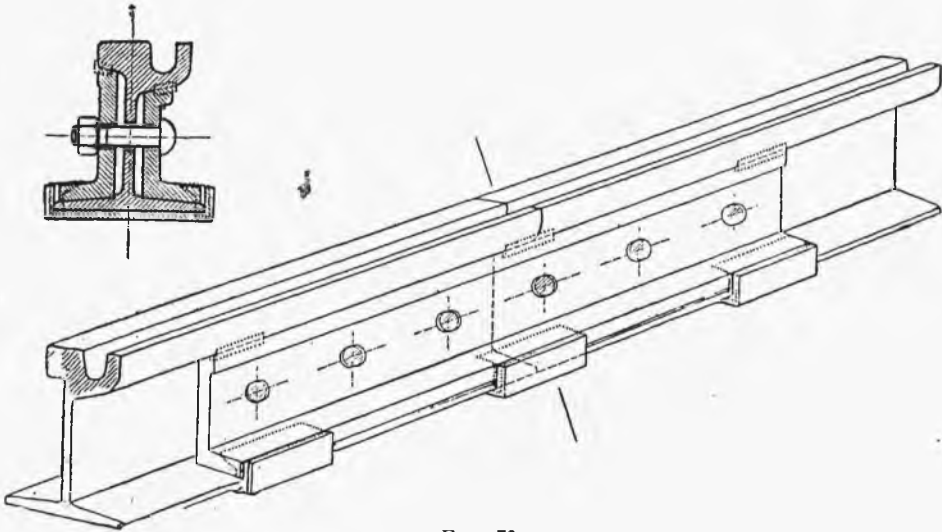
Potrzebną na wykonanie jednego złącza ilość mieszaniny (tlenek żelaza i glin), zwanej **Termitem**, wsypuje się w lejowaty tygiel. Tygiel ten ma na dnie mały otwór, zamknięty żelazną blachą.

Złącze otacza się formą z ogniotrwałego materiału i ustawia nad nią napełniony tygiel, poczem zapala się u góry mieszaninę. Blaszka zatykająca otwór tygla przetapia się i do formy wlewa się najpierw, jako najcięższe, roztopione żelazo, poczem dopiero wypływa z tygla szlaka i Corund. W ten sposób powstaje złącze z żelaza kowalnego, nadzwyczaj trwałe. Na jedno złącze potrzeba, w zależności od profilu szyny, 8—10 kg. Termitu, a zatem znacznie mniej materiału, jak przy systemie Falk. System Goldschmidta znalazł głównie szerokie zastosowanie w Niemczech.

c) Spajanie elektryczne. Pierwotnie stosowane stapianie łukiem elektrycznym końców szyn oraz łupków nie dało dotychczas dobrych rezultatów i zostało zupełnie zarzucone. Szerokie natomiast zastosowanie znalazło spajanie elektryczne łupków z podeszwą i główką szyny jak na rys. 59-ym.

Kilka tysięcy takich złączy wykonanych w Berlinie pracuje dotychczas doskonale. Ściąganie, spowodowane kurczeniem się stygnącego metalu jest tak silne, że miejsce zetknięcia się szyn staje się zupełnie niewidoczne. Wielką zaletą tego systemu jest jeszcze i to, iż pozwala, on na zużytkowanie starych, inaczej niezdatnych, łupków.

4) **Szerokość toru.** Szerokość toru, czyli odległość pomiędzy szynami, bywa bardzo rozmaita, przeważnie jednak stosuje się albo szerokość t. n. „normalna” t. j. szerokość torów kolejowych danego państwa, a zatem około 1443 mm., względnie w Rosji 1525 mm., albo też jeden metr. Szerokości mniejsze, 800,750, a nawet 600 mm. zostały obecnie zarzucone i bywają stosowane chyba w wyjątkowych wypadkach, dla kolejek górniczych, fabrycznych, polnych i t. p.



Rys. 59.

Aczkolwiek tor metrowy pozwala niezaprzeczenie na stosowanie ostrzejszych łuków i jest od toru normalnego nieco tańszy, utrzymanie zaś części bruków do torów przylegających, ciężące zwykle na eksploatacji tramwajów, także mniej kosztowne, to jednak zdania fachowców zaczynają się stanowczo skłaniać w stronę torów normalnych.

Praktyka dowiodła, iż tory normalne pozwalają na przejazd bardzo nawet ostrych łuków przy normalnym rozstawie kół, pod warunkiem tylko starannego ułożenia torów; tak n. p. w Warszawie, gdzie szerokość toru wynosi 1525 mm., są łuki o promieniu 16 m., przez które elektrowozy o rozstawie kół 2000 mm. przejeżdżają bez żadnych trudności. Tak ostre łuki wystarczają przeważnie nawet dla bardzo wązkich i krętych ulic.

Jeżeli, jak to się zwykle robi, zachować przy torze metrowym taką samą szerokość elektrowozów, jak przy torze normalnym, to elektrowozy takie wystają oczywiście znacznie poza szyny. Wystawanie to nie przedstawia wprawdzie żadnych konstrukcyjnych trudności, jest jednak na ulicach ruchliwych mocno niepożądane. Wóz mający ustąpić elektrowozowi, zjechawszy z toru uważa się zwykle za bezpieczny, tym-

czasem musi on przy torze metrowym jeszcze oszacować wystawianie elektrowozu, aby nie być przez takowy zaczepiony. Stosowanie elektrowozów węższych odbijałoby się znowu niekorzystnie na ich pojemności.

Odległość między szynami, a zatem szerokość toru, utrzymują żelazne poprzeczki, czyli trawersy. Poprzeczki te, zwykle z płaskiego żelaza, przymocowane są do szyn śrubami; muszą one być konstrukcji dość mocnej.

Poprzeczki umieszcza się w odległościach od 3 do 1 metra w zależności od rodzaju bruku; zwykła droga bita wymaga najmniejszej, bruk drewniany największej ilości poprzeczek. Wogóle jest bruk drewniany dla torów może najniegodniejszy. W bruku tym skutkiem napeężniania wodą, a także zmian temperatury, powstają bardzo znaczne boczne ciśnienia, które wprawdzie względem szyn równoważą się wzajemnie częściowo, nie mniej jednak działają na tor silnie odkształcająco (przeważnie starają się tor rozszerzyć).

W Warszawie wynosi odległość między poprzeczkami 1700 mm.

5) Zwrotnice i skrzyżowania. Zwrotnice, stosowane przy tramwajach, muszą z konieczności być znacznie ostrzejsze (krótsze), jak zwrotnice kolejowe.

Oznacza się je zwykle albo pochyleniem osi torów do siebie, rys. 60-ty $a : b$, albo też lepiej promieniem i długością zastosowanego łuku R i l .

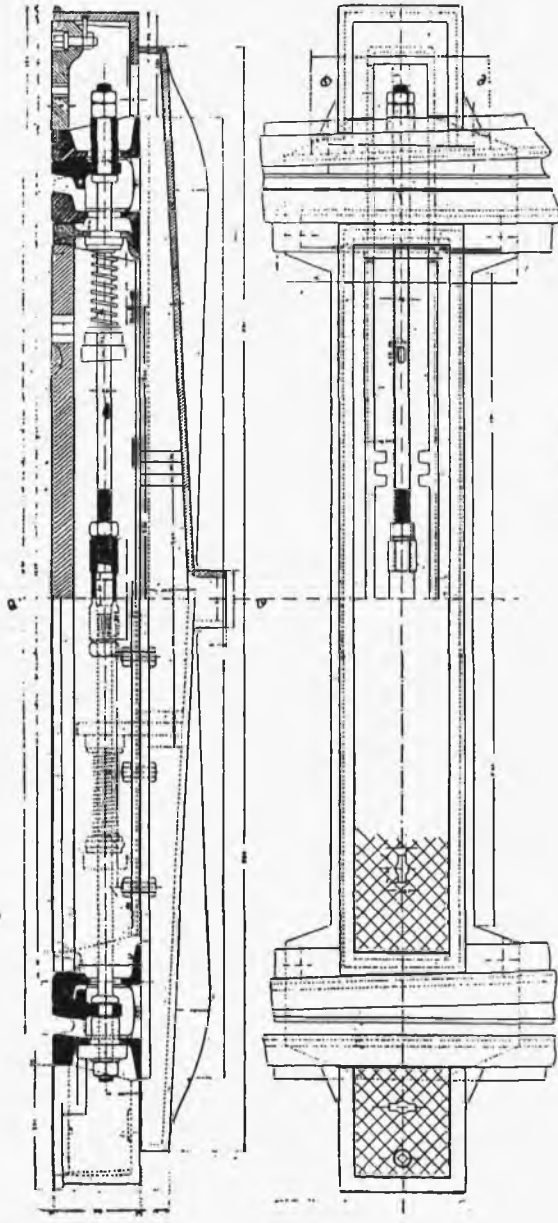
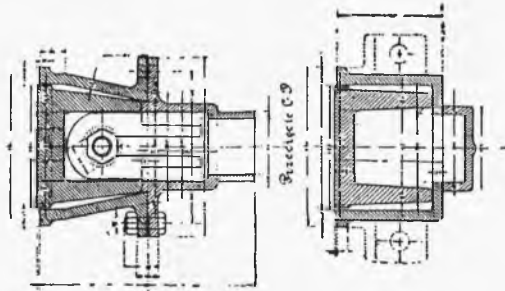


Rys. 60.

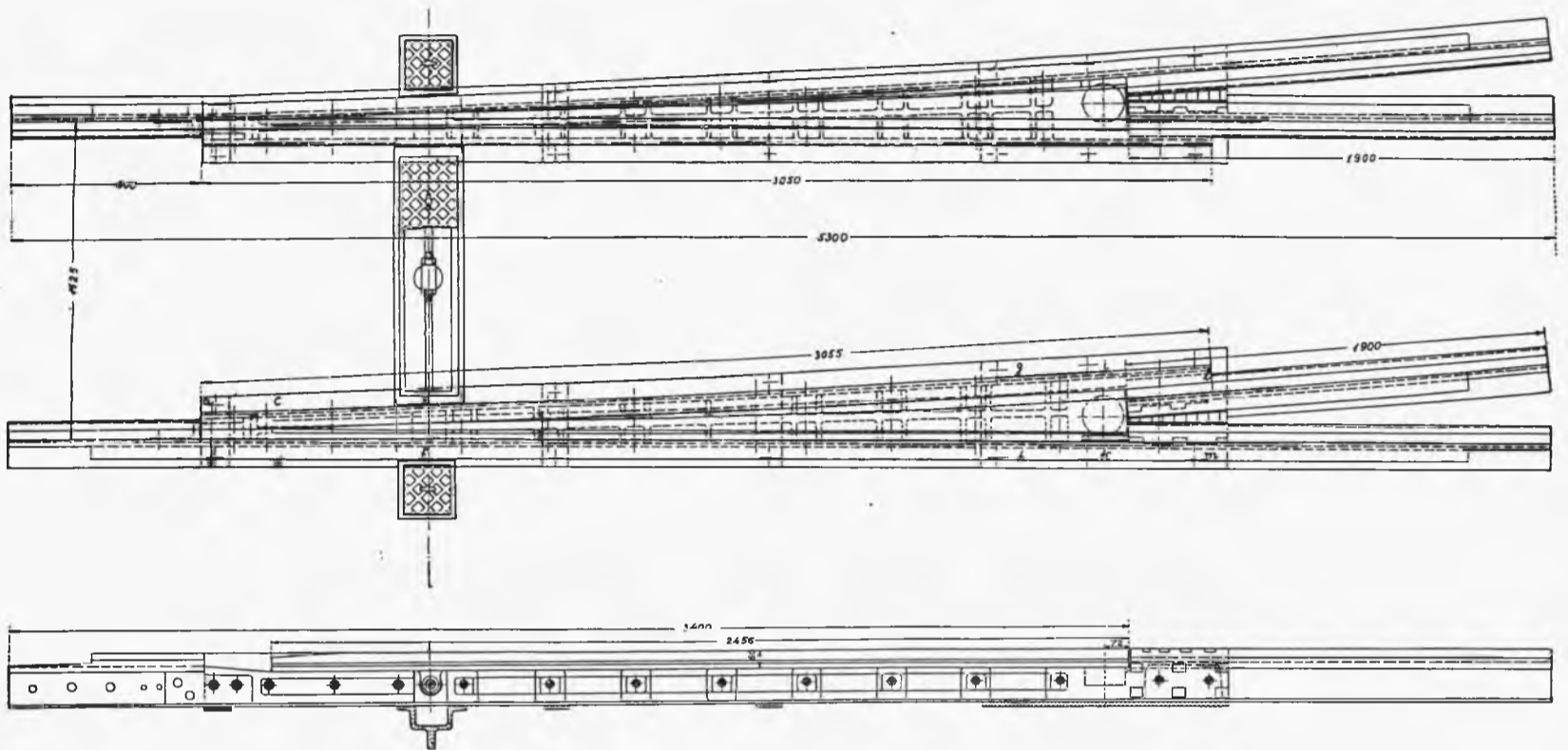
Pochylenie, wynoszące przy normalnych zwrotnicach kolejowych 1 : 12, wynosi tu 1 : 5 — 1 : 8. Łuki bywają stosowane od 35 m. Bardzo dobre są zwrotnice o promieniu łuku 50 m. i długości $l = 5300$ mm. W tramwajach warszawskich, gdzie zastosowano takie właśnie zwrotnice, pozostawiając jednak kilka zwrotnic dawnych z trakcji konnej o $R = 40$ m. i $l = 4300$ mm., dały pierwsze bez porównania lepsze wyniki tak co do trwałości, jak i łagodności przejazdu.

Przy projektowaniu nowych urządzeń należy mieć na względzie, iż nader wygodnym jest mieć jeden tylko typ zwrotnic, a nie kilka różnych co do łuku i długości; ułatwia to znacznie ich utrzymanie i wymianę uszkodzonych części oraz zmniejsza niezbędną ilość zapasowych części.

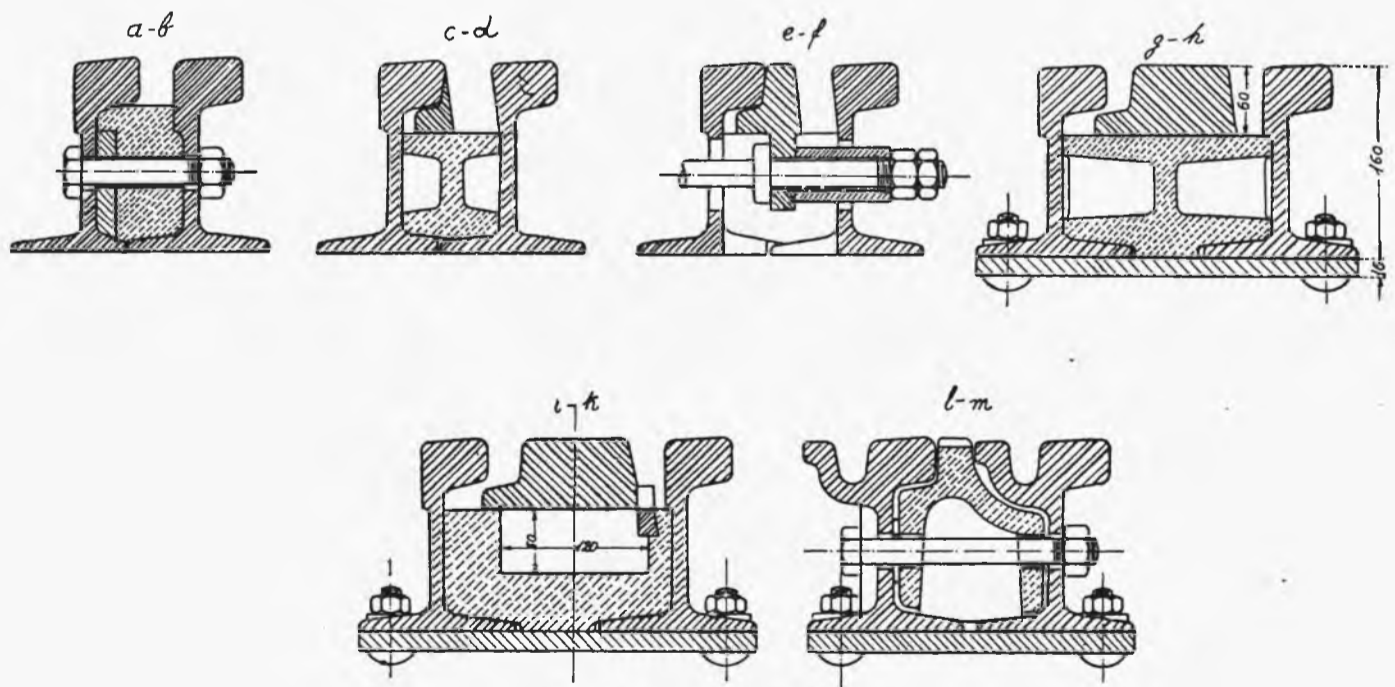
Zwrotnice bywają wykonywane z szyn normalnych, lub też odlewane ze specjalnej, możliwie twardej stali; tak jedno, jak i drugie wykonanie ma swych zwolenników i przeciwników. Tak n. p. zwolennicy wykonania zwrotnic z szyn normalnych utrzymują, iż, aczkolwiek twardszy metal odlewanych zwrotnic stanowczo zmniejsza ścieranie, które na



Rys. 61.



Zwrotnica lewa z szyn rowkowych profil 14 F.

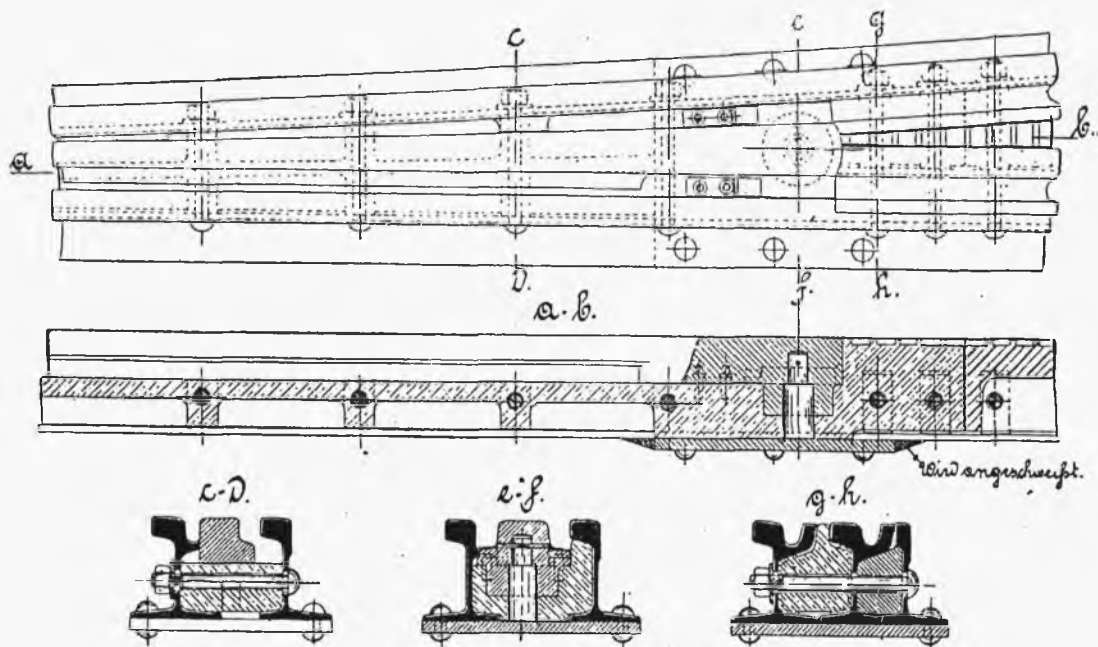


Przekroje w większej skali.

Rys. 62.

zwrotnicach jest znacznie większe, niż na linii prostej, to natomiast różnica twardości materiałów powoduje w miejscu połączenia zwrotnicy z szynami nierównomierne starcie, skutkiem którego powstają dołki, względnie wypukłości, fatalnie odbijające się na równości biegu elektro-wozów.

Wobec wielkiej ilości zwrotnic, jakie zwykle spotykamy w każdym urządzeniu tramwajów śródmiejskich, jest dobre ich działanie i trwałość rzeczą pierwszorzędną wagi. Toteż egzystuje już obecnie mnóstwo przeróżnych konstrukcji zwrotnic i powstają jeszcze wciąż nowe ich ulepszenia.



Rys. 63.

Szczegółowe opisywanie przeróżnych tych konstrukcji wychodziłoby poza ramy niniejszego dzieła, musimy przeto poprzestać na przedstawieniu paru nowszych typowych konstrukcji, odsyłając pragnących bliżej się z tym przedmiotem zapoznać do dzieł i publikacji specjalnych.

Na rys. 61-ym i 62-gim widzimy typ zwrotnic zastosowanych w tramwajach warszawskich; są to zwrotnice wykonane z szyn normalnych.

Obie iglice są ruchome i związane ze sobą przy pomocy pręta, pozwalającego regulować wzajemną ich odległość. Pręt umieszczony jest w lanej skrzyni, łączącej ze sobą oba korpusy zwrotnicy. Iglice wykonane są ze stali lanej o wytrzymałości 75 kg. na mm.²; później zaczęto stosować iglice twardsze, ze stali kutej.

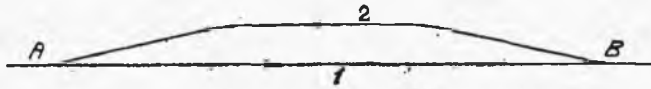
Rys. 63 pokazuje zwrotnicę laną nowszej konstrukcji.

Jedną z najważniejszych i najdelikatniejszych części zwrotnicy, jest zawsze czop obrotowy iglicy; starcie się, a następnie rozluzowanie tego czopa pozwala iglicy przy przejściu wozów „odskakiwać” t. j. odsuwać się od właściwego położenia, a to skutkiem nieuniknionych w tej chwili uderzeń, wibracji i bocznych nacisków. Takie odskoczenie iglicy powoduje albo pogięcie, względnie połamanie jej końca, albo też, o ile jest znaczniejsze, wykolejenie wozów, zwłaszcza doczepnych. Szczególniejszą więc uwagę trzeba zawsze zwracać na staranne obrobienie, odpowiednią konstrukcję i dobre wykonanie czopów. Wogóle, jaką by nie była konstrukcja zwrotnicy, muszą być wszystkie jej części jaknajstaranniej obrobione i dopasowane, a montaż winien być zawsze nader staranny. Wszelka oszczędność na koszcie zwrotnic odbija się zawsze fatalnie na kosztach eksploatacyjnych.

Obecnie są przeważnie stosowane zwrotnice o dwu ruchomych iglicach, zdarzają się jednak i takie o jednej ruchomej, a drugiej stałej iglicy. Zwrotnice takie, prostsze co do konstrukcji, zastosowano między innymi w Piotrogradzie, Brukseli, Paryżu, gdzie podobno pracują dobrze.

Zwrotnice nastawia się przeważnie przy pomocy zwykłych drążków żelaznych ze spłaszczonym końcem, który się wsuwa pomiędzy iglicę a główkę szyny i tym sposobem pierwszą przesuwa w żądane położenie specjalne urządzenia, jak na kolejach bywają tu chyba rzadko stosowane

Jeżeli zwrotnica ma służyć dla jednej tylko zmiany kierunku, n. p. na rozjazdach, jak na szkicu rys. 64-ty, gdzie wóz nadchodzący od strony *a* jedzie zawsze prosto, po torze *1*, wóz zaś nadchodzący od *b*, musi zawsze zwrócić na tor *2*, to można w zwrotnicy umieścić sprężynę, utrzymującą stale iglicę w żądanem położeniu.



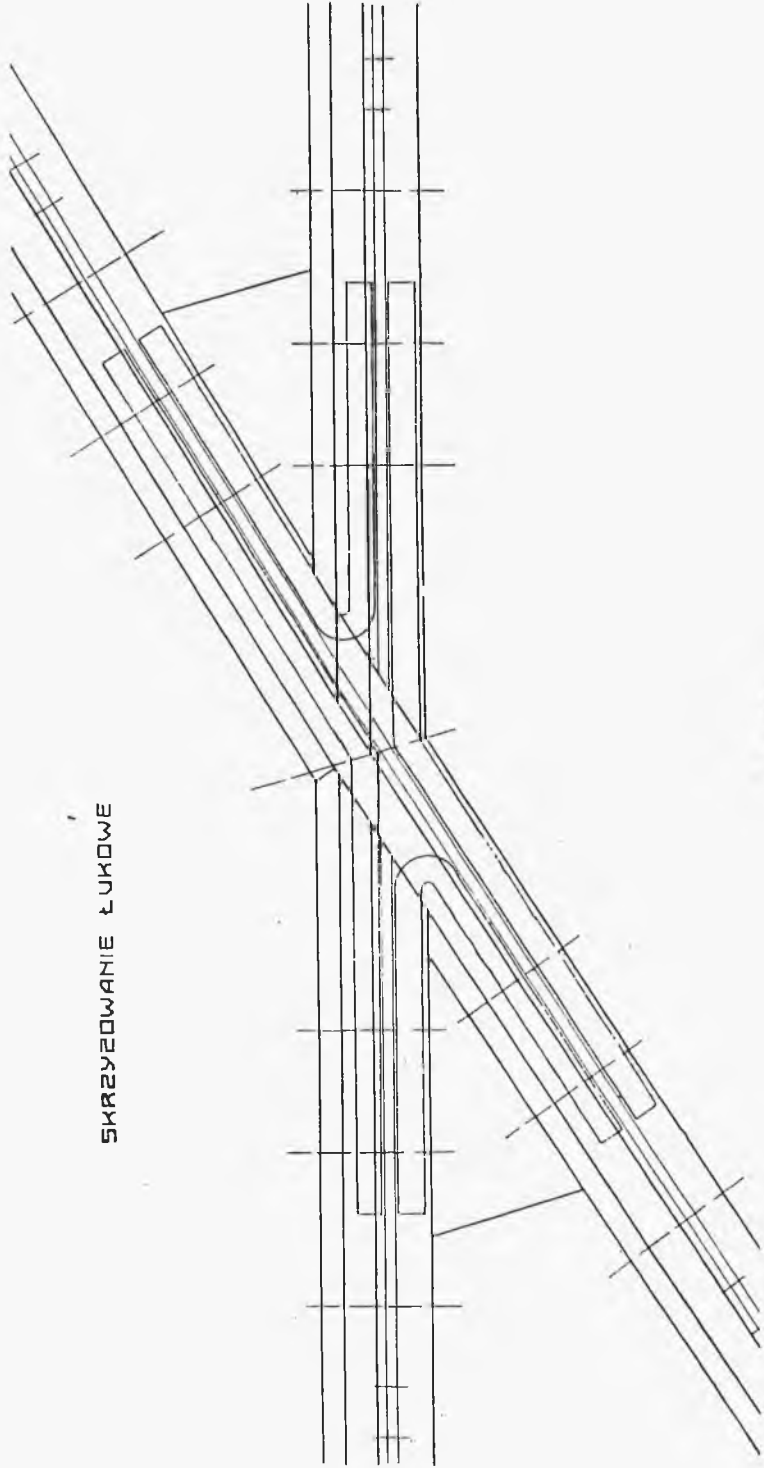
Rys. 64.

Co do krzyżownic, to bywają one tak, jak i zwrotnice, wykonywane już to z normalnych, odpowiednio przyciętych i dopasowanych szyn, już to z twardszej, lanej stali.

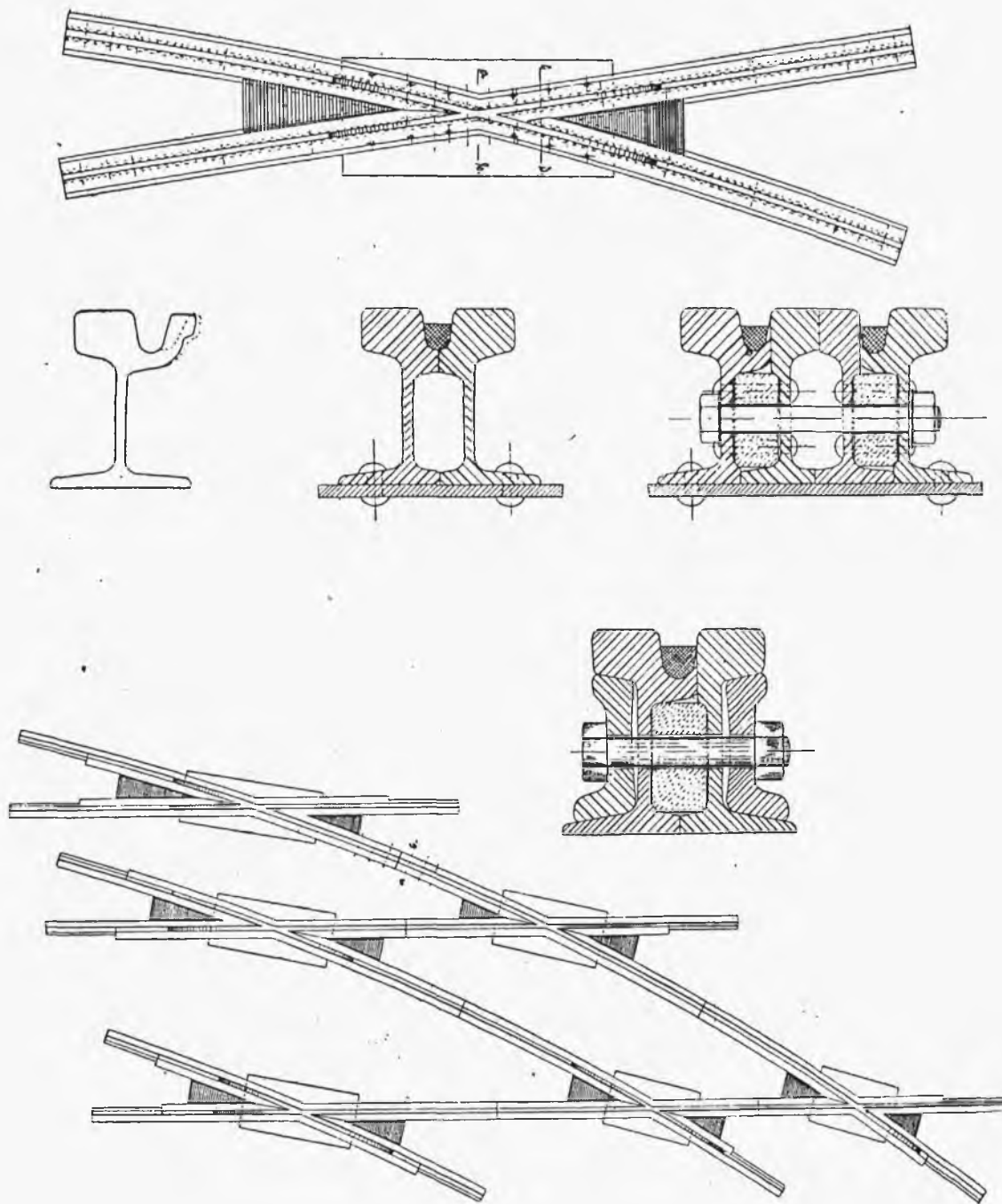
Krzyżownica, rys. 66-ty, zastosowana w tramwajach warszawskich, zaopatrzona jest w klin ze stali profilowej, przymocowany do spodniej ścianki żłobka przy pomocy zagłębianych śrub.

Grzebienie obręczy kół elektrowozu, przejeżdżającego przez krzyżownicę trafiają na klin i wjeżdżając nań, unoszą nieco cały wóz; skutkiem tego koła toczą się tylko na grzebieniach, nie dotykając obrę-

SKRZYŻOWANIE ŁUKOWE



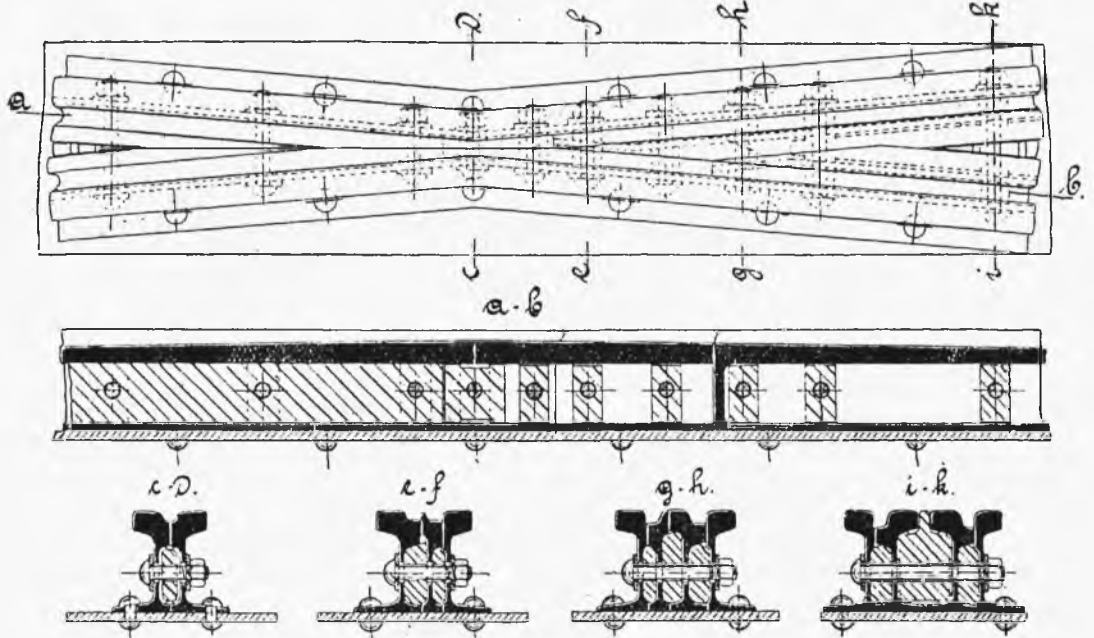
Rys. 66.



Rys. 67.

czami główki szyny. Unika się w ten sposób wstrząśnienia powstającego przy przechodzeniu obręczy przez rowek krzyżującej szyny.

To samo da się powiedzieć i o właściwych skrzyżowaniach. Skrzyżowanie ze stalowymi klinami, wykonane z normalnych szyn widzimy na rys. 67.

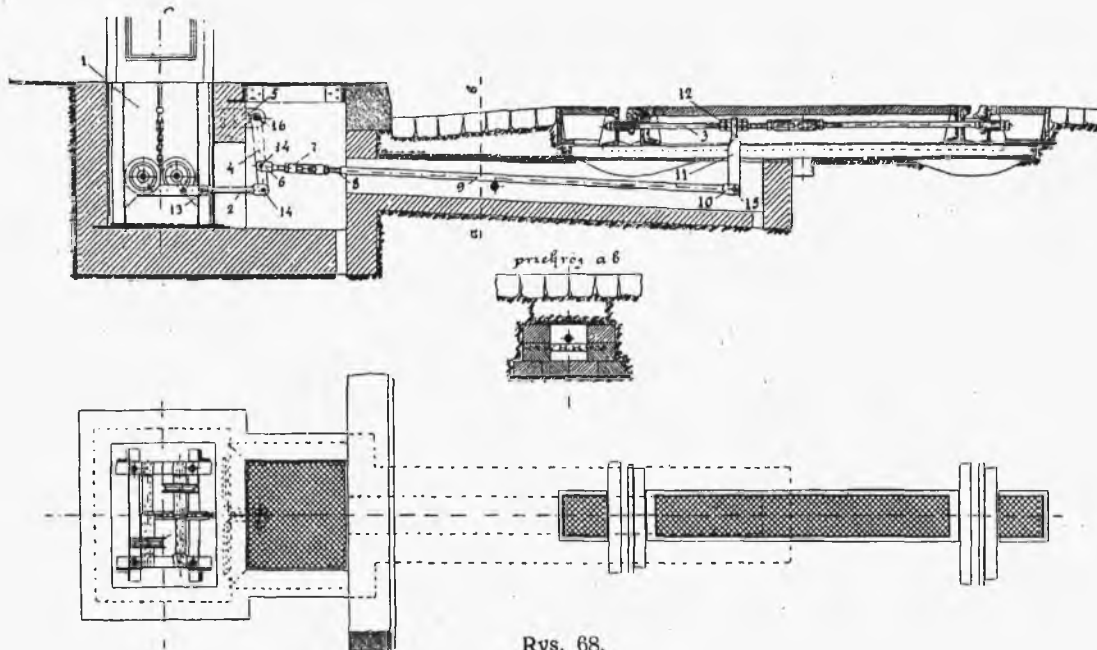


Rys. 65
Krzyżownica dla linii prostej z lanej stali.

Dobra obsługa zwrotnic przy tramwajach o gęstym ruchu przedstawia niemałe trudności; obsługa zwrotnicy przez służbę wagonową, motorniczego lub konduktora, powoduje zawsze stratę czasu i często zbyt długie zatrzymania. Specjalny zwrotniczy, zmuszony częstokroć przestawiać zwrotnicę co minutę lub dwie, nie jest w stanie dobrze obsłużyć więcej jak jedną zwrotnicę; że zaś ruch trwa zwykle około 17—18 godzin, przeto potrzebuje każda zwrotnica dla swej obsługi 2 zwrotnicznych, co oczywiście pociąga za sobą niemałe koszty.

Dla zaradzenia temu usiłowano już od dość dawna zbudować zwrotnicę automatyczną, lub dającą się łatwo i bez straty czasu przestawiać z wagonu. Najlepszym dotychczas rozwiązaniem tej kwestji są zwrotnice przestawiane elektrycznie. Zwrotnic takich egzystuje kilka systemów, jako to: Siemens-Schuckert, Stoffels, Bataille i inne. Ponieważ jednak wszystkie polegają na tej samej zasadzie, a różnią się tylko szczegółami wykonania, przeto wystarczy dla zaznajomienia się z nimi opisać dokładniej jeden z tych systemów.

W zwrotnicy elektrycznej systemu Siemens-Schuckert działają dwa elektromagnesy (*a* i *b* na rys. 70-tym) umieszczone w budce żelaznej, ustawionej na chodniku obok zwrotnicy, przy pomocy łańcuchów 1 na kółka 13, które ze swej strony poruszają dźwignię 2 i dźwignię 4,



Rys. 68.

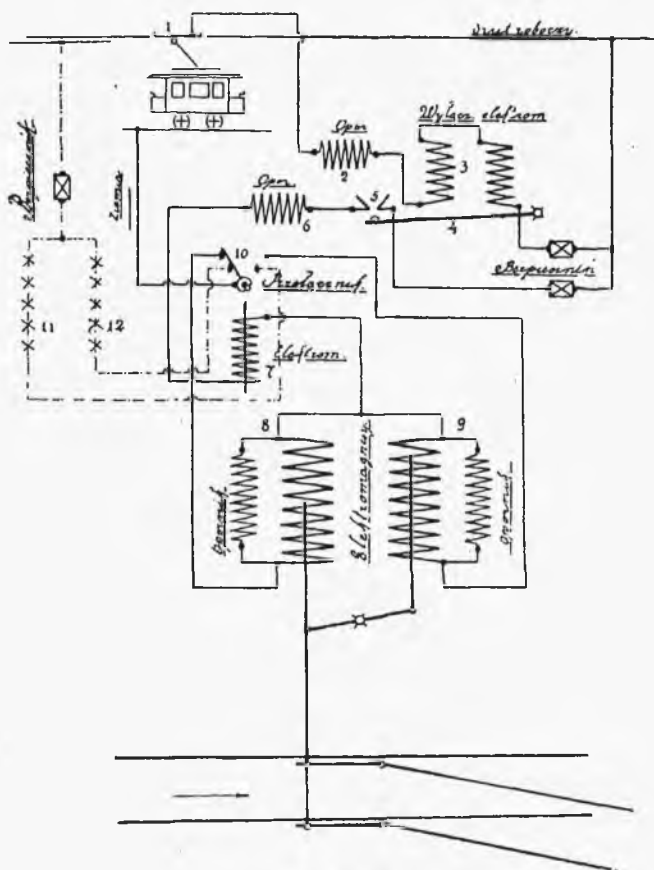
obracające się naokoło punktu 16 (rys. 68-my). Dźwignia ta porusza drąg 8, 9, 10, związany w punkcie 15 z drągiem 11, który znowu działa na ściągacz 3, łączący ze sobą obie iglice normalnej zwrotnicy (rys. 68-my). Śruba 7 pozwala regulować długość drąga 8, 9, 10, a śruba 12 położenie drąga 11 na ściągaczu 3. Na rysunku widać, iż obrót kółek n. p. w kierunku wskazówek zegara przesuwa iglice, a zatem przestawia zwrotnicę na lewo. Budowa zwrotnicy niczem się nie różni od normalnej, tak, iż elektryczne nastawianie może być zastosowane do każdej zwrotnicy.

W odległości 10—15 m. przed zwrotnicą zawieszono w sieci górnej przy pomocy specjalnych wieszaków potrójnych dwa kawałki drutu miedzianego około 1200 mm. długie, rys. 71-szy.

Drut główny, czyli roboczy, przechodzi po środku, zaś oba druty dodatkowe, izolowane od niego i od ziemi, leżą nieco (o parę milimetrów) niżej.

Pałak przejeżdżającego elektrowozu obniża się w tem miejscu, nieco odchylając się od drutu roboczego, a przylegając do drutów dodatkowych łączy je ze sobą oraz, o ile regulator wozu jest włączony, przez motory oporniki z ziemią.

Zwoje elektromagnesu 3, rys. 69-ty, umieszczonego wraz z innym przyrządami we wspomnianej już budce, połączone są z jednej strony przez bezpiecznik z drutem roboczym, a z drugiej przez opornik 2 z drutami dodatkowymi 1. Jeżeli więc elektrowóz przejeżdżając pod drutami

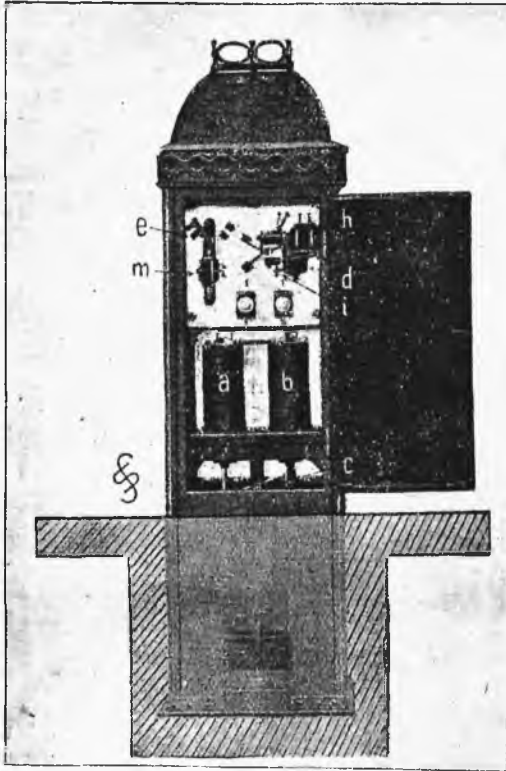


Rys. 69.

dodatkowymi 1, rys. 69-ty, ma motory włączone, to prąd przechodzi z drutu roboczego przez elektromagnes 3, opornik 2, druty 1, ślizgacz, pałąk, regulator, motory i oporniki do szyn, skutkiem czego elektromagnes 3 przyciąga swą kotwicę 4 i przez to zamyka wyłącznik 5.

Prąd ma teraz nową drogę przez wyłącznik 5, opornik 6, zwoje elektromagnesów 7 i 8 oraz przełącznik 10 do szyn. Elektromagnes 8 wciąga swój rdzeń, a poruszając temsamem łańcuchy i system dźwigni i drągów, przestawia zwrotnicę. Przełącznik 10 połączony jest mechanicznie (połączenie to nie jest na rysunku pokazane) z rdzeniami elektromagnesów głównych 8 i 9 tak, iż przy przesunięciu się tych rdzeni prze-

kłada się na drugą stronę; rdzeń jednak elektromagnesu 7 przytrzymuje go w pierwotnem położeniu tak długo, póki prąd płynie przez jego uzwojenia,



Rys. 70.

palą się lampki w szeregu 12 np. czerwone, w położeniu zaś przeciwnem, w szeregu 11, a zatem białe. Lampki umieszczone są w odpowiedniej, skrzynce na słupie lub ścianie domu tak, aby mogły być widziane z daleka.

Wszystkie wyżej opisane przyrządy zgrupowane są na marmurowej desce umieszczonej w budce z głównymi elektromagnesami, rys. 70-ty.

Widzimy tu elektromagnes 3 (oznaczony h) ze swym rdzeniem i wyłącznik 5 (oznaczony d), elektromagnes 7 (oznaczony m), przełącznik 10 (oznaczony e) i t. d.

Obsługa zwrotnicy jest nader prosta: polega ona na tem, iż motoriczny, który zastaje zwrotnicę nastawioną w nieodpowiednim dla siebie kierunku przejeżdża pod drutami dodatkowymi z prądem, przez co



Rys. 71.

t. j. póki ślizgacz nie opuści drutów 1, lub motoriczny prądu nie wyłączy. Skoro to nastąpi, prąd przestaje płynąć przez elektromagnes 3, rdzeń 4 odpada i przerywa prąd w 5, elektromagnes 7 opuszcza swój rdzeń, ten ostatni oswabada przełącznik 10, który przekłada się na drugą stronę. Jeżeli teraz nadejdzie drugi elektrowóz z włączonym regulatorem, to prąd przejdzie nie przez główny elektromagnes 8, lecz 9 i przestawi zwrotnicę w przeciwnym kierunku.

Sygnał świetlny, złożony z dwu szeregów lampek białych i czerwonych 11 i 12, wskazuje w nocy już z daleka położenie zwrotnicy. Przełącznik 10 powoduje, iż w położeniu zwrotnicy jak na rys. 69-ym

zwrotnicę przestawia; jeżeli naodwrot zastaje zwrotnicę leżącą w odpowiednim dla siebie kierunku, to przejeżdża pod drutami dodatkowymi bez prądu, a zwrotnica pozostaje w swem położeniu. Oporniki i uzwojenia przyrządu są tak dobrane, iż prąd oświetleniowy i event. ogrzewalny zwrotnicy nie przestawia, elektromagnesy zaś główne są tak mocne, iż przestawiają zwrotnicę nawet w razie jej zanieczyszczenia. Dla uniknięcia zbierania się wody musi być tak budka jak i kanał, przez które przechodzą dźwignie, starannie skanalizowane.

Wyżej opisane druty dodatkowe, rys. 71-szy, przeznaczone są dla pałaka, nieznaczna jednak zmiana w ich konstrukcji pozwala je stosować i dla kółka.

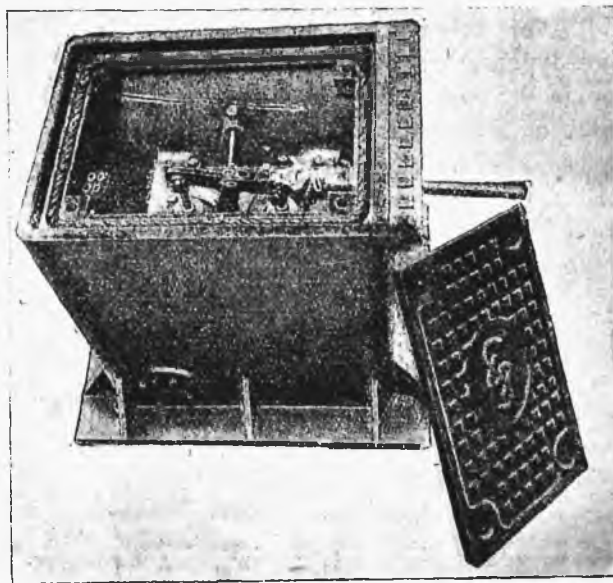
Zwrotnice przestawiane elektrycznie, wyżej opisanego i innych systemów, ustawione są w Mannheim, Karlsruhe, Fryburgu, Dreźnie, Zurychu, Kolonji, Krakowie i wielu innych miastach i działają wszędzie doskonale. W Warszawie została ustawiona w jednym z najbardziej ruchliwych punktów jedna zwrotnica wyżej opisanego systemu. Zwrotnica ta pracuje tam od kilku już lat bez zarzutu, koszty jej utrzymania są wprost minimalne.

Tam, gdzie brak miejsca nie pozwala na ustawienie budki na chodniku, lub gdzie tory leżą daleko od chodnika, coby powodowało zbyt wielką długość dźwigni, tam mogą być elektromagnesy główne wraz z przełącznikiem umieszczone obok samej zwrotnicy w skrzyni żelaznej pod ziemią. Skrzynia taka musi być hermetyczna i niezależnie od tego starannie skanalizowana, rys. 72-gi.

Reszta przyrządów umieszczona bywa w takim razie oddzielnie, w małej skrzynce, na pobliskim słupie lub ścianie domu.

6) Tory prowizoryczne. Tak przy budowie, jak i przy późniejszej eksploatacji niezbędna jest pewna ilość

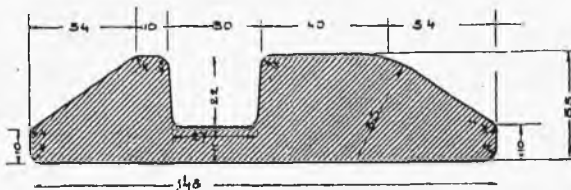
szyn, z których możnaby w razie potrzeby ułożyć tor prowizoryczny



Rys. 72.

Normalne szyny mało są do tego zdatne; ułożenie ich wymaga bowiem rozebrania bruku, wykonania budowy spodniej i t. p.

Daleko lepsze są tak nazwane szyny płaskie, jakie widzimy na rys. 73-cim.



Rys. 73.

Szyny takie można układać wprost na bruku, podbijając je tylko nieco piaskiem, poczem nawet ciężkie elektrowozy mogą powoli po nich przejeżdżać.

ROZDZIAŁ VI.

Ułożenie i prowadzenie torów na ulicach.

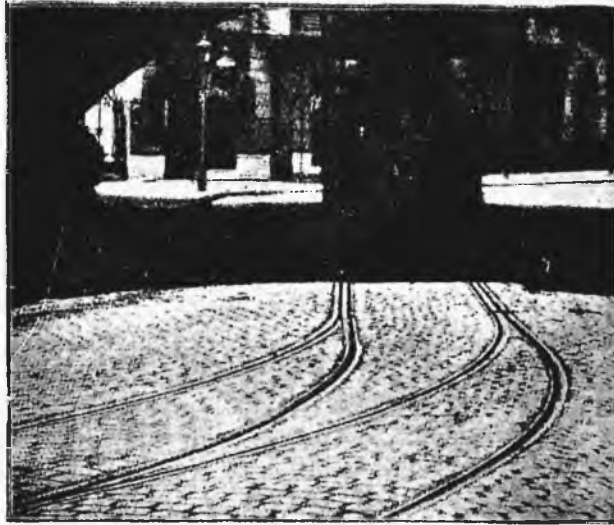
1) **Tor pojedynczy lub podwójny.** Kwestja, czy ma być ułożony tor pojedynczy, czy podwójny, zależy od przewidywanej gęstości ruchu, następnie środków pieniężnych, jakimi rozporządzamy, a wreszcie możliwości umieszczenia na ulicach toru podwójnego. Na ogół można powiedzieć, iż skoro idzie przy kolejkach o ruch gęstszy, jak co 20 — 15 minut, a przy tramwajach śródmiejskich 10 minut, to tor podwójny staje się prawie że nieunikniony, gdyż brak jego powodowałby, wobec nieuniknionych zatrzymań i opóźnień, już zbyt wielkie zamieszanie w całym ruchu.



Rys. 74.

Tam, gdzie ulice są tak wąskie, iż dwa tory żadną miarą zmieścić się nie dadzą, tam można tor drugi umieścić na bliższej, równoległej idącej ulicy; jestto oczywiście tylko paljatyw, bez którego jednak często obejść się nie można. Zdarza się też, iż ulica pozwalająca na ułożenie toru podwójnego, zwęża się na krótkiej przestrzeni tak, iż tam drugi

tor żadną miarą zmieścić się nie może. Tak bywa n. p. przy przejeździe przez bramy, pod mostami i t. p. W takich wypadkach doskonałym rozwiązaniem jest ułożenie torów jeden w drugim w ten sposób, iż jedna szyna toru 2 leży między szynami toru 1, rys. 74 i 75.

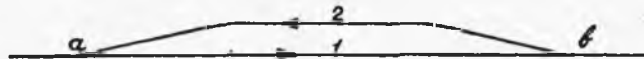


Rys. 75.

Unika się w ten sposób ułożenia i obsługi dwu zwrotnic.

Przy torze pojedynczym muszą być ułożone rozjazdy, umożliwiające rozmijanie się elektrowozów, dążących w przeciwnych kierunkach. Ilość takich rozjazdów i miejsca, w jakich one muszą być ułożone, wskazuje graficzny rozkład jazdy. Długość toru drugiego winna być taka, aby najdłuższy pociąg mógł się zmieścić na prostej jego części.

Zwrotnice najlepiej jest tu zaopatrywać w sprzężyny, któreby iglice zawsze nastawiały w żądanym kierunku, a więc n. p., rys. 76-ty, iglice zwrotnicy *A* zwracały po przejściu pociągu od *B* po torze 2 w położenie takie, aby pociąg nadchodzący od *A* szedł dalej prosto po torze 1, a iglicę zwrotnicy *B* takie, aby pociąg nadchodzący od *B* zwracał na tor 2.



Rys. 76.

2) Międzytorze. Odległość między torami, czyli szerokość międzytorza, zależna jest oczywiście od szerokości wozów, a potem od przepisów władz miejscowych.

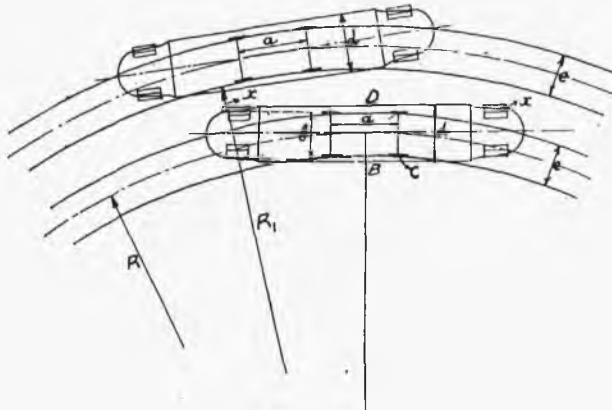
Czasami stawiane bywa wymaganie, aby między krzyżującymi się wozami mógł się swobodnie zmieścić człowiek; tak jest n. p. w Warszawie. Szerokość toru wynosi tam 1525 mm., szerokość największa wozu 2200 mm.; dla człowieka liczono 850 mm, odległość więc między osiami torów wynosić musi $1100 + 850 + 1100 = 3050$ mm., a więc szerokość międzytorza $3050 - 1525 = 1525$ mm.

Tam, gdzie przepisów takich nie ma wystarcza w zupełności, jeżeli pomiędzy wozami pozostaje 350 — 400 mm., międzytorze więc mogłyby być zmniejszone do 1025 — 1075 mm.; tak też są ułożone tory w większości miast, n. p. Berlinie, Kolonji i t. d.

Zdaniem naszym pozostawienie między wozami miejsca dostatecznie wielkiego dla człowieka jest zupełnie fałszywe i raczej szkodliwe, jak pożyteczne. Jak trudno jest utrzymać się pomiędzy pędzącymi w przeciwnych kierunkach wozami, nawet przy stosunkowo wielkiej odległości 850 mm. i jakie to robi wrażenie, zrozumie to łatwo każdy, kto choć raz znalazł się w Warszawie w tem położeniu. Że przytem o wypadek nie trudno, wystarczy przecie choćby zachwianie się lub zawrót głowy, to jasne. Natomiast, raz jest wiadome i od pierwszego rzutu oka jasne, iż nikt między pociągami się nie zmieści, to nikt tego próbować nie będzie, przez co unika się sposobności do licznych wypadków.

Na łukach wystają końce przejeżdżających wozów więcej poza tor, jak na linii prostej; międzytorze więc musi tu być odpowiednio rozszerzone. Rozszerzenie to można obliczyć w sposób następujący.

a) Dla wozów o osiach stałych.



Rys. 77.

O = środek (ognisko) łuków,
 R = promień osi wewnętrznej łuku,
 e = szerokość toru,

a = odległość pomiędzy stałymi osiami wozu, t. j. rozstaw osi,
 B = środek cięciwy, ściągniętej części łuku wewnętrznej szyny,
 b = szerokość wozu w punkcie x (zwykle nieco mniejsza od największej szerokości d).

$$\begin{aligned} Ox &= \sqrt{OD^2 + Dx^2}; & OD &= OB + BD; \\ OB &= \sqrt{OC^2 - BC^2}; & OC &= R - \frac{e}{2}; & BC &= \frac{a}{2}; \\ OB &= \sqrt{\left(R - \frac{e}{2}\right)^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2}; & BD &= b - \left(\frac{b-e}{2}\right). \end{aligned}$$

Ponieważ R , a , e , b i odległość Dx są dane, więc możemy wyliczyć Ox .

Wóz, stojący na torze zewnętrznym, również wychyla się środkiem bocznej ścianki nieco więcej poza szynę. Wielkość tego wysunięcia y określa się wysokością odcinka koła o promieniu = promieniowi wewnętrznej szyny toru zewnętrznego R_1 , ściągniętego cięciwą a :

$$y = R_1 - \sqrt{R_1^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2}.$$

Dla tramwajów warszawskich mamy n. p.:

$a = 2000$ mm.; $e = 1525$ mm.; $Dx = 3935$ mm.; $a = 2200$ mm.;
 otrzymamy więc dla $R = 18$ m.:

$$OC = 18000 - \frac{1525}{2} = 17237,5; \quad BC = \frac{a}{2} = 1000;$$

$$OB = \sqrt{17237,5^2 - 1000^2} = 17208;$$

$$BD = 1950 - \frac{1950 - 1525}{2} = 1737,5;$$

$$OD = 17208 + 1737,5 = 18945,5;$$

$Ox = \sqrt{18945,5^2 + 3935^2} = 19350$ mm., a ponieważ promień zewnętrznej szyny $= 18000 + \frac{1525}{2} = 18762,5$, to punkt x wystaje poza szynę o $19350 - 18762,5 = 587,5$ mm.

R_1 nie znamy, gdyż będzie on zależny od szerokości międzytorza, którą właśnie mamy oznaczyć; mała jednak różnica w jego wielkości nieznaczną tylko spowoduje omyłkę. Przyjmujemy przeto, iż będzie on równy promieniowi zewnętrznej szyny wewnętrznego łuku, zwiększonemu o normalne międzytorze i różnicę obliczonego wystawania punktu x i normalnego wystawania wozu, a zatem:

$$R_1 = 18762,5 + 1525 + 587,5 - \frac{2200 - 1525}{2} = 20537,5,$$

a okrągło licząc 20600 mm.

$$y = 20600 - \sqrt{20600^2 - \left(\frac{2000}{2}\right)^2} = 23,5 \text{ mm.}$$

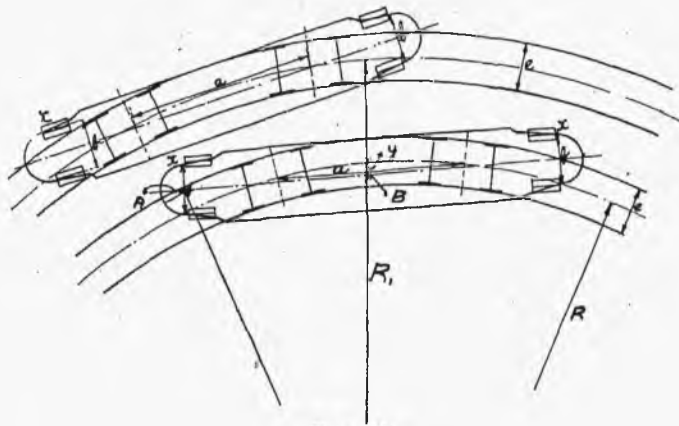
normalna więc szerokość między torami musi być zwiększona o:

$$587,5 - \frac{2200 - 1525}{2} + 23,5 = 273,5 \text{ mm.}$$

i będzie wynosić $1525 + 273,5 = 1828,5$ mm.

W rzeczywistości zwiększono jeszcze tak obliczone międzytorze, a to dla trudności, jaką przedstawia dla przechodnia zorjentowanie się w położeniu, jakie zajmą elektrowozy i uczyniono je na łukach = 1875 mm.

b) Dla wozów cztero-osiowych na dwu wózkach.



Rys. 78.

a = odległość między czopami obrotowymi wózków

AB = odległość punktu x od środka wozu

R_1 = promień osi toru zewnętrznego

inne oznaczenia, jak poprzednio.

$$y = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2}$$

$$OA = \sqrt{OB^2 + AB^2} \quad OB = R - y.$$

Punkt A odchyli się od osi toru o $OA - R$.

Punkt x wystawać będzie poza oś toru o $OA + \frac{b}{2} - R^*$

*) Ściśle rzut $\frac{b}{2}$ na OA , co jednak stanowi małą różnicę.

a zatem więcej jak najszersze miejsce wozu na linii prostej o:

$$s = OA + \frac{b}{2} - R - \frac{d}{2}$$

Środek wozu znajdującego się na torze zewnętrznym odchyli się od jego osi o:

$$y_1 = R_1 - \sqrt{R_1^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2}$$

Normalne więc międzytorze będziemy musieli zwiększyć o $s + y_1$.

Jeżeli n. p.:

$a = 4000$ mm.; $e = 1525$ mm.; $d = 2200$ mm.; $b = 1950$ mm.;

$AB = 5500$ mm.; normalne międzytorze = 1525 mm.,

to dla $R = 18000$ mm.:

$$y = 18000 - \sqrt{18000^2 - \left(\frac{4000}{2}\right)^2} = 100 \text{ mm.}$$

$$OB = 18000 - 100 = 17900 \text{ mm.}$$

$$OA = \sqrt{17900^2 + 5500^2} = 18720 \text{ mm.}$$

$$s = 18720 + \frac{1950}{2} - 18000 - \frac{2200}{2} = 595 \text{ mm.}$$

R_1 przyjmujemy = $R + e +$ normalne międzytorze + s ;

$R_1 = 18000 + 1525 + 1525 + 595 = 21645$, a okrągło = 21700 mm.:

$$y_1 = 21700 - \sqrt{21700^2 - \left(\frac{4000}{2}\right)^2} = 90 \text{ mm.}$$

Międzytorze więc musimy rozszerzyć o $595 + 90 = 685$ mm., czyniąc je = 2210 mm.

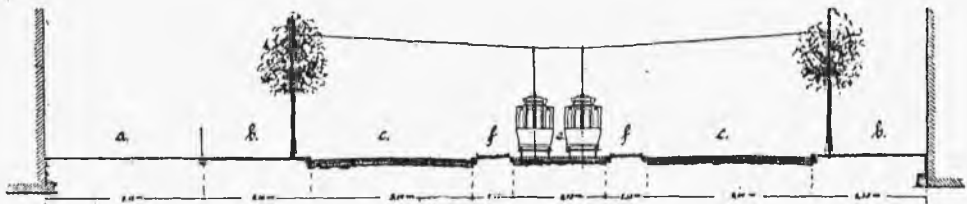
3) Miejsce ułożenia torów na ulicy. Tory lub tor można ułożyć na środku lub po bokach ulicy, obok chodników. Gdzie to jest tylko możliwe, tam zdaniem naszym zawsze jest lepiej układać tory na środku ulicy. Takie ułożenie torów utrudnia wprawdzie na przystankach dostęp do wagonów, ale umożliwia natomiast rozwijanie znacznie większej prędkości. Jeżeli bowiem tor ułożony jest obok chodników, to musi motorniczy zawsze być na to przygotowany iż ktoś z przechodniów może niespodziewanie zejść na ulicę, chcąc n. p. przejść na drugą jej stronę, przyczem jednym już krokiem znajdzie się w niebezpieczeństwie. Przeciwnie, jeżeli wagon znajduje się na środku ulicy, to motorniczy może zawsze spostrzec już z daleka każdego przechodzącego ulicę i wczasu przestrzec dzwonkiem, lub wreszcie zatrzymać wagon.

Przy ułożeniu torów obok chodników powodują często pojazdy i wozy, podjeżdżające do chodników, zatrzymania i przeszkody w ruchu.

Wyżej powiedziane nie dotyczy naturalnie dróg podmiejskich i przedmieść, gdzie chodników właściwych zupełnie niema i gdzie ruch pieszy jest bardzo słaby; tam naodwrot najdogodniej jest tory układać z boku drogi.

Układając tory obok chodników należy naturalnie uwzględnić większe występowanie wagonów poza tor przy przejeżdżaniu łuków i normalną odległość od chodnika w tych miejscach odpowiednio zwiększać.

Gdzie szerokość ulicy na to pozwala, można wytworzyć coś w rodzaju własnego torowiska, jak to uwidocznione jest na rys. 79-tym i 80-tym



Rys. 79-ty.

Można także, jak to zrobiono n. p. w Piotrogradzie i Kijowie, zabrukowywać międzytorza tańszym i gorszym brukiem, jak resztę ulicy, n. p. kamieniem przy drzewie lub asfalcie; skłania to wozy i pojazdy do unikania jazdy wzdłuż torów, do czego zwykle woźnice są bardzo skłonni.



Rys. 80-ty.

Jeszcze lepsze wyniki daje jednak wytworzenie oddzielnego torowiska obsianego trawą i odgradzonego od reszty ulicy niskimi barjerkami. Szyny stosuje się wtedy oczywiście typu Vignolowskiego na podkładach, cała więc budowa staje się o wiele tańszą, a utrzymanie łatwiejszem. Na skrzyżowaniach ulic, oraz ewent. pomiędzy nimi,

urządza się przejazdy, względnie przejścia, układając w tych miejscach szyny rowkowe zagłębione do wysokości główki w bruku.

Urządzenia takie widzimy na rys. 81-szym i 82-gim.



Rys. 81.

Szyny typu Vignolowskiego zapewnią już same przez się mniejsze zużycie energii, trawniki zaś zapobiegają powstawaniu pyłu przy prze-



Rys. 82.

jeżdżaniu pociągu, co znowu korzystnie wpływa na zużycie energii (czystość szyn), oraz trwałość obręczy kół, szyn i wogóle urządzeń wagonowych. Ponieważ tory są dla pojazdów i przechodniów dostępne tylko na skrzyżowaniach ulic, gdzie urządzone są przystanki, przeto można rozwijać znacznie większe prędkości do 30-tu, a nawet więcej km. g., regularność zaś ruchu znacznie wzrasta. Trawniki powinny być starannie utrzymane, a trawa krótko strzyżona tak, aby nigdy nie wystawała ponad główkę szyn.

Przy normalnej szerokości wozów tramwajowych, t. j. 2200 mm., oraz zachowaniu przestrzeni 400 mm. między krzyżującymi się wozami i 300 mm. po obu stronach, wynosi szerokość torowiska dla toru podwójnego 5,4 m.; takie więc ułożenie torów może być zastosowane już przy szerokości jezdni 15—16 m., ewent. nawet mniejszej. Wobec wielkich korzyści, jakie to ułożenie daje, należałoby zawsze dążyć do jego zastosowania, mając je na widoku przy projektowaniu nowych ulic.

Takie ułożenie torów na własnym torowisku stanowi już właściwie przejście od zwykłych tramwajów do kolei pod- lub nadziemnych o wielkiej prędkości i może w wielu wypadkach zastąpić to nader kosztowne urządzenia.

Dalszym stopniem rozwoju, niekiedy stosowanym, jest zupełne uniknięcie skrzyżowań ulic w poziomie przez zagłębienie tu torów w wykop, względnie tunel, lub podniesienie i przejście ponad ulicą mostem; pozwala to na rozwijanie jeszcze większych prędkości.

4) Łuki. Wobec konieczności zastosowania się do profilu ulic, względnie dróg, wypada przy tramwajach stosować łuki o daleko mniejszym promieniu niż przy kolejach. Jak to już widzieliśmy, zwiększa się dodatkowy opór łuków ze zmniejszającym się promieniem; równocześnie rośnie i starcie szyn, wobec czego należy zawsze starać się stosować możliwie największe promienie. Wszystko tu zależeć będzie od doświadczenia, umiejętności i wprawy trasującego linję.

Jeżeli osie wozu są ze sobą sztywno połączone, a zatem są do siebie stale równoległe, to nie mogą się obie ustawić w kierunku promienia łuku; płaszczyzna przeto kół nie stanowi stycznej do łuku, lecz się od niej odchyła o kąt α , tem większy, im mniejszy jest promień łuku R i większa odległość między osiami a rys. 83-ci.

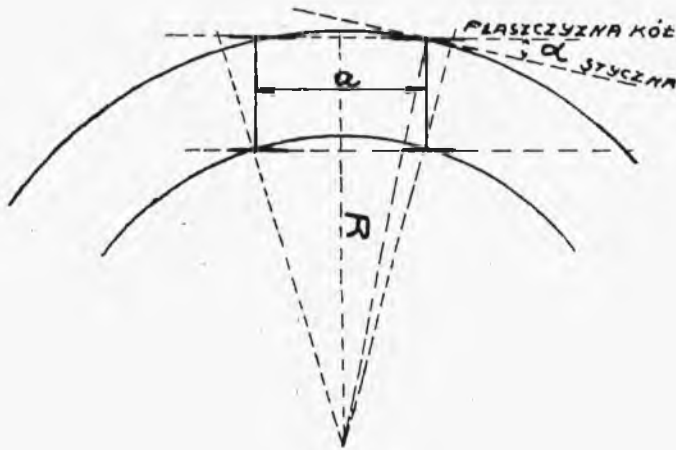
Obrzeża kół biegnących po szynie zewnętrznej będą cisnęły na bok główki szyny, koła zaś biegnące po szynie wewnętrznej, na brzeg rowka (przeciwszynę) powodując większe starcie, jak na linii prostej, tak samej szyny, jak i obrzeży. Poza to muszą koła zewnętrzne przebyć dłuższą drogę, jak wewnętrzne, że zaś ilość obrotów ich jest z konieczności jednakowa, przeto musi nastąpić sunięcie się kół zewnętrznych oraz

ślizganie wewnętrznych, co znowu powoduje zwiększenie tak zużycia pracy, jak i starcia szyn i obręczy.

Przy zbyt małym promieniu, względnie zbyt wielkiej odległości między osiami (rozstawie) następuje wreszcie zupełne zaklinowanie obrzeża w rowku i wóz wogóle przez dany łuk przejechać nie może.

Rzut oka na rys. 83-ci pokazuje, iż pewne rozszerzenie toru na łukach, jak to bywa zawsze stosowane przy kolejach, ułatwia przejazd. Również zmniejsza tarcie i rozszerzenie żłobka, stosowane przy szynach rowkowych.

Przy wjeździe na ostry łuk, zwłaszcza z większą prędkością, powstaje zawsze dość silne uderzenie czy też wstrząśnienie, szkodliwe tak

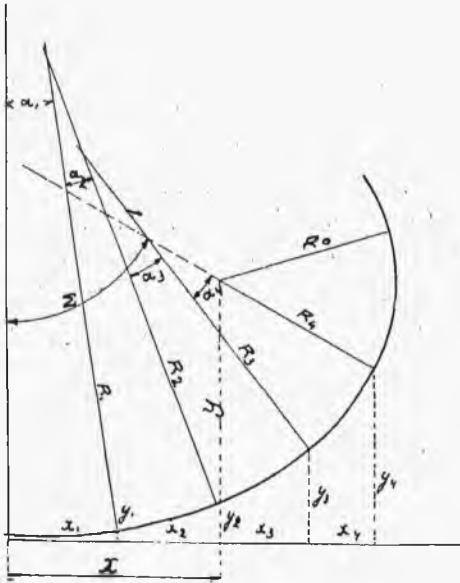


Rys. 83.

dla szyn, jak i wozu i niemiłe dla podróżnych. Uderzenia takie łagodzą znacznie łuki przejściowe. Jeżeli n. p. ma być ułożony łuk o promieniu 20 m., to układa się najpierw kawałek łuku o promieniu n. p. 100 m., potem 50 m., a na koniec dopiero 20 m. Im więcej będzie łuków pośrednich, t. j. im mniejsza różnica następujących po sobie promieni, tem łagodniej będzie mógł wóz przejeżdżać. Najlepiej tym warunkom odpowiadałaby lemniskata, gdyż promień krzywizny tej krzywej zmniejsza się w odwrotnym stosunku do odległości od jej początku, mierząc po cięciwie.

Praktyczne jednak wykonanie lemniskaty byłoby zbyt trudne, wobec czego zastępuje się ją szeregiem łuków o zmniejszających się promieniach i równych cięciwach.

Jeżeli pierwszemu łukowi na początku krzywej, rys. 84-ty, odpowiada kąt środkowy α , to kąt ten środkowy przyjmujemy jako miarę powiększania się dalszych kątów.



Rys. 84.

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \alpha_1 + \alpha_1 = 2\alpha_1, \\ \alpha_3 &= 3\alpha_1, \\ \alpha_4 &= 4\alpha_1 \text{ i t. d.} \end{aligned}$$

Ponieważ wszystkie cięgiwy mają być równe a , przeto możemy wyrazić promienie R :

$$R_1 = \frac{a}{2 \cdot \sin \frac{\alpha_1}{2}};$$

$$R_2 = \frac{a}{2 \cdot \sin \frac{\alpha_2}{2}} \text{ i t. d.}$$

$$x_1 = R_1 \sin \alpha_1;$$

$$x_2 = (R_1 - R_2) \sin \alpha_1 + R_2 \sin (\alpha_1 + \alpha_2);$$

$$x_3 = (R_1 - R_2) \sin \alpha_1 + (R_2 - R_3) \sin (\alpha_1 + \alpha_2) + R_3 \sin (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3);$$

$$y_1 = R_1 - R_1 \cos \alpha_1;$$

$$y_2 = R_1 - (R_1 - R_2) \cos \alpha_1 - R_2 \cos (\alpha_1 + \alpha_2);$$

$$y_3 = R_1 - (R_1 - R_2) \cos \alpha_1 - (R_2 - R_3) \cos (\alpha_1 + \alpha_2) - R_3 \cos (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) \text{ i t. d.}$$

$$X = x_4 - R_0 \sin (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4);$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = \Sigma = \text{kąt obrotowy krzywej przejściowej};$$

$$X = x_4 - R_0 \sin \Sigma;$$

$$Y = y_4 - R_0 (1 - \cos \Sigma).$$

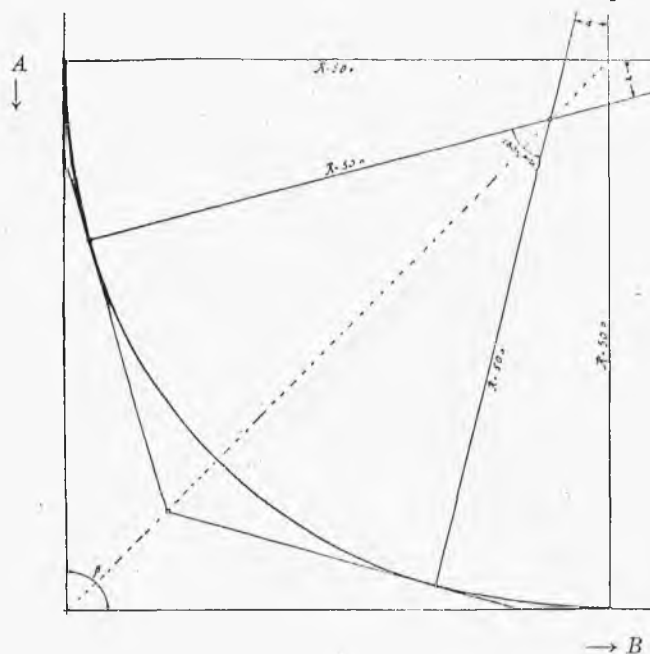
Tak X jak i Y , spólrzędne początku krzywej zależne są od X_4 i Y_4 czyli od promienia R_4 oraz od R_0 , t. j. promienia krzywej głównej.

Co do wyboru wielkości a , t. j. długości cięgiw łuków, to pamiętać należy, iż przejście wozu po tak zbudowanej krzywej będzie wtedy najładniejsze, kiedy tylne i przednie koła przechodzą równocześnie granicę sąsiednich łuków. Jeżeli więc nazwiemy rozstaw kół b , to najładniejszy przejazd nastąpi, gdy:

$$a = b \text{ lub } \frac{b}{a} = \text{liczbie całkowitej.}$$

W praktyce, zwłaszcza przy tramwajach, nie pozwala jednak często brak miejsca nawet na zastosowanie takiej uproszczonej krzywej; zastępuje się ją wtedy jedną tylko krzywą przejściową. Tak np. ułożono w Warszawie wszędzie jedną tylko krzywą przejściową o promieniu 50 m. i długości 5--9 m. z każdej strony łuku głównego. Przejściowe

te łuki okazały się zupełnie dostateczne, a wozy przechodzą po najostrzejszych nawet łukach dzięki ich zastosowaniu zupełnie łagodnie.



Rys. 85.

Łuk o promieniu 18 m. z łukami przejściowymi o promieniach 50 m.

Dla lepszego przeciwdziałania sile odśrodkowej powinna być szyna zewnętrzna ułożona na łukach wyżej od wewnętrznej. Wywyższenie to powinno być tem większe, im ostrzejszy jest łuk i większa prędkość jazdy.

Bardzo dobre wyniki daje wzór empiryczny:

$$h = \frac{e \cdot v^2 \cdot 1000}{127 \cdot R}$$

h = podwyższenie szyny zewnętrznej nad wewnętrzną w mm.

e = szerokość toru w metrach

R = promień łuku w metrach.

v = prędkość w kil. na godz.

Wzór ten nie daje się jednak przeważnie zastosować dla torów ułożonych na ulicach.

Dla promienia np. $R = 20$ m., prędkości $v = 10$ kil. godz. i $e = 1525$ mm. otrzymalibyśmy:

$$h = \frac{1,525 \cdot 10^2 \cdot 1000}{127 \cdot 20} = 60 \text{ mm.}$$

co jest ze względu na profil ulicy zwykle niewykonalne. Najczęściej wypada zadowolić się wywyższeniem 30—40 mm. Zdarza się jednak, iż profil ulicy nie tylko nie pozwala na zastosowanie odpowiedniego wywyższenia, ale przeciwnie, wprost wymaga ułożenia szyny zewnętrznej niżej od wewnętrznej. Jeżeli np. tor ułożony z lewej strony ulicy przechodzi łukiem na stronę jej prawą, to szyna lewa leży z powodu profilu ulicy niżej od prawej, która stanowi teraz szynę zewnętrzną łuku, powinna przeto być ułożoną wyżej. Ułożenie takie jest z gruntu fałszywe i wywołuje zawsze przy przejeżdżaniu silne uderzenia i szarpięcia a częstokroć nawet wykolejenia. Toteż należy takiego położenia starannie unikać, chociażby kosztem przebrukowania części ulicy.

Aby zastąpić wywyższenie zewnętrznej szyny, bywają dość często układane na zewnętrznej stronie łuków szyny specjalne z płytszym rowkiem; większość jednak fachowców jest stanowczo takim szynom specjalnym przeciwna. W szynie takiej bowiem toczy się koło nie na obrzeżu i główce, lecz na obrzeżu i dnie rowka, powodując tem anormalne starcie szyny i obrzeża, i zwiększenie zużycia pracy.



Rys. 86.

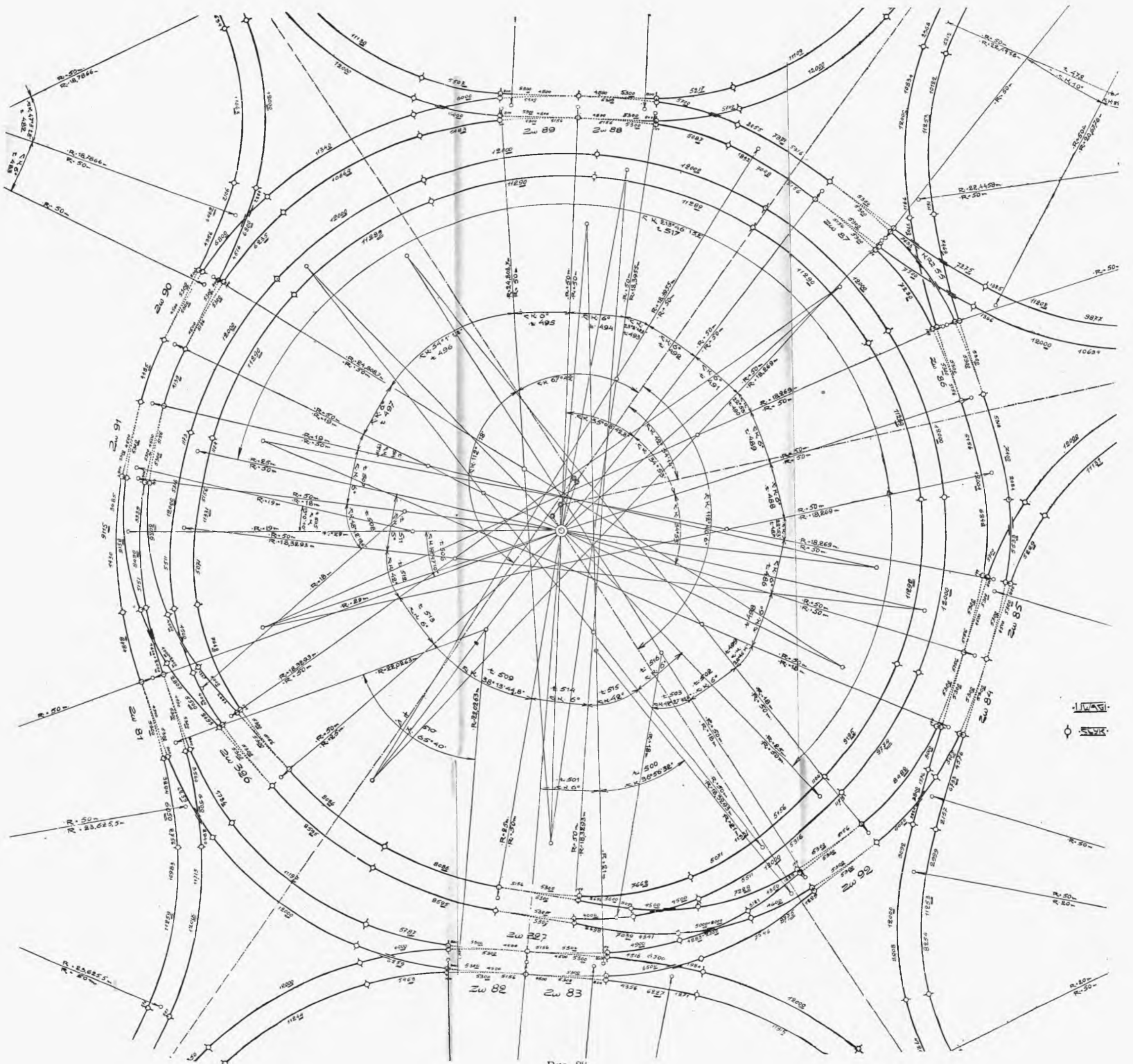
Jeżeli dwa łuki w przeciwnym kierunku muszą być ułożone jeden po drugim, to należy koniecznie pomiędzy nimi pozostawić linię prostą długości conajmniej równej rozstawowi kół, a o ile możliwe jeszcze dłuższą.

5) Rozjazdy, odgałężenia, wjazdy, zakończenia linii. Na końcu linii dwutorowych, tam, gdzie wozy zakończywszy swój kurs zawracają z powrotem, musi być dana możliwość przejechania z toru na tor. Najprostszym rozwiązaniem kwestji jest ułożenie zwykłej zwrotnicy, jak na rys. 86-tym.



Rys. 87.

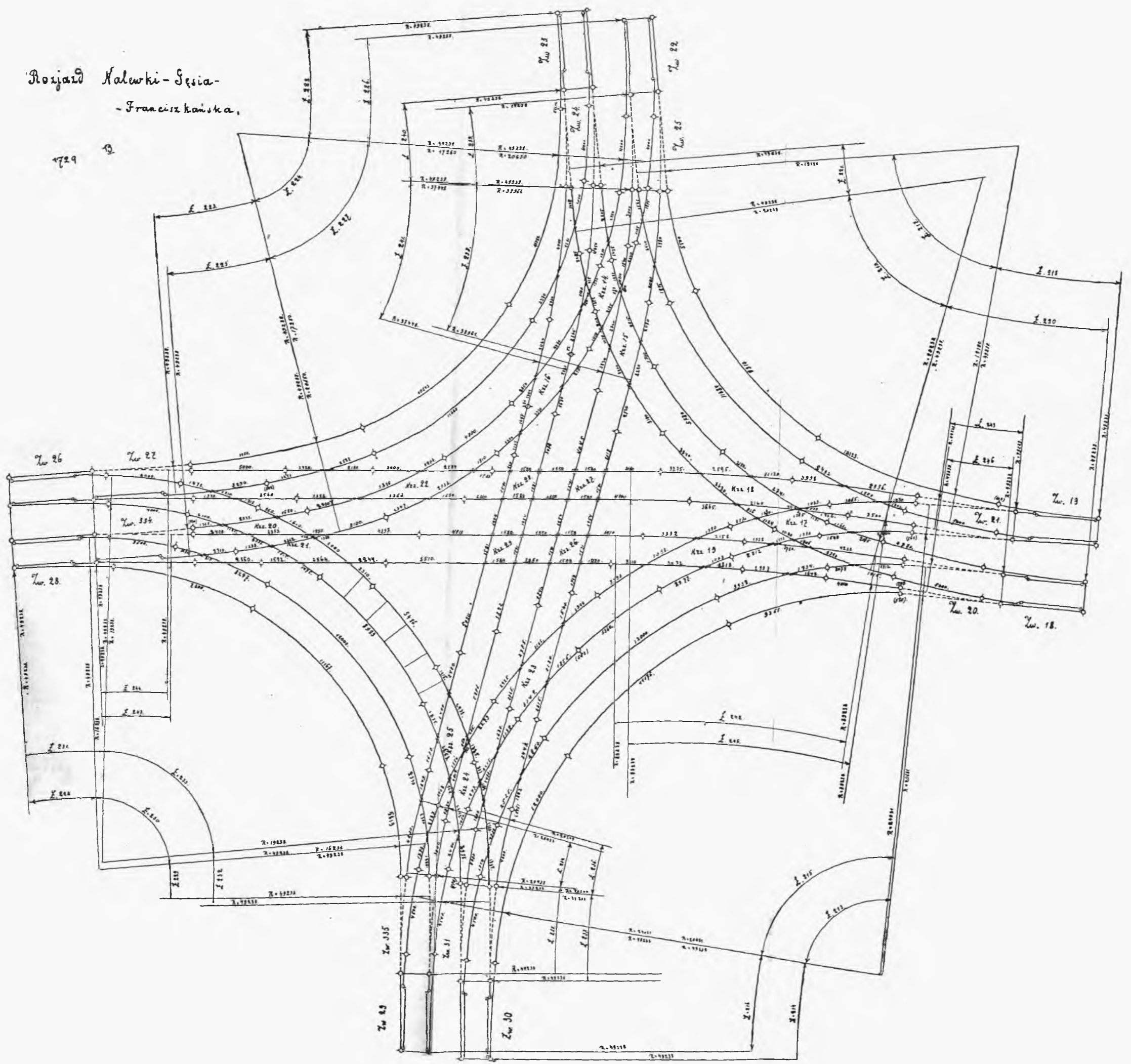
Jeżeli jednak na danej linii mają chodzić wozy doczepne, to zwrotnica taka nie jest wystarczająca; wóz doczepny musi się zawsze znajdować za wozem motorowym, tu zaś musiałby chyba być przepychany ręcznie, aby to umożliwić. W takich wypadkach trzeba stosować konstrukcje bardziej złożone, jak n. p. na rys. 87-ym.



Rys. 88.

Rozząd Kalwki-Sesia-
-Franciszkańska,

729



Rys. 89.

Wóz motorowy pozostawia wóz doczepny przy *A*, sam zaś jedzie dalej do *B*, gdzie zmieniawszy kierunek jazdy wraca do *C*; tu znowu zmienia kierunek jazdy i powraca do *A* po wóz doczepny, zabiera go i zmieniawszy raz jeszcze kierunek jazdy jedzie przez *C* w dalszą drogę.

Rzecz się jeszcze bardziej komplikuje, jeżeli w punkcie krańcowym spotykają się dwie lub więcej linji, jedne z wozami doczepnymi, drugie



Rys. 90.

bez, lub jeżeli część linji tam swój kurs kończy, część zaś idzie dalej. Należy wtedy wbudowywać cały szereg zwrotnic, skrzyżowań, torów

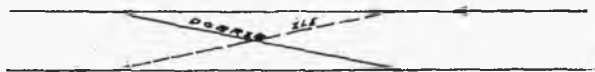
zapasowych i objazdowych i t. p. W każdym jednak razie wymaga zawrócenie z wozem doczepnym dość długiego manewrowania (n. p. w powyższym przykładzie musi wóz motorowy 3 razy zmieniać kierunek jazdy, wóz doczepny zaś należy odczepić, a potem znowu przyczepić) połączonego ze znaczną stratą czasu. Toteż lepiej jest zawsze, o ile tylko na to pozwala miejsce, zbudować pentlicę objazdową, pozwalającą na zawrócenie wozu bez zmiany kierunku jazdy (przekładanie pałaka, przechodzenie motorniczego na drugi pomost i t. p.) i bez odczepiania wozu doczepnego. Pentlica taka dwutorowa połączona z paru zwrotnicami pozwala na wykonywanie wszelkich manewrów, rys. 88-my.

Na odgałęzieniach i skrzyżowaniach linii dobrze jest zawsze dać możliwość jazdy w kilku kombinacjach; ułatwia to znacznie późniejszą eksploatację, umożliwiając wprowadzenie nowych, z początku nieprzewidzianych, linii eksploatacyjnych i ułatwia skierowywanie wozów innymi drogami w razie chwilowych zatarasowań ulic. Z tego powstają często skomplikowane rozjazdy, których dobre zaprojektowanie wymaga dużej wprawy i umiejętności. Tego rodzaju rozjazdy dla dwu krzyżujących się ulic widzimy n. p. na rys. 89-ym i 90-ym.

Dobre zaprojektowanie wjazdów do remiz wymaga również wielkiej znajomości rzeczy, wprawy i uwagi; mylne zaprojektowanie może się później fatalnie odbić na eksploatacji. Głównie należy o tem pamiętać, aby każdy tor remizy był dostępny z każdego toru dojazdowego, następnie aby wozy mogły się łatwo wymijać (tak, aby n. p. wóz stojący w remizie jako czwarty mógł wyjechać na miasto przed pierwszym); pozatem aby wozy mogły wyjeżdżać szybko, nie tłocząc się na jednym torze i t. p. Powstają skutkiem tego nader skomplikowane urządzenia pojęcie o nich daje n. p. rys. 91-szy.

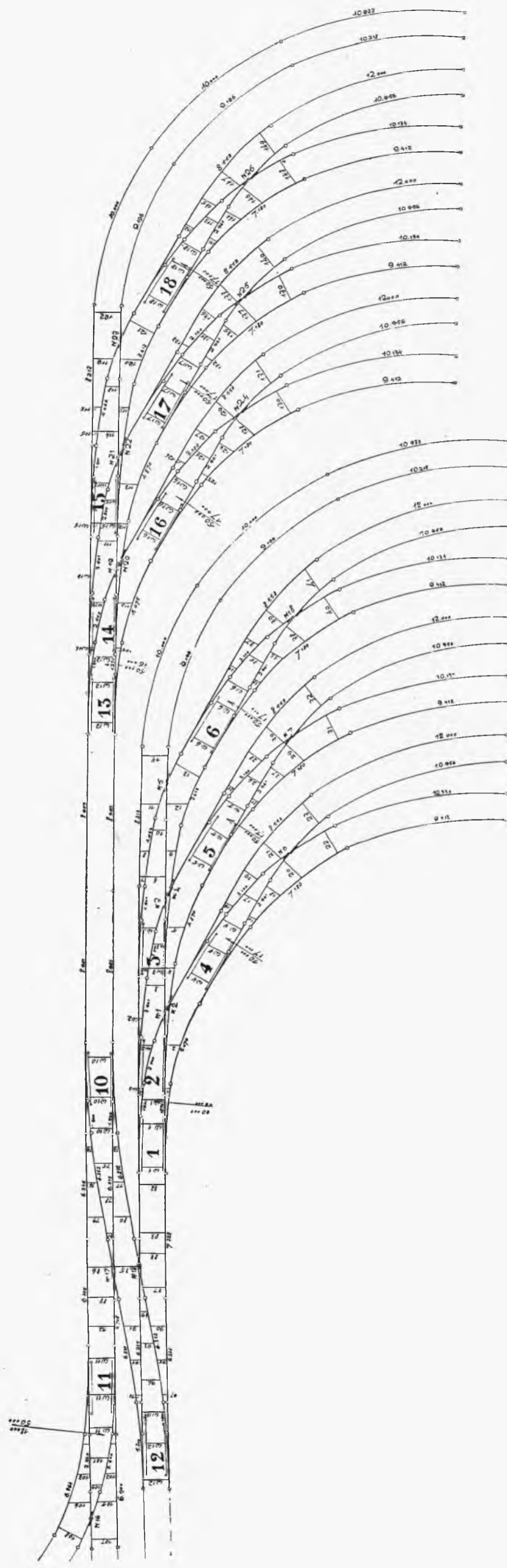
Dla umożliwienia zawracania ewent. zepsutych wozów w drodze, lub czasowego wracania wozów nie na końcu linii (w razie n. p. zepsucia linii) należy przy liniach dwutorowych zawsze ułożyć co pewną przestrzeń zwrotnice i linje, pozwalające przejeżdżać z jednego toru na drugi.

Należy przytem zawsze układać zwrotnice tak, aby wozy nie wjeżdżały na nie od strony iglicy a więc tak, jak to oznaczone na rys. 92-im linią pełną.

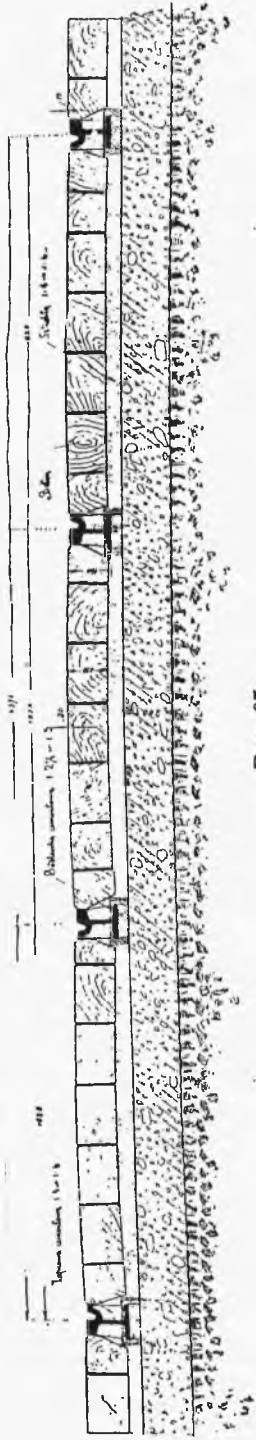


Rys. 92.

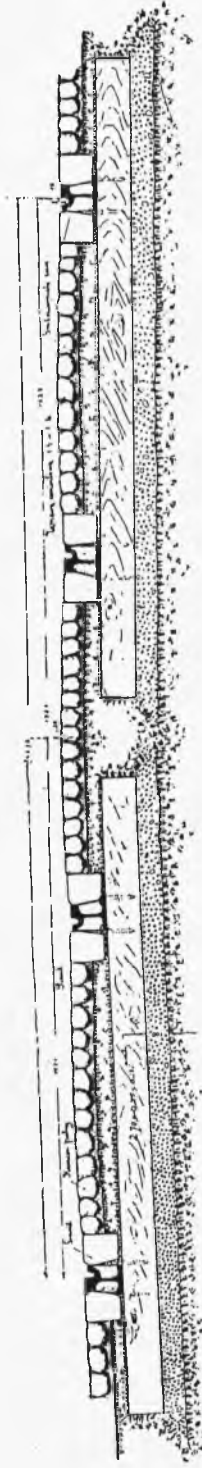
Gdyby zwrotnica była ułożona tak, jak to oznaczone linią kropkowaną, to wóz, wjeżdżając na ostre iglicy, musiałby zawsze zwalniać biegu, czego nie potrzebuje robić jadąc w kierunku przeciwnym; pozatem tak ułożona zwrotnica ściera się znacznie więcej od ułożonej prawidłowo.



Rys. 91.



Rys. 95.



Rys. 94.

ROZDZIAŁ VII.

Budowa spodnia.

Tam, gdzie tory mają być ułożone na torowisku własnem, układa się je na żelaznych lub drewnianych podkładach, tak, jak to się robi dla torów kolejowych; ten więc sposób ułożenia nie wymaga specjalnego opisu.

Również i przy układaniu na drogach bitych, a często i na ulicach o prostym bruku bez podłoża betonowego, dają się zastosować podkłady, które stanowią bądź co bądź jeden z najlepszych i najpewniejszych, a przytem najtańszych rodzajów budowy spodniej. Podkłady przeto należy stosować gdzie się tylko da. W Warszawie n. p. ułożono około 10 kil. toru podwójnego na podkładach dębowych, rys. 93-ci.

Podkłady ułożono co 800 mm. mierząc od osi do osi podkładu; złącza szyn wiszą między dwoma podkładami rozstawionymi na odległości 600 mm. Podkłady są podbite 100 mm. warstwą żwiru gruboziarnistego rzecznoego, sama szyna zaś pomiędzy podkładami podbita jest piaskiem. Dla zabezpieczenia od rdzewienia boki szyny wyprawione są mieszaniną cementu i piasku w stosunku 1:5 — 1:4.

Również dobrą, trwałą i niedrogą budową spodnią, dającą się jednak zastosować tylko na ulicach bez podłoża betonowego, jest budowa polegająca na ułożeniu szyn na warstwie kamieni i podbiciu ich żwirem.

Pod każdą szyną, na całej jej długości wykopuje się rów 40—50 cm. szeroki i 25—35 cm. głęboki. Rów ten zapełnia się następnie układając tam warstwę tłuczonego kamienia zasypaną grubym żwirem. Potem układa się szyny i podbija je starannie 10 cm. grubą warstwą gruboziarnistego żwiru. Przy starannem wykonaniu daje taka budowa spodnia jaknajlepsze rezultaty. Którą więc z tych dwu budów spodnich, podkłady, czy kamień, należy zastosować, o tem rozstrzygają wyłącznie stosunki miejscowe, jako to ceny podkładów, kamienia, żwiru i t. p.

Na ulicach zabrukowanych na podłożu betonowem, muszą jednak i szyny być ułożone na betonie. Ułożenie szyny bezpośrednio na betonowem podłożu ulicy, względnie zatopienie jej w niem jest niemożliwe, gdyż wszelka naprawa, n. p. dopasowanie rozluźnionego złącza lub wymiana pękniętej szyny, wymagałaby burzenia dużej przestrzeni spodniej budowy ulicznej, byłaby zatem nadzwyczaj trudna i kosztowna.

Z góry tu zaznaczyć musimy, iż kwestji zupełnie zadowolającego sposobu ułożenia torów na podłożu betonowem nie można jeszcze uważać za ostatecznie rozwiązaną. Bywają tu stosowane przeróżne sposoby, z których każdy ma jednak, obok niewątpliwych zalet, również i niewątpliwe wady; powstają przeto wciąż nowe sposoby, przeprowadzane są rozliczne próby i t. d.

Najprostszy i swego czasu najbardziej rozpowszechniony sposób ułożenia torów na betonie widzimy na rys. 94-tym.

Na gotowym podłożu betonowym (ulicy) układa się szyny na drewnianych klinach tak, aby pomiędzy podłożem a stopą szyny pozostawała przestrzeń 3—4 cm. Następnie szyny prostuje się, sprawdza szerokość toru, zaciska złącza i reguluje wzajemną wysokość szyn, dostosowując ją jednak do profilu ulicy tak, aby różnica wysokości od szyny do szyny nie przekraczała 3 cm. Powoduje to, zwłaszcza na wąskich ulicach i ułożeniu toru przy chodniku, dość znaczne różnice w odległości pomiędzy szyną a podłożem, to ostatnie bowiem, odpowiadając profilowi ulicy, daje różnice kilkucentymetrowe; takie różnice w wysokości szyn spowodowałyby bezwzględnie anormalne starcie szyny zewnętrznej.

Następnie szyny przytwierdza się do podłoża przy pomocy haków żelaznych, wbitych w beton. Wzdłuż szyny, po obu stronach stopy, formuje się rowki z piasku, przygotowując jednocześnie mieszaninę, złożoną z 2—3 części piasku i jednej części cementu, rozrobionych wodą tak, aby powstała ciecz płynna. Po starannem oczyszczeniu tak podłoża, jak stopy i boków szyny, podlewa się tą cieczą szyny tak, aby przestrzeń pomiędzy stopą a podłożem była zupełnie wypełniona, a ciecz sięgała nieco ponad stopę szyny. Po dostatecznym stwardnieniu usuwa się rowki piaskowe, boki zaś szyny wypełnia mieszaniną cementu z piaskiem 1 : 5.

Sposób ten podlewania okazał się na rozjazdach, oraz tych ulicach, gdzie prędkość jazdy jest niewielka, względnie dość trwałe. Natomiast na ulicach, gdzie wozy jeżdżą prędko, a zwłaszcza przy bruku drewnianym następuje bardzo prędko zupełne rozkruszenie i rozdrobnienie, a następnie wyciśnięcie, względnie wymycie podlewki przez przesiąkającą wodę. Skutkiem tego wznaga się oczywiście wibracja szyn, tor osiada i wykrzywia się, przylegający bruk rozluźnia się i niszczy.

Na większości urządzeń tramwajowych, między innymi i przy tramwajach warszawskich, stwierdzono jaknajfatalniejsze wyniki tego rodzaju podlewki. Toteż, w ostatnich zwłaszcza czasach, zostało tego rodzaju ułożenie szyn jednomyślnie potępione. Dalszą kardynalną wadą tego systemu jest to, iż podlewka musi twardnieć conajmniej 10—14 dni. Przy budowie ma to wprawdzie nie tak wielkie znaczenie, utrudnia zato znacznie wykonywanie wszelkiego rodzaju poprawek; lada wymiana szyny wymaga przerwy w ruchu na danym torze na 10—14 dni, co jest często wprost niemożliwe do wykonania,

Rozkruszenie podlewki betonowej przypisywane bywa głównie zbyt małej elastyczności betonu i wibracjom szyn; to też rozpoczyna się ono zwykle pod złączami, gdzie wibracje są najsilniejsze. Nie bez znacznego

jednak, zdaniem naszym, wpływu musi tu być i kruszące działanie prądu elektrycznego. Ciekawe pod tym względem są doświadczenia Kurt Lubowsky'ego, ogłoszone w *Elektrotechnische Zeitschrift* 1914 r. Nr. 1 i 2.

Doświadczenia te wykazują, iż dłuższe przechodzenie prądu przez konstrukcje żelazo-betonowe i przez beton działają na beton rozkruszająco; rozkruszające to działanie daje się zauważyć już po przejściu 1,5 ampero-godzin na dm^2 powierzchni.

Opór zupełnie suchego bloku betonowego o grubości 10 cm. wynosi, podług K. Lubowsky'ego, 12000 omów na decymetr kwadratowy powierzchni.

Dla betonu jednak 34-dniowego (a zatem znacznie lepiej wysuszonego, jak podlewka pod torami) wynosi ten opór już tylko około 770 omów.

Oczywiście, iż znacznie gorzej wyschnięty, a przytem leżący w wilgoci beton pod torami może mieć jeszcze mniejszy opór.

Przy szerokości stopy szyny = 160 mm. wynosi powierzchnia przylegania toru podwójnego na 1000 m. długości $0,16 \cdot 4 \cdot 1000 = 640 \text{ m}^2 = 64000 \text{ dm}^2$. Grubość podłoża betonowego wynosi zwykle około 200 mm., opór więc przejściowy do ziemi wyniesie:

$$\frac{770}{64000} \cdot 2 = 0,0240 \text{ oma.}$$

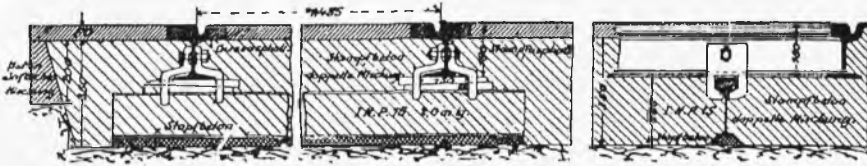
Ponieważ opór jednego kilometra toru podwójnego stanowi zwykle około 0,01 oma, przeto może już dość znaczna część prądu uchodzić przez beton do ziemi, względnie znajdujących się w pobliżu rur żelaznych.

Jeżeli n. p. przyjmiemy, iż obciążenie linii wynosi 7 amp. na 100 metrów, a do ziemi uchodzi tylko 10% prądu, ruch zaś trwa 18 godzin na dobę, to na dobę ujdzie 12,6 ampero-godzin na 100 m. toru, czyli 0,002 amp. godz. na decymetr kwadr. betonu = 0,72 amp. godz. na rok. Szkodliwe więc działanie prądu okazałoby się już po dwu latach, postępując następnie już szybko.

Niezależnie jednak od rozkruszenia podlewki, bruk drewniany, betonowy lub asfaltowy, przylegający do szyn, ulega prędkiemu bardzo zniszczeniu. Przypisując zjawisko to różnicy elastyczności stykających się materiałów, połączonej z wibracją szyn, starano się zaradzić złemu, tworząc z szyn i betonu podłoża jedną całość, któraby tylko razem wibrować mogła.

W tym celu ułożono n. p. w Berlinie część torów na żelaznych

dwu-teownikach jako podkładach, zatapiając je wraz z szynami aż pod samą główkę w betonie, rys. 95-ty.

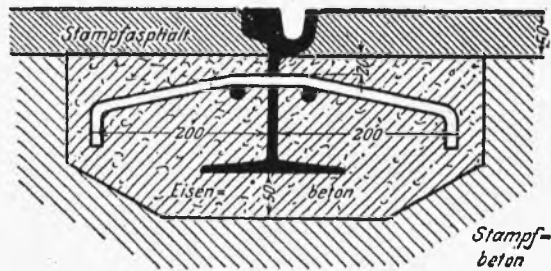


Rys. 95.

Dwu-teowniki ułożono co 4 metry i starannie podbito betonem. Budowa ta spodnia dała dość dobre wyniki: wszelkie jednak poprawki i wymiany są bardzo trudne do uskutecznienia, i nader kosztowne.

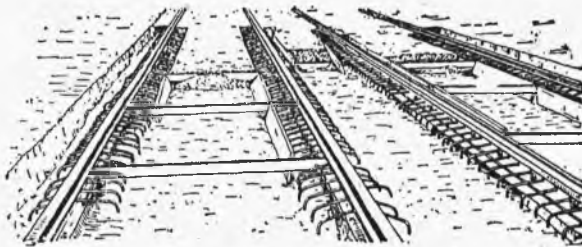
W Norymbergji zastosowano znowu na ulicach asfaltowanych spodnią budowę uwidoczną na rys. 96-tym i 97-mym.

Szyny nie są tu przymocowane ani zatopione w podłożu betonowym, lecz stanowią z blokiem żelazo-betonu jedną całość. W tym celu przeciągnięto przez szyny w odległościach co 150—200 mm. żelazne druty o średnicy 10—14 mm, ciągnąc oprócz tego możliwie blisko szyn równoległe do nich także druty i zatapiając następnie



Rys. 96.

wszystko w betonie. Ta podbudowa miała dać również dobre rezultaty, ale też i tu będą wszelkie wymiany nader kosztowne. Poza tem liczne druty żelazne ułatwiają bezwarunkowo znacznie przejście prądów do ziemi, co może z czasem źle wpłynąć na trwałość betonu.

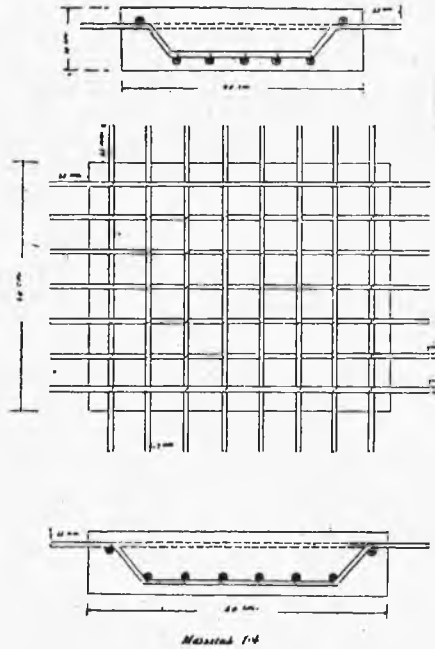


Rys. 97.

98-mym (stosowany między innymi od dłuższego już czasu w Berlinie). polega na ułożeniu i umocowaniu szyn na płytach żelazo-betonowych,

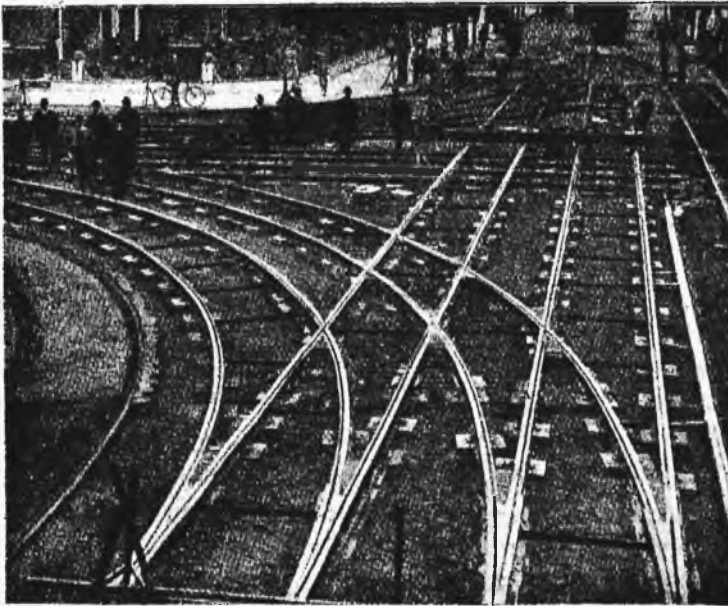
System Reinhardt'a, uwidoczniiony na rys.

Płyty żelazo - betonowe 400 . 400 . 100 mm., lub 500 . 500 . 100 mm. układane bywają co 1 — 1,4 metry; szyny przymocowuje się do nich przy pomocy śrub; same płyty podbija się starannie betonem, zaś ewent. przestrzeń pomiędzy stopą szyny, a płytą podlewa mieszaniną cementu. Skutkiem drutów wystających po bokach płyt, zlewają się one w jedną całość z betonem podłoża ulicy, przymocowane zaś do nich śrubami szyny nie mogą wykonywać żadnych już samodzielnych ruchów. Płyty, wykonywane z wczesną, są doskonale wyschnięte i stwardniałe, a zatem i wytrzymałe. Wymiana szyn nie przedstawia większych trudności.



Model 14

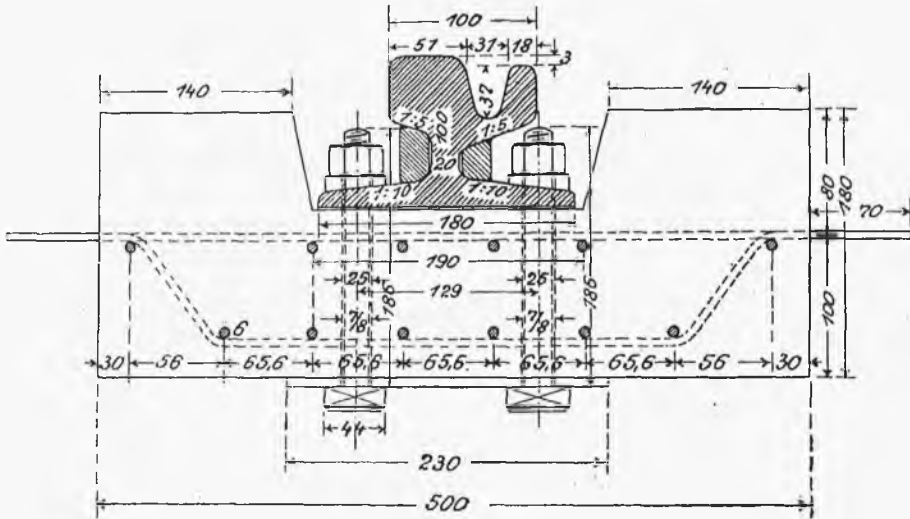
Rys. 98.



Rys. 99.

Na rys. 99-tym widzimy cały rozjazd ułożony na takich płytach.

W ostatnich wreszcie czasach zaczęto w Berlinie robić próby z ułożeniem szyn na podłużnych żelazo-betonowych podkładach systemu Busse-Reinhardt. Wobec wielkiej wytrzymałości podłużnych żelazo-betonowych podkładów zastosowano przy tem specjalny niski i lżejszy profil szyny. Rys. 100-tny i 101-szy uwidoczniają tę konstrukcję.

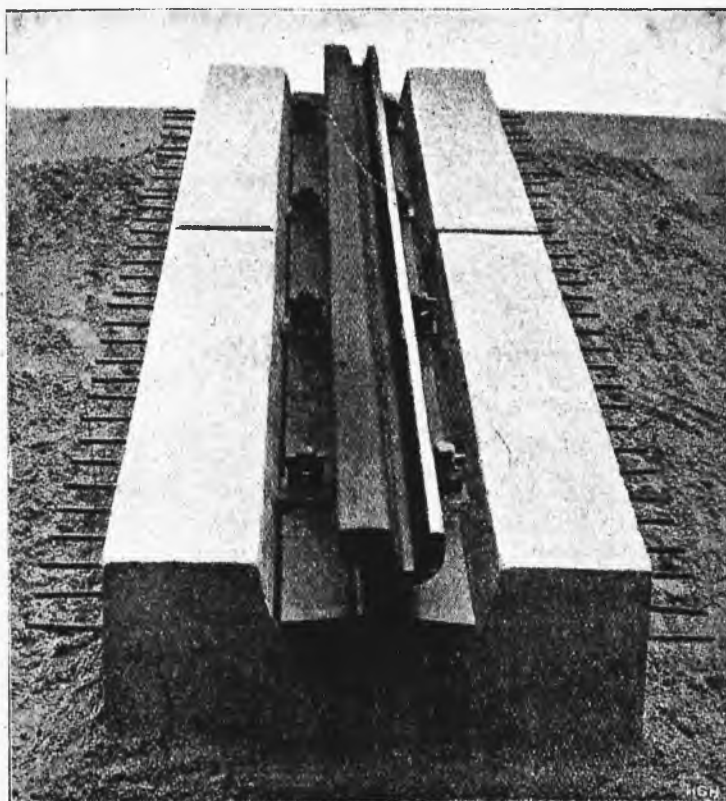


Rys. 100.

Podkłady muszą być starannie podbite lub podlane betonem, przestrzeń zaś pomiędzy szyną, a wystającymi bokami belki żelazo-betonowej wypełniona jest asfaltem; przed ułożeniem smaruje się stopę szyny również lepkiem asfaltem. Żelazo-betonowe belki wiążą się w jedną całość z podłożem betonowym ulicy. Wymiana szyn jest nader ułatwiona, wobec zaś tego, że szyna nie styka się nigdzie ze świeżym betonem, ruch można rozpocząć natychmiast po ułożeniu toru. Jak dotychczas otrzymane wyniki są bardzo korzystne, o trwałości jednak tego sposobu układania niepodobna jeszcze wydać ostatecznego sądu.

W ostatnich czasach zaczęto też zamiast podlewki betonowej stosować mieszaninę asfaltową, a zatem rodzaj betonu asfaltowego. W Warszawie n. p. stosowano następującą mieszaninę:

chemicznie czystego asfaltu	25%
węglanu wapna	10%
piasku i drobnego żwiru. .	65%



Rys. 101.

Podlewka ta jest znacznie od cementowej trwalsza, ale też i droższa. Ponadto ma ona jeszcze tę wielką zaletę, iż tęższe w kilka godzin, tak, iż ruch może być w kilka godzin po ułożeniu otwarty. Wobec większej swej sprężystości nie powinna też tak łatwo podlegać rozkruszeniu.

C Z Ę Ś Ć III.

ROZDZIAŁ VIII.

Sieć zasilająca.

1) **Obliczenie sieci.** Pod nazwą „sieć” rozumiemy wszystkie urządzenia, służące do doprowadzenia prądu elektrycznego od elektrowni do elektrowozów. Przy wszystkich prawie kolejach i tramwajach elektrycznych są szyny użyte jako jeden z przewodników; przeważnie (ale nie koniecznie) bywają one przy prądzie stałym połączone z biegunem ujemnym prądnicy, skutkiem czego utarły się, niewłaściwe zresztą, nazwy sieci zasilającej i sieci powrotnej, pod czem rozumiemy sieć torów i połączonych z nimi przewodów.

Oczywiste jest, że dla obliczeń niema najmniejszego znaczenia czy prąd płynie od elektrowni do elektrowozów przez t. n. sieć zasilającą, a powraca do elektrowni przez tory, czy też naodwrot płynie przez tory, a powraca przez sieć zasilającą. Można więc zachować te wygodne zresztą nazwy sieci zasilającej i powrotnej, pamiętając jednak zawsze, że są to nazwy czysto konwencjonalne.

Wyżej wymienione części sieci, t. j. sieć zasilająca i powrotna, znajdują się w warunkach tak odmiennych, że muszą być zawsze traktowane i obliczane oddzielnie.

Tak sieć zasilająca, jak i powrotna składają się znowu każda z dwu części, a mianowicie przewodów zasilających, względnie powrotnych, i właściwej sieci roboczej; dla sieci powrotnej część tę stanowią połączone ze sobą elektrycznie szyny.

Przekrój przewodów zasilających i powrotnych może być obrany dowolnie i oblicza się na podstawie obranej straty energii lub napięcia. Natomiast przekrój przewodów sieci roboczej nie jest zawsze dowolny, zależy tylko od obranych dla niej strat, lecz zależy zwykle jeszcze i od względów mechanicznych. Straty wreszcie w szynach są określone

przekrojem, względnie oporem obranych szyn i bywają zwykle tak małe, że na obliczenie ogólnych strat poważniejszego wpływu nie wywierają.

Straty jednak napięcia nie mogą tu przekraczać pewnych granic, określonych przepisami dla prądów błądzących; ze względu na te prądy muszą dalej straty we wszystkich przewodach powrotnych być ściśle jednakowe.

Dla obliczenia przekroju przewodów zasilających i powrotnych posługiwać się można rachunkiem na gospodarczość. Obliczenie takie polega, jak wiadomo, na tem, że wynajduje się takie przekroje przewodników, przy których suma kosztów straconej energii, wydatków na utrzymanie i naprawę przewodników oraz amortyzację i oprocentowanie ich kosztu staje się najmniejsza.

Oznaczmy przez:

I = natężenie prądu dla danego przewodnika przy pełnem obciążeniu;

L = długość przewodnika w metrach;

Q = przekrój przewodnika w mm.²;

ω = opór gatunkowy zastosowanego metalu, dla miedzi n. p. 0,0175;

P = koszt jednego metra przewodnika wraz z kosztami ułożenia =
= $a \cdot Q + c$;

c = liczba stała, zależna od rodzaju przewodnika;

C = koszt przyrządów przyłączeniowych dla przewodnika (wyłączniki, bezpieczniki i t. p.);

b = koszt elektrowni na jeden watt;

p_p = odsetki na oprocentowanie i amortyzację kosztu przewodnika oraz jego renowację;

p_e = także dla elektrowni;

T = liczba godzin rocznie, przez jaką przewodnik musiałby być obciążony prądem I , aby straty powstałe w nim były równe stratom w rzeczywistości powstającym w czasie roku;

β = koszt jednej watt-godziny.

Całkowite koszty przesyłania energii dadzą się wyrazić równaniem:

$$K = Q \cdot L \frac{p_p}{100} a + \frac{\omega}{Q} I^2 \cdot L \left(\frac{p_e}{100} b + \beta \cdot T \right) + \frac{p_p}{100} L \cdot c + \frac{p_p}{100} C;$$

równanie to ma kształt: $K = A \cdot Q + B + C \frac{1}{Q}$.

Różniczkując K po Q i zakładając jako warunek minimum, że:

$$\frac{dK}{dQ} = 0, \quad \text{otrzymamy: } \frac{dK}{dQ} = A - C \frac{1}{Q^2} = 0$$

$$Q = \sqrt{\frac{C}{A}}, \quad \text{a wstawiwszy wartości za } C \text{ i } A;$$

$$Q = \sqrt{\frac{I^2 \cdot \omega \cdot L \cdot \frac{p_e}{100} b + \beta T}{L \cdot \frac{p_p}{100} a}} = I \cdot \sqrt{\frac{\frac{p_e}{100} b + \beta T}{\frac{p_p}{100} \cdot \frac{a}{\omega}}}$$

nazwijmy wyraz: $\sqrt{\frac{p_e}{100} b + \beta \cdot T} = Z_e$ liczbą eksploatacyjną, a wyraz:

$$\sqrt{\frac{p_p}{100} \cdot \frac{a}{\omega}} = Z_p \text{ liczbą przewodnika, otrzymamy gospodarczy}$$

przekrój: $Q = I \frac{Z_e}{Z_p} = I \cdot \frac{\text{liczba eksploatacyjna}}{\text{liczba przewodnika}}.$

Z powyższych wzorów daje się łatwo wyprowadzić wzór na gospodarczą stratę napięcia:

$$e = \omega \cdot L \frac{Z_p}{Z_e}; \quad \frac{Z_p}{Z_e} = \frac{e}{\omega L}; \quad Q = I \frac{L \cdot \omega}{e}.$$

Jak widzimy rachunek taki daje przekroje niezależnie od długości przewodnika, straty zaś do tej długości proporcjonalne. Jeżeli więc mamy kilka przewodów zasilających i powrotnych, to otrzymalibyśmy inną stratę napięcia dla każdego z nich, co jest dla przewodów powrotnych zupełnie niedopuszczalne, dla przewodów zaś zasilających w pewnych tylko granicach tak, aby różnice napięć pomiędzy poszczególnymi dzielnicami nie były zbyt wielkie.

Zamiast więc gospodarzej straty napięcia dla każdego przewodu oddzielnie, musimy obliczyć taką średnią stratę dla wszystkich przewodów razem.

Wstawiwszy w równanie:

$$K = Q \cdot L \cdot \frac{p_p}{100} a + \frac{\omega}{Q} I^2 L \cdot \left(\frac{p_e}{100} b + \beta \cdot T \right) + \frac{p_p}{100} (L c + C)$$

$$Q = \frac{L \cdot I \cdot \omega}{e}$$

$$\frac{p_p}{100} \cdot \frac{a}{\omega} = Z_p^2; \quad \frac{p_e}{100} b + \beta T = Z_e^2$$

otrzymujemy:

$$K = \frac{L \cdot I \cdot \omega}{e} \omega \cdot L \cdot Z_p^2 + \frac{\omega}{L \cdot I \cdot \omega} I^2 \cdot L \cdot Z_e^2 + \frac{p_p}{100} (L c + C).$$

a po skróceniach:

$$K = \frac{I \cdot L^2 \cdot \omega^2 \cdot Z_p^2}{e} e + I \cdot Z_e^2 + \frac{p_p}{100} (L c + C)$$

Dla różnych przewodów mamy podobnie:

$$K_1 = \frac{I_1 \cdot L_1^2 \cdot \omega^2 \cdot Z_p^2}{e} + e \cdot I_1 \cdot Z_e^2 + \frac{p_p}{100} (L_1 c + C)$$

$$K_2 = \frac{I_2 \cdot L_2^2 \cdot \omega^2 \cdot Z_p^2}{e} + e \cdot I_2 \cdot Z_e^2 + \frac{p_p}{100} (L_2 c + C)$$

.

$$K_n = \frac{I_n \cdot L_n^2 \cdot \omega^2 \cdot Z_p^2}{e} + e \cdot I_n \cdot Z_e^2 + \frac{p_p}{100} (L_n c + C)$$

$$\Sigma K = \frac{\Sigma (I \cdot L^2) \omega^2 Z_p^2}{e} + e \Sigma (I) Z_e^2 + \frac{p_p}{100} [\Sigma (L) c + C],$$

co możemy przedstawić w kształcie:

$$\Sigma K = A \cdot e + B + \frac{C}{e};$$

średnia strata napięcia stanie się gospodarczą, gdy:

$$e = \sqrt{\frac{C}{A}}.$$

Otrzymamy więc średnią gospodarczą stratę napięcia dla kilku przewodów

$$e_{s.g} = \omega \frac{Z_p}{Z_e} \sqrt{\frac{\Sigma (I \cdot L^2)}{\Sigma (I)}}$$

Jeżeli energii elektrycznej nie wytwarzamy we własnej elektrowni, lecz nabywamy z obcej, względnie, jeżeli większa albo mniejsza strata w przewodach nie wpływa na wielkość elektrowni, co często ma miejsce gdy elektrownia obliczona jest z zapasem, to znikają b i p_e , a Z_e staje się:

$$Z_e = \sqrt{\beta \cdot T}$$

Załóżmy, że drut roboczy obciążony jest równomiernie na całej swej długości prądem α amper. na metr i oznaczmy wielkości odnoszące się do drutu roboczego przez $'$, to możemy, postępując analogicznie, obliczyć długość drutu roboczego o określonym przekroju, zasilanego z jednego przewodu zasilającego. Długość ta będzie:

$$L' g = \sqrt[3]{\frac{(Lc + C) e' g}{a' \cdot \omega \cdot \alpha \cdot n'}}$$

n' ilość przewodów roboczych, zasilanych przez jeden przewód zasilający.

Aby wykonać obliczenie na gospodarczość należy przedewszystkiem znać straty energii, powstające w ciągu roku, gdyż dopiero z tych strat możemy obliczyć czas T . Oznaczywszy przez t czas, w ciągu którego natężenie prądu wynosi i amp. wyniosą te straty w przewodniku o oporze r :

$$\Sigma (r \cdot i^2 \cdot t)$$

Obliczenie to, dość łatwe dla sieci oświetleniowych, staje się znacznie trudniejsze dla tramwajów i kolejek, a zwłaszcza kolei, gdyż natężenie prądu podlega tu znacznie większym i częstszym wahaniom. Jeżeli rzecz idzie o przewody zasilające lub powrotne, obciążone zawsze w jednym punkcie, na końcu, to znając przebieg obciążenia, można te straty bez zbytnich trudności obliczyć. Nie mając nawet dokładnego wykresu obciążenia, można tu podobnie jak przy obliczeniach sieci oświetleniowych, przeprowadzić obliczenie przybliżone na podstawie średnich obciążeń, n. p. co godzinę lub pół godziny.

Ponieważ opór r jest stały, przeto straty roczne wynoszą:

$$r \cdot \Sigma (i^2 \cdot t)$$

Obliczenie takie staje się jednak prawie niemożliwe dla właściwej sieci roboczej; pociągi zmieniają ustawicznie swe położenie, opór więc r staje się też zmienny i musielibyśmy straty obliczać podług wzoru:

$$\Sigma (r \cdot i^2 \cdot t)$$

Wyobraźmy sobie n. p. linię, zasilaną z jednego końca, na której znajduje się jeden pociąg posuwający się z jednostajną prędkością od punktu zasilającego ku końcowi linii i zużywający stale prąd I amperów. Łatwo obliczyć, że strata energii w takiej linii wyniesie:

$$I^2 \cdot r \frac{L}{2} T$$

r = opór przewodnika na metr

L = długość przewodnika w metrach

T = czas jednego przejazdu

będzie więc równa stracie, jaka by powstała, jeżeliby w połowie długości przewodnika działało przez czas T obciążenie I amp.

Jeżeli na tej samej linii znajduje się tak znaczna ilość pociągów, że możemy obciążenie uważać za równomiernie rozłożone tak, że obciążenie na jednostkę długości wyniesie:

$$i = \frac{I}{L},$$

to, strata mocy wyniesie oznaczając przez x odległość krótkiego odcinka dx :

$$\int_0^l \left[i(L-x) \right]^2 r \cdot dx = \frac{i^2 \cdot r \cdot L^3}{3} = \frac{I^2 \cdot r \cdot L}{3}$$

Maksymalna strata napięcia wynosiłaby w pierwszym wypadku oczywiście $I \cdot r \cdot L$, a w drugim $I \cdot r \frac{L}{2}$, średnia zaś w obu wypadkach $I \cdot r \frac{L}{2}$, nie daje więc miary straty energii.

W rzeczywistości nie mamy nigdy ani jednego pociągu, posuwającego się z równomierną prędkością i zużywającego stały prąd I , ani też obciążenia równomiernie rozłożonego, lecz przeciwnie, pociągi posuwają się z różną prędkością i pobierają z sieci coraz to inny prąd. Nie pozostaje więc nic innego, jak obliczać na podstawie szczegółowych wykresów przebiegu pociągów i rozkładu jazdy każdorazowe wartości $I^2 \cdot r \cdot t$, co byłoby pracą nadzwyczaj uciążliwą, a przytem wobec zmian, jakie w praktyce w rozkładzie jazdy i wzajemnem położeniu pociągów zawsze zachodzić muszą, mało celową.

Wobec tego nie oblicza się naogół przewodów roboczych na gospodarczość, ale na maksymalną lub średnią stratę napięcia.

Wahania napięcia nie mają przy tramwajach i kolejach tego znaczenia, jak przy oświetleniu, gdzie stałość napięcia jest jednym z głównych warunków prawidłowego działania całego urządzenia; wahania napięcia o 10—15%, a chwilowe nawet większe nie wpływają szkodliwie na działanie motorów i nie dają się praktycznie prawie odczuwać. Tem niemniej nie mogą jednak różnice napięcia przekraczać pewnych granic, zwykle w normalnych warunkach około 18—20%, gdyż zbyt wielkie zniżenie napięcia powodowałoby zbyt już zmniejszenie prędkości biegu pociągów.

Doświadczenie pokazuje, że obliczenie na największą stratę napięcia w tych granicach daje przekroje znacznie większe (względnie przy ustalonym przekroju, długości mniejsze) aniżeli by one wynikały z obliczenia na gospodarczość.

Aby sobie zdać sprawę ze stosunku jaki zachodzi pomiędzy największą a średnią stratą napięcia, wyobraźmy sobie linję o długości L metrów i oporze r omów na metr, zasilaną w n punktach, odległych od siebie o l metrów tak, że każdy z nich zasila w środku odcinek o długości l metrów (na prawo i lewo od punktu zasilającego po $\frac{l}{2}$ metrów).

Strata napięcia będzie najmniejsza, jeżeli obciążenie jest na całej długości równomiernie rozłożone.

Jeżeli każdy punkt zasilający oddaje prąd I amp., to wysyła w takim

wypadku w każdą stronę $\frac{I}{2}$ amperów; równomiernie rozłożone obciążenie możemy zastąpić obciążeniem, skoncentrowanem w środku odcinka, czyli w odległości $\frac{l}{2} \cdot \frac{l}{2} = \frac{l}{4}$, największa więc strata napięcia na końcu przewodnika wyniesie:

$$\frac{I}{2} \cdot \frac{l}{4} \cdot r = \frac{I \cdot l \cdot r}{8}$$

Największa strata napięcia nastąpi wtedy, kiedy całe obciążenie I skoncentrowane będzie na końcu jednego z odcinków, drugi zaś będzie miał obciążenie 0. Strata ta wyniesie:

$\frac{l}{2} \cdot I \cdot r$ będzie więc 4 razy większa, jak w poprzednim obliczeniu.

Rzeczywista największa strata napięcia będzie leżała między temi granicami i będzie tem bliższa straty przy równomiernem obciążeniu, czem gęstszy jest ruch. Stosunek 1:4 zająć może tylko wyjątkowo, przy bardzo rzadkim ruchu na kolejach; już przy około 10 parach pociągów na dobę wynosi on około 1:2 do 1:2,5, dochodząc przy ruchu gęstym, jak przy tramwajach do wartości 1:1,5 do 1:1,2.

Większe, rozleglejsze urządzenia muszą zawsze być zasilane w kilku punktach przy pomocy szeregu przewodów zasilających, względnie powrotnych.

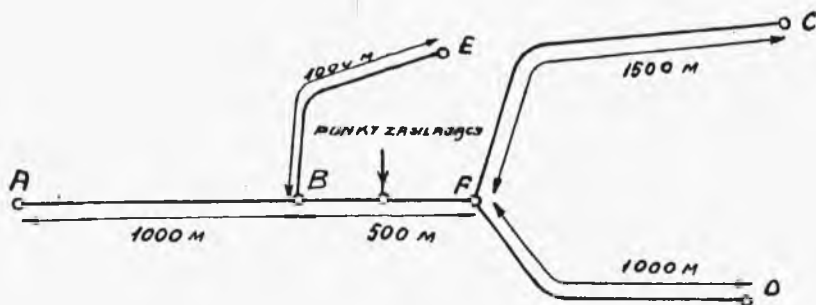
Mając więc obliczyć sieć tramwajową musimy zawsze wykonać 4 oddzielne działania. Przedewszystkiem obieramy pewną stratę napięcia w przewodach roboczych, t. j. doprowadzających prąd od punktów zasilających do poszczególnych pociągów tak, aby maksymalna strata napięcia nie przekroczyła 20%, a mając dany przekrój i obciążenie tych przewodników, obliczamy długość, jaka może być zasilana z jednego punktu zasilającego; pierwsze to obliczenie pozwala nam określić ilość i położenie punktów zasilających. Następnie obliczamy obciążenie i przekrój przewodów zasilających rachunkiem na gospodarczość. Przekrój, względnie opór szyn, obciążenie oraz straty napięcia, dopuszczalne w szynach, pozwalają nam dalej określić ilość i położenie punktów powrotnych, poczem wreszcie obliczamy ich obciążenie i przekroje, znowu na podstawie rachunku na gospodarczość.

Sieci zasilające kolejowe, a zwłaszcza tramwajowe, zasilane w kilku punktach nie mogą być łączone w jedną całość, jak to zwykle ma miejsce dla sieci oświetleniowych, lecz muszą być podzielone na niezależne od siebie dzielnice. Samą budową sieci oraz warunki w jakich ona pracować musi pociągają to za sobą, że różne jej uszkodzenia i zwarcia zdarzać się muszą znacznie częściej, jak przy sieciach oświetle-

niowych. Otóż każde takie zwarcie w sieci, czy którymkolwiek z elektrowozów powodowałoby przy połączeniu sieci w jedną całość, przerwę ruchu w całym urządzeniu; podział sieci na dzielnice ogranicza taką przerwę do jednej tylko dzielnicy.

Każda dzielnica musi być obliczana oddzielnie, przyczem jednak różnice napięć na granicach dzielnic nie powinny być zbyt wielkie, a to dlatego, że elektrowozy muszą przecie przejeżdżać przez szereg dzielnic, zbyt więc wielkie różnice napięcia powodowałyby zbyt wielkie różnice prędkości.

Obciążenie poszczególnych dzielnic oblicza się na podstawie rozkładu jazdy i zużycia prądu przez poszczególne pociągi; graficzny rozkład jazdy pozwala również, jak widzieliśmy, obliczyć wahania obciążenia poszczególnych dzielnic. Wyliczenia te upraszczają się znacznie w sieciach tramwajowych o gęstym ruchu; wahania wyrównują się tu zwykle tak znacznie, że możemy brać jako podstawę obliczeń zużycie energii na wagono- czy też tonno-kilometr, względnie na 100 metrów sieci.



Rys. 102.

N. p. w dzielnicy naszkicowanej na rys. 102-gim od *A* do *C* mamy linię Nr. 1, na której wozy chodzą co 5 minut; od *A* do *D* linię Nr. 2 wozy co 6 minut; od *A* do *E* linię Nr. 3, wozy co 4 minuty; od *C* do *D* linię Nr. 4, wozy co 7 minut. Średnia prędkość jazdy 12 kil. na godz. = = 200 m. na minutę. Zużycie pracy na wagonokilometr = 550 wattgodzin, napięcie na sieci 550 voltów. Każdy elektrowóz będzie więc zużywał średnio:

$$\frac{550 \cdot 3600}{3600 \cdot 550} = 12 \text{ amperów.}$$

Na przestrzeni od *A* do *B* chodzą wozy linii Nr. 1 co 5 minut, linii Nr. 2 co 6 minut i linii Nr. 3 co 4 minuty, a zatem średnic co

$\frac{5 + 6 + 4}{9} = 1,67$ minut. Odległość pomiędzy poszczególnymi wozami wynosić tu więc będzie $200 \cdot 1,67 = 334$ metry, że zaś wozy chodzą w obu kierunkach, przeto jako obciążenie co 334 metry mamy $2 \cdot 12$ amp., a zatem na 1000 metrów: $\frac{2 \cdot 12 \cdot 1000}{334} = 72$ ampery.

Od *B* do *E* chodzą tylko wozy linii Nr. 3 w odstępach 4 minutowych, a zatem o 800 m. jeden od drugiego; obciążenie na 1000 m. wynosi: $\frac{2 \cdot 12 \cdot 1000}{800} = 30$ amperów.

Od *B* do *F* mamy wozy linii Nr. 1 co 5 minut i linii Nr. 2 co 6 minut, średnio więc co $\frac{6 + 5}{4} = 2,75$ minut, w odstępach $2,75 \cdot 200 = 550$ m.

Obciążenie na 1000 m. $\frac{2 \cdot 12 \cdot 1000}{550} = 48$ amp.

Od *C* do *F* chodzą wozy linii Nr. 1 co 5 minut i linii Nr. 4 co 7 minut, średnio więc co $\frac{5 + 7}{4} = 3$ minuty, w odstępach 600 m.

Obciążenie na 1000 m. $\frac{2 \cdot 12 \cdot 1000}{600} = 40$ amp.

Od *D* do *F* wreszcie chodzą wozy linii Nr. 2 co 6 minut i linii Nr. 4 co 7 minut, średnio więc co $\frac{6 + 7}{4} = 3,25$ minut = 650 metrów.

Obciążenie na 1000 metrów wyniesie tu $\frac{2 \cdot 12 \cdot 1000}{650} = 37$ amp.

Przewodnik zasilający będzie więc miał ogółem obciążenie:

$$1 \cdot 72 + 1 \cdot 30 + 0,5 \cdot 48 + 1,5 \cdot 40 + 1 \cdot 37 = 223 \text{ ampery.}$$

Wyróżniamy trzy rodzaje sieci, doprowadzającej prąd od punktów zasilających do elektrowozów, a mianowicie:

1) Sieć nadziemną, składającą się z drutu nieizolowanego, zawieszono w odpowiedni sposób nad torami, z którego elektrowozy czerpią prąd przy pomocy specjalnych urządzeń;

2) T. n. trzecią szynę. Obok torów w pewnej, nieznacznej wysokości nad ziemią przymocowana jest na izolatorach szyna miedziana lub żelazna, służąca jako przewodnik; elektrowozy zaopatrzone są w kontakty, ślizgające się po tej szynie;

3) Sieć podziemną, przy której wszystkie przewodniki ukryte są pod ziemią.

Najbardziej rozpowszechnioną jest sieć nadziemna; trzecia szyna stosowana bywa tylko przy kolejach o torach leżących na własnym

torowisku, kolejach nadziemnych (wiszących), oraz podziemnych (metropolitain).

Co do sieci podziemnej, to system ten jest obecnie w Europie mało stosowany, jako bardzo drogi i trudny do utrzymania.

Przy sieci podziemnej jest przekrój przewodów doprowadzających prąd od punktów zasilających do elektrowozów, dowolny, możnaby je więc obliczać na gospodarczość. Przy trzeciej szynie, której przekrój musi być ze względów praktycznych wszędzie jednakowy, daje się to wyliczenie zastosować tylko wtedy, jeżeli gęstość ruchu jest wszędzie jednakowa. Przy sieci nadziemnej wreszcie jest przekrój drutu prąd doprowadzającego, zwanego drutem **roboczym**, ograniczony względami estetycznymi i niezbędną mechaniczną wytrzymałością. Zbyt gruby drut wymagałby, wobec swego ciężaru, nader silnych, a zatem ciężkich i grubych podpór czyli słupów, oraz licznych i mocnych drutów dodatkowych, zbyt cienki zaś nie miałby dostatecznej mechanicznej wytrzymałości.

Przy tramwajach śródmiejskich stosowany bywa zwykle drut o przekroju 50 do 85 mm.², przy liniach zamiejskich i kolejach 50 do 120 mm.²

Wyliczenie na gospodarczość mogłoby więc dać tylko długość zasilaną z jednego punktu zasilającego, nie bywa jednak zwykle stosowane, lecz zastąpione obliczeniem na spadek napięcia, zwykle 7 — 12%. O sposobie obliczenia obciążenia mówiliśmy już przy wyliczaniu przewodów zasilających. Przy gęstym ruchu uważa się zwykle obciążenie za równomiernie rozłożone, przyjmując je zatem jako działające po środku długości przewodnika. Na krańcowych stacjach dodaje się zwykle, wobec możliwości równoczesnego w tych punktach ruszania kilku elektrowozów, pewne obciążenie na końcu, 30 — 100 amp. w zależności od ilości tu kończących się linii. Przy ruchu rzadszym, cięższych pociągach lub wreszcie przy górzystym profilu, tak postępować nie można, lecz należy, określiwszy wzajemne położenia elektrowozów, n. p. przy pomocy graficznego rozkładu jazdy, i obliczywszy zapotrzebowanie prądu każdego z nich, przeprowadzić obliczenie dla kilku położzeń i obrać najniekorzystniejsze.

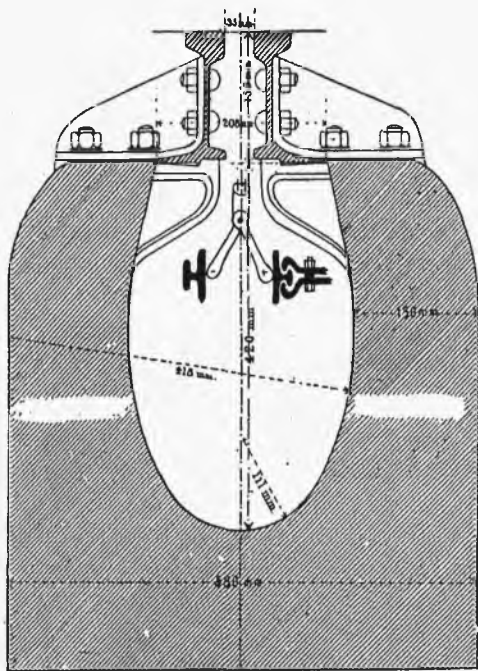
Racjonalne zaprojektowanie całej sieci, a zatem trafny wybór punktów zasilających, ich ilości i położenia, obliczenie przekrojów oraz podział na dzielnice, może dać znaczne bardzo oszczędności tak kapitału zakładowego, jak i wydatków eksploatacyjnych, wymaga jednak wielkiej znajomości warunków eksploatacyjnych, doświadczenia i wprawy.

Należy przytem uwzględnić ewent. anormalne obciążenia, możliwość wzmożenia ruchu i t. d., a także mieć na uwadze późniejsze rozszerzenia sieci; należy dalej uwzględnić kierunek przyszłych linii eksploatacyjnych i podział na dzielnice uskutecznić tak, aby poszcze-

gólne linje eksploatacyjne nie przechodziły przez zbyt wiele dzielnic, w przeciwnym bowiem razie uszkodzenie jednej dzielnicy unieruchomiłoby wielką ilość linji; należy też pamiętać o możliwości przełączeń i zasilania dzielnicy lub jej części z dzielnic sąsiednich (w razie uszkodzeń) i t. d. i t. d.

2) Wykonanie sieci. Z początku, kiedy tramwaje elektryczne rozpowszechniać się zaczęły, starano się koniecznie uniknąć sieci nadziemnej, uważając ją, zresztą nie bez racji, za wysoce nieestetyczną i szpecącą ulice. Dopiero kiedy konstrukcje sieci udoskonalono i uczyniono znacznie lżejsze, oko zaś przyzwyczało się do „odrutowania“ ulic, przytem systemy podziemne okazały się niepraktyczne, pogodzono się z tą konstrukcją. Narazie jednak każda firma uważała za punkt honoru posiadanie swego własnego systemu sieci podziemnej. Dodawszy do tego prace licznych zawsze wynalazców, łatwo zrozumieć, iż powstało paręset patentów na przeróżne systemy sieci podziemnych. Możliwe tu są zasadniczo dwa rozwiązania:

a) Sieć kanałowa. Przewodnik doprowadzający prąd, ułożony jest w kanale, umieszczonym pod torami. Kanał ten ma u góry wążką szczelinę, przez którą przechodzi odpowiednio ukształtowany przyrząd kontaktowy elektrowozu, rys. 103-ci.

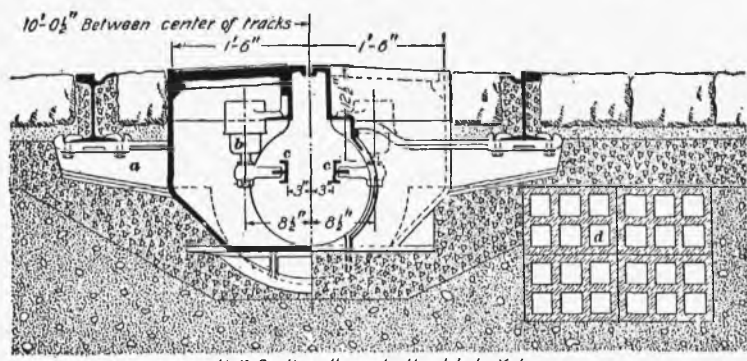
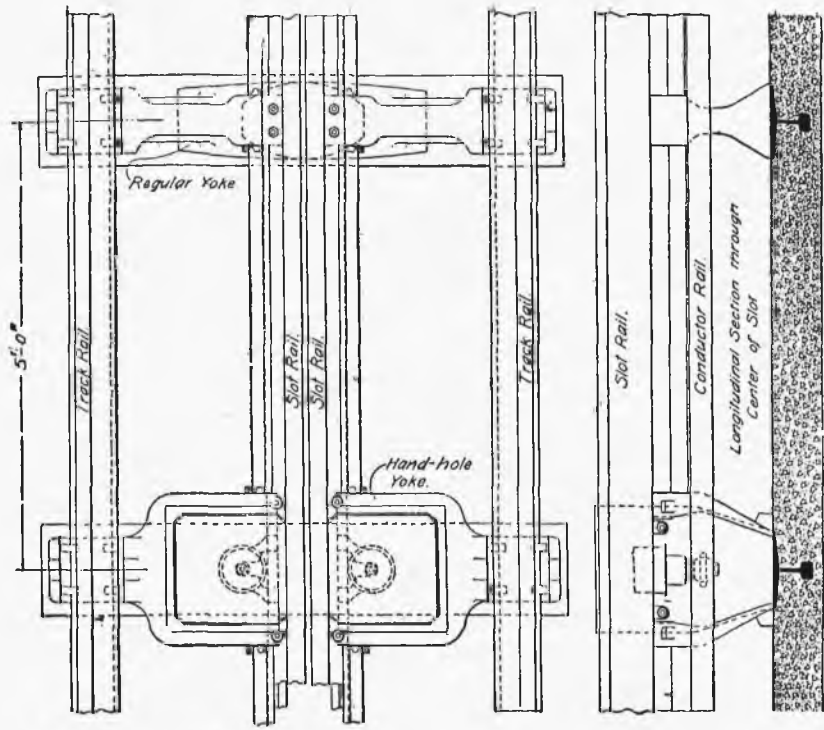


Rys. 103.

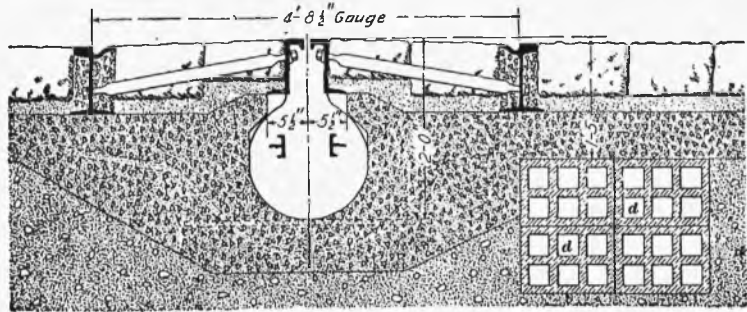
Sieć podziemna kanałowa w Budapeszcie.

Sieć taką mają w Europie tramwaje w Budapeszcie, Wiedniu i Paryżu. Elektrowozy mają tu dwa przyrządy doprowadzające prąd, a mianowicie jeden pod wozami dla sieci podziemnej i drugi, pałąk, względnie rolkę, dla linji zewnętrznych i sieci nadziemnej.

W miastach tych pracuje ten system dobrze i nie przyczynia zbyt wielkich kosztów. Próbowano budować tego rodzaju sieci w wielu miastach, między innymi w Berlinie i Monachjum; system ten utrzymać się tam nie mógł, a zbudowane już próbne linje zostały stopniowo zamienione na sieć nadziemną. Lada



Half Section through Hand-hole Yoke.



Section between Yokes.

gwałtowniejszy deszcz powodował, pomimo oczywiście starannego skanalizowania, zalanie kanału i krótkie zwarcia; śnieg znowu zatyka zupełnie szczelinę i powoduje łamanie przyrządu kontaktowego. Próbowano też dawać kanałowi takie rozmiary, aby człowiek mógł w nim swobodnie chodzić i rewidować przewody, ale i to niewiele pomogło pomimo olbrzymich kosztów takiego urządzenia.

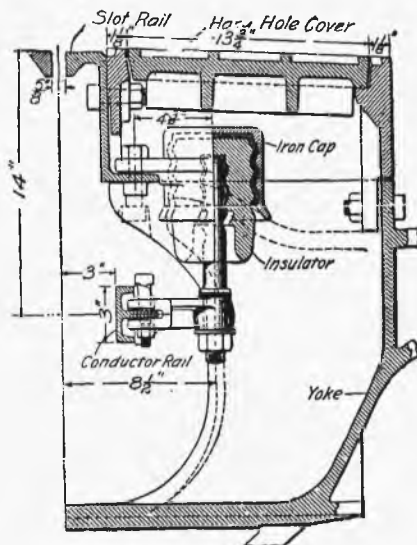
Próbowano dalej ochraniać umieszczony w kanale przewodnik w najrozmaitsze sposoby od dostawania się doń wody i wilgoci, jużto pokrywając go specjalnym daszkiem, pod który sięgał odpowiednio ukształtowany przyrząd kontaktowy, jużto nawet umieszczając go w rodzaju drugiego kanałika, czy też rury, ale również bez widoczniejszego powodzenia; próbowano nawet topić śnieg, jakiby się dostał do szczeliny, przepuszczając przez przewód nader silny prąd o niskiem napięciu, który ten przewód i cały kanał ogrzewał. Uważamy za zbyt liczne opisywanie wszystkich tych prób, sposobów i urządzeń, jako rzeczy dziś już zupełnie zarzuconych.

Natomiast w Ameryce znalazł system kanałowy szerokie zastosowanie; przeważna ilość tramwajów w wielkich miastach (n. p. Nowy Jork, Waszyngton i t. d.) zaopatrzona jest w taką sieć. Kanał stosowany bywa w amerykańskich urządzeniach mały, zbudowany między szynami; szczelina obramowana jest dwoma żelazami w kształcie Z.

Plan i przekroje takiego typowego urządzenia (tramwaje w Nowym Jorku) widzimy na rys. 104-tym, przekrój w większej skali na rys. 105-tym.

Szyny ułożone są na mocnych jarzmach z lanego żelaza *a a*, ułożonych co $5' = 1524$ mm. i zatopionych w betonie. Co trzecie jarzmo zaopatrzone jest w rodzaj skrzyni, otwartej z dwu końców, a zamkniętej u góry pokrywą. W skrzyniach tych umieszczone są izolatory *b b*, podtrzymujące przewodnik *c c*. Przekrój przez takie jarzmo ze skrzynią widzimy w środku rys. 104-go i na rys. 105-tym. Kanał pomiędzy jarzmami wykonany jest z betonu, ubitego na formie blaszanej, którą się następnie usuwa.

Kanał ma średnicę 432 mm., szerokość skrzyń wynosi 914 mm., dno kanału znajduje się 609 mm. pod powierzchnią bruku; szczelina ma szerokość $\frac{5''}{8} = 16$ mm.



Rys. 105.

Jako przewodniki służą dwie specjalnie ukształtowane szyny żelazne o szerokości 76 mm., umocowane na izolatorach po obu stronach szczeliny, w odległości 152 mm. jedna od drugiej; zbieracz prądu wciśnięty między obie szyny.

Kable zasilające i odsyłowe ułożone są w rurach terakotowych *dd*, rys. 104-ty.

Sieci te pracują bardzo dobrze, wymagają jednak starannego utrzymania. Kanał musi być czyszczony gruntownie w lecie conajmniej raz na miesiąc, w zimie częściej. Uskutecznia się to, po zdjęciu pokryw na skrzyniach, przy pomocy specjalnie ukształtowanych skrobaczek, nagromadzony zaś muł wydobywa przez górne otwory skrzyń.

b) Sieć guzikowa. Pomędzy szynami ułożone są kawałki szyn, od ziemi i od siebie izolowanych; po tych, nieco ponad bruk wystających, szynach ślizga się przyrząd kontaktowy elektrowozu, przyczem tylko szyny, znajdujące się w danej chwili pod elektrowozem, a zatem dla przechodniów niedostępne, są połączone z przewodnikiem doprowadzającym prąd. Po przejściu elektrowozu połączenie to przerywa się. Czasami kawałki szyn są tak krótkie, iż powstaje rodzaj guzików, od których systemy te nazwano ogólnie **guzikowymi**.

Urządzenia takie, znacznie tańsze od systemu kanałowego, czyli szczelinowego, zdawały się mieć wielką przyszłość; to też, jak już wspomniano, powstała wkrótce cała masa odnośnych wynalazków i patentów.

Niestety, praktyka nie potwierdziła pokładanych w tych systemach nadziei, i pomimo licznych, nieraz na wielką skalę nawet przeprowadzanych prób, żaden z próbowanych systemów nie zdołał się utrzymać i dziś nigdzie już nie słychać o dalszych próbach w tym kierunku.

To też tylko tytułem informacji wspominamy tu o dwu różnych tego rodzaju systemach.

Pierwszy z nich system **Claret i Vuilleumer**, zastosowany był w Ljonie i Paryżu, na linii Paryż-Romainville na długości 7 kilometrów.

Pomędzy szynami ułożone są co 4 metry, również 4 metry długie, izolowane od ziemi szyny. Długość elektrowozów wynosiła 12 metrów tak iż, pokrywał on 2 szyny i przestrzeń pomiędzy niemi. Pod elektrowozem znajdują się 2 przyrządy kontaktowe ustawione tak, iż zanim jeden opuści szynę pierwszą, to drugi już dotyka szyny drugiej. Pod chodnikami obok torów umieszczone są przyrządy, połączone każdy z 12 szynami kontaktowymi. Każdy taki przyrząd zaopatrzony jest w kilka pierścieni i odpowiednie, obracające się na osi, ramiona kontaktowe, wprawiane w ruch przy

pomocy szeregu elektromagnesów. Środkowy pierścień połączony jest z przewodnikiem prąd doprowadzającym; dalszy pierścień podzielony jest na 12 od siebie izolowanych odcinków, z których każdy łączy się przy pomocy oddzielnego, podziemnie ułożonego przewodnika, z jedną z szyn kontaktowych. Elektromagnes, przesuając każdorazowo ramię o jeden odcinek, łączy z prądem tylko te szyny, które znajdują się pod elektrowozem, a zatem te, które są dla przechodniów i pojazdów niedostępne.

Drugi, system **Diatto**, zastosowany był na dość szeroką skalę w Tours, we Francji. Tu zamiast szyn kontaktowych ustawione były guziki, a raczej hermetycznie zamknięte skrzynki żelazne, których pokrywa, od ścian izolowana, stanowi właściwy guzik. Wewnątrz skrzynki, na jej spodzie, znajduje się izolowany od niej, a połączony z przewodnikiem prąd doprowadzającym ruchomy kawałek żelaza. Pod elektrowozem umieszczony jest silny elektromagnes, który przyciąga, a więc podnosi ów kawałek żelaza przyciskając go do pokrywy i łącząc temsamem tę ostatnią z prądem.

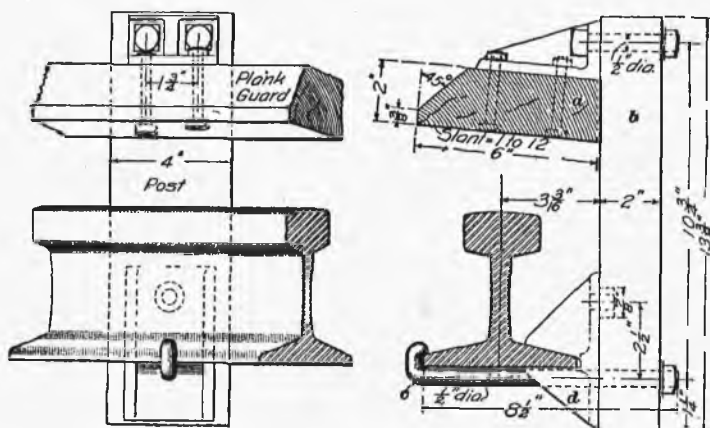
Po przejściu elektrowozu opada ruchomy kontakt już to pod wpływem ciężaru własnego, już to dla większej pewności odciągnięty sprężyną, i kontakt przerywa.

Największą trudność stanowi stale dobre odizolowanie szyn, względnie guzików, od ziemi czy też bruku. Zwłaszcza przy deszczu jest nieunikniony pewien upływ prądu do ziemi. Przyrządy szyny lub guziczki włączające są zawsze dość skomplikowane i delikatne; działając doskonale w laboratorjach lub nawet przy próbach, psują się one prędko na ulicach, będąc stale narażone na wilgoć, wodę, pył i wszelkie zanieczyszczenia i nie działają już dość pewnie, albo nie włączając, lub, co gorsze, nie wyłączając guziczka po przejściu elektrowozu; guzik pozostaje pod napięciem i staje się dla przechodniów, a jeszcze bardziej koni, wysoce niebezpieczny.

Najgorsze zaś jest to, iż wszelkie uszkodzenia lub niedziałania ujawniają się dopiero po porażeniu zwierzęcia lub człowieka prądem; jest to zasadniczo nie do uniknięcia, boć przecie na oko nie widać, czy guzik jest pod napięciem, czy też nie. Już to jedno wystarcza zupełnie, aby uniemożliwić zastosowanie tych systemów.

c) Trzecia szyna. Trzecia szyna stosowana być może wyłącznie przy torach ułożonych na własnym planicie, a zatem przy kolejach oraz tramwajach nadziemnych i podziemnych. Dawniej, zwłaszcza w Ameryce bardzo rozpowszechniona i szeroko stosowana trzecia szyna, zaczyna coraz bardziej wychodzić z użycia i bywa przeważnie zastępowana siecią nadziemną.

Główną tego przyczyną jest to, iż dostatecznie pewne odizolowanie trzeciej szyny dla większych napięć przedstawia dość znaczne trudności; że zaś zwiększenie stosowanych przy kolejach napięć pozwala na zmniejszenie przekrojów przewodników, które dają się wygodniej umieścić nad torami, jako sieć górna, przeto w miarę zwiększania napięć poczęła znikać i trzecia szyna. Pozatem przy trzeciej szynie przedstawia wykonanie zwrotnic i skrzyżowań również niemałe trudności. Na każdym skrzyżowaniu (a zatem i zwrotnicy) musi trzecia szyna być oczywiście przerwana, połączenie zaś poszczególnych części przed i za skrzyżowaniem należy uskutecznić przy pomocy podziemnego przewodnika;



Rys. 106.

elektrowozy muszą zawsze być zaopatrzone w dwa przyrządy kontaktowe tak ustawione, aby, zanim jeden wejdzie na przerwę, drugi już dotykał szyny za przerwą.

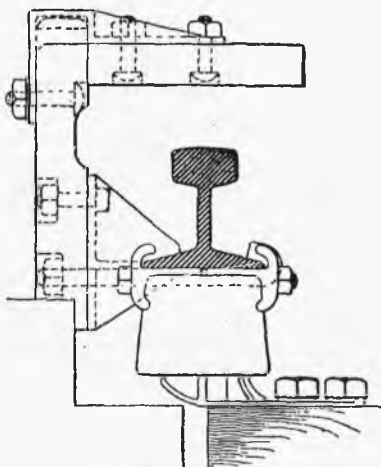
W Europie jest trzecia szyna mało tylko rozpowszechniona; natomiast w Ameryce można znaleźć sporo kolei w nią zaopatrzonych. Da się to wytłumaczyć dawniejszem powstawaniem tych kolei i stosowaniem niższych napięć.

Różne konstrukcje trzeciej szyny dadzą się podzielić na dwie główne grupy, a mianowicie:

Urządzenie, przy którym zbieracz prądu ślizga się po górnej powierzchni szyny, jak na rys. 106-tym i 107-mym.

Urządzenia, przy których zbieracz prądu przyciska się do szyny od dołu, jak na rys. 110-tym.

Przy pierwszym systemie stosowane bywają izolatory w rodzaju uwidocznionych na rys. 108-mym. Ułożone na nich szyny żelazne osłaniać można z wierzchu i boku deskami tak, że przypadkowe zetknięcie się z nimi staje się utrudnione. Różne rodzaje takiej ochrony uwidocznione są na rys. 106-tym i 107-mym.



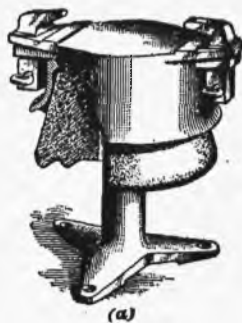
Rys. 107.

Innego rodzaju osłonę widzimy na rys. 109-tym.

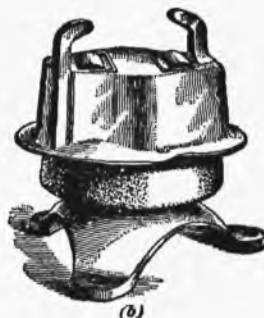
Szyna żelazna *a* ułożona jest na izolatorach w rodzaju rys. 108c. Kroksztyny żelazne *d*, przymocowane do nieco dłuższych podkładów drewnianych, podtrzymują korytko żelazne *c*, osłaniające szynę z góry. Zbieracz prądu *e* zawieszony jest w *f*; do szyny przyciska go sprężyna *g*; giętki kabelek *h* służy dla doprowadzania prądu. Drewniany daszek *k* chroni od przypadkowego zetknięcia się ze zbieraczem prądu.

Znacznie pewniejszą ochronę trzeciej szyny można zastosować przy kontakcie dolnym, jak na rys. 110-tym.

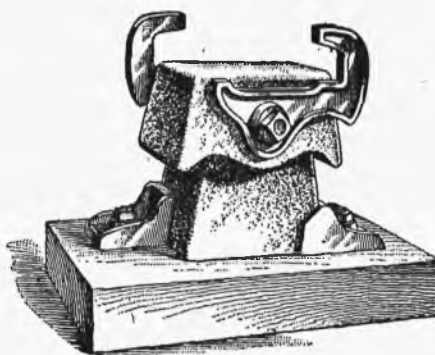
Dwudzielne izolatory podtrzymują szynę, po dolnej powierzchni której ślizga się zbieracz prądu.



(a)



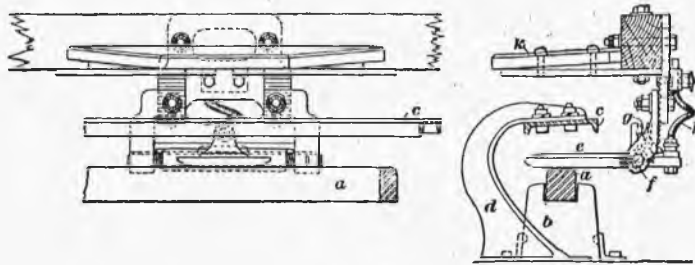
(b)



(c)

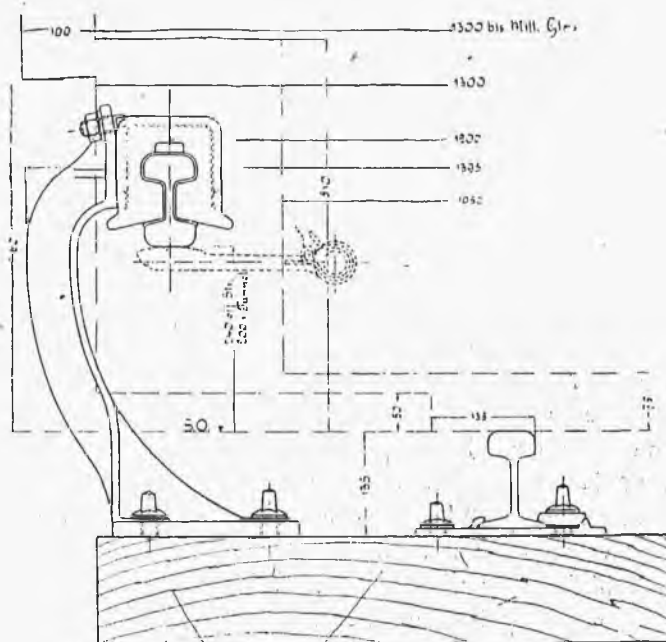
Rys. 108.

Dwudzielne porcelanowe izolatory umocowane są przy pomocy klamer do żelaznych kroksztyńów, ustawionych co 5 m., na wydłużonych nieco podkładach.



Rys. 109.

Jako ochrona służy korytko drewniane z 3 desek, ustawione dnem do góry tak, że boczne deski sięgają do dolnej główki szyny, tak jak izolatory. Korytko umocowane jest wraz z izolatorami na kroksztynach.

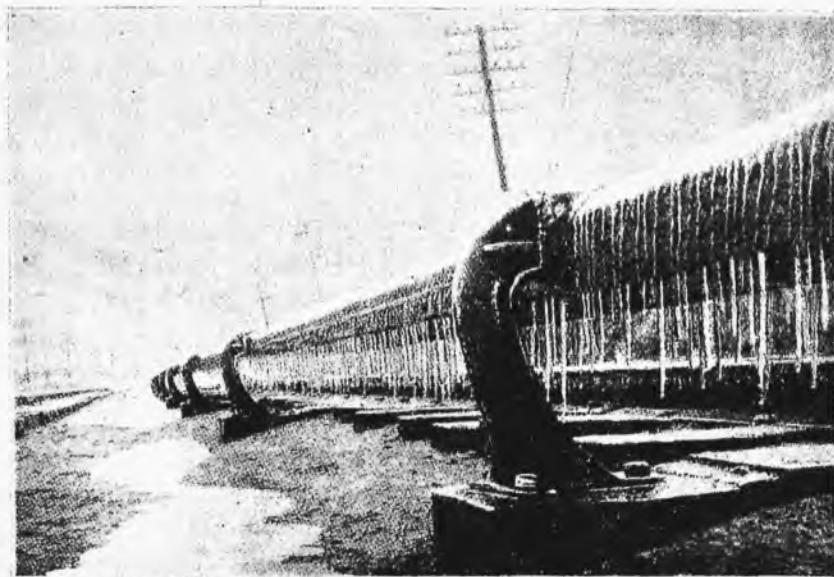


Rys. 110.

Trzecia szyna kolei nadziemnej w Hamburgu.

Zamiast drzewa stosowaną też bywa powłoka z wulkanizowanej gumy. Dalszą zaletą dolnego kontaktu jest to, że w razie sadzi lub gołoledzi powierzchnia stykowa pozostaje zawsze czystą.

Tak ochronioną trzecią szynę kolei Great Central w Nowym-Yorku w czasie zimy widzimy na rys. 111-tym.



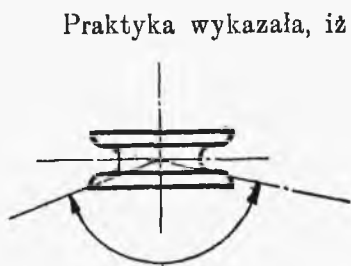
Rys. 111.

d) *Sieć nadziemna*. Rozróżniamy obecnie dwa główne systemy sieci nadziemnej w zależności od tego, jakim jest przyrząd kontaktowy elektrowozów. O przyrządach tych będziemy mówili obszerniej nieco później, przy opisie elektrowozów, obecnie jednak musimy już, dla lepszego zrozumienia budowy sieci, wspomnieć choć w krótkich słowach o tych przyrządach i zasadniczych ich własnościach. Przyrządami tymi są: krążek czyli z angielskiego „trolley“ i pałak. Aczkolwiek pałak ma pod wielu względami stanowczą nad krążkiem przewagę i bywa przy nowych urządzeniach przeważnie stosowany, to jednak jest kółko wprowadzone w wielu poważnych urządzeniach (n. p. Berlinie, Kijowie i t. d.) Należy to przypisać temu, że po pierwsze krążek był już stosowany przed wynalezieniem pałaka, a powtóre, że pałak był do niedawna we wszystkich swych formach opatentowany, patenta zaś skupione w ręku firmy Siemens i Halske tak, iż wszelkie inne firmy budujące tramwaje zmuszone były, nie chcąc płacić praw patentowych stosować krążek. Ponieważ dalej krążek pracuje doskonale, o ile nie mamy zbyt wielkich szybkości, przeto nie opłacałoby się przebudowa już egzystujących sieci. Rzecz naturalna, iż wszelkie rozszerzenia sieci dla kółka zbudowanych, muszą być również dla kółka wykonywane tak, iż w rezultacie należy

oba te systemy co do ich rozpowszechnienia i stosowania uważać za równorzędne.

Krażek jestto tarcza o średnicy 120—150 mm., osadzona na osi poziomej i przytwierdzona na długim drążku; tarcza ta ma rowek po środku swej szerokości; odpowiednio umieszczone sprężyny starają się drążek doprowadzić do położenia pionowego, przez co ten ostatni przyciska krążek do drutu roboczego; wyźłobienie zapobiega wykolejeniu się krążka.

Nad łukami nie może drut roboczy przybierać kształtu łuku, lecz musi być rozpięty w kształcie wieloboku. Jeżeli kąty zawarte między bokami wieloboku są zbyt małe, to brzegi kółka uderzają o drut, co powoduje często wykolejenia, rys. 112-ty.



Rys. 112.

Praktyka wykazała, iż kąt ten nie powinien być mniejszy jak 168° , z czego wynika, iż bok wieloboku nie powinien być dłuższym jak 0,2 promienia danego łuku. Kółko więc wymaga na łukach licznych punktów zawieszenia lub odciągów. Pozatem wymaga krążek wbudowania w sieć nad skrzyżowaniami i zwrotnicami odpowiednich konstrukcji dla przebiegu krążka.

Pałak składa się z wygiętego w formie łuku t. z. ślizgacza przylegającego do drutu roboczego, oraz konstrukcji, do której ślizgacz ten jest przymocowany. Ślizgacz, wykonany zwykle z aluminium (wyjątkowo tylko z miedzi) bywa 900 — 1200 mm. długi; drut przeto może o tyle odchyłać się od środka toru, przez co ilość zawieszzeń i odciągów na łukach znacznie się zmniejsza. Wszelkie zwrotnice i skomplikowane skrzyżowania stają się w sieci zbyteczne, cała zaś sieć wymaga mniejszej ilości słupów i drutów, jest więc znacznie tańsza, lżejsza i estetyczniejsza.

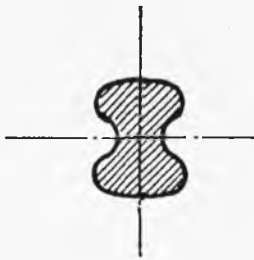
Aczkolwiek przy krążku mamy do czynienia z toceniem się jego po drucie roboczym, zaś przy pałaku ze ślizganiem i zdawać by się mogło, iż starcie drutu powinnyby przy krążku być mniejsze, to jednak praktyka dowodzi, iż tak nie jest i że przeciwnie starcie drutu bywa przy pałaku naogół biorąc mniejsze. Boki wyźłobienia szybko obracającego się krążka (przy prędkości n. p. 6 m. na sek. t. j. około 22 kil. godz., krążek o średnicy 120 mm. wykonywa około 960 obr. na min.) formalnie szlifują drut, zwłaszcza na łukach, powodując tem szybkie jego starcie.

3) Drut roboczy. Drut roboczy, z czystej, twardo ciągniętej miedzi, o wytrzymałości na rozerwanie 40 — 45 kg. na mm.² i przewodnictwie 96 — 97%, przewodnictwa chemicznie czystej miedzi, wykonywany bywa w przekrojach 50 — 120 mm.²

Drut ten walcowany bywa w długościach 400 — 500 metrów bez lutowań i długościach do 3000 metrów z lutowaniami. Lutowania te wykonywane są przed przepuszczeniem przez ostatni walec, a następnie rozwałcowane na długości do 1 metra; takie lutowania nie zmniejszają wytrzymałości drutu więcej jak na 2—3%. Natomiast lutowanie gotowego już drutu łatwo przekształca go w pobliżu miejsca zlutowania na drut miękki, którego wytrzymałość nie przekracza 30 kg. na mm.² Granica sprężystości drutu z twardej miedzi leży około 12 kg. na mm.²

Oprócz drutu z twardej miedzi bywa też niekiedy stosowany drut aluminiowy lub krzemo-bronzy. Przewodnictwo aluminium wynosi tylko 34 — 35, wytrzymałość na rozerwanie 20 — 25 kg. na mm.² Przewodnictwo drutu krzemo-bronzy wynosi 25 — 30, wytrzymałość na rozerwanie do 70 kg. na mm.² Tak więc przy zastosowaniu aluminium, jak i krzemo-bronzy, należy stosować przekroje znacznie większe.

Początkowo stosowano wyłącznie drut okrągły; obecnie jednak stosuje się często inne profile, n. p. uwidoczniony na rys. 113-ym w kształcie



Rys. 113.

splaszczonej ósemki. Częstokroć bywa górna część ósemki zmniejszona zaś dolna zwiększona, tak, iż powstaje z tego profil uwidoczniony na rys. 114-ym. Przekształcenie takie ma na celu zwiększenie płaszczyzny zetknięcia ze ślizgaczem i temsamem zmniejszenie starcia. Podobnych profili egzystuje dość znaczna ilość. Oprócz zmniejszenia



Rys. 114.

starcia, ułatwiają one znacznie przymocowanie wieszaków, są więc zdaniem naszym od drutu okrągłego lepsze. Częstokroć dają się słyszeć zdania, iż zakładanie drutów profilowych jest trudne, gdyż profil łatwo się przekręca, a także, iż takie przekręcanie zdarza się i po zmontowaniu, w czasie eksploatacji. Jest to jednak zarzut nieuzasadniony, gdyż przy starannem zmontowaniu nie trafiają się żadne przekręcenia, jak tego dowiodła praktyka licznych instalacji takie druty stosujących, n. p. tramwaje warszawskie, które wyłącznie drut profilowy zastosowały.

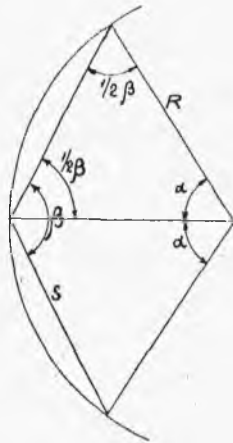
4) Wyznaczenie punktów zawieszenia. Drut, zwieszający się swobodnie pomiędzy dwoma punktami zawieszenia, przybiera, jak wiadomo,

kształt linii łańcuchowej. Wobec jednak małego zwisu stosunkowo do odległości punktów zawieszenia, można dla drutu roboczego bez wielkiego błędu linię tę zastąpić parabolą.

Wielkość zwisu w środku między punktami zawieszenia jest wtedy proporcjonalna do kwadratu odległości punktów zawieszenia i odwrotnie proporcjonalna do naprężenia panującego w drucie.

Ważnem jest tak dla dobrego kontaktu, jakoteż dla zmniejszenia starcia, aby wysokość drutu nad szynami była możliwie wszędzie jednakowa, a zatem, aby zwis był możliwie mały. Ponieważ wielkość naprężenia jest ograniczona wytrzymałością, przeto określa już dopuszczalny w danych warunkach zwis odległość punktów zawieszenia. Praktyka wykazała, iż dla tramwaji śródmiejskich odległość ta wynosi 30 — 36 metrów.

Na łukach przybiera drut pomiędzy dwoma punktami zawieszenia leżącymi na obwodzie łuku kształt cięciwy; odległość punktów zawieszenia będzie więc tu zależna od dopuszczalnego odchylenia drutu roboczego od osi toru.



Rys. 115.

Widzieliśmy już, iż przy sieci przeznaczonej dla krążka, gra rolę również i kąt β , powstający między dwoma cięciwami, i że ten kąt nie powinien być mniejszy jak 168° .

Oznaczając, rys. 115-ty, promień łuku przez R , a odległość dwu zawieszzeń przez s mamy:

$$\beta + \alpha = 180^\circ \quad \alpha = 180^\circ - 168^\circ = 12^\circ,$$

a przez φ kąt środkowy łuku oraz n ilość boków s wieloboku:

$$s = \frac{2 \pi \cdot R \cdot \varphi}{360 \cdot n} \quad \frac{\varphi}{n} = \alpha$$

$$s = \frac{2 \pi}{360} \cdot R \cdot \alpha^\circ = \frac{2 \pi}{360} R \cdot 12^\circ,$$

a w przybliżeniu: $s = 0,2 \cdot R$

Należy dalej uwzględnić siłę odśrodkową, a to dopuszczając większe odchylenie na zewnątrz, jak na wewnątrz łuku. Jeżeli odchylenie od osi toru na zewnątrz nazwiemy a , zaś na wewnątrz a' , to wielobok drutu będzie ściśle określony przez dwa łuki o promieniach $R + a$ i $R - a'$. Zwykle przyjmuje się $a' = 0,2 a$.

$$\left(\frac{s}{2}\right)^2 = (R+a)^2 - (R-0,2a)^2 =$$

$$= 2 \cdot R(a+0,2a) - 0,04a^2 + a^2,$$

a opuszczając $0,04 a^2$ i a^3 jako wartości małe:

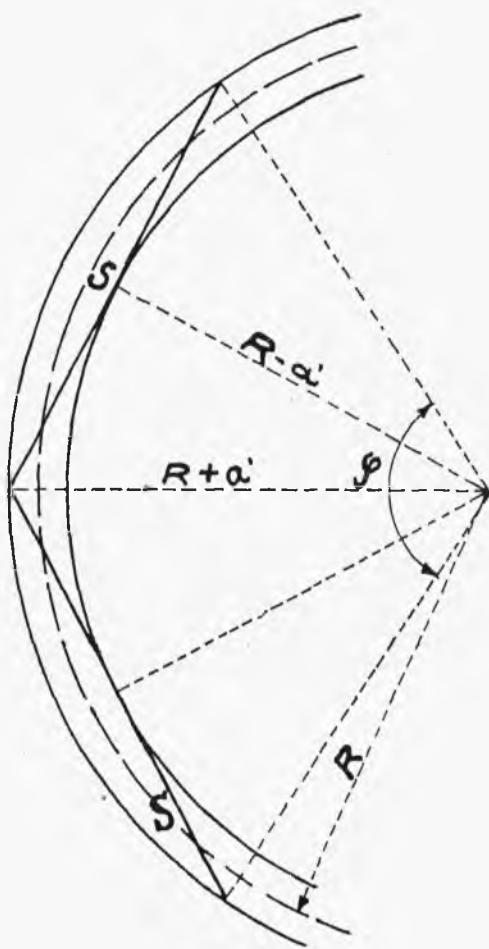
$$s = 2\sqrt{2 \cdot R(a+0,2a)} =$$

$$= 3,1\sqrt{R \cdot a}$$

Wielkość a zależna jest od prędkości i musi być tem mniejsza, im większa jest prędkość. Praktycznie nie robi się dla najostrożniejszych łuków a większe jak 300 mm. = 0,3 m., zmniejszając je stopniowo dla łuków łagodniejszych, wobec czego $s_{\max} = 1,7\sqrt{R}$.

Wzór $s = 0,2 \cdot R$ używa się zwykle dla łuków o promieniu do 50 m., dla promieni zaś większych stosować lepiej wzór $s = 3,1\sqrt{R \cdot a}$

Bardzo dobre rezultaty daje w praktyce następująca tablica, uwzględniająca szybszą jazdę na łagodniejszych łukach, a zatem zmniejszającą a ze wzrastającym R :



Rys. 116.

R w metr.	15	17	20	23	25	27	30	35	40	45	50	55	60	70	80
a mm.	250	200	175	150	150	150	150	100	100	100	100	75	75	75	75
$s = 3,1\sqrt{R \cdot a}$	6,0	5,8	5,8	5,8	6,0	6,3	6,5	5,8	6,2	6,5	7,0	6,2	6,6	7,2	7,6
$s = 0,2 R$	3,0	3,4	4,0	4,6	5,0	5,4	6,0	7,0	8,0	9,0					

R w metr.	90	100	120
a mm.	75	50	50
$s = 3,1 \sqrt{R \cdot a}$	8,2	7,0	7,6

Rzeczą już projektującego będzie wybrać odpowiednie wartości w zależności od większej lub mniejszej prędkości i innych warunków miejscowych.

Przy sieci zbudowanej dla pałaka miarodajną jest długość ślizgacza.

Zwykle pozostawia się około 200 mm. całej długości ślizgacza l na możliwe boczne drgania, niedokładności w montażu, przesunięcia i t. p. Długość ślizgacza mogąca się stykać z drutem roboczym wynosi wobec tego: $a = l - 200$.

Wielobok drutu określony jest dwoma kołami o promieniach:

$$R + \frac{a}{2} \text{ i } R - \frac{a}{2}.$$

$$\text{Mamy więc: } \left(\frac{s}{2}\right)^2 = \left(R + \frac{a}{2}\right)^2 - \left(R - \frac{a}{2}\right)^2 = 2 \cdot R \cdot a$$

$$s = 2,8 \sqrt{R \cdot a}$$

Dla łuków o promieniu mniejszym jak 50 m. daje ten wzór nieco zbyt ostre kąty pomiędzy bokami wieloboku (kąty takie niedogodne są dla montowania); lepiej więc wtedy posługiwać się wzorem empirycznym:

$$s = 2,8 \sqrt{R \cdot a - \frac{200}{R}}$$

ale tylko dla promieni większych jak 20 m., gdyż dla promieni jeszcze mniejszych otrzymuje się znowuż zbyt małe wartości s .

Następująca tablica wyliczona jest dla promieni mniejszych od 20 m. podług wzoru $s = 2,8 \sqrt{R \cdot a}$, przyczem wartości s zostały empirycznie zmniejszone, dla promieni od 20 do 50 m. podług wzoru:

$$s = 2,8 \sqrt{R \cdot a - \frac{200}{R}} \text{ i wreszcie dla promieni większych}$$

jak 50 m. podług wzoru $s = 2,8 \sqrt{R \cdot a}$:

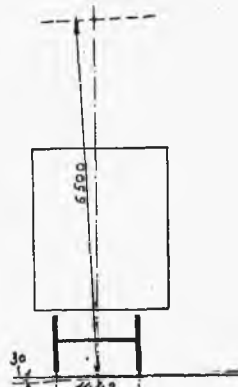
R w metr.	15	17	20	23	25	27	30	35	40	45	50	55	
s {	dla $a = 1$ m.	8,2	8,5	8,9	10,6	11,5	12,3	13,5	15,2	16,6	18,1	19,7	20,8
	„ $a = 0,9$ m.	7,2	7,5	7,9	9,6	10,7	11,6	12,7	14,3	15,7	17,4	18,8	19,5
	„ $a = 0,8$ m.	6,2	6,5	6,9	8,7	9,7	10,5	11,7	13,2	14,5	15,7	17,7	18,6
R w metr.	60	70	80	90	100	120	130	140	150				
s {	dla $a = 1$ m.	21,7	23,4	25	26,7	28	30,7	31,9	33,1	34,2			
	„ $a = 0,9$ m.	20,6	22,2	23,8	25,2	26,7	29,1	30,4	31,8	32,6			
	„ $a = 0,8$ m.	19,4	21,0	22,4	23,8	25,0	27,4	29,2	29,8	31,0			

Mając więc n. p. 30 metrów łuku o promieniu 20 m., musielibyśmy drut roboczy dla krążka podtrzymać w 7 punktach, podczas kiedy dla pałaka wystarczyłoby 3 punkty zawieszenia.

Przy wyznaczaniu położenia punktów zawieszenia należy oczywiście uwzględnić różnicę poziomu szyn. Jeżeli n. p. szyna lewa leży o 30 mm. wyżej od prawej, szerokość zaś toru wynosi 1442 mm., a wysokość zawieszenia 6500 mm. nad torami, to oś drutu roboczego musi być przesunięta na prawo o: $\frac{30 \cdot 6500}{1442} = 156$ mm., rys. 117-ty.

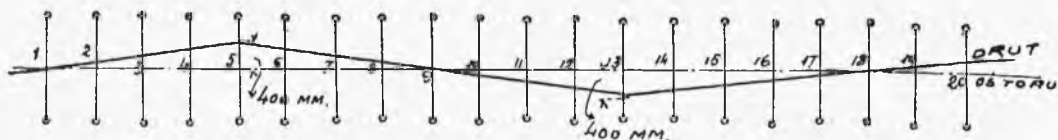
Na łukach należy także uwzględnić wysunięcie środka wozu poza oś toru; wysunięcie to może łatwo osiągnąć przy wozach cztero-osiowych na wózkach 100 i więcej mm. (patrz str. 126 — 127), nie może więc być zaniedbane, zwłaszcza przy krążku.

Dla krążka zawieszają się drut roboczy na linii prostej prostopadle nad osią toru, z uwzględnieniem tylko możliwej różnicy wysokości szyn. Ślizgacz pałakowy przy takim umieszczeniu drutu roboczego tarłby się o drut przeważnie swym środkiem, skutkiem czego wkrótce powstałby w tym miejscu rowek. Rowek ten przytrzymywałby drut roboczy, tak, iż przy wjeździe na łuki, gdzie drut winien przesuwąć się po ślizgaczu, przechodząc na boczne jego części, powstałyby szarpnięcia i uderzenia, odbijające się fatalnie tak na trwałości pałaka, jak i drutu roboczego i całej sieci. Dla zapobieżenia temu rozpina się drut przy kontakcie pałakowym nie dokładnie nad osią toru, lecz



Rys. 117.

zygzakowato, odchylając się stopniowo aż do granicy określonej długością ślizgacza, to w jedną, to w drugą stronę osi, jak to jest uwidocznione na rys. 118-tym.



Rys. 118.

Jeżeli n. p. punkt zawieszenia Nr. 1 leży na osi toru, to punkt Nr. 2 odchylamy o 100 mm. na lewo, Nr. 3 o 200 mm., Nr. 4 o 300 mm., Nr. 5 o 400 mm., poczem zaczynamy znowu zbliżać się do osi odchylając punkt Nr. 6 o 300 mm., Nr. 7 o 200 mm. i t. d. tak, iż punkt Nr. 9 leży znowu na osi; obecnie powtarzamy to samo na prawo. Punkt więc Nr. 10 odchyła się o 100 mm., Nr. 11 o 200 mm. i t. d.; punkt Nr. 18 leży znowu na osi.

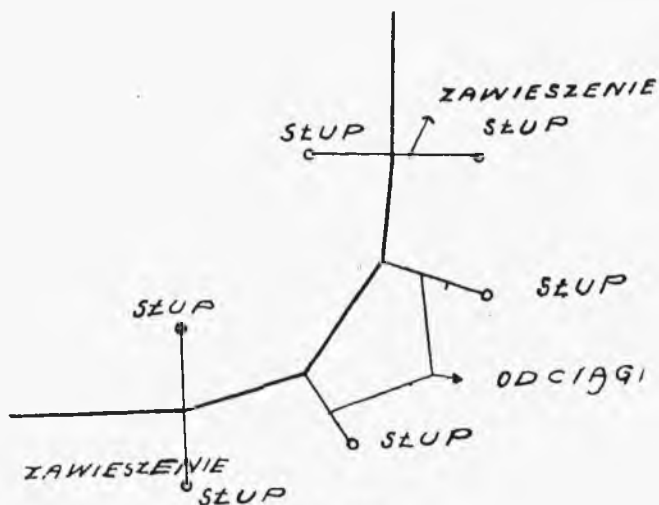
W ten sposób osiągamy to, iż ślizgacz ściera się równomiernie na całej swej długości.

Punkty zawieszenia należy starać się rozmieszczać zawsze w możliwie jednakowych odległościach. Jeżeli więc n. p. odległość między ostatnim punktem zawieszenia jakiegoś łuku, a pierwszym następnego wynosi 140 m., jako odległość zaś punktów zawieszenia na prostej obraliśmy 32 m., to zamiast ustawienia 4 punktów zawieszenia, przy czem pomiędzy ostatnim a pierwszym łuku pozostałoby tylko 12 m., lepiej zrobić 5 punktów w odległościach 28 m., lub 4 w odległościach 35. Taksamo, jeżeli mamy n. p. 15 m. łuku o promieniu 25 m. damy przy ślizgaczu 1,2 m. dwa odciągi co 7,5 m., aczkolwiek stosownie do tablicy odległość punktów zawieszenia mogłaby wynosić 11,5 m.

Często można zaoszczędzić jeden lub dwa odciągi, względnie punkty zawieszenia, przesuując ostatni punkt zawieszenia przed łukiem w odpowiednią stronę od osi toru; rzecz przecie idzie przy pałaku tylko o to, aby odchylenie od osi toru nie przekraczało pewnej miary. Stałego wzoru ani tablicy nie da się w takich wypadkach wypracować, a najlepiej jest postępować graficznie, wykreślając poprostu sieć na planie. Najodpowiedniejszemi do projektowania sieci są plany w skali 1:500, a tylko dla projektowania skomplikowanych rozjazdów, wjazdów do remiz i t. p. lepiej będzie posługiwać się planami w skali 1:100.

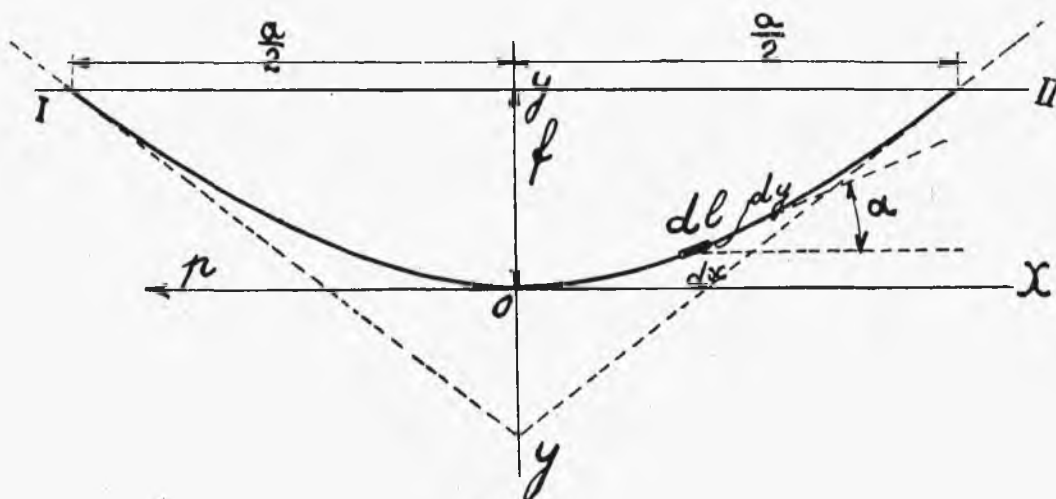
Jak to już zaznaczyliśmy dostateczne jest, jeżeli drut roboczy utrzymany będzie w określonej wysokości co 30 — 35 m., na łukach zaś nie idzie tyle o utrzymanie określonej wysokości, jak położenia w kierunku poziomym względem osi toru. Punkty przeto utrzymujące

drut roboczy w żądanym położeniu na łukach nie muszą koniecznie być zupełnymi zawieszzeniami, lecz mogą być tylko jednostronnymi odcia-gami, rys. 119-ty.



Rys. 119.

4) **Napężenie drutu roboczego.** Jak to już widzieliśmy przybiera zawieszony w dwu punktach drut roboczy kształt linii łańcuchowej, którą to linię zastępujemy dla ułatwienia rachunku parabolą, przy czym popełniamy mały tylko błąd, gdyż zwis drutu w porównaniu do odle-głości punktów zawieszenia jest zawsze mały.



Rys. 120.

Drut roboczy obciążony jest ciężarem własnym, oraz ewent. ciężarem sadzi; ponieważ jednak mamy zawsze do czynienia z niewielkimi rozpiętościami, przeto ciężaru tego nie uwzględniamy, lecz obliczamy drut tylko na naprężenie przy najniższej temperaturze.

Załóżmy najpierw, że punkty zawieszenia leżą oba na jednej wysokości, rys. 120-ty. Oś y określona jest kierunkiem działania siły ciężkości.

Równanie takiej paraboli będzie:

$$x^2 = -2py \quad (2p = \text{parametr}).$$

Jeżeli punkt II leżyć ma na paraboli, to spólrzędne jego muszą być:

$$x = \frac{a}{2}; \quad y = -f;$$

$$\text{a zatem: } \frac{a^2}{4} = -2p \cdot (-f); \quad 2p = \frac{a^2}{4f}; \quad 1) \quad x^2 = -\frac{a^2}{4f} \cdot y.$$

Oznaczmy przez:

q przekrój drutu roboczego w mm.²,

p siłę poziomą w kg. na mm.², działającą w najniższym punkcie, a zatem w 0,

g wagę 1 metra drutu o przekroju 1 mm.²

Długość cząstki drutu dl możemy wyrazić wzorem:

$$dl^2 = dx^2 + dy^2 = dx^2 \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]; \quad dl = dx \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2}.$$

Cząstka dl waży $g \cdot dl \cdot q$ kilogramów; waga ta działa na ramieniu $\frac{a}{2} - x$, wywiera więc elementarny moment skrętu:

$$g \cdot dl \cdot q \cdot \left(\frac{a}{2} - x \right).$$

Suma wszystkich elementarnych momentów skrętu dla jednej połowy drutu od 0 do II wynosi:

$$g \cdot q \cdot \int_{x=0}^{x=\frac{a}{2}} \left(\frac{a}{2} - x \right) dl.$$

Jeślibyśmy drut przecięli w 0, to dla utrzymania równowagi musiałaby tu działać na ramieniu f siła pozioma p kilogramów na mm.² przekroju.

Podstawiając zamiast dl jego wartość, otrzymujemy równanie równowagi:

$$p \cdot q \cdot f = g \cdot q \cdot \int_{x=0}^{x=\frac{a}{2}} \left(\frac{a}{2} - x \right) \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2} \cdot dx.$$

Ponieważ $\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \alpha$, przeto:

$$1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 = 1 + \operatorname{tg}^2 \alpha = 1 + \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \quad *)$$

Ponieważ α jest zawsze bardzo małe, przeto można przyjąć, że:

$$\cos \alpha = 1; \quad \frac{1}{\cos^2 \alpha} = 1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 = 1;$$

$$p \cdot q \cdot f = g \cdot q \int_0^{\frac{a}{2}} \left(\frac{a}{2} - x \right) dx = g \cdot q \cdot \left[\frac{a}{2} x - \frac{x^2}{2} \right]_0^{\frac{a}{2}},$$

a wprowadzając granice: $x = 0$ i $x = \frac{a}{2}$, otrzymujemy:

$$p \cdot q \cdot f = g \cdot q \cdot \left(\frac{a^2}{4} - \frac{a^2}{8} \right), \text{ a stąd wreszcie:}$$

$$2) \quad p = \frac{g \cdot a^2}{8f} \text{ w kg. na mm.}^2;$$

$$3) \quad f = \frac{g \cdot a^2}{8p} = \text{zwis w mm.}$$

Wobec wydłużania się, względnie kurczenia się drutu roboczego pod wpływem zmian temperatury, podlegają tak p , jak i f wpływowi tych zmian.

Pod wpływem podwyższenia temperatury dt , wydłuża się drut długości l o: $dl_1 = l \cdot \alpha \cdot dt$; tu α współczynnik cieplny rozszerzalności danego metalu.

Pod wpływem zwiększenia siły naprężającej p o dp wydłuży się tenże drut o: $dl_2 = \frac{l \cdot dp}{E}$; E współczynnik sprężystości.

$$*) \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{\cos \alpha}; \quad \operatorname{tg}^2 \alpha = \frac{1 - \cos^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} - 1;$$

$$1 + \operatorname{tg}^2 \alpha = 1 + \frac{1}{\cos^2 \alpha} = 1.$$

Przy równoczesnym wpływie zmiany temperatury i naprężenia zmienia drut swą długość o:

$$dl = dl_1 + dl_2 = l \cdot \alpha \cdot dt + \frac{l \cdot d\rho}{E};$$

$$\frac{dl}{l} = \alpha \cdot dt + \frac{d\rho}{E}; \text{ całkując, otrzymamy:}$$

$$\log. \text{ nat. } l = \alpha \cdot t + \frac{\rho}{E} + \text{konst.};$$

dla $t = t_0$, $l = l_0$, $\rho = \rho_0$ mamy:

$$4) \quad \log. \text{ nat. } \cdot \frac{l}{l_0} = \alpha \cdot (t - t_0) + \frac{\rho - \rho_0}{E}.$$

Długość łuku paraboli $\frac{l}{2}$ jest:

$$\int \frac{l}{2} = \int_{x=0}^{x=\frac{a}{2}} dl = \int_{x=0}^{x=\frac{a}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

a wprowadzając z równania 1) wartości: $x^2 = -\frac{a^2}{4 \cdot f} \cdot y$;

$$y = -\frac{4f}{a} x^2; \quad dy = -\frac{8f \cdot x}{a^2} dx, \text{ otrzymamy:}$$

$$\frac{l}{2} = \int_0^{x=\frac{a}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{8f \cdot x}{a^2}\right)^2} \cdot dx.$$

Wprowadzając oznaczenie: $\frac{8f \cdot x}{a^2} = z$ otrzymamy:

$$x = \frac{z \cdot a^2}{8f}, \quad dx = \frac{a^2}{8f} dz$$

a dla wartości:

$$x = 0 \quad z = 0 \quad \text{i} \quad x = \frac{a}{2} \quad z = \frac{4f}{a};$$

$$\frac{l}{2} = \int_0^{\frac{4f}{a}} \sqrt{1 + z^2} dz \cdot \frac{a^2}{8f}.$$

Rozwinąwszy wyraz $\sqrt{1+z^2} = (1+z^2)^{\frac{1}{2}}$ w szereg podług wzoru Newtona:

$$\frac{l}{2} = \frac{a^2}{8f} \left[\int_0^{\frac{4f}{a}} \left(1 + \frac{1}{2}z^2 - \frac{1}{8}z^4 + \dots \right) dz \right]$$
$$\frac{l}{2} = \frac{a}{2} + \frac{4}{3} \frac{f^2}{a} - \dots$$

Opuszczając dalsze wyrazy jako małe w porównaniu do pierwszych, otrzymujemy:

$$l = a + \frac{8}{3} \cdot \frac{f^2}{a}$$

Ponieważ zaś $f = \frac{g \cdot a^2}{8p}$, przeto:

$$l = a \left(1 + \frac{g^2}{24} \cdot \frac{a^2}{p^2} \right) \quad l_0 = a \left(1 + \frac{g^2}{24} \cdot \frac{a^2}{p_0^2} \right)$$

Wstawivszy te wartości w równanie 4) otrzymamy:

$$\alpha(t - t_0) + \frac{p - p_0}{E} = \log. \text{ nat. } \frac{1 + \frac{g^2}{24} \cdot \frac{a^2}{p^2}}{1 + \frac{g^2}{24} \cdot \frac{a^2}{p_0^2}}$$

wyraz ten możemy rozwinąć w szereg podług wzoru:

$$\log. \text{ nat. } (1+z) = z - \frac{z^2}{2} + \frac{z^3}{3} - \dots$$

i opuszczając dalsze wyrazy jako małe, przyjmując w przybliżeniu:

$$\log. \text{ nat. } \frac{l}{l_0} = \frac{g^2 \cdot a^2}{24} \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{p_0^2} \right)$$

$$\alpha(t - t_0) = \frac{g^2 \cdot a^2}{24} \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{p_0^2} \right) - \frac{p - p_0}{E}$$

i wreszcie, nazwawszy rozciągliwość właściwą danego metalu na 1 kg siły naprężającej $\frac{1}{E} = \beta$:

$$5) \quad t - t_0 = \frac{1}{\alpha} \left[\left(\frac{g^2 \cdot a^2}{24} \cdot \frac{1}{p^2} - \beta \cdot p \right) - \left(\frac{g^2 \cdot a^2}{24} \cdot \frac{1}{p_0^2} - \beta \cdot p_0 \right) \right]$$

Znaczenia liter są tu następujące:

- t = temperatura w stopniach Celsiusa,
 t_0 = najniższa temperatura, z jaką należy się w danej miejscowości liczyć; dla naszego klimatu przyjmuje się zwykle $t_0 = -20^\circ \text{C}$.
 α = współczynnik wydłużenia pod wpływem temperatury na 1°C .; dla twardej miedzi = 0,000017 (na 100° jest $\alpha = 0,001718$),
 g = waga jednego metra drutu roboczego o przekroju 1 mm^2 ; dla miedzi jest $g = 0,0089 \text{ kg}$.
 a = odległość punktów zawieszenia w metrach,
 p = naprężenie na 1 mm . kwadr. w drucie roboczym przy temperaturze t , w kg .
 p_0 = największe dopuszczalne naprężenie na 1 mm . kwadr. przy najniższej temperaturze t_0 . Zwykle przyjmuje się $p_0 = \frac{1}{4}$ wytrzymałości, a zatem dla twardej miedzi = 10 kg .
 f = zwis w metrach przy temperaturze t
 E = współczynnik sprężystości, dla twardej miedzi = 12000 kg . na mm^2
 β = współczynnik rozciągłości = $\frac{1}{E}$.

Wstawiwszy te wartości w równanie 5) otrzymamy:

$$6) t = a^2 \left(\frac{0,2}{p^2} - 0,002 \right) - 4,9 p + 49 + t_0,$$

a dla t_0 n. p. = -20° :

$$t = a^2 \left(\frac{0,2}{p^2} - 0,002 \right) - 4,9 \cdot p + 29,$$

albo też, ponieważ $p = \frac{g \cdot a^2}{8 \cdot f}$

$$t - t_0 = \frac{1}{\alpha} \left[\left(\frac{8}{3} \cdot \frac{f}{a^2} - \frac{g \cdot \beta}{8} \cdot \frac{a^2}{f} \right) - \left(\frac{a^2 \cdot g^2}{24} \cdot \frac{1}{p_0^2} - \beta \cdot p \right) \right]$$

$$t = 29 + 156800 \cdot \frac{f^2}{a^2} - 0,005 \cdot \frac{a^2}{f} - 0,002 \cdot a^2.$$

Dla ułatwienia rachunku postępujemy w ten sposób, iż obieramy pewną odległość punktów zawieszenia, czyli rozpiętość, a następnie wstawiamy w równanie 6) różne wartości dla p , z czego wyliczamy odpowiadające temperatury t . Rachunek taki powtarzamy dla kilku rozpiętości.

Tak n. p. dla $a = 32 \text{ m}$. i $p = 3,5 \text{ kg}$. otrzymamy, $t = 26,5$; temperatura taka łatwo w lecie zdarzyć się może. Zwis f byłby przytem: $f = \frac{0,0089 \cdot 32^2}{8 \cdot 3,5} = 0,32 \text{ m} = 320 \text{ mm}$.

Przy temperaturze $t_0 = -20^{\circ}$ i $p_0 = 10$ mielibyśmy:

$$f = \frac{0,0089 \cdot 32^2}{8 \cdot 10} = 0,112 \text{ m.} = 112 \text{ mm.}$$

Jest to różnica zbyt wielka; drut dobrze naciągnięty w zimie okazałby się w lecie zbyt wolny. Wobec tego należy w naszym klimacie mieć zawsze dwa wyliczenia, jedno na zimę a drugie na lato, drut zaś roboczy stosownie do tych wyliczeń na lato napręzać więcej, zaś przed zimą znowu nieco odpuszczać.

Na sezon letni, a zatem n. p. od kwietnia do listopada można dla naszych warunków klimatycznych przyjąć $t_0 = -3^{\circ} \text{C}$ tak, iż otrzymamy na zimę:

$$t = a^2 \left(\frac{0,2}{p^2} - 0,002 \right) - 4,9 \cdot p + 29.$$

$$\text{a na lato: } t = a^2 \left(\frac{0,2}{p^2} - 0,002 \right) - 4,9 \cdot p + 46$$

Z otrzymanych rezultatów wykreśla się krzywe, a z nich układa następnie dla montowania i regulowania tablice. Krzywe takie widzimy na rys. 121-ym; rzędnymi są tu stopnie, odciętemi zaś naprężenia na milimetr przekroju.

Wartości dla innych rozpiętości łatwo znaleźć się dają przez interpolację krzywych. Gdyby należało wyjść z innych minimów, to wystarczy odpowiednio przesunąć skalę temperatury, aby krzywe dały nowe wartości naprężenia. Jeżeli n. p. musimy się liczyć z temperaturą -30° , to przesuwamy skalę temperatur o 10° w prawo i t. d.

W niżej podanej tablicy znajdujemy naprężenia na milim. kwadr. przekroju dla rozpiętości 40 m., 32 m., 20 m. i 10 m. przy różnych temperaturach tak dla zimy (minimum -20°), jak i dla lata (minimum -3°).

Mając określony profil, względnie przekrój drutu roboczego, wystarczy ten przekrój pomnożyć przez naprężenie znalezione w tablicy dla danej temperatury t , aby otrzymać siłę, z jaką należy naciągnąć drut, montując przy tej temperaturze.

$$\text{Jeżeli w równaniu: } \alpha (t - t_0) = \frac{g^2 a^2}{24} \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{p_0^2} \right) - \frac{p - p_0}{E}$$

nie uwzględnić wpływu zwisu na długość, a zatem opuścić wyraz pierwszy, to otrzymamy:

$$p - p_0 = - E \cdot \alpha (t - t_0) = p'$$

t. j. różnicy napięcia, wywołującej takie same wydłużenie, jak dana różnica temperatury.

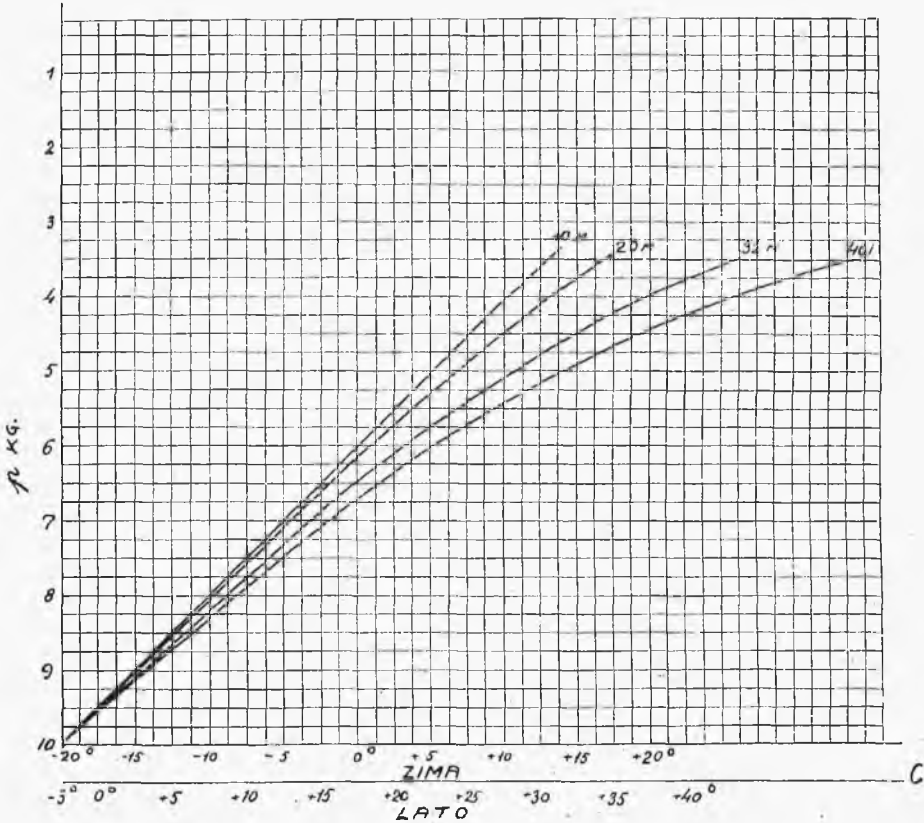
Przyjmując dla miedzi $\alpha = 0,000017$ oraz $E = 11000$ będzie $p' \cong 0,18 \Delta t$.

Tablica naprężenia drutu roboczego.

Tempera- tura ° C	Z I M A				L A T O			
	Naprężenie kg. na mm. przy rozpiętości m.							
	40	32	20	10	40	32	20	10
-20	10,0	10,0	10,0	10,0				
-18	9,65	9,62	9,60	9,57				
-16	9,30	9,25	9,20	9,15				
-14	8,95	8,90	8,80	8,75				
-12	8,60	8,55	8,35	8,25				
-10	8,25	8,17	8,05	7,95				
-8	7,90	7,85	7,65	7,55				
-6	7,60	7,45	7,25	7,15				
-4	7,30	7,10	6,85	6,75				
-2	7,00	6,70	6,47	6,35	9,84	9,80	9,77	9,75
0	6,70	6,45	6,12	6,00	9,50	9,45	9,40	9,38
+2	6,45	6,15	5,75	5,60	9,15	9,10	9,00	8,97
+4	6,15	5,90	5,42	5,12	8,80	8,75	8,63	8,55
+6	5,90	5,60	5,10	4,80	8,45	8,40	8,25	8,15
+8	5,65	5,35	4,80	4,45	8,10	8,05	7,85	7,75
+10	5,40	5,05	4,50	4,10	7,75	7,65	7,47	7,37
+12	5,20	4,80	4,20		7,45	7,32	7,10	7,00
+14	5,00	4,60	3,95		7,15	6,95	6,70	6,55
+16	4,80	4,35			6,85	6,65	6,35	6,18
+18					6,55	6,32	5,95	5,75
+20					6,30	6,02	5,60	5,40
+22					6,05	5,75	5,28	5,02
+24					5,80	5,45	4,97	4,65
+26					5,55	5,18	4,68	4,30
+28					5,35	4,92	4,40	3,95
+30					5,15	4,65	4,10	
+32					4,95	4,45	3,90	
+34					4,70	4,25		
+36					4,55	4,10		

1° C. zatem różnicy temperatury wywołuje w przybliżeniu takie same wydłużenie, jak różnica napięcia o 0,18 kg. Jeżeli zmienia się temperatura drutu, to zmienia się i jego naprężenie i zwis. Nie uwzględniając wpływu zwisu na długość, przy niżeniu temperatury naprężenie musi się zwiększyć o tyle, że zrównoważona zostanie różnica temperatury. Oznaczając więc przez Δp różnicę naprężenia, a Δt różnicę temperatury, możemy w przybliżeniu napisać:

$$\Delta p \cong 0,18 \Delta t.$$



Rys. 121.

Dotychczas wychodziliśmy z założenia, że oba punkty zawieszenia leżą na jednej wysokości. Obliczenie całe zmieni się jednak, jeżeli wysokości te są różne, jeżeli więc tory leżą nie poziomo, lecz na pochyłości.

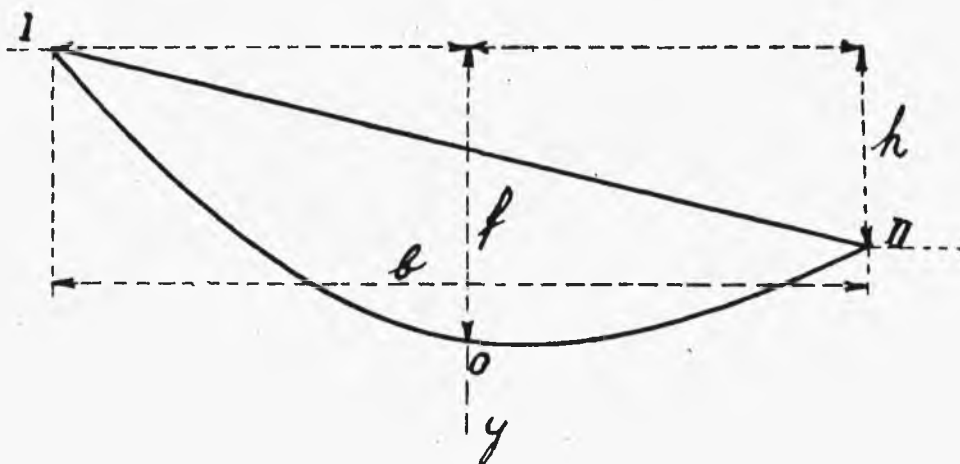
Parabola, której równaniem jest: $x^2 = -\frac{a^2}{4f} \cdot y$ musi w myśl założenia przejść przez punkt II, rys. 122-gi. Rzędne tego punktu są:

$$x_2 = b - \frac{a}{2}; \quad y_2 = -(f-h)$$

Podstawiając te wartości otrzymamy:

$$\left(b - \frac{a}{2}\right)^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 \cdot \frac{f-h}{f};$$

$$\frac{\left(b - \frac{a}{2}\right)^2}{\left(\frac{a}{2}\right)^2} = \frac{f-h}{f} = 1 - \frac{h}{f}; \quad \frac{h}{f} = \frac{\left(\frac{a}{2}\right)^2 - \left(b - \frac{a}{2}\right)^2}{\left(\frac{a}{2}\right)^2} = \frac{4b(a-b)}{a^2}$$



Rys. 122.

Z poprzedniego równania wynika jednak:

$$\frac{b - \frac{a}{2}}{\frac{a}{2}} = \sqrt{\frac{f-h}{h}}, \quad b = \frac{a}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{f-h}{h}}\right), \text{ a zatem:}$$

$$a = \frac{2b}{1 + \sqrt{\frac{f-h}{h}}}$$

Podstawiając w równanie $\frac{h}{f}$ wartości $f = \frac{g \cdot a^2}{8p}$, otrzymujemy:

$$\frac{8 \cdot h \cdot p}{g \cdot a^2} = \frac{4b(a-b)}{a^2}, \quad a = b + \frac{2h}{b} \cdot \frac{p}{g}$$

Związek pomiędzy temperaturą a naprężeniem wyraża się jak poprzednio wzorem:

$$\log. \text{ nat. } \frac{l}{l_0} = \alpha (t - t_0) + \frac{p - p_0}{E}$$

Długość łuku paraboli I — 0 — II wynosi:

$$l = \int_{x = -\frac{a}{2}}^{x = b - \frac{a}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

Ponieważ $x^2 = -\frac{a^2}{4f} \cdot y$ przeto $\frac{dy}{dx} = \frac{8f \cdot x}{a^2} = -Z$, wstawiając te

wartości mamy: $l = \int_{x = -\frac{a}{2}}^{x = b - \frac{a}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{8fx}{a^2}\right)^2} dx$

$$\text{Dla } \begin{cases} x = -\frac{a}{2} \text{ jest } Z = -\frac{4f}{a} \\ x = b - \frac{a}{2} \text{ " } Z = \frac{8f \cdot \left(b - \frac{a}{2}\right)}{a^2} \end{cases}$$

$$l = \int_{-\frac{4f}{a}}^{\frac{8f \cdot b}{a^2} - \frac{4f}{a}} \sqrt{1 + Z^2} dZ \cdot \frac{a^2}{8f} =$$

$$= \frac{a^2}{8f} \left[\int_{-\frac{4f}{a}}^{\frac{8f \cdot b}{a^2} - \frac{4f}{a}} \left(1 + \frac{1}{2} Z^2 - \frac{1}{8} Z^4 + \dots \right) dZ \right]$$

$$l = \frac{a^2}{8f} \left[Z + \frac{Z^3}{3} \right]_{-\frac{4f}{a}}^{\frac{8f \cdot b}{a^2} - \frac{4f}{a}} = \frac{a^2}{8f} \left[\frac{8b \cdot f}{a^2} - \frac{4f}{a} + \frac{1}{6} \left(\frac{8b \cdot f}{a^2} - \frac{4f}{a} \right)^3 + \right. \\ \left. + \frac{4f}{a} + \frac{64f^3}{6a^3} \right]$$

$$l = b + \frac{8b \cdot f^2}{a^2} \left(1 - \frac{2b}{a} + \frac{4b^2}{3a^2} \right) \dots \dots \dots$$

Dla $b = a$ otrzymalibyśmy oczywiście wzór poprzedni:

$$l = a + \frac{8f^2}{3a} - \dots \dots \dots$$

Wstawiając zamiast f jego wartości, t. j. $\frac{g \cdot a^2}{8p}$ otrzymamy:

$$l = b \left[1 + \left(\frac{g^2 \cdot a^2}{8p^2} - \frac{b \cdot g^2 \cdot a}{4p^2} + \frac{b^2 \cdot g^2}{6p^2} \right) \right]$$

Poprzednio obliczyliśmy już, że: $a = b + \frac{2h}{b} \cdot \frac{p}{g}$, otrzymamy więc ostatecznie po wykonaniu skrótów:

$$l = \frac{2b^2 + h^2}{2b} \left[1 + \frac{b^4 \cdot g^2}{12 (2 \cdot b^2 + h^2) \cdot p^2} \right] \text{ i analogicznie:}$$

$$l_0 = \frac{2b^2 + h^2}{2b} \left[1 + \frac{b^4 \cdot g^2}{12 (2 \cdot b^2 + h^2) p_0^2} \right]$$

$$\frac{l}{l_0} = \frac{1 + \frac{b^4 \cdot g^2}{12 (2 \cdot b^2 + h^2) p^2}}{1 + \frac{b^4 \cdot g^2}{12 (2 \cdot b^2 + h^2) p_0^2}} = 1 + \frac{b^4 \cdot g^2}{12 (2 \cdot b^2 + h^2)} \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{p_0^2} \right)$$

$\log. \text{ nat.} \left[1 + \frac{b^4 \cdot g^2}{12 (2 \cdot b^2 + h^2)} \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{p_0^2} \right) \right]$ rozwijamy w szereg i opuszczając dalsze wyrazy jako małe otrzymujemy:

$$\frac{b^4 \cdot g^2}{12 (2 \cdot b^2 + h^2)} \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{p_0^2} \right)$$

Ponieważ jednak, jak widzieliśmy, jest:

$$\log. \text{ nat.} \frac{l}{l_0} = \alpha (t - t_0) + \frac{p - p_0}{E}, \text{ przeto:}$$

$$\alpha (t - t_0) = - \frac{p - p_0}{E} + \frac{b^4 \cdot g^2}{12 (2 \cdot b^2 + h^2)} \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{p_0^2} \right)$$

Wstawiwszy wreszcie $\frac{1}{E} = \beta$ i uważając h wobec b za bardzo małe, otrzymamy po dalszych uproszczeniach:

$$7) t - t_0 = \frac{1}{\alpha} \left\{ \left[\frac{g^2 \cdot b^2}{24} \left(1 - \frac{h^2}{2 b^2} \right) \frac{1}{p^2} - \beta p \right] - \left[\frac{g^2 \cdot b^2}{24} \left(1 - \frac{h^2}{2 b^2} \right) \frac{1}{p_0^2} - \beta p_0 \right] \right\}$$

Porównyując powyższy wzór 7-my z wzorem 5-tym dla zawieszenia w jednakowej wysokości, widzimy, że wzory te stają się identyczne, jeżeli we wzorze 5-tym zastąpimy a^2 przez $b^2 \left(1 - \frac{h^2}{2b^2} \right)$ t. j. jeżeli zamiast rozpiętości a wstawimy inną rozpiętość:

$$a_1 = \sqrt{b^2 - \frac{h^2}{2}}$$

Zachowując ten warunek możemy się posługiwać tak krzywemi rys. 121-szy, jako też wyżej podaną tablicą naprężeń.

Jeżeli np. tor leży na pochyłości 50^o/₁₀₀, a rozpiętość wynosi 32 m., to:

$$h = 32 \cdot 0,05 = 1,6, \quad a_1 = \sqrt{32^2 - \frac{1,6^2}{2}} = 31,97 \text{ m.}$$

Zamiast więc rzeczywistej rozpiętości 32 m. musimy liczyć 31,97 m.; daje to różnicę tak znikomą małą, że w normalnych warunkach z różnicą wysokości punktów zawieszenia liczyć się nie potrzebujemy. Różnicę tę uwzględniać musimy tylko przy kolejach linowych o ogromnych pochyleniach.

Co do elektrycznego obciążenia drutu roboczego, to dopuszczalna jest tu znacznie większa gęstość prądu niż w normalnych warunkach w przewodach niez izolowanych.

Przepisy bezpieczeństwa niemieckiego Związku Elektrotechników określają dla drutów roboczych następujące obciążenia:

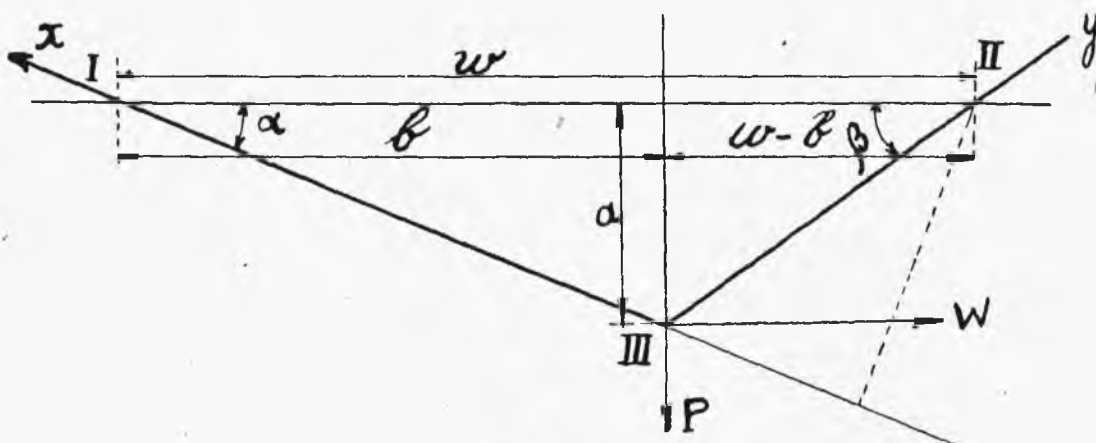
Przekrój drutu mm. ²	Dopuszczalne obciążenie
50	150 amp.
65	180 "
68	230 "
95	280 "
113	330 "

5) Druty poprzeczne, wysokość punktów zawieszenia. Jako druty poprzeczne stosuje się zwykle druty stalowe o średnicy 5 mm. i wytrzymałości 60—70 kg. na mm.² Drut o średnicy 5 mm. ma przekrój = 19,6 mm.², a zatem wytrzymałość 1180—1380 kg. Dla lepszej ochrony od rdzewienia są te druty zwykle ocynkowane.

Jako druty odciągowe na łukach, gdzie obciążenie bywa większe, stosowane bywają przeważnie także druty, ale o średnicy 6 mm. czyli przekroju 28,3 mm.² i wytrzymałości na rozerwanie 1700—1970 kg. Dla większych wreszcie jeszcze obciążeń (n. p. przy wjazdach do wozowni i wielkiej ilości torów i t. p.) stosuje się liny stalowe o średnicy 7—15 mm., plecione z cienkich stalowych drutów; wytrzymałość na rozerwanie takich lin jest znacznie większą i wynosi zwykle 70—100 kg. na mm.²

Druty poprzeczne obciążone są:

- 1) Wagą własną; obciążenia tego, jako bardzo małego, nie bierzemy zwykle pod uwagę.
- 2) Wagą zawieszoną na nim drutu roboczego wraz z izolatorami i zaciskami.
- 3) Śniegiem i lodem; obciążenia tego, jako małego, też zwykle przy rachunku nie uwzględniamy.
- 4) Naporem wiatru.



Rys. 123.

W punkcie III, rys. 123-ci, działa w kierunku pionowym waga P oraz w poziomym nacisk wiatru W .

Dla równowagi musi być:

$$x \cdot w \cdot \sin \alpha = P \cdot (w - b) + W \cdot a; \quad x = \frac{P \cdot (w - b) + W \cdot a}{w \cdot \sin \alpha},$$

a także:
$$y = \frac{P \cdot b - W \cdot a}{w \cdot \sin \beta}.$$

Ponieważ tak α , jak i β są zawsze małe, przeto możemy zamiast \sin . wstawić \tan ., a że:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{a}{w - b}, \quad \text{to:}$$

$$x = \frac{P \cdot (w - b) + W \cdot a}{w \cdot \frac{a}{b}}; \quad y = \frac{P \cdot b - W \cdot a}{w \cdot \frac{a}{w - b}}.$$

Jeżeli zawieszenie znajduje się w środku między punktami oparcia, to:

$$\left(b = \frac{w}{2}\right);$$

$$1) \quad x = \frac{P \cdot \frac{w}{2} + W \cdot a}{w \cdot \frac{2a}{w}} = \frac{P \cdot b + W \cdot a}{2a};$$

$$2) \quad y = \frac{P \cdot b - W \cdot a}{w \cdot \frac{2a}{w}} = \frac{P \cdot b - W \cdot a}{2a}.$$

Jeżeli zaś nie uwzględnimy działania wiatru, to:

$$3) \quad x = y = \frac{P}{2} \cdot \frac{b}{a} = \frac{P}{2} \cdot \frac{w}{2a} = \frac{P}{2} \cdot w \frac{1}{2a}.$$

Otrzymamy zatem naprężenie w drucie poprzecznym, pomnożywszy połowę zawieszoną na nim wagi przez długość drutu poprzecznego, podzieloną przez podwójny jego zwis, czyli przez stosunek pochylenia.

Jeżeli n. p. mamy drut roboczy o przekroju 65 mm.², rozpiętość zaś wynosi 32 m., to drut waży:

$$65 \cdot 0,0089 \cdot 32 = 18,4 \text{ kg.}$$

$$\text{Waga izolatora i zacisku} \cong \underline{3,6 \text{ „}}$$

$$P = \underline{22 \text{ kg.}}$$

Przy pochyleniu 1 : 10 mamy więc:

$$x = y = \frac{22}{2} \cdot 10 = 110 \text{ kg., nie uwzględniając działania wiatru.}$$

Co do działania wiatru, to przyjmując jako maximum 125 kg. ciśnienia na m.² powierzchni prostopadłej do kierunku wiatru i biorąc dla drutu profilowego $\frac{2}{3}$ tej wartości, otrzymamy okrągło 84 kg. na m.²

Średnica drutu profilowego 65 mm.² w kierunku prostopadłym wynosi około 8 mm., powierzchnia więc na rozpiętości 32 m. wynosi 0,256 m.², a zatem $W = 0,256 \cdot 84 = 22 \text{ kg.}$

Przy odległości między słupami $w = 15 \text{ m.}$ będzie $a = 0,75 \text{ m.}$, a zatem:

$$x = 110 + \frac{22 \cdot 0,75}{1,5} = 121 \text{ kg.}$$

Wiatr więc może zwiększyć naprężenie drutu poprzecznego o najwyżej jakie 10%. Cyfrę tę przyjmuje się zwykle z góry, nie przeprowadzając każdorazowo szczegółowego rachunku.

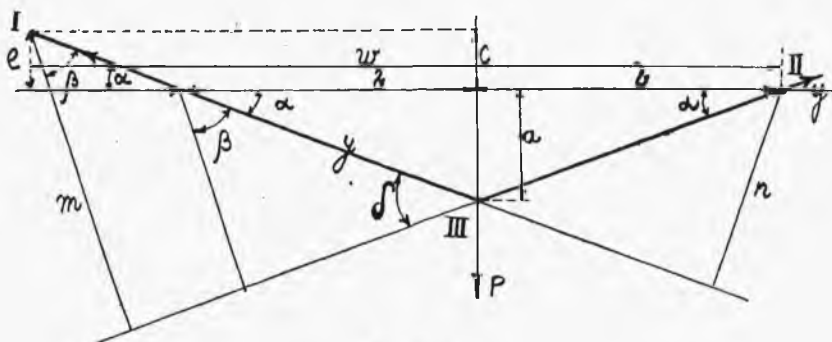
Przy asymetrycznym położeniu drutu, mamy nie uwzględniając działania wiatru:

$$4) \quad x = \frac{P \cdot (w - b)}{\frac{w \cdot a}{b}}; \quad 5) \quad y = \frac{P \cdot b}{\frac{w \cdot a}{w - b}}.$$

Niech w poprzednim przykładzie przy $w = 15$ m. będzie $b = 10$ m., a zatem $w - b = 5$ m., a jak poprzednio $= 0,75$ m. to:

$$x = \frac{22 \cdot (15 - 10)}{\frac{15 \cdot 0,75}{10}} = 198 \text{ kg.}; \quad y = \frac{22 \cdot 10}{\frac{15 \cdot 0,75}{15 - 10}} = 98 \text{ kg.}$$

Zwykle jednak staramy się przy asymetrycznym zawieszeniu zachować jednakowe pochylenie obu części drutu poprzecznego; wysokość punktów zawieszenia tego ostatniego staje się wtedy naturalnie różną. Oznaczmy różnicę wysokości przez c , rys. 124-ty.



Rys. 124.

Ramię dla X jest: $2 \cdot b \cdot \sin \alpha = n$,

a dla Y : $(x + y) \cos \beta = m$;

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b} = \frac{a + c}{w - b}, \text{ z czego różnica wysokości } c;$$

$$c = (w - 2b) \frac{a}{b};$$

ponieważ $\delta = 2\alpha$, przeto $m = (x + y) \sin 2\alpha = (x + y) 2 \sin \alpha \cos \alpha$;

$$x = \frac{c}{\sin \alpha}; \quad y = \frac{a}{\sin \alpha}; \quad m = 2(c + a) \cos \alpha;$$

wstawiając wartość: $c = (w - 2b) \frac{a}{b} = \frac{a}{b}(w - b) - a$,

$$\begin{aligned} \text{otrzymamy: } m &= 2 \left[\frac{a}{b}(w - b) - a + a \right] \cos \alpha = \\ &= 2 \cdot \frac{a}{b}(w - b) \cos \alpha; \end{aligned}$$

wstawiając: $\frac{a}{b} = \operatorname{tg} \alpha$; $m = 2(w - b) \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \alpha} = 2(w - b) \sin \alpha$.

Ponieważ dalej: $X \cdot n = P \cdot b$, oraz: $Y \cdot m = P(w - b)$, przeto:

$$X \cdot 2b \cdot \sin \alpha = P \cdot b; \quad Y \cdot 2(w - b) \sin \alpha = P \cdot (w - b);$$

$$X = \frac{P \cdot b}{2b \cdot \sin \alpha} \cong \frac{P \cdot b}{2b \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{P \cdot b}{2b \cdot \frac{a}{b}}$$

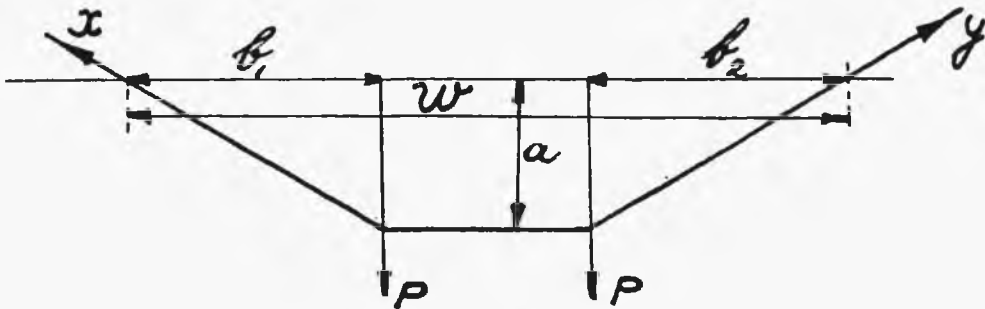
$$6) \quad X = \frac{P \cdot b}{2 \cdot a}$$

$$Y = \frac{P(w - b)}{2(w - b) \sin \alpha} \cong \frac{P(w - b)}{2(w - b) \operatorname{tg} \alpha} = \frac{P(w - b)}{2(w - b) \cdot \frac{a}{b}}$$

$$7) \quad Y = \frac{P \cdot b}{2 \cdot a} = X, \text{ a zatem to samo, co i przy zawieszeniu}$$

symetrycznym.

Przy torze podwójnym i zawieszeniu symetrycznym otrzymamy, rys. 125-ty, $b_1 = b_2$



Rys. 125.

$$8) \quad X = Y = P \frac{b}{a} \quad \text{A przy zawieszeniu asymetrycznym:}$$

$$9) \quad X = \frac{P(w - b_1 + b_2)}{w \frac{a}{b_1}} \quad 10) \quad Y = \frac{P(w - b_2 + b_1)}{w \frac{a}{b_2}}$$

Przy zawieszeniu asymetrycznym z jednakowym pochyleniem drutów:

$$11) \quad X = Y = P \frac{a}{b}$$

Przykład:

Tor podwójny, drut roboczy 65 mm.², rozpiętość 32 m., pochylenie 1:10., P jak poprzednio 22 kg.

a) Zawieszenie symetryczne: $b_1 = b_2 = 6 \text{ m.}, \quad a = 0,6 \text{ m.},$

$$X = Y = 22 \cdot \frac{6}{0,6} = 220 \text{ kg.}$$

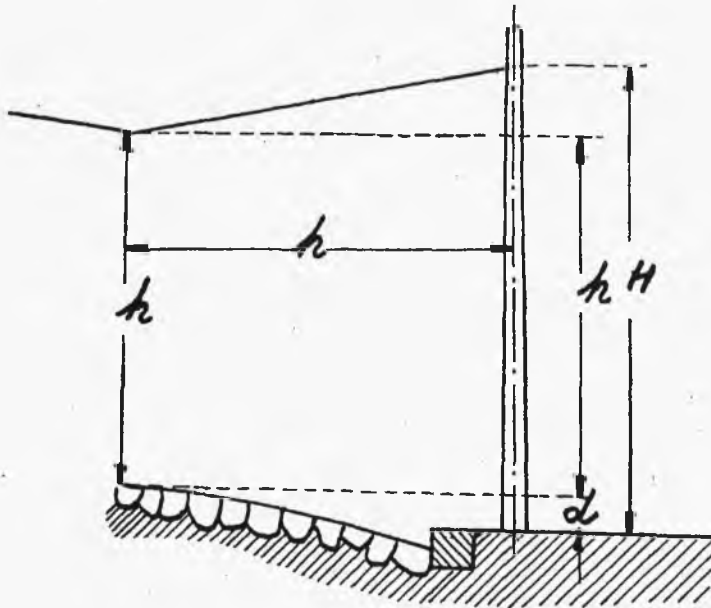
b) Zawieszenie asymetryczne: $w = 15 \text{ m.},$
 $b_1 = 4 \text{ m.}, \quad b_2 = 8 \text{ m.}, \quad a = 0,6 \text{ m.}$

$$X = \frac{22 (15 - 4 + 8)}{15 \frac{0,6}{4}} = 186 \text{ kg.}$$

$$Y = \frac{22 (15 - 8 + 4)}{15 \frac{0,6}{8}} = 216 \text{ kg.}$$

Wysokość, w jakiej musimy zawieszać druty poprzeczne, zależy od obranej wysokości zawieszenia drutu roboczego, odległości tego punktu od słupa lub rozety i pochylenia, jakie chcemy nadać drutowi poprzecznemu.

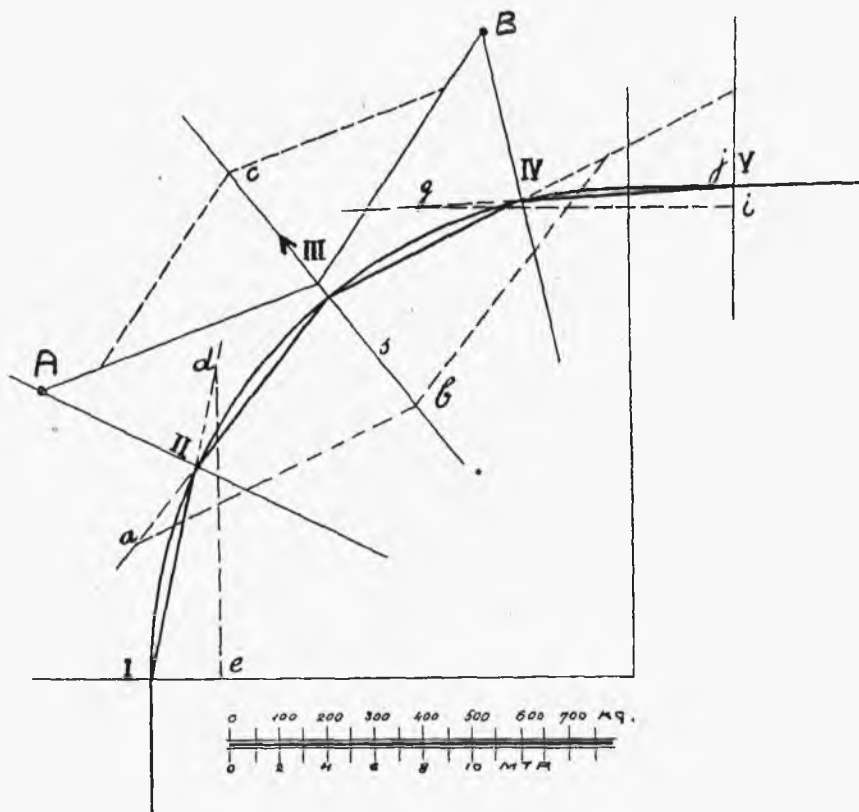
Wysokość zawieszenia drutu roboczego bywa różna, od 5 do 6,5 m., przy czym dawniej obierano zwykle 5,5 m. W nowszych czasach zaczęto się skłaniać ku większym wysokościami, do 6,5 m. Oczywiście, iż większa ta wysokość, wymagając wyższych i mocniejszych słupów, czyni się droższą, nadaje jej jednak wygląd estetyczniejszy i lżejszy. Poza



Rys. 126.

zdaje się, iż wyższe zawieszenie sieci wpływa bardzo dodatnio na zmniejszenie starcia drutu roboczego i trwałość ślizgaczy. Faktem przynajmniej jest to, iż w kilku miastach, a przedewszystkiem w Warszawie, gdzie wysokość zawieszenia drutu roboczego wynosi właśnie 6,5 m., zauważono anormalnie małe starcie drutu i niezwykle wielką trwałość ślizgaczy. Możliwym jest, iż większa wysokość chroni lepiej drut od pyłu ulicznego; może też nie bez znaczenia jest i większa elastyczność dłuższych pałąków. W każdym razie są jednak doświadczenia z wysoko zawieszonymi sieciami jeszcze zbyt nieliczne, aby większą ich trwałość można było stawiać jako pewnik; podajemy to tylko jako obserwację i pewien domysł.

Obrawszy wysokość zawieszenia drutu roboczego nad szynami h , otrzymamy wysokość w jakiej winien być przytwierdzony drut poprzeczny H , oznaczywszy przez L , rys. 126-ty, odległość drutu roboczego



Rys. 127

od słupa, d różnicę wysokości między szyną a chodnikiem, względnie miejscem ustawienia słupa i n pochylenie drutu poprzecznego, z równania:

$$H = h + \frac{L}{n} + d.$$

6) Druty poprzeczne i odciągowe na łukach. Siły, działające w drutach poprzecznych oraz odciągowych na łukach, określa się najlepiej wykreślnie; jako naprężenie drutu roboczego przyjmuje się przytem największe dopuszczalne, a zatem, n. p. dla drutu 65 mm.², 650 kg. Odciągom należy zawsze starać się dawać kierunek radialny lub do niego najbardziej zbliżony, w przeciwnym bowiem razie powstają w drucie roboczym siły dodatkowe.

Wykreślne obliczenie dla łuku o promieniu 20 m. i sieci pałkowej widzimy na rys. 127-mym.

Przy ślizgaczu o długości 1200 mm. mamy podług tablicy, str. 167-ma, odległość punktów odciągowych 8,9 m., otrzymujemy więc ogółem 5 punktów, z których I i V są zawieszzeniami, zaś II , III i IV odciągami.

Naprężenie drutu roboczego = 650 kg. odnosimy od punktu III w kierunku jednego z boków ($III - II$) tak, iż $III - a = H$. Przeprowadziwszy linię $\overline{ab} \parallel III - IV$ aż do przecięcia z przedłużeniem odciagu w punkcie b , będzie $\overline{b - III}$ wypadkową s siły H , działającą w kierunku odciagu, a zatem obciążającą drut odciągowy. Widzimy, iż $s = III - b = III - c = 290$ kg.

Takie same obciążenie mają odciąg w II i IV . W tensam sposób znajdujemy obciążenie w $I = I - e = I - f = 140$ kg. i w $V = V - i = V - j = 50$ kg.

Pochylenie drutów odciągowych nie jest tak jak poprzecznych dowolne, gdyż drut odciągowy skierowuje się wzdłuż wypadkowej dwu, sił, a mianowicie siły s , działającej poziomo, i ciężaru G drutu roboczego wraz z wieszakiem i izolatorem, działającego pionowo.

$$\text{Pochylenie } 1/n = \text{tg. } \alpha = \frac{G}{s}, \text{ rys. 128-my.}$$

Dla punktu II n. p. mamy siłę $s = 290$ kg. Długość zawieszono tu drutu roboczego wynosi $2 : 8,9$ m. = 17,8 m.

$$\frac{17,8 \cdot 65 \cdot 0,0089}{2} = 5,15 \text{ kg.}$$

Wieszak, izolator, zaciski $\cong 4,85$ kg.

$$G = 10 \text{ kg.}$$

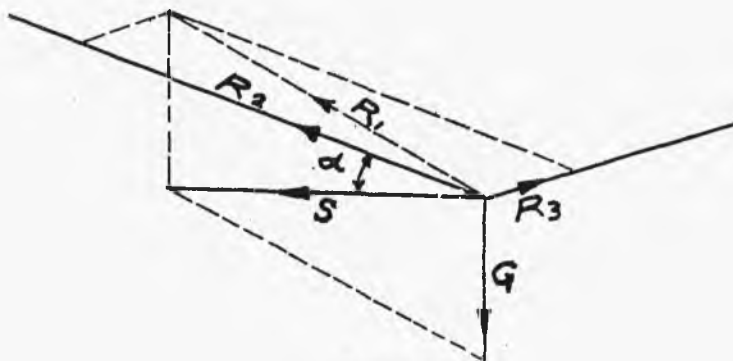
$$1/n = \frac{10}{290} = 1 : 29.$$

Wykreślnie można tu określić pochylenie w sposób następujący: Przez punkt II , rys. 128-my, prowadzimy poziomą $II - a = s = 290$ kg i pionową $II - b = G = 10$ kg. Linja ab daje nam wtedy pochylenie drutu odciągowego. Jeżeli odległość słupa od II wynosi n. p. 7 m., to, przeprowadziwszy przez II linję $II - c \parallel$ do ab otrzymamy $c - d = = 0,24$ m.; o tyle winien punkt przytwierdzenia drutu odciągowego leżeć wyżej od zawieszenia drutu roboczego. Dla większej wyraźności skala długości na rys. 127-ym została podwojona, skala zaś sił, potrójona.



Rys. 128.

Dla drutów poprzecznych, będących zarazem i odciągowymi, rozkłada się wypadkowa sił s i G , na dwie siły, działające w kierunkach obu części drutu, rys. 129-ty, R_2 i R_3 .



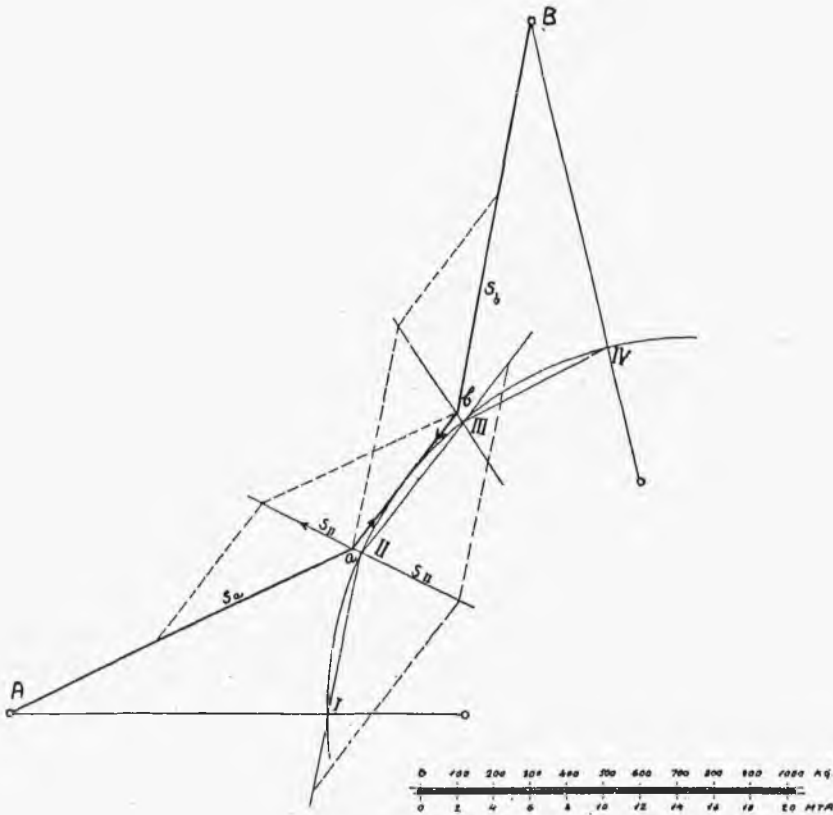
Rys. 129.

Gdyby pochylenie zewnętrznej części drutu było takie, iż drut ten byłby równoległy do wypadkowej R_1 , to część wewnętrzna drutu nie byłaby obciążona, co w wykonaniu wyglądałoby nieładnie. Wobec tego należy zawsze pochylenie obierać takie, aby na część wewnętrzną padło też pewne, niezbyt wielkie, obciążenie R_3 .

Nie jest wcale koniecznem, aby każdy odciąg miał swój oddzielny słup czy też hak ścienny; przeciwnie, daje się częstokroć połączyć dwa lub więcej odciągów na jednym słupie. Konstrukcję taką widzimy na rys. 127-ym, gdzie zamiast stawiania oddzielnego słupa dla odciągu $u III$, działającą tu siłę s przeniesiono na słupy A i B , postawione dla odciągów

II i *IV*. Siła $s = 290$ kg. rozkłada się na składowe, działające w kierunku drutów $A - III$ i $B - III$, dając dla każdego z nich po 480 kg.

Na rys. 130-ym uwidoczniła jest t. n. przeciwnokrzywa, pozwalająca umieścić 4 odciągi na dwu słupach, a mianowicie odciągi dla punktów *I*, *II*, *III* i *IV* na dwu słupach *A* i *B*.



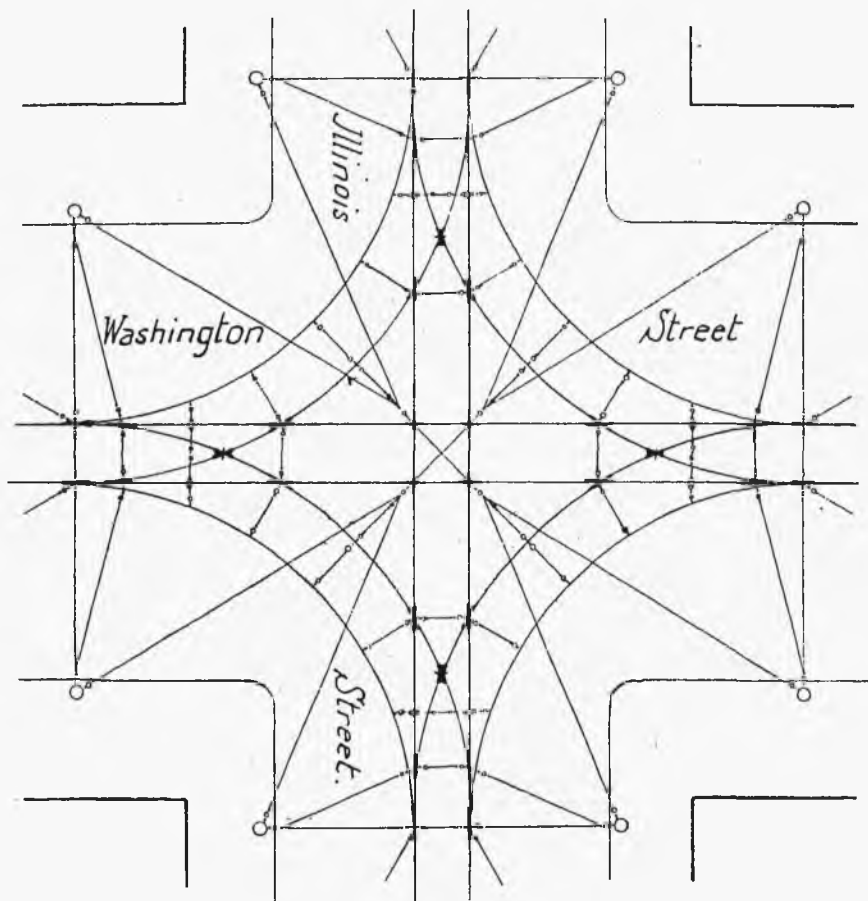
Rys. 130.

Sposób wykreślnego wyznaczenia wielkości naprężeń, działających w poszczególnych drutach, jest zupełnie jasny, nie potrzebuje przeto dalszego tłumaczenia. Dla drutu $A - a$ otrzymujemy $s_a = 600$ kg., dla drutu $B - b$ $s_b = 600$ kg.; w drucie $a - b$ działa siła składowa $s_{II} = 470$ kg. i równoważąca ją $s_{III} = 470$ kg.; drut ten jest więc obciążony siłą $= 470$ kg.

Z powyższego już widać, iż dobre i racjonalne zaprojektowanie sieci na większych rozjazdach, wjazdach do remiz i t. p. wymaga dużej wprawy, może jednak dać znaczną nawet oszczędność w słupach.

Przy podobnych projektach nie należy jednak iść za daleko

z oszczędnością, gdyż zbyt mała ilość słupów utrudnia znacznie montaż; stałe jest tylko zupełne zawieszenie, podczas kiedy odciąg jest zawsze punktem mniej albo więcej ruchomym i niestałym, zależnym od sąsiednich odciągów. Pamiętać przytem dalej należy, iż znaczna ilość izolatorów, zacisków, wieszaków, zwrotnic i t. p., jakie na podobnych rozjazdach muszą być w sieci umieszczone, stanowią już poważną wagę, że więc zawieszony rozjazd na zbyt małej ilości słupów mógłby łatwo zbyt się zwieszać. Wypada przeto często odciąg zamienić rzeczy-



Rys. 131.

wistem zawieszeniem, chociażby kosztem dodania jednego lub paru słupów.

Wykonanie sieci ułatwia znacznie zupełna symetria całego rozjazdu; widzimy to na rys. 131-ym, przedstawiającym symetryczny rozjazd dla kontaktu kółkowego. Dla całego rozjazdu wystarczyło tu 8 słupów.

Konstrukcja ta może równocześnie służyć jako przykład zbyt daleko posuniętej oszczędności. Na 8 słupach zawieszonych jest około 400 m. drutu roboczego, t. j. conajmniej 180 kg.; izolatory, wieszaki i t. p. muszą też ważyć nie mniej, jak 150 kg., rozpiętość zaś (od zawieszenia do zawieszenia) wynosi około 35 m. Że tak wielki ciężar wymaga nadzwyczaj mocnych słupów, jest rzeczą jasną, jak również, iż montaż, a następnie wszelkie reparacje takiego rozjazdu muszą być nadzwyczaj trudne; ustawienie natomiast 4 dodatkowych słupów po rogach nie o wiele by pewno koszt powiększyło, a za to nadałoby całej konstrukcji znacznie większą stałość.

Rys. 132-gi i 133-ci, uwidoczniają dwie konstrukcje dla kontaktu pałkowego wykonane w Warszawie.

7) **Izolatory sekcyjne, druty kotwowe.** Jak to już widzieliśmy, nie stanowi sieć zwykle jednej całości, lecz bywa przeważnie podzieloną na izolowane od siebie dzielnice czy też sekcje. Do podziału takiego służą właśnie t. n. **izolatory sekcyjne.** W zasadzie izolator sekcyjny polega na tem, iż drut roboczy zostaje na pewnej długości przerwany i zastąpiony materiałem izolacyjnym, zwykle drzewem.

Takie izolatory widzimy n. p. na rys. 134-tym, 135-tym i 136-tym

Niezależnie od podziału na poszczególne dzielnice, oddzielnie z elektrowni zasilane, dzieli się zwykle każdą dzielnicę przy pomocy takich izolatorów na poszczególne sekcje, a to dla tego, aby móc w razie uszkodzeń jedną taką sekcję oddzielić od innych i w ten sposób uniknąć potrzeby wyłączenia całej dzielnicy. Podział na sekcje pozwala więc jeszcze bar-

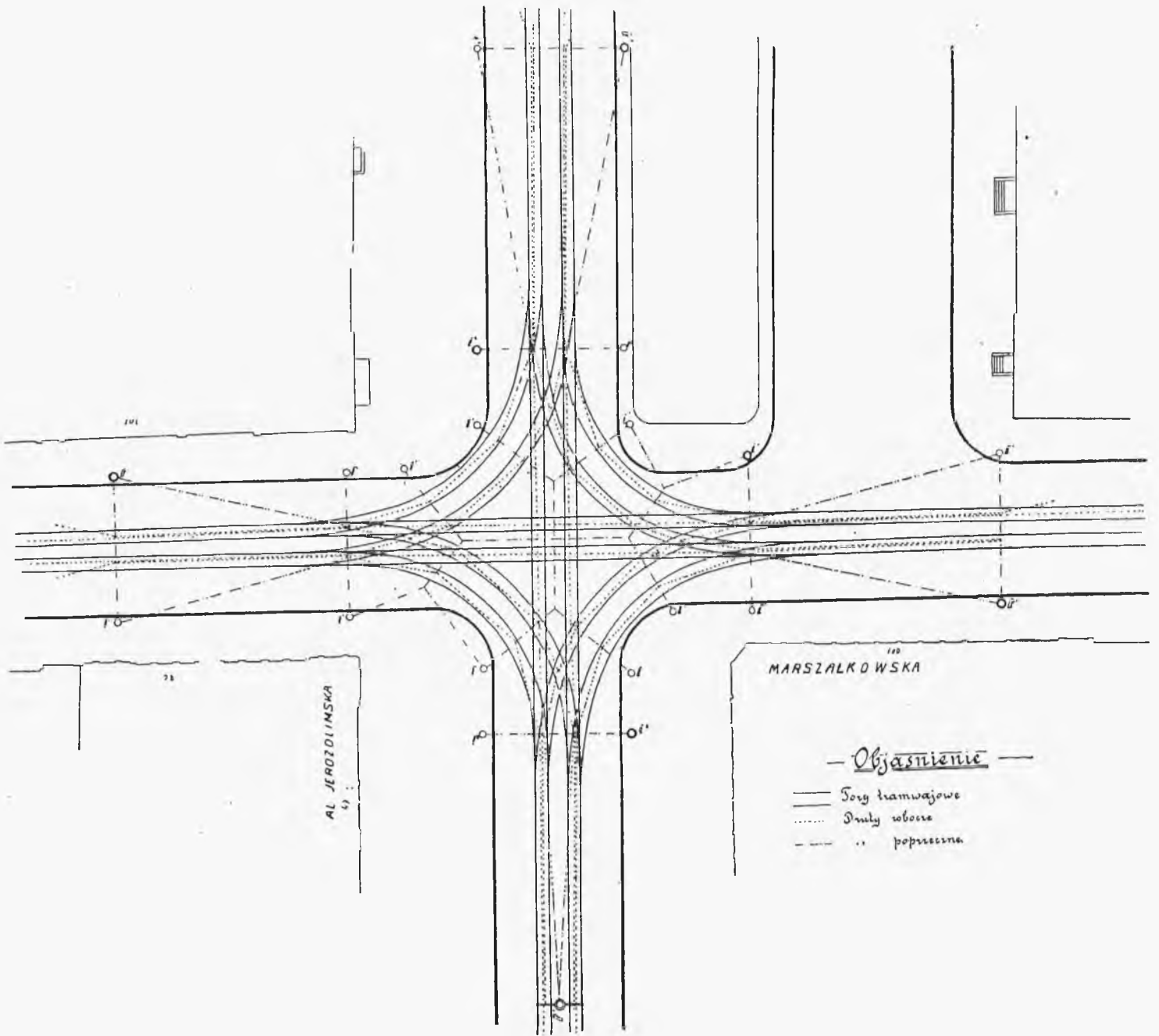


Rys. 134 i 135.
Izolatory sekcyjne dla krążka.

dziej umiejscawiać wszelkie uszkodzenia i ułatwia wykonanie wszelkich napraw, dając możliwość wykonania robót na wyłączonej sieci. Zdarza się też zwłaszcza na ciasnych ulicach, iż w razie pożaru należy część drutu roboczego pozbawić napięcia, gdyż drut roboczy pod napięciem przedstawiałby dla straży ogniowej znaczne niebezpieczeństwo.

Wobec tego przyjętem jest ogólnie, iż wstawia się izolatory sekcyjne wewnątrz miast co jakie 500 m.; poza miastem daje się sekcjom długość większą, zwykle 1000 m. Pozatem wstawia się zwykle izolatory w pobliżu wszystkich odgałęzień oraz większych rozjazdów i skrzyżowań, aby można było w razie potrzeby odłączać je łatwo od reszty sieci.

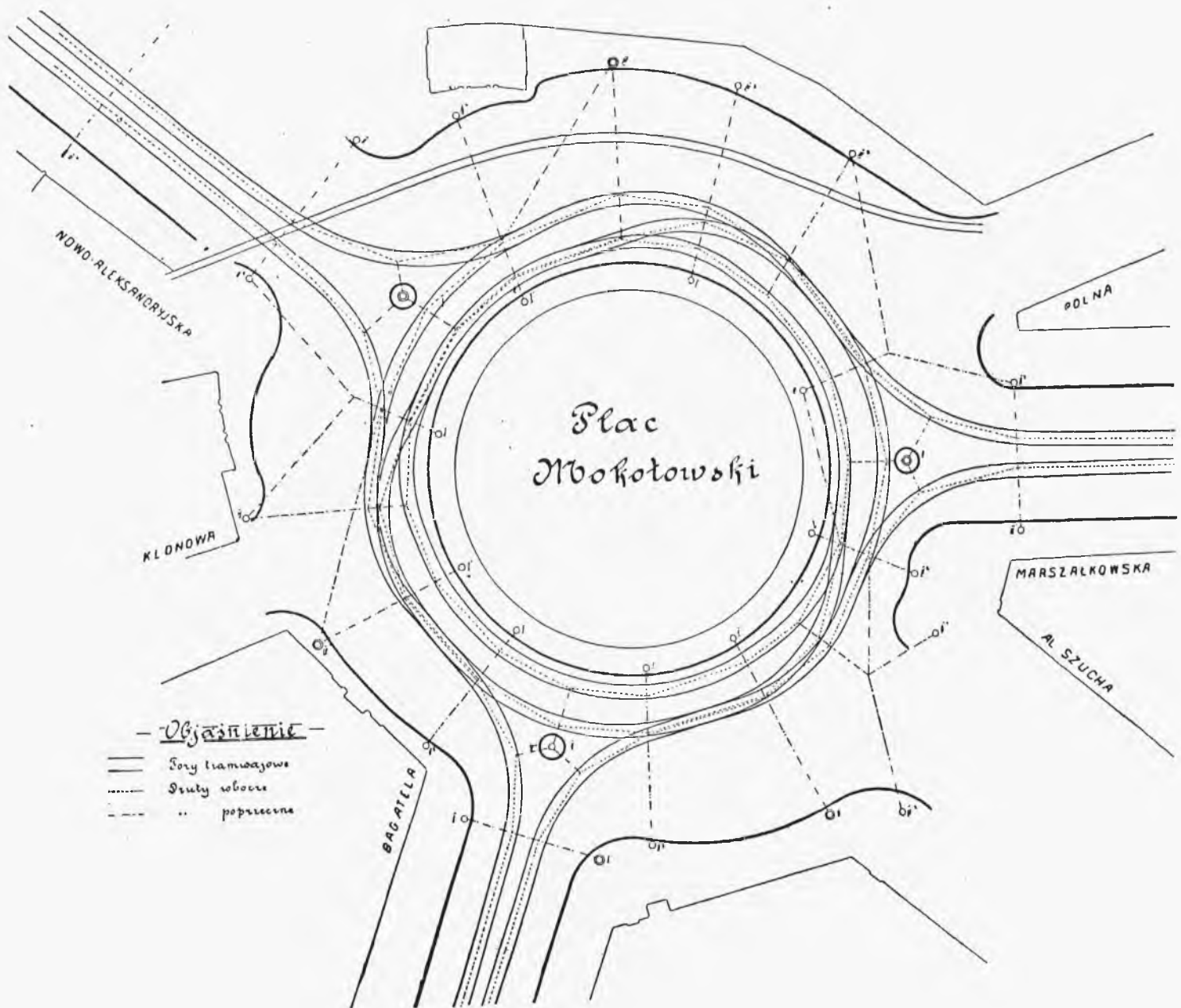
Dalej niezbędnem jest zawsze wstawiać izolatory przed wjazdami



Rys. 132.

— Objasnienie —

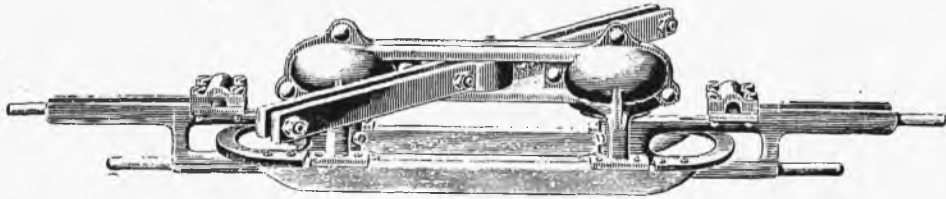
- Szyby tramwajowe
- Szlaki pieszo
- - - - - .. poprawienia



Rys. 133.

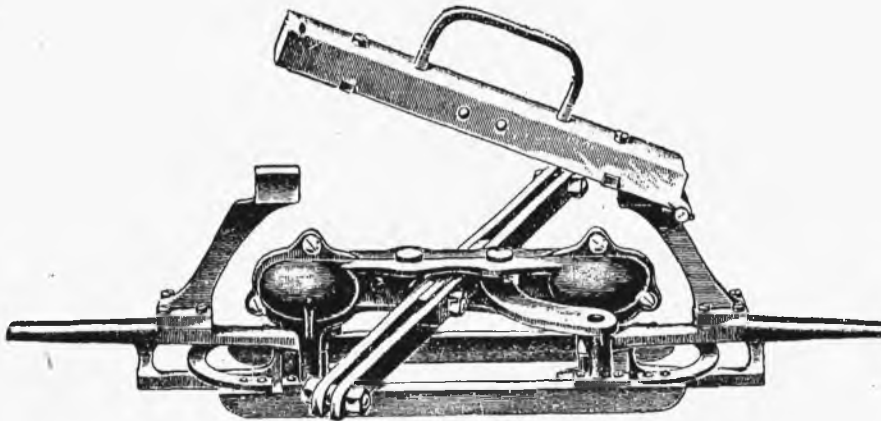
do remiz i warsztatów, aby w każdej chwili móc odłączyć znajdujące się w nich części sieci.

Oddzielne sekcje (za wyjątkiem granic dzielnic) nie powinny oczywiście być normalnie od siebie izolowane, lecz musi być tylko dana możliwość uskuteczenia w każdej chwili tego odizolowania. Przy zastosowaniu izolatorów sekcyjnych tego rodzaju budowy, jak uwidocznione na rys. 133-cim, 134-tym i 135-tym ustawia się więc w pobliżu izolatora,



Rys. 136.
Izolator sekcyjny dla pałaka.

na słupie, lub ścianie domu, wyłącznik połączony przy pomocy izolowanych przewodów z siecią po obu stronach izolatora. Na rys. 134-tym i 135-tym widoczne są zaciski, służące do przytwierdzenia przewodów tych po obu stronach izolatora. Normalnie jest wyłącznik zawsze zamknięty; prąd więc przechodzi swobodnie z sekcji do sekcji; otwarcie wyłącznika wystarcza do odizolowania sekcji.



Rys. 137.
Izolator sekcyjny z wyłącznikiem dla pałaka.

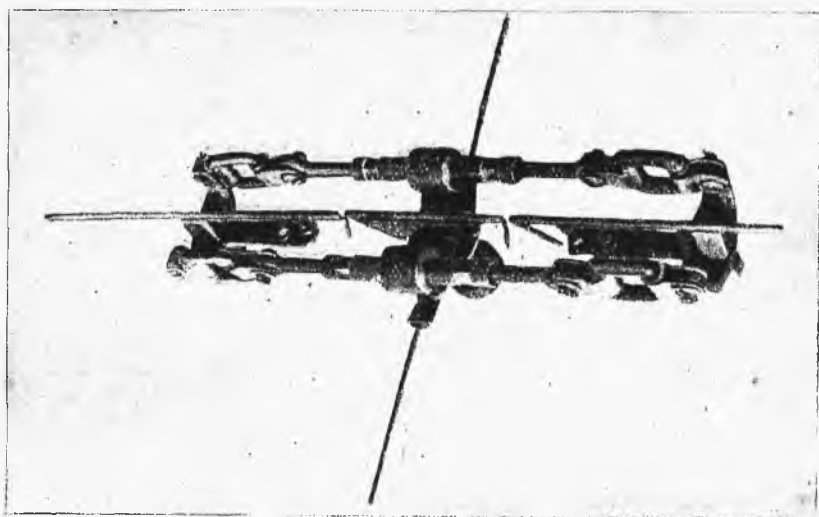
Zamiast oddzielnych wyłączników, łączonych z drutem roboczym przy pomocy izolowanych przewodów, stosowane bywają często wyłącz-

niki, ustawione na samych izolatorach. Tego rodzaju konstrukcję widzimy n. p. na rys. 137-mym.

Wylącznik otwiera się przy pomocy tyczki bambusowej, czyli bosaka, zaopatrzonej na swym końcu w odpowiedni hak, którym chwytą się za uszko wylącznika.

Bosaki winny być przytwierdzone do słupów w pobliżu izolatorów. Otwieranie i zamykanie wylączników takich nie przedstawia żadnych trudności, a że cała konstrukcja jest od oddzielnego wylącznika znacznie tańsza i prostsza, przeto bywa ona najczęściej stosowaną.

We wszystkich wyżej opisanych konstrukcjach izolację stanowi kawałek drzewa, przeważnie przepojonego smołą. Przy ruchu normalnym



Rys. 138.

nie wytrzyma izolator sekcyjny na granicach sekcji żadnego, na granicach zaś dzielnic, tylko niewielkie napięcia, nie przekraczające 50—100 voltów, toteż jest tu drzewo izolacją zupełnie wystarczającą. W razie jednak odłączenia jakiej sekcji, mającej połączenie z ziemią, muszą sąsiednie izolatory wytrzymać pełne napięcie sieci. Zwykle nie przedstawia i to, przy odpowiedniej długości drewnienka, większych niedogodności. Może się jednak łatwo zdarzyć, iż drewnienka tak się zanieczyszczą, jużto cząsteczkami metalicznymi oderwanymi od drutu, jużto cząsteczkami zwęglonego drzewa, jużto wreszcie pyłem ulicznym, iż izolacja okaże się niedostateczna, zwłaszcza w czasie wilgotnej pogody. Nieuniknione jest też częściowe zwęglanie się drewnienek. Wprawdzie motorniczy powinien zawsze wyłączyć prąd, dojeżdżając do izolatora sekcyjnego, zdarza się jednak, iż tego nie uczyni; wtedy prąd, płynący przez elektro-

wóz zostaje przerwany na izolatorze w chwili, kiedy kółko lub ślizgacz opuszcza drut roboczy i wchodzi na drewnienko, co zawsze powoduje silną iskrę. Wieczorem, kiedy w wagonach zapalone jest światło, powoduje prąd oświetleniowy również iskry, wprawdzie wobec słabości prądu małe, ale w każdym razie przyczyniające się do powolnego zwęglenia drewnienek.

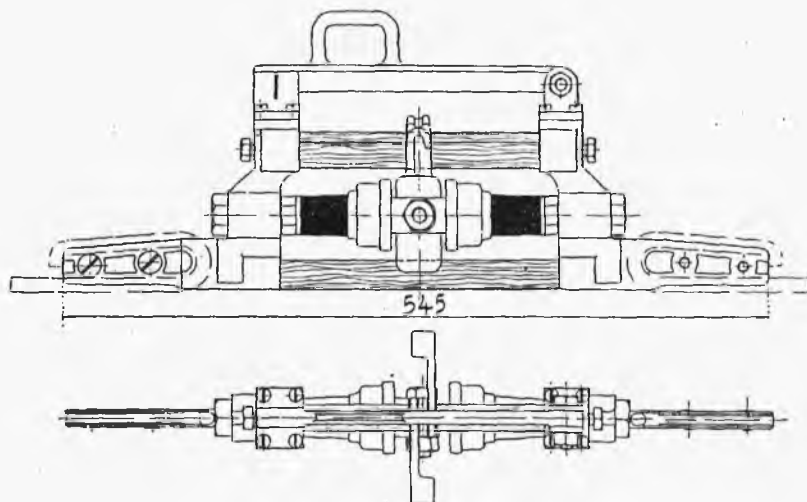
Drewnienka, miększe od drutu, ścierają się zawsze znacznie prędzej, skutkiem czego powstają na nich zagłębienia, powodujące przy przejściu przyrządu kontaktowego słabsze lub silniejsze, ale zawsze wysoce niepożądane, szarpnięcia.

Skutkiem tego drewnienka wymagają zawsze częściej i starannej rewizji i częściej wymiany. Izolator uwidoczniiony na rys. 138-mym i zastosowany w Berlinie (kółko) unika tych niedogodności, gdyż obywa się wogóle bez drewnienek.

Całą izolację stanowi tu powietrze; czy jednak konstrukcja taka jest dostatecznie pewna, tego bez dłuższych doświadczeń orzec trudno; wydaje nam się jednak, iż przestrzeń dzieląca druty, jest zbyt mała, aby zapewniała pewne przerwanie iskry, powstającej przy przejeździe pod izolatorem bez wyłączenia prądu w elektrowozie.

Przy wszystkich wyżej opisanych konstrukcjach końce drutu muszą być wlutowywane w końcówki izolatora. Lutowanie jednak stanowi zawsze słaby punkt sieci, gdyż drut roboczy łatwo przy tem staje się z twardego miękkim, tracąc dużo na swej wytrzymałości. Zaczęto przeto w ostatnich czasach unikać lutowania, zastępując je odpowiednimi zaciskami.

Izolator sekcyjny bez lutowania, przeznaczony dla sieci pałkowej, widzimy na rys. 139-tym. Izolatory takie zostały zastosowane w Warszawie.



Rys. 139.

Izolator sekcyjny dla pałaka budowy Siemens i Halske.

Wyłączenie prądu w chwili przejazdu pod izolatorem sekcijnym nie przedstawia, jako trwające małą tylko chwilę, większych niedogodności, jeżeli elektrowóz jest już w pełnym biegu; jeżeli jednak elektrowóz dopiero pędu nabiera, lub też jedzie pod stromą górę, to takie, nawet chwilowe, przerwanie prądu jest zawsze niepożądane.

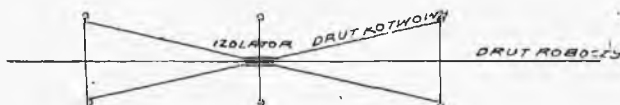
Dla uniknięcia tego zbudowane zostały specjalne izolatory sekcyjne; oba końce drutów zachodzą tu jeden za drugi, są jednak odgięte nieco w bok tak, iż się ze sobą nie stykają. Zanim przeto ślizgacz opuści jeden z drutów, dotyka on już drugiego, skutkiem czego przerwy prądu wogóle niema.

Wadą natomiast tej konstrukcji jest to, iż w chwili przejścia wozu ślizgacz łączy ze sobą obie sekcje; w razie więc odłączenia jednej z nich od elektrowni mogłaby ona jednak przez krótką chwilę otrzymać prąd z drugiej, nie odłączonej sekcji.

Jestto wada tak poważna, iż należy na ogół unikać zastosowania takich izolatorów i starać się raczej nie umieszczać izolatorów w pobliżu przystanków oraz na znaczniejszych pochyłościach, takie zaś konstrukcje stosować chyba w razie zupełnej konieczności, n. p. przy bardzo długich i znacznych pochyłościach, na których umieszczenie izolatora byłoby niezbędne.

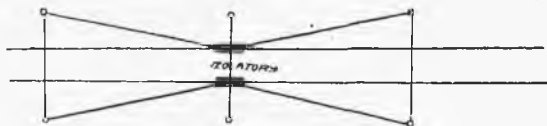
Ponieważ drut roboczy jest zawsze przy izolatorze przerywany, przeto izolator musi wytrzymać całe, w drucie tym panujące naprężenie. Aby to obciążenie izolatora zmniejszyć, zaopatruje się izolatory w t. n. druty kotwowe, przenosząc całe lub przynajmniej większą część naprężenia na nie.

Jako druty kotwowe używa się zwykle drutów stalowych o średnicy 6 mm.



Rys. 140.

Zakotwienie przy torze pojedynczym.



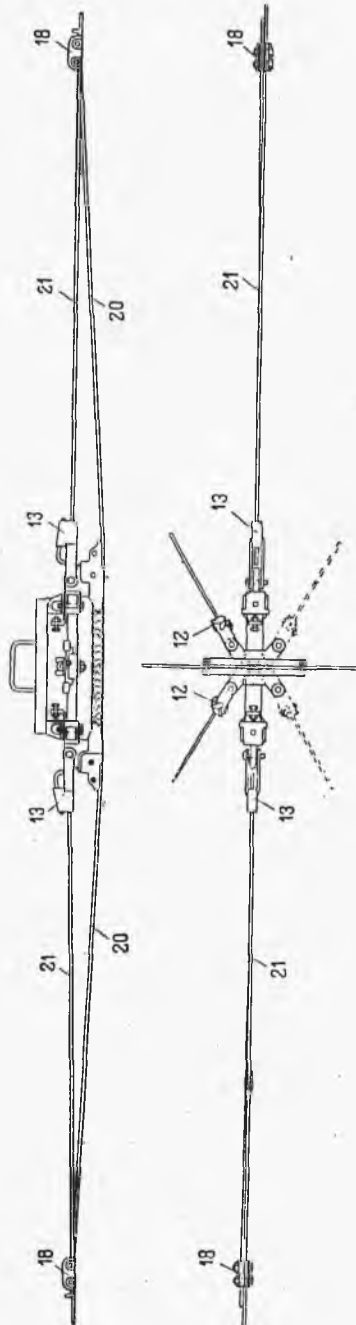
Rys. 141.

Zakotwienie przy torze podwójnym.

Zakotwienie izolatora sekcijnego na torze pojedynczym, rys. 140-ty, wymaga 4 drutów kotwowych. Jeżeli jednak słupy kotwowe po obu stronach izolatora są ustawione tak, że naprężenia drutów kotwowych znoszą się wzajemnie, to wystarczą dwa druty. Zakotwienie izolatorów na torze podwójnym wymaga również 4 drutów, po dwa na tor, przyczem kawałek drutu poprzecznego pomiędzy izolatorami otrzymuje pewne dodatkowe obciążenie.

Rys. 142-gi pokazuje zakotwienie izolatora sekcijnego z zaciskami na torze pojedynczym.

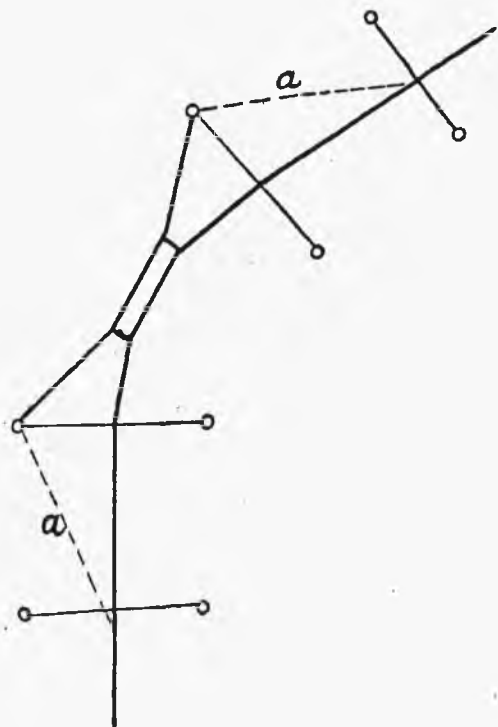
Oprócz zmniejszenia obciążenia izolatorów mają druty kotwowe jeszcze i inne zadanie, a mianowicie zapobieżenie rozszerzenia się uszkodzeń drutu na większą przestrzeń sieci. Tak zaciski, podtrzymujące drut roboczy, jak i druty poprzeczne obliczone są li tylko na siły działające pionowo, względnie poziomo, lecz prostopadle do drutu roboczego; tymczasem przerwanie drutu roboczego wywołuje powstanie siły poziomej, działającej w kierunku osi drutu. Siła taka wywołałaby niechybnie znaczne przesunięcia całej sieci.



Rys. 142.

12) Końcówka ze śrubą. 13) Zacisk z klinem. 18) Zacisk dla drutu dodatkowego.
20) Drut dodatkowy. 21) Drut roboczy.

Zakotwienie zapobiega właśnie rozszerzeniu się takich przesunięć poza punkty zakotwienia.



Rys. 143.

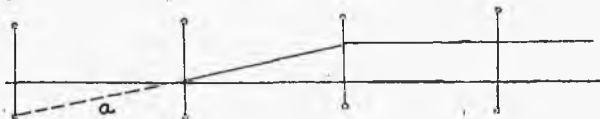
Przy pomocy drutów kotwowych można też zmniejszać obciążenie słupów na łukach.

Druty kotwowe *a* przyjmują na siebie całe naprężenie drutu roboczego; naprężenie więc drutu na łuku, pomiędzy drutami kotwowymi, może być znacznie mniejsze, skutkiem czego stają się mniejszemi i obciążenia słupów.

Przy każdej zwrotnicy schodzą się dwa druty robocze, z których jeden musi się tu kończyć (przy systemie pałakowym może to zakończenie być przesunięte nieco dalej).

Naprężenie kończącego się drutu roboczego musi przyjąć na siebie również drut kotwowy *a* rys. 144-ty.

8) **Wielkie rozpiętości.** Zdarza się czasami, n. p. na mostach, iż słupy nie mogą żadną miarą być ustawione w odległościach do 35 m.,



Rys. 144.

lecz, że odległości pomiędzy nimi muszą z konieczności być znacznie większe. W takich wypadkach stosuje się dla odległości do 60 m. zawieszenie t. n. „mostowe“ zaś dla jeszcze większych odległości zawieszenie „łańcuchowe“.

Zawieszenie mostowe, rys. 145-ty, oblicza się bardzo łatwo.

Niech n. p. odległość między dwoma parami słupów wynosi 60 m., przekrój drutu roboczego 65 mm.² wysokość zawieszenia drutu roboczego nad szynami 6,5 m., odległość między osiami torów 3500 mm., odległość słupów od osi każdego toru 4000 mm.

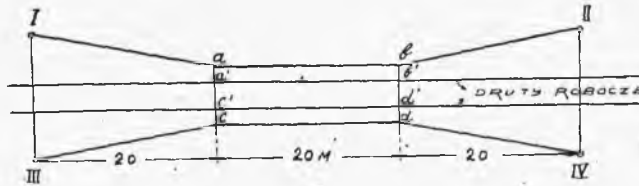
Zawieszenia w punktach $a' b' c' d'$ będą obciążone każde 20 metrami drutu roboczego. Obciążenie każdego z nich wyniesie zatem:

$$20 \cdot 65 \cdot 0,089 = 11,9 \text{ kg.}$$

Wieszak, zaciski.
$$\frac{11,9}{15} = 3,4 \text{ „}$$

Przyjmujemy na razie, iż rzut poziomy drutu I— a — b —II stanowi linię prostą i leży prostopadłe nad drutem roboczym, że więc obciążenia działają bezpośrednio w punktach a i b . Mamy wtedy do czynienia ze zwykłym drutem poprzecznym, możemy więc drutowi od I do a nadać dowolne pochylenie, n. p. 1 : 15; działać wtedy w nim będzie siła $15 \cdot 15 = 225 \text{ kg}$.

Rozkład wykreślny tej siły na składowe, działające w kierunkach I— a i a — b pokazuje nam, iż, aby nadać drutowi kształt I— a — b —II, musi w punktach a i b działać siła w kierunku ac względnie bd równa 45 kg. Druty a — a' — c' — c oraz b — b' — d' — d są znowuż zwykłymi drutami poprzecznymi, w których naprężenie wynosi 45 kg; że zaś obciążenie w punktach $a' b' c' d'$ wynosi po 15 kg, przeto pochylenie a — a' , b — b' , c — c' , d — d' musi wynosić 1 : 3, co przy małej długości tych kawałków, najwyżej 500 mm. jest zupełnie dopuszczalne.



Rys. 145.

Ponieważ punkt a' (zawieszenie) musi leżeć w wysokości 6,5 m, przeto punkt a musi leżeć w wysokości $= 6,5 + \frac{0,5}{3} = 6,66 \text{ m.}$, a punkt I w wysokości $= 6,66 + \frac{20}{15} = 7,99 \cong 8 \text{ m.}$

O zawieszeniu łańcuchowem pomówimy później, w dziale kolejnym.

9) **Przymocowanie i izolacja drutu roboczego, wieszaki, zaciski.** Sieć nadziemna kolei i tramwajów elektrycznych jest zawsze znacznie więcej narażona na wszelkiego rodzaju mechaniczne uszkodzenia, jak sieć oświetleniowa; wobec tego ogólnie jest przyjęte, iż drut roboczy izoluje się od ziemi podwójnie, aby w ten sposób uniknąć przerw w ruchu nawet w razie uszkodzenia jednego z izolatorów. Izoluje się przeto zawsze najpierw drut roboczy od drutów poprzecznych, odciągowych i kotwo-

wych, a następnie te ostatnie od słupów, względnie rozet i haków ściennych.

Jako izolacja używane bywają przeróżne materiały, przeważnie mieszaniny gumy i kauczuku z siarką, kredą, gipsem, magnezją, asfaltem i t. d., znane pod nazwami twardej gumy, stabilitu, litinu, okonitu i t. d. oraz różnych kopali z krzemianami, znane jako ambroin, irosit, eburin, adit i t. d.

Porcelana i szkło rzadko tylko bywają tu stosowane, a to skutkiem małej ich wytrzymałości mechanicznej na rozerwanie i zgniecenie.

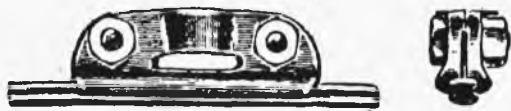
Do podtrzymywania drutu roboczego stosowano pierwotnie wyłącznie klamerki, w które drut wlotowywano, rys. 146-ty.

Lutowanie musi być wykonane nader umiejętnie i ostrożnie, aby drutu nie przepalić, a raczej nie zmięczyć; klamerki więc takie są zawsze punktami słabymi sieci. Z czasem, w miarę rozpowszechniania się drutów profilowych, zaczęto coraz częściej klamerki zastępować zaciskami, rys. 147-my, przy których wszelkie lutowanie jest zbyteczne, drut zaś utrzymuje się zaciśnięciem śrub. Przekonano się też niebawem, iż zaciski takie dają się doskonale



Rys. 146.

stosować i przy drucie okrągłym. Oczywiście jest, iż zamiana klamerki zaciskami znacznie ułatwia montaż i wszelkie późniejsze wymiany i naprawy.



Rys. 147.

Tak zaciski, jak i klamerki robią się z brązu.

Na rys. 148-ym widzimy zacisk nieco większy i mocniejszy, stosowany przy zakotwieniach.

Klamerka, względnie zacisk, przytwierdza się do t. n. **wieszaka**, który zawieszają się na drucie poprzecznym i służy równocześnie do odizolowania drutu roboczego od poprzecznego.

Wieszaki wykonywane bywają w przeróżnych kształtach, zasadniczo jednak składają się



Rys. 148.

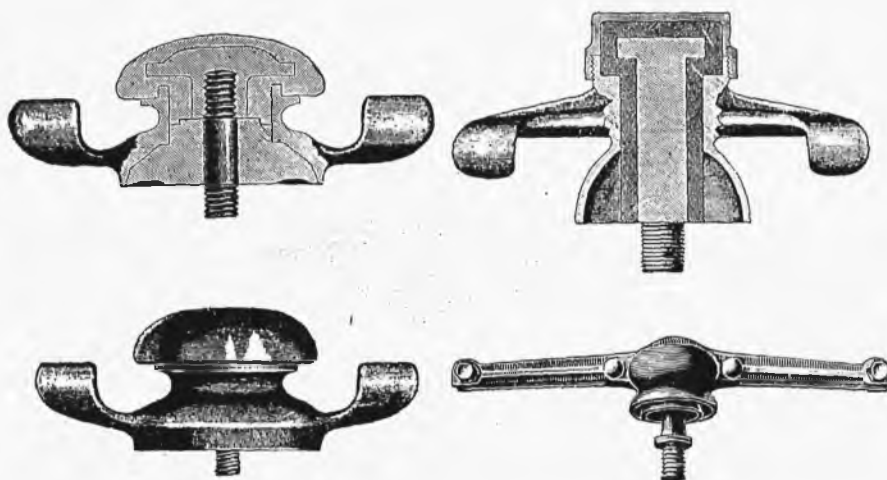
wszystkie z trzpienia, zaopatrzonego na jednym końcu w gwint, na który naśrubowuje się klamerkę lub zacisk, zatopionego drugim końcem w materiale izolacyjnym, wypełniającym wnętrze samego wieszaka.

Kilka różnych konstrukcji wieszaków widzimy na rys. 149-ym-

Trzy pierwsze wieszaki rys. 149-go wykonane są z miękkiego odlew; skrzydełka ich są tak ukształtowane, iż proste włożenie w nie

drutu poprzecznego zupełnie ustala położenie wieszaka. Wieszaki te przeznaczone są dla krążka.

Pierwszy zaopatrzony jest u góry w mutrę, utrzymującą trzpień, w drugim jest trzpień zalany masą izolacyjną.



Rys. 149.

Inną konstrukcję ma czwarty wieszak rys. 149-go oraz wieszak, pokazany na rys. 150-ym. Wieszaki te są dwudzielne, z lanego żelaza. Obie połowy są ze sobą znitowane; skrzydła zaopatrzone są w śruby, przy pomocy których zaciska się drut poprzeczny uniemożliwiając w ten sposób wszelkie boczne przesunięcie wieszaka. Wieszaki te przeznaczone są dla kontaktu pałkowego, przy którym zabezpieczenie takie jest niezbędne ze względu na zygzakowate zmontowanie drutu roboczego.



Rys. 150.

Na łukach, wobec znaczniejszych tu działających sił, muszą być stosowane inne, mocniejsze konstrukcje wieszaków. W zależności od tego, czy mamy do czynienia z zupełnym zawieszeniem, czy też jednostronnym odciążeniem, stosowane bywają wieszaki dwu—lub jedno-ramienne.

Wieszaki takie dla krążka widzimy na rys. 151-ym.

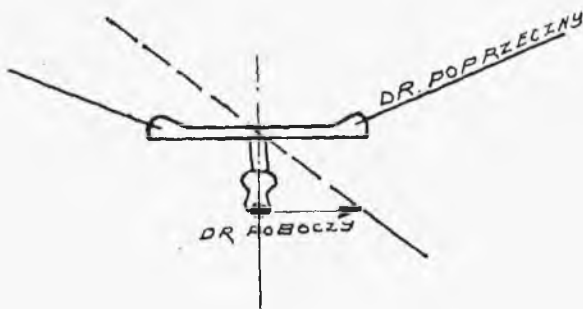
Zwykle założenie drutu poprzecznego w ramionka, jak przy wieszakach dla linii prostych, nie wystarcza tu dla ustalenia położenia

wieszaka: toteż są skrzydełka zaopatrzone w oczka, w które wmcowuje się koniec drutu.



Rys. 151.

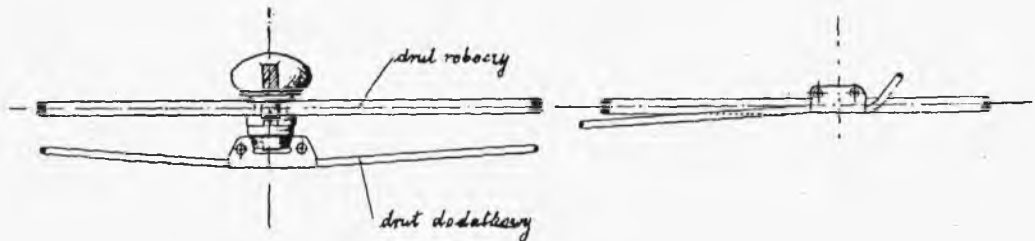
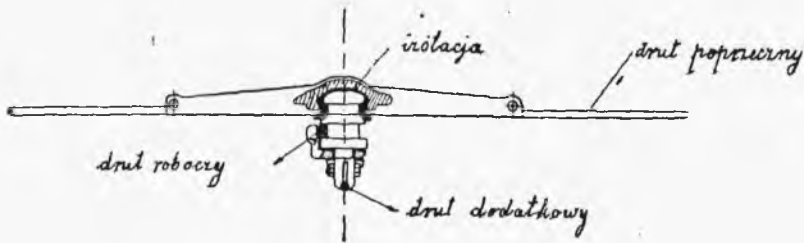
Ramionka tych wieszaków są zagięte w dół dla uniknięcia momentu kręącego, jaki musiałby powstać przy ramionkach prostych



i działaniu siły bocznej, skierowanej pod kątem do płaszczyzny drutu poprzecznego, rys. 152-gi. Moment ten kręący dążyłby do przekręcenia wieszaka.

Rys. 152.

Dla pałaka konstrukcja taka zastosować się nie da, gdyż przy najmniejszym prze-



Rys. 153.

kręceniu wieszaka ślizgacz uderzałby o wygięte w dół ramionka. Stosowane przeto tu bywają t. n. **druty dodatkowe**.

Drut roboczy leży w płaszczyźnie drutu poprzecznego, ślizgacz zaś przechodzi niżej, po drucie dodatkowym, rys. 153-ci.

Długość drutu dodatkowego wynosi zwykle 2000—2500 mm.; przeważnie służy jako taki drut okrągły. Drut dodatkowy przytwierdza się do drutu roboczego przy pomocy klamerek lutowanych, lub lepiej zacisków; końce jego zaginają się ku górze. Wieszaki dla łuków mają również proste ramionka, różnią się zaś od wieszaków dla prostych tylko nieco mocniejszą konstrukcją i nieco dłuższym trzpieniem, zaopatrzonym w wyżłobienie, w które wkłada się drut roboczy, 154-ty i 155-ty.



Rys. 154.



Rys. 155.

Zacisk dla drutu dodatkowego widzimy na rys. 156-tym.

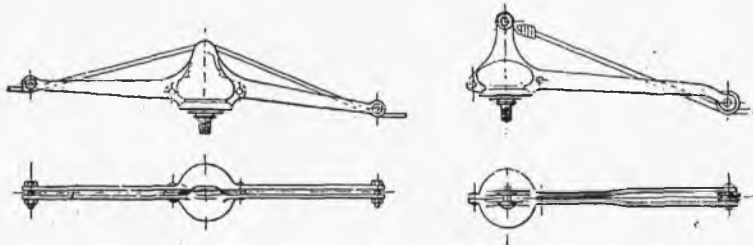
Zastosowanie drutów dodatkowych, aczkolwiek obciąża sieć i nadaje jej wygląd cięższy, ma jednak tę wielką zaletę, że zwiększa znacznie trwałość drutu roboczego. Starcie drutu roboczego bywa zawsze, tak przy kółku, jak i pałaku, znacznie większe na łukach, jak na linii prostej, a w punktach zawieszenia, jak pomiędzy nimi. Przy kółku spowodowane to jest



Rys. 156.

wspomnianem już tarcieniem o boki wyżłobienia kółka, przy pałaku przyczyniają się do tego prawdopodobnie boczne wibracje ślizgacza. Otóż przy zastosowaniu drutów dodatkowych większe to starcie przenosi się wyłącznie na te druty, podczas gdy drut roboczy pozostaje w punktach zawieszenia nietknięty. Wymiana startych drutów dodatkowych, zwłaszcza przy zastosowaniu zacisków, jest nader łatwa.

Próbowano też, między innymi na szerszą skalę w Wiedniu, wyko-



Rys. 157.

nać sieć pałkową bez drutów dodatkowych. Zastosowano w tym celu wieszaki o nader długich ramionach, rys. 157-my.

Napężenie w drucie poprzecznym, względnie odciągowym, dąży samo do wyprostowania wieszaka tak, iż wszelkie jego przekręcenie się jest wyłączone.

W remizach, a także pod mostami, w tunelach i t. p. wypada często przytwierdzać wieszaki nie do drutów poprzecznych, a do ścian lub belek; służą wtedy do tego t. z. wieszaki sufitowe, rys. 158-my i 159-ty.



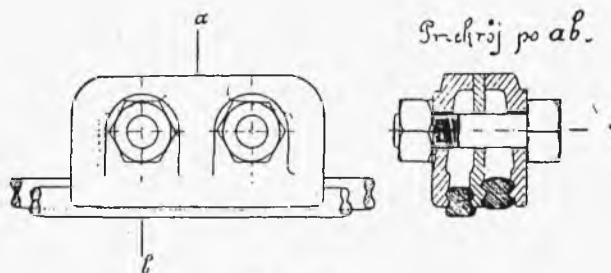
Rys. 158.

Zdarza się często, iż drut roboczy wykazuje w pewnych miejscach anormalnie wielkie starcie, analogiczne do starcia falistego szyn. Miejsca takie bywają często bardzo krótkie, 150—300 mm., mogą jednak niemniej spowodować albo przerwanie drutu roboczego, albo też konieczność wycięcia zagrożonego kawałka i zastąpienia go drugim, co jest zawsze rzeczą dość trudną i bardzo kłopotliwą. W takich wypadkach dadzą się z powodzeniem zastosować również druty dodatkowe. Jako takie stosuje się kawałki drutu roboczego, przymocowane do niego przy pomocy specjalnych zacisków, utrzymujących je o parę milimetrów niżej, rys. 160-ty.



Rys. 159.

10) Izolacja drutów poprzecznych, naprężniki. Do izolowania drutów poprzecznych, odciągowych i kotwowych od słupów i rozet stosowane bywają izolatory przeróżnej konstrukcji.



Rys. 160.

Najprostszymi, ale mało używanymi są izolatory porcelanowe, rys. 161-szy, porcelanowy cylinder z krzyżującymi się na nim żłobkami i rys.

162-gi dwie rolki porcelanowe na żelaznych odpowiednio oprawionych trzpieniach.

Lepsze i bardziej używane są izolatory t. n. „kulkowe”, rys. 163-ci, wykonywane w różnych odmianach i wielkościach.

Inną jeszcze odmianę stanowią izolatory t. n. „sprzączkowe”, rys. 164-ty.

Liczne doświadczenia dowiodły, iż wartość izolacji zmniejsza się w miarę wzrastania ciśnienia, najważniejsze przeto przy tych izolatorach jest to, aby obciążenie materiału izolacyjnego nie było zbyt wielkie; pozatem przy wielkiem obciążeniu mogą łatwo powstawać w materiale izolacyjnym rysy i pęknięcia, które naturalnie niszczą wszelką izolację.

Izolatory kulkowe mają z natury rzeczy znacznie większe obciążenie na jednostkę powierzchni, jak sprzączkowe; toteż nie należałoby



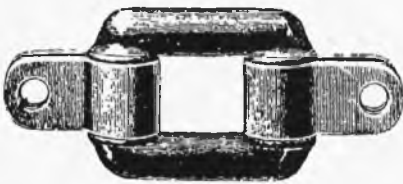
Rys. 162.

stosować izolatorów kulkowych dla obciążeń większych ponad 300—400 kg., podczas kiedy izolatory sprzączkowe mogą być stosowane do czterokrotnie (i nawet więcej) większych obciążeń.



Rys. 163.

Tak dla ułatwienia montowania sieci, jak i dla późniejszego regulowania położenia i wysokości zawieszenia drutu roboczego, musi być dana możliwość regulowania naprężenia drutów poprzecznych, odciągowych i kotwowych.



Rys. 164.

Służą do tego t. n. „naprężniki”.

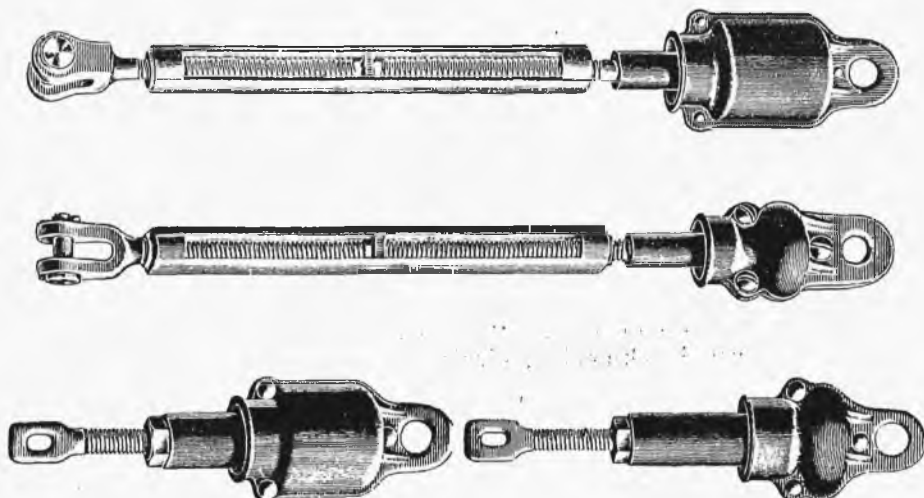
Naprężnik, rys. 165-ty, składa się z dwu śrub z lewym i prawym gwintem oraz wspólnego długiego naśrubka; przy obracaniu tego naśrubka, śruby wchodzą w naśrubek lub wychodzą z niego, zwiększając lub zmniejszając temsamem naprężenie w drucie, w którym wstawiony jest naprężnik.



Rys. 165.

Izolator i naprężnik mogą też być połączone razem, z czego powstaje naprężnik izolowany. Naprężnik taki widzimy n. p. na rys. 166-tym.

Śruba bronzowa chodzi w naśrubku z miękkiego odlewu, połączonym z rurką; rurka ta otoczona jest masą izolacyjną i tak włożona w dwudzielny korpus, iż może się w nim obracać.



Rys. 166, 167, 168.

Rys. 167-my przedstawia naprężnik izolowany, dający możliwość większego regulowania (n. p. dla drutów kotwowych), rys. 168-my naprężnik prostszej konstrukcji.

Dla każdego drutu poprzecznego wystarcza naogół jeden naprężnik; jeżeli więc stosuje się naprężniki izolowane, to przy jednym słupie lub haku umieszcza się taki naprężnik, przy drugim zaś izolator kulkowy lub sprzączkowy. Jeżeli natomiast stosuje się naprężniki nieizolowane, które są zawsze bądź co bądź mocniejsze, to do każdego drutu poprzecznego należą dwa izolatory i po jednej stronie przy słupie naprężnik.

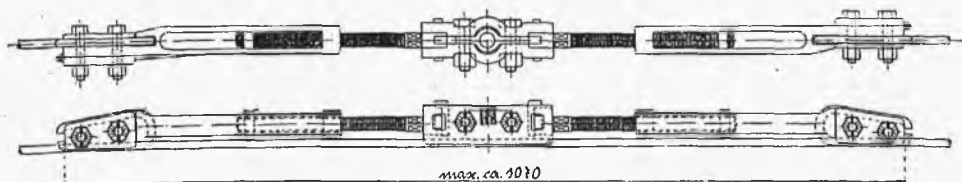
11) Doprężniki. Jak to już widzieliśmy, należy naprężenie w drucie roboczym perjodycznie zmieniać i regulować. Służą do tego t. zw. „doprężniki“, rys. 169-ty.



Rys. 169.

Doprężnik składa się w zasadzie z dwu śrub z odpowiednimi naśrubkami, połączonych z zaciskiem lub klamerką dla drutu dodatkowego. Przy doprężniku, rys. 169-ty, musi być drut roboczy w jego końcu włutowany; nowszą konstrukcję, gdzie lutowanie zastąpione jest zaciśkami, widzimy na rys. 170-tym.

Doprężniki ustawia się zwykle po dwa pomiędzy izolatorami sekcijnymi; jeżeli więc np. odległość pomiędzy izolatorami sekcijnymi wynosi



Rys. 170.

500 m., to doprężniki ustawia się o 125 m. od izolatora tak, iż każda ze śrub doprężnika reguluje naprężenie w 125 m. drutu.

12) Łączniki. Do łączenia dwu kawałków drutu roboczego ze sobą służą t. n. „łączniki“.

Jeżeli połączenie ma nastąpić na zawieszeniu, to stosuje się łączniki, jak na rys. 171-ym, lutowane, lub 172-im z zaciskami, jeżeli zaś pomiędzy zawieszzeniami, to jak na rys. 173-im, już tylko lutowane.



Rys. 171.

Przy montowaniu należy unikać stosowania łączników, starając się dobrać tak długości poszczególnych kawałków drutu roboczego, aby kawałki te kończyły się zawsze przy izolatorach sekcyjnych lub doprężnikach. Łączniki przeto stosowane



Rys. 172.

bywają wyłącznie prawie w wypadkach przerwania drutu roboczego, konieczności wycięcia kawałka drutu i t. p.

13) Końcówki. Druty poprzeczne, odciągowe i kotwowe zakończą się zwykle końcówkami, jak na rys. 174-tym.

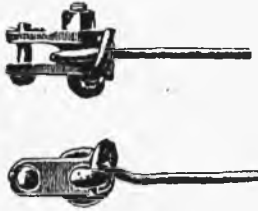
Końcówki te przymocowuje się do izolatorów, względnie naprężników.

14) Zwrotnice i skrzyżowania. Przy systemie pałkowym nie przedstawia wykonanie zwrotnic i skrzyżowań żadnych trudności. Zwrotnica może być wykonana w dwojaki sposób, albo przy pomocy zacisków dla dwu drutów, albo też dwu skrzyżowań.



Rys. 173.

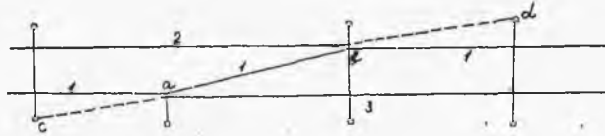
Drut roboczy 1 przechodzi przy *a* i *b* na tor drugi, rys. 164-ty i idzie dalej; drut roboczy toru drugiego 2, kończy się przy *b* i zakotwia w *d*; w *a* zaczyna się drut roboczy 3, który idzie dalej nad torem pierwszym; drut ten zakotwiony jest w *c*. W punktach *a* i *b* umieszczone są podwójne zaciski, utrzymujące oba druty, w *a* druty 1 i 3, zaś w *b* druty 1 i 2.



Rys. 174.

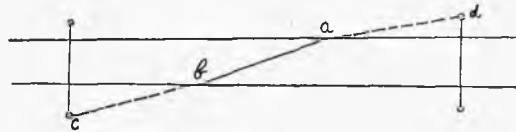
W *a* i *b* muszą być umieszczone odciągi, lub zamiast nich t. zw. „kozaki“.

Zakotwienia nie muszą koniecznien być wykonane na najbliższych słupach; w razie potrzeby może n. p. drut roboczy 2 iść dalej tak, iż tor drugi będzie miał na pewnej przestrzeni drut podwójny.



Rys. 175.

Jeżeli zamiast podwójnych zacisków zastosować skrzyżowania, to oba druty robocze nad obydwo ma torami będą nieprzerwanie dalej, rys. 176, sama zaś zwrotnica otrzymuje oddzielny kawałek drutu roboczego *a—b*, zakotwiony w *c* i *d*. Skrzyżowania znajdują się w *a* i *b*.

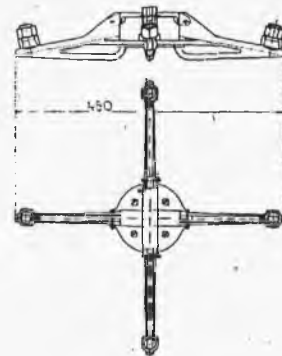


Rys. 176.

Skrzyżowania bywają nieruchome, czyli stałe, rys. 177-my, oraz ruchome, t. j. pozwalające na pewną zmianę kąta skrzyżowania, rys. 178-my

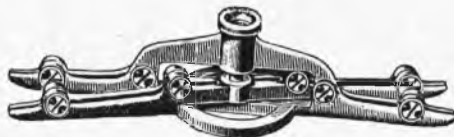
Znacznie już większe trudności przedstawiają zwrotnice i skrzyżowania dla krążka. Krążek, biegnąc po drucie roboczym, zachowuje się tak, jak koło biegnące po szynie. Na zwrotnicy, gdzie zbiegają się dwa druty robocze, musi więc on pójść po właściwym drucie stosownie do potrzeby raz prosto, raz znowu na odgałęzienie. Ruchome, względnie przestawiane, iglice nie dadzą się oczywiście tu zastosować.

Nieco przed punktem odgałęzienia umieszcza się na drucie roboczym rodzaj klina, na który wchodzi krążek; klin ten odsuwa go od drutu ro-



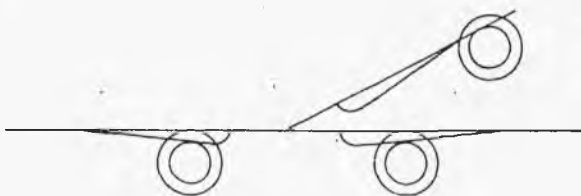
Rys. 177.

bocznego i wprowadza na płytę, po której krążek biegnie na swych brzeżkach. Żądany kierunek nadaje krążkowi wóz tak, iż biegnąc za nim idzie on dalej albo prosto, albo też wchodzi na odgałęzienie, po czem natrafia znowu na kliny, które go powoli podnoszą, aż nakoniec wpadnie na odpowiedni już drut, rys. 179-ty, 180-ty i 181-szy.



Rys. 178.

Płytką, po której biegnie krążek, zaopatrzona jest w brzeży, zapobiegające wykołowaniu krążka. Zupełnie analogicznie muszą być wykonane skrzyżowania, jak to widzimy na rys. 182-gim.



Rys. 179.
Szemat zwrotnicy.

Tak zwrotnice, jak i skrzyżowania są i pozostaną zawsze słabymi punktami sieci, przeznaczonej dla krążka, i to pomimo wszelkich i wciąż jeszcze wprowadzanych zmian i ulepszeń w ich budowie. Ulepszeń zaś



Rys. 180.

i zmian tych jest takie mnóstwo, iż niema prawie większej eksploatacji, któraby nie miała swej własnej wypróbowanej i ulubionej konstrukcji. Opisywanie więc szczegółowsze tych różnych zmian

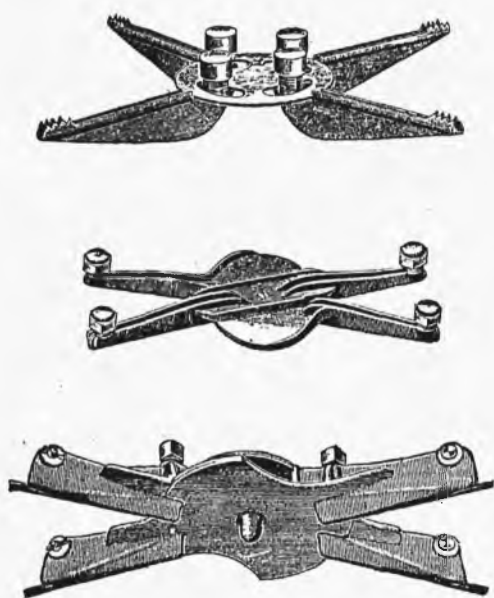
do niczego by nie prowadziło, tembardziej, iż zasada pozostaje zawsze ta sama.

Wszelkie zwrotnice i skrzyżowania muszą zawsze być montowane z największą starannością; zwrotnice muszą być umieszczone tak, aby krążek wchodził na płytkę dopiero wtedy, kiedy już wóz poszedł w odpowiednim kie-



Rys. 181.

runku; na miejsce przeto umieszczenia zwrotnicy wpływa tak długość tyczki wiodącej krążek, jak i punkt przytwierdzenia jej na wozie, względnie długość wozu. Przy różnych typach wozów, n. p. dwu-

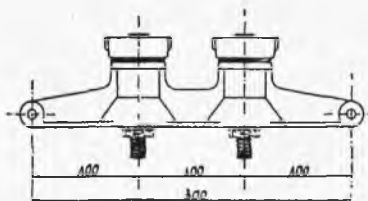


Rys. 182.

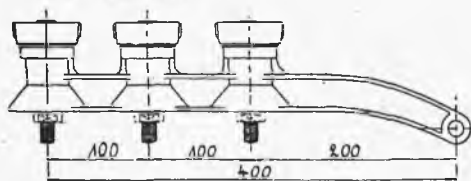
jąc dany kawałek toru w drut podwójny; na rozjazdach zdarzają się nawet druty potrójne. W takich wypadkach stosowane bywają wieszaki dla dwu lub trzech drutów, rys. 183-ci i 184-ty, lub też zaciski dla dwu i trzech drutów, rys. 185-ty. Również znaleźć można izolatory sekcyjne dla dwu drutów itp. O podobnych materiałach najlepiej poinformuje katalog którejkądy fabryki specjalnej.

16) Słupy. Słupy dla kolei i tramwajów elektrycznych stosowane bywają drewniane, żelazne i żelazo-betonowe. Słupy mogą służyć już to do przytwierdzania drutów poprzecznych, odciągowych lub kotwowych, już to do podtrzymywania przy pomocy wysięgów drutu roboczego; rozróżniamy przeto słupy z wysięgami i bez. Wysięgi bywają przeważnie żelazne, nawet przy słupach drewnianych.

Słupy drewniane bywają sosnowe, jodłowe, świerkowe, modrzewiowe, bukowe i dębowe; trwałość ich jest



Rys. 183.



Rys. 184.

i cztero-osiowych, mogą więc z tego powodu powstawać pewne trudności. Zwrotnice i skrzyżowania są zawsze przyrządami dość ciężkimi, wymagają przeto przeważnie mocniejszych słupów.

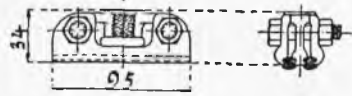
Pomimo wszelkich ulepszeń należy zawsze zwrotnice i skrzyżowania przejeżdżać bardzo wolno, gdyż nieco większa prędkość powoduje wykolejenia.

15) Materiały specjalne. Zdarza się dość często, iż dla zmniejszenia strat linję jakąś zaopatrujemy w podwójny drut roboczy; również i przy zwrotnicach przedłuża się nieraz jeden z drutów nieco dalej, zaopatru-

jąc naogół bardzo małą, tak, iż słup musi być często już po 2—5 latach wymieniony. Słabym miejscem jest głównie część dolna, na powierzchni ziemi, która ciągle na wilgoć narażona, szybko gnije.

Trwałość słupów drewnianych można znacznie zwiększyć przepajając je smołą, sublimatem, krezotem, siarczanem żelaza lub miedzi i t. p.

Dokładnych danych co do trwałości takich przepojonych słupów dotychczas nie ma; można jednak posługiwać się danymi co do trwałości przepajanych podkładów, pamiętając, iż trwałość słupów będzie zawsze mniejsza.



Rys. 185.

Dla podkładów nieprzepojonych i przepojonych można przyjąć następującą trwałość :

Materiał	Nieprzepojone	Przepojone
Jodła	4—6 lat	14—18 lat
Sosna	8—10 „	9—12 „
Modrzew	12—15 „	12—15 „
Buk	3—4 „	15—30 „
Dąb	12—25 „	20—30 „

Osmolenie, pomalowanie asfaltem lub wreszcie opalenie części zakopanej w ziemi zwiększa także trwałość słupa. Również i ustawienie w fundamencie betonowym zwiększa znacznie trwałość słupa; pamiętać przytem tylko należy, iż fundament betonowy winien wystawać conajmniej 100 mm. ponad powierzchnię ziemi.

Bardzo skuteczne jest otoczenie części słupa, znajdującej się w ziemi, blachą falistą; przestrzeń pomiędzy słupem a blachą wypełnia się wapnem lub gliną, słup zaś stawia się na odpowiednio ukształtowanej cegle.

Słupy żelazne rozróżniamy dwojakiem: rurowe i kratowe.

Słupy rurowe wykonywane bywają albo z kutego, względnie zlewonego (Flusseisen) żelaza, ze spajanymi szwami, albo z rur stalowych, t. n. Mannesmanowskich, bez szwów, lub wreszcie z podłużnymi żebrami (według systemu walcowni Düsseldorfskich). Słupy składają się zwykle z 3—4 oddzielnych rur, nasadzanych jedna na drugą i spojonych żelaznymi pierścieniami, nasadzanymi na gorąco.

Słupy rurowe wykonywane bywają w różnych wysokościach i wymiarach, stosownie do obciążenia dla jakiego są przeznaczone. Każda większa walcownia miewa swe ustalone typy, do których naturalnie stosować się należy. Słupy bywają następnie ozdabiane przeróżnymi cokółkami, pierścieniami, główkami i t. p.

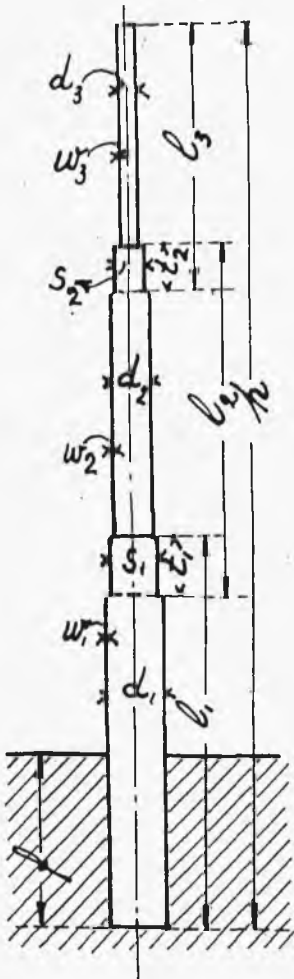
Rys. 186-ty i tablica uwidoczniają n. p. wymiary, wagę i dopuszczalne obciążenie słupów rurowych, zastosowanych w Warszawie.

Na rys. 187-mym widzimy słup rurowy tramwajów warszawskich z cokółem, pierścieniem i główką; na rys. 188-mym takiż słup dla drutu

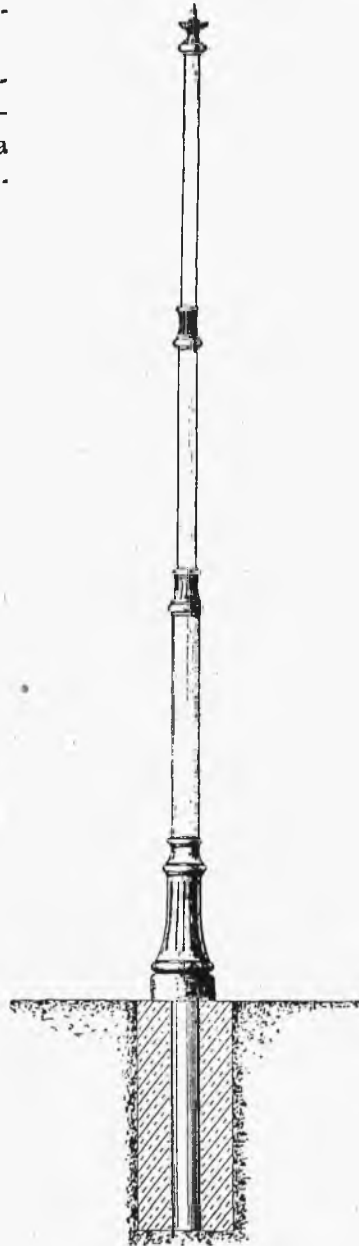
poprzecznego, na rys. 189-tym z dwuramiennym wysięgiem dla toru podwójnego, — służące równocześnie jako słupy oświetleniowe.

Słupy kratowe wykonywane bywają albo z dwu ku sobie zwróconych ceowników, związanych płaskownikami, albo z czterech kątowników, również związanych płaskownikami, rys. 190-ty.

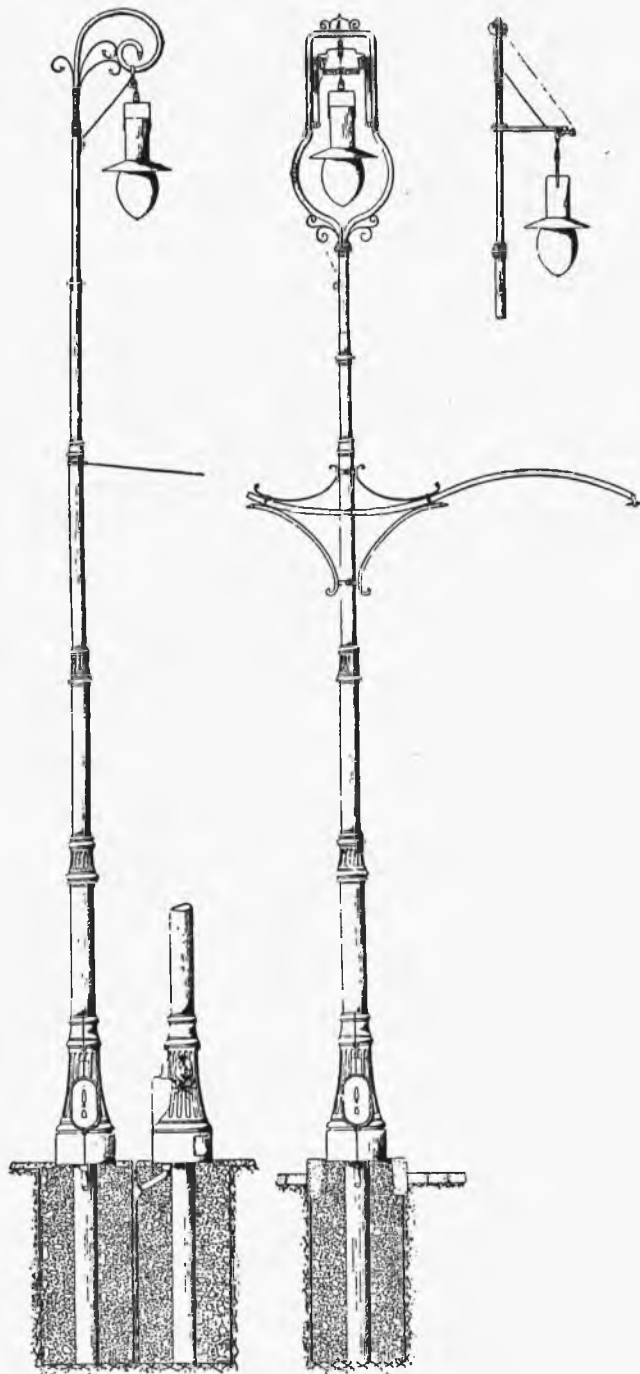
Pierwsze służą dla mniejszych obciążeń, działających li tylko w kierunku większej wytrzymałości, drugie dla większych obciążeń, działających w dowolnym kierunku.



Rys. 186.



Rys. 187.



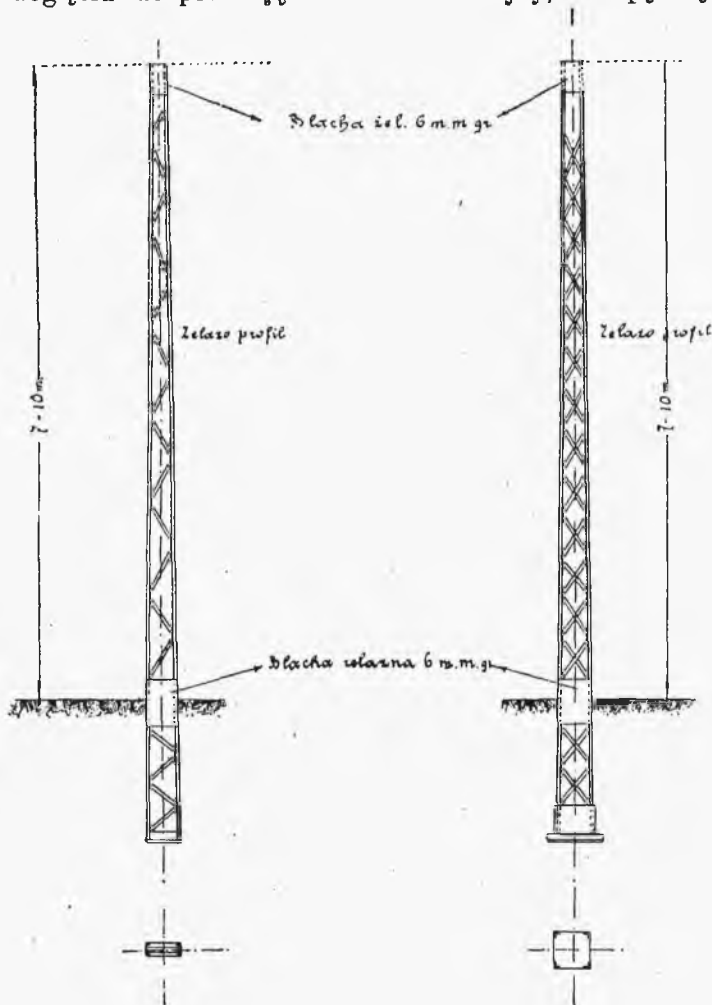
Rys. 188 i 189.

Tablica słupów rurowych.

Typ słupa	Pozłome ciężniere	Wysokość cala w m.	Wysokość części w mm.				Średnica w mm.			Grubość scia- nek w mm.			Pierścień w mm.				Głębokość fundamentu w m.	Waga kg.
			l_1	l_2	l_3	l_4	d_1	d_2	d_3	w_1	w_2	w_3	s_1	s_2	t_1	t_2		
I ¹	200	8,8	5000	2220	2200	203	159	127	6	6	6	174	142	320	300	1,8	235	
I ²	200	9,3	5200	2370	2350	203	159	127	6,5	6	6	176	143	320	300	1,8	260	
I ³	200	9,8	5400	2520	2500	203	159	127	7	6,5	6	178	144	320	300	1,8	290	
I ⁴	200	10,3	5600	2670	2650	203	159	127	7,5	7	6	180	145	320	300	1,8	325	
II ¹	400	9,0	5200	2250	2220	229	178	140	8	8	6,25	199	158	350	320	2,0	371	
II ²	400	9,5	5400	2400	2370	229	178	140	10	9	7	201	160	350	320	2,0	432	
II ³	400	10	5600	2550	2520	229	178	140	10,5	9,5	7,5	204	163	350	320	2,0	474	
III ¹	600	9,0	5200	2275	2250	267	203	152	10	9,5	8,25	227	174	375	350	2,0	497	
III ²	600	9,5	5400	2425	2400	267	203	152	10,5	10	8,75	228	176	375	350	2,0	545	
III ³	600	10	5600	2575	2550	267	203	152	11,5	11	9,75	230	178	375	350	2,0	623	
III ⁴	600	10,5	5800	2725	2700	267	203	152	12	12	10,5	232	180	375	350	2,0	685	
IV ¹	1000	9,0	5200	2300	2250	321	254	203	11,5	9,75	7,25	282	227	400	350	2,0	667	
IV ²	1000	9,5	5400	2450	2400	321	254	203	12,25	10,5	7,75	285	229	400	350	2,0	751	
IV ³	1000	10	5600	2600	2550	321	254	203	13	11,25	8,25	286	231	400	350	2,0	825	
IV ⁴	1000	10,5	5800	2750	2700	321	254	203	14	12	9	288	232	400	350	2,0	920	

Rys. 191-szy i tablica uwidoczniają wymiary takich słupów.

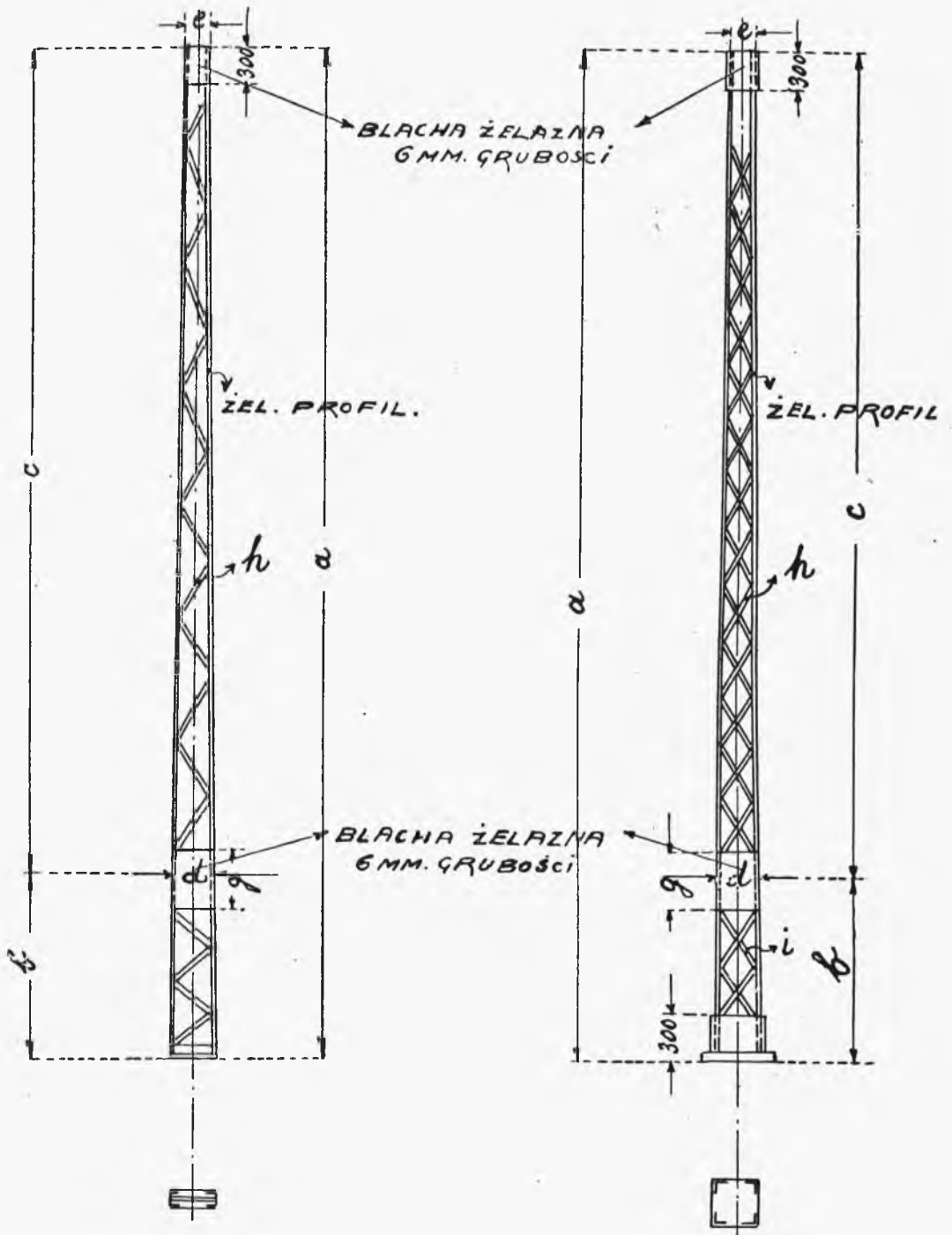
Słupy żelazo-betonowe robi się ze starych rur kotłowych; naokoło rury znajduje się warstwa cementu, następnie szereg drutów, potem znowu cement i t. d., aż do żądanej grubości. Słupom takim można oczywiście nadać wszelką żądaną wytrzymałość. Przy normalnem obciążeniu i przecięciu nie powstają na nich żadne rysy, ani pęknięcia; na-



Rys. 190.

tomiast nie wytrzymują takie słupy zupełnie uderzeń, muszą przeto być przewożone bardzo ostrożnie, starannie słomą owinięte i opakowane.

Tam wreszcie, gdzie idzie o jaknajwiększą taniaść, wygląd zaś słupów nie gra poważniejszej roli, można stosować zwykłe żelazo profilowe odpowiedniej wytrzymałości, dwuteowniki albo znitowane ze sobą dwa ceowniki.

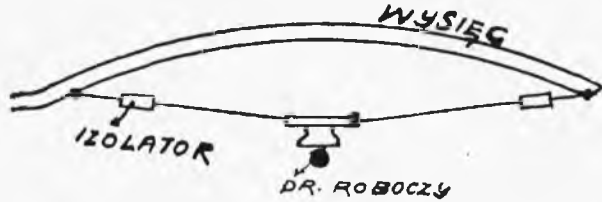


Rys. 191.

T a b l i c a s ł u p ó w k r a t o w y c h.

Typ słupa	Obciążenie w kg.	a	b	c	d	e	f	g	h	Fundament	
										wymiar	objętość w m. ³
G II ^I G II ^{II} G II ^{III}	300	8,8	1,8	7,0	0,265 0,280 0,310	0,120	┌ 10	0,500	50 × 10	0,52 × 0,80	0,75
		9,3									
		10,3									
G III ^I G III ^{II} G III ^{III} G III ^{IV}	500	9,0	2,0	7,0	0,335 0,355 0,375 0,455	0,150	┌ 12	0,500	50 × 10	0,7 × 0,9	1,25
		9,5									
		10,0									
		12,0									
G IV ^I G IV ^{II} G IV ^{III} G IV ^{IV}	500	9,0	2,0	7,0	0,320 0,340 0,360 0,435	0,150	┌ 60 × 8	0,500	35 × 10	0,8 × 0,8	1,25
		9,5									
		10,0									
		12,0									
G V ^I G V ^{II}	1000	9,0	2,0	7,0	0,410 0,435	0,154	┌ 75 × 10	0,500	35 × 10	0,87 × 0,87	1,50
		9,5									
G Va ^I G Va ^{II} G Va ^{III}	1500	9,3	2,3	7,0	0,510 0,540 0,570	0,174	┌ 80 × 10	0,500	40 × 12	0,8 × 0,8	1,50
		9,8									
		10,3									

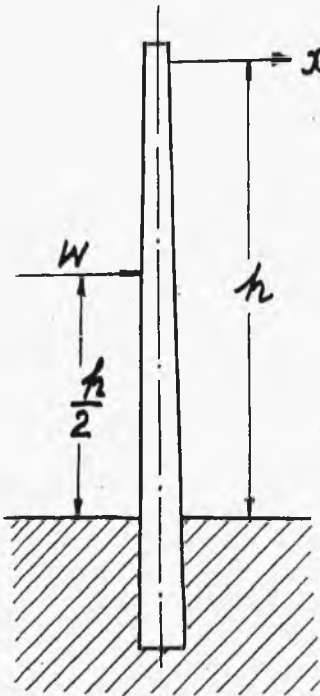
17) **Wysięgi.** Wysięgi wykonywane bywają z rur odpowiedniej grubości, przeważnie jednak z kątowników lub teowników. Wieszaki nie przytwierdza się zwykle bezpośrednio do wysięgu, lecz stosuje i tu izolowany od niego drut, do którego dopiero przytwierdza się wieszak, rys. 192-gi.



Rys. 192.

Dla torów podwójnych stosowane bywają przeważnie wysięgi dwustronne, przyczem słupy ustawia się pomiędzy torami; gdzie to jest niemożliwe, można też stosować wysięgi jednostronne dwutorowe. Wysięgi takie muszą jednak być nader mocne, a zatem i ciężkie, obciążają więc znacznie słup i wyglądają przytem niezbyt estetycznie.

18) **Obciążenie słupów.** Słup, do którego przytwierdzony jest drut poprzeczny, odciągowy lub kotwowy, obciążony jest panującym w tym drucie naprężeniem, oraz siłą wiatru.



Rys. 193.

Jeśli do słupa przytwierdzonych jest kilka drutów, to wielkość obciążenia i kierunek, w którym ono działa znajdujemy łatwo, składając wykreślnie poszczególne naprężenia.

Jeżeli obciążenie słupa przez drut lub druty oznaczymy przez X , rys. 193-ci, ciśnienie wiatru przez W , wysokość zaś, na jakiej działa X , przez h , to, przyjmąwszy, iż W działa na wysokości $\frac{h}{2}$, mamy:

$$M \cdot k = X \cdot h + W \frac{h}{2},$$

przyczem M = moment wytrzymałości dla niebezpiecznego przekroju (tuż nad ziemią), a k = dopuszczalne dla danego materiału naprężenie.

Jako maksymalne ciśnienie wiatru przyjmujemy zwykle 125 kg. na 1 m.² powierzchni prostopadłej do kierunku wiatru; dla słupów okrągłych przyjmujemy $\frac{2}{3}$ tej wartości.

Jako dopuszczalne naprężenie k można przyjąć:

- dla drzewa $k = 65—70$ kg. na cm.^2
 dla żelaza kutego $k = 650—700$ kg. na cm.^2
 dla stali $k = 900—1000$ kg. na cm.^2

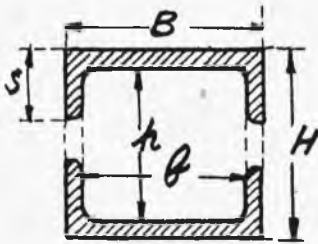
Moment wytrzymałości M wynosi:

1) Dla przekroju okrągłego, pełnego (słupy drewniane):

$$M = \frac{\pi}{32} \cdot d^3; \quad d = \text{średnica.}$$

2) Dla pierścienia (słupy rurowe):

$$M = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_1^4 - d_2^4}{d_1}; \quad \begin{array}{l} d_1 = \text{średnica zewnętrzna,} \\ d_2 = \text{średnica wewnętrzna.} \end{array}$$



Rys. 194.

3) Dla przekroju złożonego z dwu zwróconych ku sobie ceowników, rys. 194-ty:

$$M = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3 - (B - b) \cdot (H - 2 \cdot s)^3}{6 \cdot H}$$

4) Dla przekroju złożonego z czterech kątowników, rys. 195-ty.

$$M = \frac{2 \cdot s \cdot H^3 - 2(s - \delta) h^3 - 2\delta(H - 2 \cdot s)^3}{6 \cdot H}$$

Tak n. p. dla słupa rurowego typu I^2 mamy (tablica str. 213):

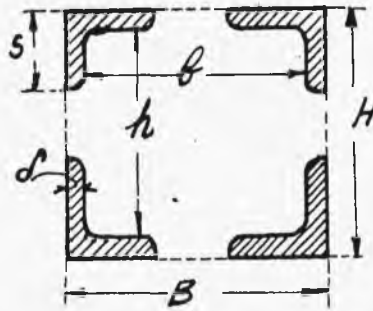
$$d_1 = 22,9 \text{ cm.} \quad d_2 = 22,9 - 2 = 20,9 \text{ cm.};$$

$$M = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{22,9^4 - 20,9^4}{22,9} = 360.$$

Słup taki przeznaczony jest dla obciążenia 400 kg.; wysokość, w jakiej działa to obciążenie, wynosi $950 - 200 = 750$ cm.

$$X \cdot h = 400 \cdot 750 = 3000000$$

$$\text{zatem naprężenie: } k = \frac{3000000}{360} = 830 \text{ kg.}$$



Rys. 195.

Dla słupa typu $G III^1$ (tablica str. 215) mamy:

$H = 33,5$. Ponieważ słup złożony jest z dwu ceowników Nr. 10, przeto: $B = 10$, grubość ścianek 6 mm., zatem $h = 32,3$, $b = 8,8$, $s = 5$.

$$M = \frac{10 \cdot 33,5^3 - 8,8 \cdot 32,3^3 - (10 - 8,8) \cdot (33,5 - 2 \cdot 5)^3}{6 \cdot 33,5} = 313$$

Przebieg słupów wylicza się podług wzoru:

$$f = \frac{1}{3} \cdot \frac{P}{J} \cdot \frac{l^3}{E} \quad \text{albo też:} \quad f = \frac{1}{3} \cdot \frac{Z}{E \cdot J} \cdot l^2$$

przyczem:

E = moduł sprężystości,

J = moment bezwładności,

l = wysokość nad ziemią na jakiej działa obciążenie,

Z = moment zginania dla zagrożonego przekroju = $M \cdot k$,

k = naprężenie na zginanie,

P = obciążenie (ciągnięcie poziome),

E można przyjąć dla stali około 2200000 na cm^2 , dla żelaza 2000000, dla drzewa 100000.

J wynosi:

$$\text{dla przekroju okrągłego} = \frac{\pi}{64} \cdot d^4, \quad \text{dla pierścienia} = \frac{\pi}{64} \cdot (d_1^4 - d_2^4),$$

$$\text{dla przekroju rys. 194-ty} = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3 - (B - h) \cdot (H - 2 \cdot s)^3}{8}$$

dla przekroju wreszcie rys. 195-ty: =

$$= \frac{2 \cdot s \cdot H^3 - 2(s - \delta) h^3 - 2\delta (H - 2 \cdot s)^3}{8}$$

Dla słupa rurowego n. p. I^2 dla którego $M = 360 \text{ cm}^3$, $P = 400 \text{ kg}$, $l = 750 \text{ cm}$. jest $J = 4104 \text{ cm}^4$

$$f = \frac{1}{3} \cdot \frac{750}{20000000} = 6,88 \text{ cm.} = 68,8 \text{ mm.}$$

Niech słup drewniany ma wytrzymywać obciążenie 200 kg. w wysokości 650 cm. nad ziemią. Nie uwzględniając ciśnienia wiatru otrzymamy:

$$X \cdot h = \frac{\pi}{32} \cdot d^3 \cdot k, \quad \text{a wstawiając } k = 65$$

$$200 \cdot 650 = \frac{\pi}{32} \cdot d^3 \cdot 65,$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{200 \cdot 650 \cdot 32}{\pi \cdot 65}} = 27,3 \text{ cm.}$$

Dla uwzględnienia ciśnienia wiatru, musimy wyliczoną średnicę zwiększyć; niech ta zwiększona średnica będzie = 29 cm.

Powierzchnia trafiona prostopadle przez wiatr wynosiłaby (nie uwzględniając ścienienia u góry) $6,5 \cdot 0,29 = 1,885 \text{ m}^2$

Ciśnienie wiatru wyniesie przeto maksymalnie:

$$\frac{2}{3} \cdot 1,885 \cdot 125 = 156 \text{ kg.}$$

$$200 \cdot 650 + 156 \cdot \frac{650}{2} = \frac{\pi}{32} \cdot d^3 \cdot 65$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{(200 \cdot 650 + 156 \cdot 325) \cdot 32}{\pi \cdot 65}} = 30,4 \approx 30 \text{ cm.}$$

Wpływ więc ciśnienia wiatru jest o tyle znaczny, iż nieuwzględnionym być nie może. Przy słupach żelaznych natomiast jest ten wpływ wobec mniejszej ich średnicy tak mały, że zwykle nie bywa przy rachunku uwzględniany.

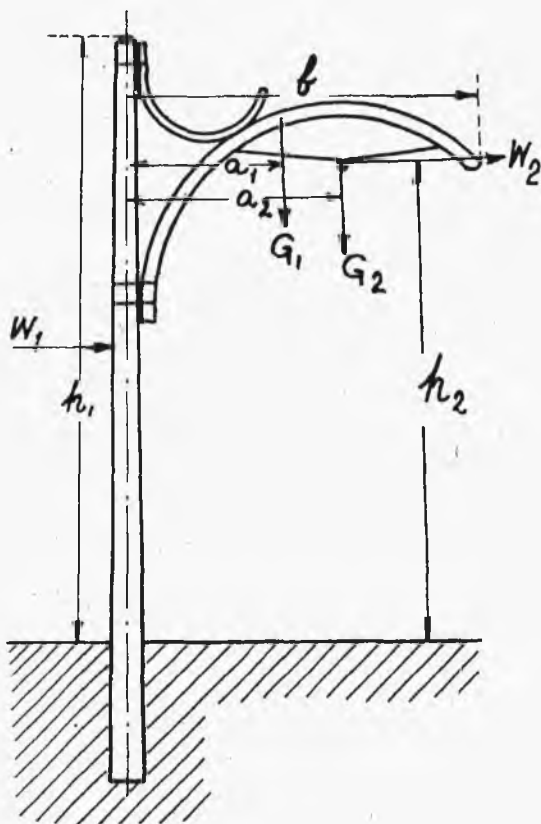
Przebieg powyższego słupa wynosiłoby:

$$f = \frac{1}{3} \cdot \frac{200}{J} \cdot \frac{650^3}{100000}, \quad J = \frac{\pi}{64} \cdot 30^4 = 39800$$

$$f = 4,6 \text{ cm.} = 46 \text{ mm.}$$

Słupy z wysięgami są zwykle znacznie mniej obciążone, jak słupy służące do przymocowywania drutów poprzecznych. Obciążenie takich słupów składa się, rys. 196-ty, z ciężaru wysięgu G_1 , działającego na ramieniu a_1 , ciężaru zawieszonoego na wysięgu drutu roboczego wraz z izolatorami G_2 , działającego na ramieniu a_2 , ciśnienia wiatru na słupek W_1 na wysokości $\frac{h_1}{2}$ i ciśnienia wiatru na drut roboczy W_2 , działającego na wysokości $h_2 =$ wysokości zawieszenia.

Dla toru pojedynczego zwykle $a_2 = 2000 - 2200 \text{ mm.}$, b około 3000 mm. Długość żelaza stanowiącego wysięg będzie, w zależności od jego kształtu i większego lub mniejszego wygięcia 3,5 — 5,0 m. Jeżeli n. p. na wysięg użyto teownik Nr. 7 $\frac{1}{2} \times 5$ o wadze 9 kg. na metr, to waga wysięgu G_1 będzie



Rys. 196.

30 — 45 kg., a wraz z śrubami i częściami dodatkowymi do 65 kg. Waga drutu roboczego wynosi, jak to widzieliśmy, około 22 kg., ciśnienie wiatru na drut roboczy również około 20 — 22 kg., a_1 można przyjmując około 1200 mm., h_2 niech będzie = 6500 mm., $h_1 = 7500$ mm. Przyjmując jako średnią średnicę słupa 250 mm., ciśnienie wiatru na słup:

$$W_1 = 125 \cdot \frac{2}{3} \cdot 7,5 \cdot 0,24 = 156 \text{ okrągło } 150 \text{ kg.}$$

$$\begin{aligned} M \cdot k &= W_1 \cdot \frac{h}{2} + W_2 \cdot h_2 + G_1 \cdot a_1 + G_2 \cdot a_2 = \\ &= 150 \cdot 375 + 22 \cdot 750 + 65 \cdot 120 + 22 \cdot 220 = 85390. \end{aligned}$$

Jeżeli słup ma być drewniany, to $k = 65$

$$M = \frac{85390}{65} = 1310 = \frac{\pi}{32} \cdot d^3$$

$$d = \sqrt[3]{13350} = 23,7 \text{ cm.}$$

Przyjmując dla słupów żelaznych $k = 750$, otrzymamy $M = 114$, co odpowiadałoby tak małej średnicy*), iż słup byłby ze względu na wstrząśnienia stanowczo zbyt słaby. Stosuje się więc tu zwykle słupy w rodzaju typu I, a w żadnym razie nie cieńsze, np. od 150 mm.

19) Ustawianie słupów. Słupy żelazne ustawia się zwykle w fundamencie betonowym, którego wielkość zależna jest od typu słupa. Tablice str. 213 i 215 podają także wymiary fundamentów. Głębokość fundamentu wynosi zwykle 1,8—2,4 m. Beton przeznaczony na fundament, składa się z mieszaniny żwiru, piasku i cementu w stosunku np. 5:3:1.

Słupy drewniane można ustawiać i bez betonu, o ile grunt jest mocny i dobry (nie nasypowy i t. p.), otaczając słup naokoło kamieniami, cegłą, gruzem i t. p.

Dla uniknięcia nieestetycznego wyglądu końca słupa, przegiętego pod wpływem obciążenia, ustawia się słupy nie prostopadle, lecz nadaje się im pewne pochylenie, przeciwne kierunkowi działającej siły tak, aby przegięty wierzchołek leżał przy obciążeniu w linii pionowej nad podstawą. Przegięcie wtedy niknie zupełnie dla oka, a słup wydaje się zupełnie prosty.

*) Przy grubości ścianek = 6 mm. i $d_1 = 14$ cm. byłoby np:

$$M = \frac{14^4 - 12,8^4}{14} = 82 \quad M k = 82 \cdot 750 = 61500.$$

Ciśnienie wiatru = $\frac{2}{3} \cdot 125 \cdot 7,5 \cdot 0,14 \cong 90$ kg., zatem obciążenie =
= 90 · 375 + 22 · 750 + 65 · 120 + 22 · 220 = 62890.

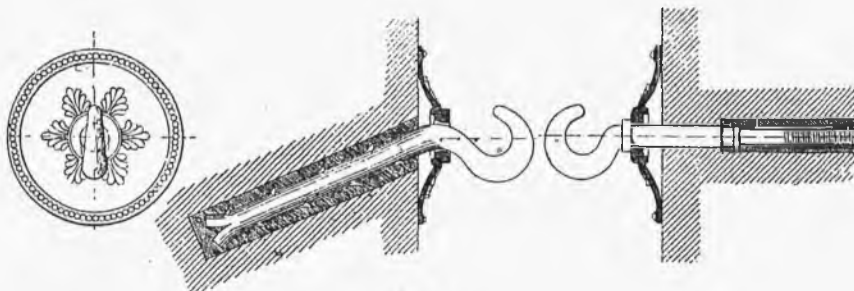
Pochylenie wynosi, w zależności od obciążenia 1:150 do 1:50. Tak n. p. wynosi przegięcie słupa typu I^2 , jak to obliczyliśmy na str. 218 okrągło 70 mm., przy wysokości 7500 mm.; odpowiada to więc pochyleniu 1:106. Co do kierunku pochylenia, to określa je wypadkowa wszystkich sił, działających na słup.

Tak same słupy żelazne, jak i ich armatura, a zatem cokoły, pierścienie, czapki i t. d. bywają zwykle na zewnątrz minjowane, a od wewnętrznej strony asfaltowane. Po ustawieniu maluje się słupy olejną farbą. Malowanie winno być powtarzane co 3—5 lat.

20) Przymocowanie drutów. Dla przymocowania drutów nakłada się na słupy obłąki żelazne, zaopatrzone w haki. Jeżeli słup ma służyć do przymocowania kilku drutów w różnych wysokościach, to zaopatruje się go w odpowiednią ilość obłąków; jeżeli zaś druty leżą na jednej wysokości, to na jednym obłąku można umieścić kilka haków.

21) Haki i rozety ściennie. Tam, gdzie pozwalają na to miejscowe warunki, można zamiast stawiania słupów przymocowywać druty do ścian pobliskich domów. W tym celu ustawia się na ścianie hak lub t. n. rozetę ścienną.

Haki, rys. 197-my, wstawia się nieco pochyło (pod kątem 30° — 45°) w otwór uprzednio w murze świdrem wywiercony i zalewa gipsem lub cementem.



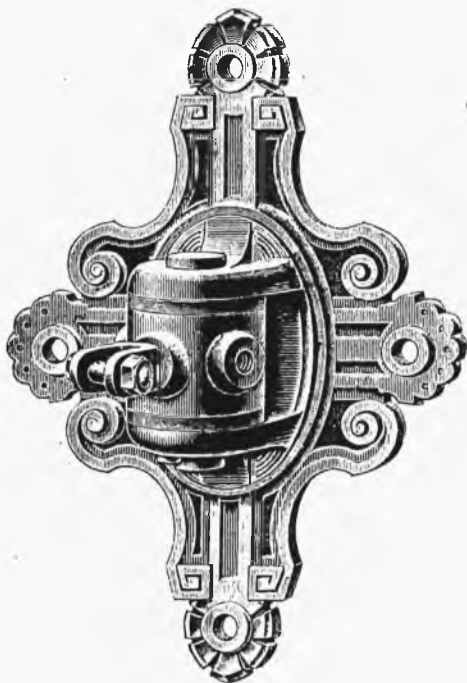
Rys. 197.

Obciążenie haka nie powinno przekraczać 400 kg.

Gdzie idzie o większe obciążenia oraz o zachowanie wyglądu estetycznego, tam stosuje się płyty, czyli rozety ściennie, przytwierdzone 2—4 śrubami.

Dla uniknięcia przenoszenia się wibracji drutu na ściany stosuje się t. n. tłumiki. Tłumików egzystuje sporo różnych konstrukcji, które jednak wszystkie polegają na tem, iż drut przerywa się odpowiednio umieszczoną podkładką gumową, która tłumí wszelkie wibracje.

Tłumik, rys. 198-my, jest tak zbudowany, iż nastawia się automatycznie w kierunku ciągnięcia; zaopatrzony on jest w kilka oczek, pozwalających na przymocowanie kilku drutów.



Rys. 198.

Obciążenie płyty, przymocowanej 4 śrubami, nie powinno przekraczać 600 kg.

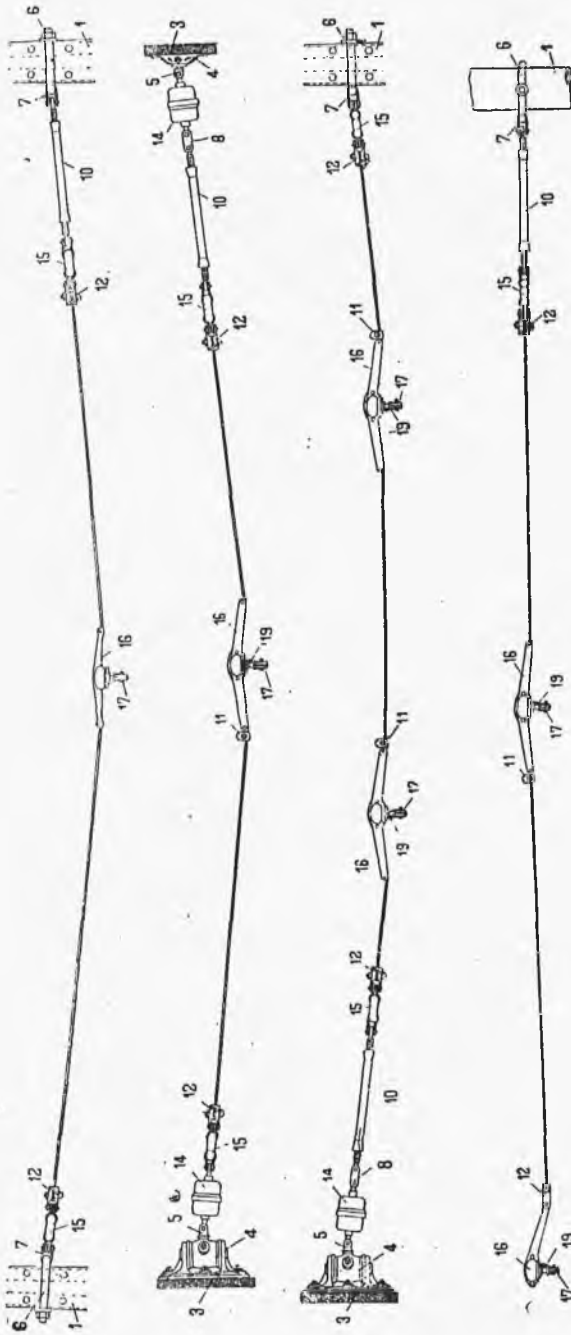
Jeżeli idzie o jeszcze większe ciągnięcia, to można oczywiście zastosować parę płyt, należy się jednak uprzednio upewnić, czy dany mur może wogóle wytrzymać niezbędne obciążenie. Dla drutów odciągowych ostrych łuków lepiej jest zawsze stosować słupy, gdyż elastyczność ich zapobiega powstawaniu zbyt wielkich obciążeń przy ostrych mrozach i poniekąd automatycznie reguluje naprężenie.

Materiały potrzebne dla zawieszenia drutu roboczego (system pałakowy) na linii prostej i łuku, dla toru pojedynczego i podwójnego widzimy na rys. 199-tym. Na rysunku tym widzimy u góry zawieszenie drutu roboczego na linii

prostej, niżej na łuku przy torze pojedynczym, następnie zawieszenie na łuku sieci dwutorowej i wreszcie u dołu odciąg na łuku przy linii dwutorowej.

22) Odgromniki. Rozróżniamy dwa zasadniczo różne rodzaje przyrządów chroniących od skutków uderzenia piorunu, a mianowicie te, które chronią od bezpośredniego uderzenia piorunu, t. j. **piorunochrony** i te, które chronią od skutków bliskich wyładowań atmosferycznych i mogących powstać w sieci skutkiem takich wyładowań silnych napięć, nazwane dla odróżnienia od pierwszych **odgromnikami**. Piorunochrony nie łączą się z siecią zupełnie, podczas kiedy odgromniki muszą zawsze z siecią być połączone.

Co do pierwszych, to są to ogólnie znane piorunochrony z ostrzem, t. j. ostrza uziemione, jakie się ustawia na budynkach, a pozatem także uziemione druty kolczaste, przeciągnięte równoległe do przewodów, które mają być chronione. Zaznaczyć tu należy, iż bezpośrednie uderzenia



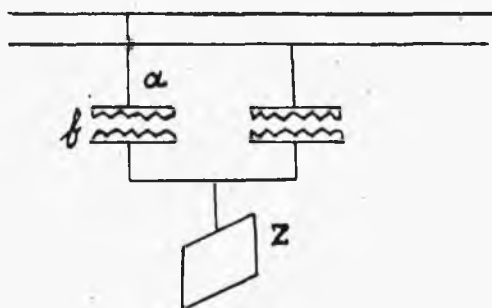
Rys. 199.

1) Stup. 3) Mur. 4) Rozeta ścienna. 5) Śruba widełkowa dla rozety. 6) Obciąż. 7) Uszko. 8) Łącznik. 10) Naprężnik. 11) Zacisk zabezpieczający. 12) Zacisk ze śrubą. 14) Tłumik. 15) Izolator sprzączkowy. 16) Wieszak. 17) Zacisk dla drutu. 19) Włóczę dla drutu dodatkowego.

piorunu w sieć kolei i tramwajów elektrycznych są zjawiskiem nader rzadkiem. Prawdopodobnie działają już same słupy żelazne jako piorunochrony. Co najwyżej więc w okolicach specjalnie burzliwych oraz przy zastosowaniu słupów drewnianych należy te ostatnie zaopatrywać w piorunochrony, n. p. takie, jakie bywają stosowane przy liniach telegraficznych i telefonicznych; pozatem ustawianie specjalnych piorunochronów jest rzeczą zupełnie zbędną.

Daleko groźniejsze natomiast bywają dla sieci wyładowania atmosferyczne, powstające n. p. skutkiem uderzenia piorunu gdzieś w pobliżu. Wyładowania takie są zawsze, przy obecności tak samoindukcji jak i pojemności, prądami zmiennymi o nader wielkiej częstotliwości. Nawet jednak i prądy płynące w jednym kierunku mają zawsze charakter prądów zmiennych, rosnąc w bardzo krótkim czasie od 0 do maksimum. Wobec tego przebijają takie wyładowania zwykle łatwiej n. p. zwój indukcyjny, aniżeli przechodzą przez takowy, przewyciężając raczej wysoki opór omiczny izolacji, jak samoindukcję zwoju. Sieć, wzięta jako całość z przyłączonemi do niej maszynami i motorami, posiada zawsze znaczną samoindukcję; wystarcza przeto umożliwić wyładowaniom atmosferycznym dostanie się do ziemi inną drogą, przez bezindukcyjny, chociażby wysoki opór, aby zagrozić im poniekąd drogę do sieci. Na tej właśnie zasadzie polegają wszelkie odgromniki.

Najprostszy, przeważnie przy sieciach prądu słabego stosowany odgromnik rys. 200-tny składa się z karbowanych płytek „a” i „b”, prze-



Rys. 200.

dzielonych warstwą powietrza 0,5 — 1,0 mm. i połączonych jedna z jednym z przewodów, druga z uziemioną płytą Z.

Wyładowanie atmosferyczne przebija warstwę powietrza pomiędzy płytkami i spływa do ziemi, nie przyczyniając szkody sieci.

Powietrze jednak posiada, jak wiadomo, prawie nieskończenie wielką wartość izolacyjną tylko

dla słabych napięć; przy wyższych napięciach jednak cząsteczki powietrza jonizują się i wytwarzają rodzaj mostu, ułatwiającego przejście prądu (jak n. p. przy łuku świetlnym). Łuk więc może być utrzymany znacznie słabszym napięciem aniżeli to, które było potrzebne do jego wytworzenia. Jeżeli mamy do czynienia z siecią, której oba bieguny są od ziemi izolowane, wyładowanie zaś następuje tylko w jednej połowie sieci, to łuk sam przez się gaśnie; jeżeli jednak wyładowanie następuje w obu

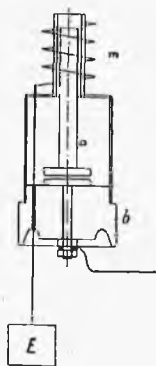
połowach równocześnie, to powstaje przez to krótkie zwarcie, napięcie zaś sieci może wystarczyć, aby łuk utrzymał.

To samo ma miejsce i przy sieciach kolei i tramwajów elektrycznych, gdzie jeden biegun stale jest z ziemią połączony.

Przy sieciach telegraficznych i telefonicznych, gdzie napięcie jest małe, zaś opór sieci znaczny, mogą być płytki ustawiane bardzo blisko siebie, 0,5—1,0 mm., wyładowanie więc następuje łatwo, nawet bez powstania łuku. Inaczej jednak przy sieciach prądu silnego, gdzie mamy do czynienia z małym oporem i dużym napięciem; tam byłoby trwałe krótkie zwarcie nieuniknione, tembardziej, iż łuk spowodowałby stopienie się płytek i metaliczne ich połączenie ze sobą. Takie przeto proste odgromniki dla sieci prądu silnego wogóle, a dla sieci kolejowo-tramwajowych w szczególności, zastosować się nie dadzą, lecz należy przeciwnie stosować takie odgromniki, w którychby powstający łuk utrzymać się nie mógł.

Do takich odgromników należą odgromniki t. n. kondensatorowe, składające się z szeregu płytek metalowych lub węglowych, przedzielonych warstewkami izolacji (n. p. miki, mikanitu i t. p.); wyładowanie atmosferyczne łatwo przebija ten szereg izolacji, podczas kiedy napięcie sieci nie wystarcza do utrzymania łuku. Ilość płytek zależy od wysokości napięcia sieci. Takich odgromników egzystuje kilka różnych konstrukcji. Działanie ich nie jest jednak dość pewne, gdyż z czasem mogą się pojedyncze płytki stapiać, skutkiem czego zmniejsza się opór tak, iż powstały łuk może stać się stałym i spowodować trwałe krótkie zwarcie. Odgromniki te wymagają stałej rewizji, częstej naprawy, wymiany części i t. d.

Dalsze ulepszenie stanowią odgromniki z automatycznym gaszeniem łuku. Najdawniejszy taki odgromnik systemu Siemens'a widzimy rys. 201-ym.

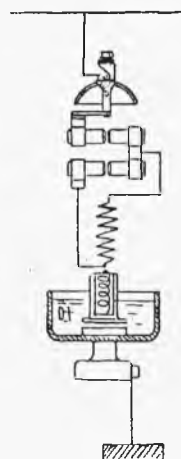


Rys. 201.

ogólną ich wadą jest to, iż posiadają one wszystkie części ruchome, wymagające zawsze starannego utrzymania.

Płytką „a” podnosi się pod wpływem elektromagnesu „m” skoro tylko prąd sieci zacznie płynąć do ziemi; odległość między płytkami „a” i „b” zwiększa się i prąd zostaje przerwany.

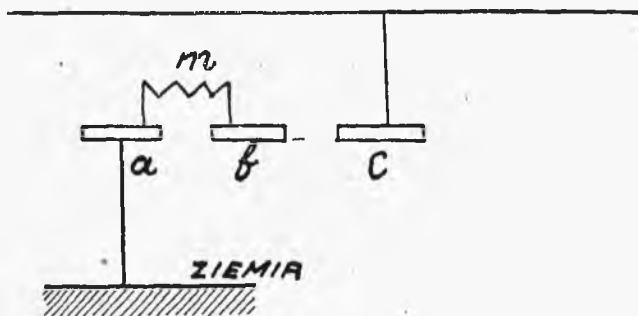
Na rys. 202-gim widzimy ulepszenie tego odgromnika, polegające na tem, iż łuk, powstając w oliwie, łatwiej się gasi; prąd atmosferyczny omija tu zupełnie zwoje elektromagnesu, a dopiero prąd sieci wzbudza go, przebiwszy oddzielną bardzo krótką drogę iskrową, i rozsuwa płytki zatopione w oliwie. Tego rodzaju



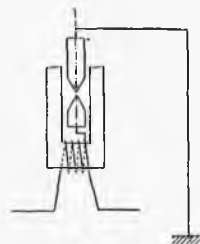
Rys. 202.

Odgromniki z magnetycznym gaszeniem polegają na ogólnie znanej zasadzie, iż pole magnetyczne poniekąd wydmuchuje i gasi łuk elektryczny.

Szkic, rys. 203-ci, tłumaczy działanie takiego odgromnika systemu Siemens.



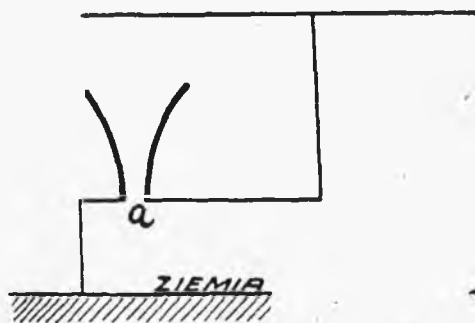
Rys. 203.



Rys. 204.

Wyładowanie atmosferyczne przebija drogi iskrowe $c-b$ i $b-a$ idący za nim prąd sieci przechodzi przez elektro-magnes m i gasi łuk pomiędzy „a” i „b”. Na rys. 204-tym widzimy szemat podobnego odgromnika systemu Elihu Thomson.

Najprostszymi jednak i dla sieci kolejowych najodpowiedniejszymi są odgromniki różkowe. Odgromniki te polegają na tem, iż łuk powstający w „a”, rys. 205-ty, wędruje pod wpływem sił elektrodynamicznych



Rys. 205.

rozków i prądu gorącego powietrza ku górze, przez co zwiększa się wciąż droga iskrowa, aż łuk zostanie przerwany. Tego rodzaju odgromniki są nader rozpowszechnione i bywają wykonywane w różnych odmianach. Odgromnik taki różkowy budowy Siemens i Halske widzimy na rys. 206-tym.

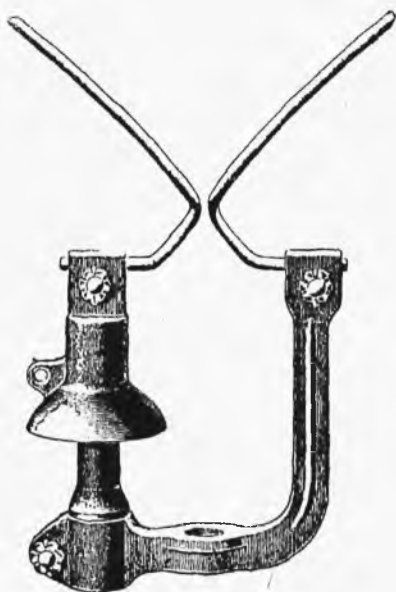
Czasami bywa dodawane do różków magnetyczne gaszenie dla tem pewniejszego przerwania łuku.

Odległość między różkami zależna

jest od napięcia sieci; dla 650 voltów wynosi ono n. p. 4 mm.

Odgromniki różkowe, jako nader proste, działają doskonale i pewnie wymagając tylko minimalnego utrzymania; wystarcza od czasu do czasu oczyścić różki, aby być pewnym, iż odgromnik działać będzie prawidłowo.

Niezależnie od rodzaju zastosowanych odgromników, powstają zawsze przy każdym atmosferycznym wyładowaniu krótkie zwarcia, które, w zależności od lepszego lub gorszego działania odgromnika, trwają krótszą lub dłuższą chwilę. Dla zmniejszenia natężenia płynącego wtedy prądu, włączane bywają w uziemienie opory dodatkowe.



Rys. 206.

Opory te muszą jednak bezwarunkowo być bezindukcyjne; jako takie nadają się doskonale opory wodne. Przy normalnych jednak napięciach, do 1200 voltów, są takie opory zupełnie zbyt duże, a stają się pożyteczne dopiero przy napięciach wyższych.

Jako uziemienie służą najlepiej same szyny; tylko na kolejach, gdzie szyny ułożone są na własnym planicie na podkładach, może ich uziemienie być niedostateczne. W takich wypadkach należy stosować specjalne płyty zakopane możliwie głęboko, aż do podskórnej wody. Płyty takie lepiej ro-

bić żelazne, jak miedziane, gdyż żelazo mniej od miedzi polaryzuje.

Jako drut uziemiający najlepiej jest stosować drut miedziany o przekroju nie mniejszym, jak 25 mm.², lepiej 50 mm.² Przy prowadzeniu tego drutu należy unikać ostrych zgień i kątów.

Wobec podziału sieci na oddzielne sekcje, zaopatruje się zwykle każdą sekcję w oddzielny odgromnik, umieszczony na jednym ze słupów mniej więcej po środku sekcji. Niezależnie od tego zaopatruje się w odgromniki wszystkie przewody zasilające, wychodzące z elektrowni. Każdy elektrowóz winien być również zaopatrzony w odgromnik.

Nadmienić tu należy, iż obwody oświetleniowe elektrowozu stanowią same przez się doskonały odgromnik, a to skutkiem tego, iż są prawie całkiem pozbawione indukcji. Dlatego należy w czasie burzy zawsze zapalać światło w elektrowozach.

23) Ochrona sieci prądów słabych. Nadzwyczaj ważną rzeczą jest skuteczna ochrona sieci prądów słabych od szkód, jakie mogą im wyrządzić sieci prądów silnych. Druty telegraficzne i telefoniczne bywają często prowadzone równolegle do linii kolejowych lub tramwajowych i również często krzyżują je. Poza to używają przeważnie telegrafy i telefony ziemi jako jednego przewodnika. Należy przeto przewody prądów słabych chronić w dwu kierunkach a mianowicie:

1) Od bezpośredniego zetknięcia się z drutami prądów silnych i przejścia tych prądów do drutów i aparatów prądu słabego i

2) Od wpływu prądów indukcyjnych, wywołanych przez prądy silne.

W razie zetknięcia się drutu telegraficznego lub telefonicznego z drutem roboczym powstaje połączenie z ziemią przez tenże drut oraz aparaty telegraficzne, względnie telefoniczne, używające zwykle ziemi jako drugiego przewodu, a zatem z nią połączone. Jeżeli nawet, jak to często bywa przy telefonach, ziemia nie jest użyta jako przewód, to niemniej takie zetknięcie powoduje zwykle przebicie izolacji aparatów, nie przeznaczonych do wytrzymywania tak wysokiego napięcia. Część prądu silnego przechodzi przez aparaty i przewody do ziemi, powodując oczywiście bardzo poważne ich uszkodzenia, przepalenia przewodów, zwojów i t. p., a nieraz wywołując pożary. Pożary takie całych centrali telefonicznych nieraz już się zdarzały; między innymi została w ten sposób do gruntu zniszczona centrala telefoniczna w Zurichu w latach, zdaje się, 1894—96. Pozatem zetknięcie takie może być oczywiście niebezpieczne dla osób, któreby się właśnie w tej chwili posługiwały aparatami.

Zetknięcie się drutów prądów słabych z drutem roboczym mogą się zdarzać tam, gdzie pierwsze krzyżują drut roboczy, w razie ich przerwania i opadnięcia. Zdarza się również, iż zerwany drut prądu słabego zawisa na drucie roboczym, nie dotykając ziemi i nie mając z nią połączenia; w takim wypadku jest on pod pełnym napięciem i staje się tak dla ludzi, jak głównie dla koni, tem niebezpieczniejszy, iż, jako cienki, jest mało widoczny.

Radykalnie usuwa możliwość tego rodzaju wypadków zastąpienie sieci powietrznej prądu słabego przez sieć podziemną; jest to jednak zwykle tak kosztowne, iż nie zawsze da się racjonalnie przeprowadzić.

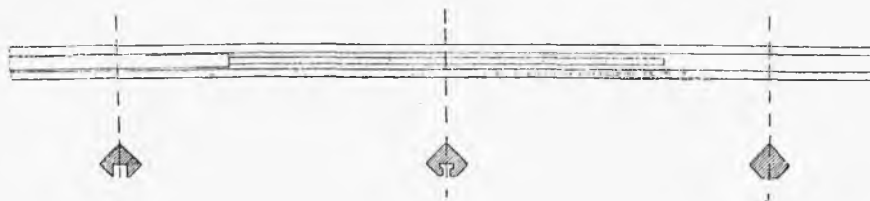
Bardzo skuteczne jest użycie drutów izolowanych na przewody prądu słabego w tych miejscach, gdzie krzyżują one drut roboczy. Środek ten bywa często używany, jest jednak również dość kosztowny, a pozatem niezawsze da się zastosować. Zresztą pamiętać należy, iż izolacja, narażona na wpływy atmosferyczne, dość prędko się psuje, więc ochronę taką niepodobna uważać jako zupełnie pewną.

Zamiast izolowania drutów prądu słabego, można w miejscach skrzyżowania izolować drut roboczy, oczywiście tylko u góry, nałożeniem listewek drewnianych, papierowych, bambusowych lub gumowych. Zwłaszcza drut profilowy nadaje się doskonale do nakładania takich listewek, rys. 207-my.

Izolacja taka, aczkolwiek, jako znacznie grubsza, od izolacji drutów prądu słabego trwalsza, psuje się jednak dość prędko; pozatem

może drut prądu słabego zetknąć się jednak, skutkiem swej sprężystości i giętkości, z dolną, nie izolowaną częścią drutu roboczego.

Listewki izolacyjne muszą być na wieszakach przerwane; zastępują je tam specjalne druty, rys. 208-my.



Rys. 207.

Tam, gdzie kończy się listewka, umieszcza się specjalne haczyki, rys. 209-ty, zapobiegające możliwemu ześlizgiwaniu się drutu spadającego.



Rys. 208.



Rys. 209.

Łęcz nie tylko druty krzyżujące drut roboczy, mogą przy zerwaniu zetknąć się z nim; może się to zdarzyć łatwo i z drutami zawieszonymi doń równolegle. Drut taki, zerwawszy się, może upaść na drut poprzeczny i, ześlizgując się po nim, zetknąć się z roboczym. Gdzie więc ponad drutami poprzecznymi biegną druty prądu słabego, tam umieszcza się na drutach poprzecznych specjalne haczyki, rys. 210-ty.

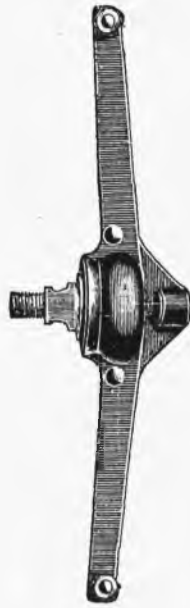
Kosztowną, ale zato bardzo skuteczną ochroną są t. n. druty ochronne.

Na wieszakach, zaopatrzonych u góry w odpowiednie gniazda, rys. 211-ty, ustawia się podpórki żelazne około 500 mm. wysokie, zakończone izolatorami, rys. 212-ty, na których przeprowadzony jest drut miedziany, na obu swych końcach starannie uziemiony, rys. 213-ty.



Rys. 210.

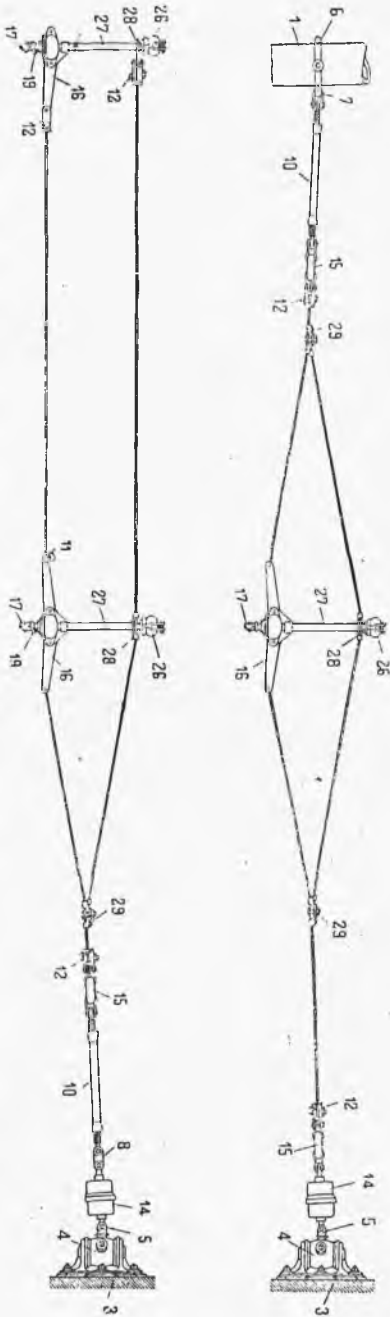
Niezależnie od podpórek, jest drut ochronny podtrzymywany przez druty poprzeczne i odciągowe, analogicznie do drutu roboczego; na obu swych końcach jest on pozatem zakotwiony.



Rys. 211.



Rys. 212.



Rys. 213.

- 1) Stup. 8) Mur. 4) Rozeta ścienna. 5) Śruba widelkowa. 6) Obląk. 7) Uszko. 8) Łącznik. 10) Nąprężnik.
 11) Zacisk zabezpieczający. 12) Zacisk ze śrubą. 14) Tłumik. 15) Izolator sprzączkowy. 16) Wieszak.
 17) Zacisk dla drutu. 18) Wcięcie dla drutu dodatkowego. 26) Izolator. 27) Podpórka. 28) Przy mocowanie
 drutu dla drutu poprzecznego ochronnego. 29) Zacisk z odgądzaniem.

Spadający drut telefoniczny lub telegraficzny nie może zetknąć się z drutem roboczym, nie dotknąwszy drutu ochronnego; skutkiem tego powstaje doskonałe połączenie z ziemią i cienki drut telefoniczny przepala się natychmiast, jużto w miejscu zetknięcia z drutem roboczym, jużto ochronnym, poczem część jego, zupełnie już nieszkodliwa, pada na ziemię.

Urządzenie takie jest kosztowne, gdyż niezależnie od podpórek, specjalnych drutów poprzecznych, odciągowych i kotwowych, wymaga jeszcze wyższych i mocniejszych słupów dla przymocowania tych dodatkowych drutów.

Jak to już zaznaczono, drut ochronny działa naogół bardzo dobrze i pewnie; niemniej jednak może się, przy szczególnie nieszczęśliwym zbiegu okoliczności, zdarzyć, że i on zawiedzie. Może n. p. czasem drut telefoniczny, krzyżujący bardzo ukośnie drut roboczy, zerwawszy się, tak bokiem odskoczyć, iż, ominąwszy drut ochronny, zetknie się z drutem roboczym.

Dalej może się zdarzyć, iż drut telefoniczny, a raczej jego kawałek, przepalony na drucie ochronnym, spadając, zaczepi się jaką nierównością (które w miejscach przepalenia zawsze powstają) o drut roboczy i na nim zawisnie, nie dotykając ziemi; drut taki oczywiście pozostanie wtedy pod prądem.

Podobne wypadki, aczkolwiek bardzo rzadkie, są jednak znane. Naogół można jednak drut ochronny uważać za zupełnie dostateczną ochronę.

Tam, gdzie krzyżuje się nie pojedynczy drut, a wiązka drutów prądu słabego, lepiej jest zamiast drutu ochronnego zastosować siatkę drucianą, również od drutu roboczego izolowaną i starannie uziemioną. Siatka taka musi być zawieszona na odpowiednich słupach w znacznej nad drutem roboczym wysokości. Siatka stanowi ochronę bezwzględnie doskonałą i pewną, wygląda natomiast bardzo ciężko i nie estetycznie.

Również i przy krzyżowaniu linii telegraficznych lepiej jest stosować siatkę, a to wobec większej zwykle grubości drutów telegraficznych (żelazne n. p. druty miewają średnicę 5 mm.); tak gruby drut przepalając się mógłby już łatwo nadtopić drut ochronny lub roboczy.

Dobłą ochronę stanowią również specjalne uziemione haki, rys. 204-ty, przytwierdzone do izolatora drutu telefonicznego po obu stronach skrzyżowania; gdzie idzie o większą ilość drutów, tam zamiast haków stosować można całe listwy. Tak haki, jak i listwy powinny być miedziane i starannie czyszczone, gdyż żelazo łatwo rdzewieje, rdza zaś stanowi izolację.

Niezależnie od środków ochronnych przewody prądów słabych muszą być zawsze zaopatrzone w odpowiednie bezpieczniki.

Znacznie trudniejszą jest ochrona od wpływów prądów indukowanych.

Wiadomo z doświadczenia, iż przechodzące w pobliżu linje kolei lub tramwajów elektrycznych wywołują w telefonach nieraz bardzo nawet silne szmery i odgłosy.

W takich szmerach daje się wyraźnie rozróżnić wysoka, świszcząco-skrzeczająca, oraz druga, niska, hucząco-szumiąca nuta; nuty te dają się słyszeć naprzemian, do nich zaś dołącza się w nieregularnych odstępach czasu ton trzeci, trzaskający.

Początkowo przypisywano powstawanie tych odgłosów ziemu kontaktowi pomiędzy kółkiem, względnie pałąkiem, a drutem roboczym. Obszerne jednak próby i doświadczenia G. Kappa wykazały, iż tak nie; jest i że ani kontakt pomiędzy przyrządem prąd odbierającym, a drutem roboczym, ani pomiędzy kołami a szynami, żadnego na telefony wpływu nie wywiera.

Główną przyczyną są tu motory elektryczne elektrowozów i powstające w nich prądy zmienne, które, dodając się do prądu stałego, wywołują prąd stały pulsujący; prąd ten właśnie wpływa na przewody telefoniczne jużto indukcyjnie, jużto bezpośrednio.

Indukcja bywa dwojaka: elektrodynamiczna, jeżeli linje sił przebiegają koncentrycznie do przewodu prąd prowadzącego i elektrostatyczną, kiedy linje te biegną do przewodu równoległe. Przy długich przewodach telefonicznych, przebiegających równoległe do drutu roboczego, przeważa indukcja elektrostatyczna. Co do wpływu bezpośredniego, to częściowe przechodzenie prądów silnych do sieci prądów słabych, używających wspólnie z niemi ziemi jako jednego z przewodników, jest nieuniknione. Szczególniej prądy zmienne, pochodzące od motorów i odznaczające się wielką częstotliwością zmian, bywają z szyn do ziemi jakgdyby wypychane, napotykać w żelaznych szynach wysoki indukcyjny opór.

Trzaskające odgłosy są prawdopodobnie wywoływane przez regulatory (przerywanie iskry przy przechodzeniu z kontaktu na kontakt); są one tem słabsze, czem większą ilość kontaktów posiadają regulatory.

Ton niski, huczący wywołany jest przez krótkie zwarcia na szczotkach motorów. Zwarcia te są dla motorów trakcyjnych nieuniknione, gdyż szczotki tych motorów muszą leżeć w linji neutralnej i nie mogą być nastawiane odpowiednio do kierunku biegu, wobec ciągłej jego zmiany.

Tony wysokie, świszczące, spowodowane są przez wpływ rowków tworników na pole magnetyczne, niedwudzielną ilość działek kolektorów, tarcie szczotek na kolektorach i t. d.

Najradykałniejszym sposobem zapobieżenia tym szkodliwym dla sieci telefonicznych wpływom jest zamiana sieci telefonicznej na dwuprzewodową, podziemną. Pozatem pomagają do pewnego stopnia umieszczenie na elektrowozach kondensatorów i zwojów dławikowych. Są to jednak rzeczy nietylko kosztowne, ale i pochłaniające znaczną bardzo ilość energii. Zwoje dławikowe n. p. pochłaniają, wobec niezbędnej ilości zwojów, co najmniej 5—10% energii.

Środki przeto te mogą być stosowane tylko w wyjątkowych wypadkach, nigdy zaś powszechnie. Prawdopodobnie pomogłyby też zmiana konstrukcji motorów, a zatem zastosowanie gładkich tworników bez rowków, dobrze przylegające i niewibrujące szczotki i t. d. Oczywiście jednak jest, iż względem przewody prądu słabego nie jest jednak dość ważny, aby spowodować i usprawiedliwić tak radykalne zmiany w budowie dla trakcji już wyprobowanych i za najlepsze uznanych konstrukcji motorów.

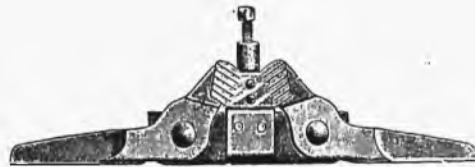
24) Zabezpieczenie od przzerwania drutu roboczego. W razie przzerwania drutu roboczego końce jego opadają w dół, przyczem powstają dwie możliwości, mianowicie:

- 1) Zwieszający się koniec drutu zetknie się z ziemią albo szynami lub:
- 2) Zwieszające się końce drutu do ziemi nie dostają.

W pierwszym wypadku powstaje zwykle krótkie zwarcie, powodujące stopienie bezpieczników, względnie wyłączenie automatów na elektrowni i przzerwianie prądu w danej dzielnicy. Zdarza się jednak, iż drut, upadając na ziemię, nie styka się jednak z szynami; w takich wypadkach, zwłaszcza przy kamiennym bruku i suchej pogodzie, może krótkie zwarcie nie nastąpić, a nawet izolacja bruku okazać się tak dobrą, iż nie powstaje znaczniejszy upływ prądu. Znane są nawet wypadki, kiedy drut padł na szyny i pozornie z nimi się zetknął, warstwa jednak pyłu na szynach wystarczyła, by do krótkiego zwarcia nie dopuścić. W takich wypadkach pozostaje ów zwieszający nad ziemią kawał drutu pod pełnym napięciem, jest przeto wysoce niebezpieczny; dotknięcie go może wywołać bardzo poważne wypadki.

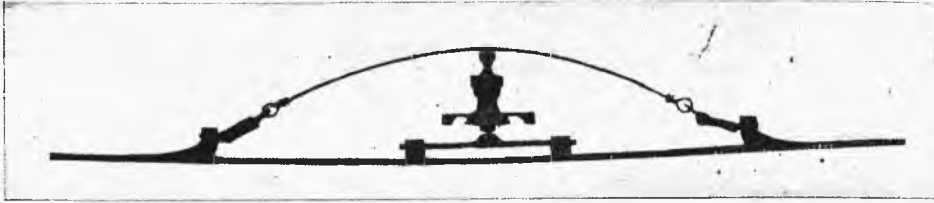
W drugim wypadku, jest zwieszający koniec drutu również wysoce niebezpieczny, tembardziej, jeżeli zwisa tak nisko, iż łatwo dotknąć go można.

Obmyślano więc i zastosowano sporo przeróżnych konstrukcji, mających zerwany kawałek drutu bezwzględnie od sieci oddzielić. Niestety wszystkie te konstrukcje nietylko znacznie obciążają sieć, ale co gorsza



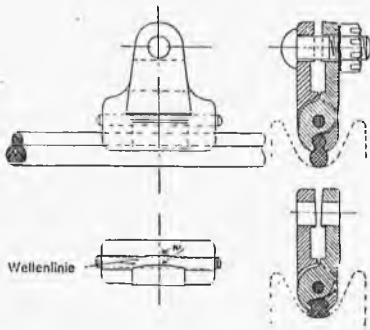
Rys. 214.

często ją osłabiają i przyczyniają się do łatwiejszego przerwania drutu. Tego rodzaju konstrukcję widzimy n. p. na rys. 214-tym.



Rys. 215.

Drut roboczy musi być przecięty i wlutowany w specjalne klamerki. W razie przerwania drut opadający ciężarem swym obraca klamerkę naokoło osi, widocznej na rys. 214-ym, czem powoduje wysunięcie noża z kontaktu i przerwanie prądu.

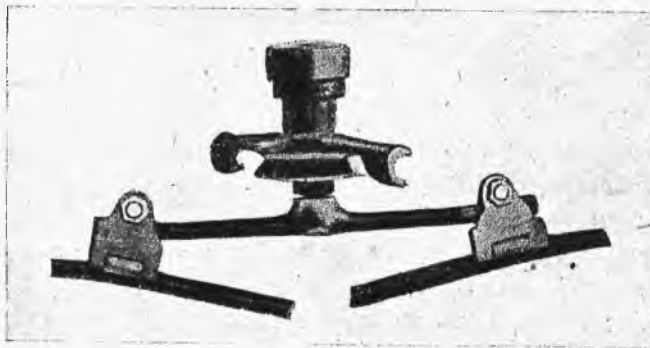


Rys. 216.

Lepszymi już są konstrukcje, mające zabezpieczyć od opadnięcia końców zerwanego drutu. Konstrukcję taką widzimy na rys. 215-ym.

Zamiast lutowanych klamerek, widocznych na rysunku, stosowane też bywają ostatnio zaciski, rys. 216-ty.

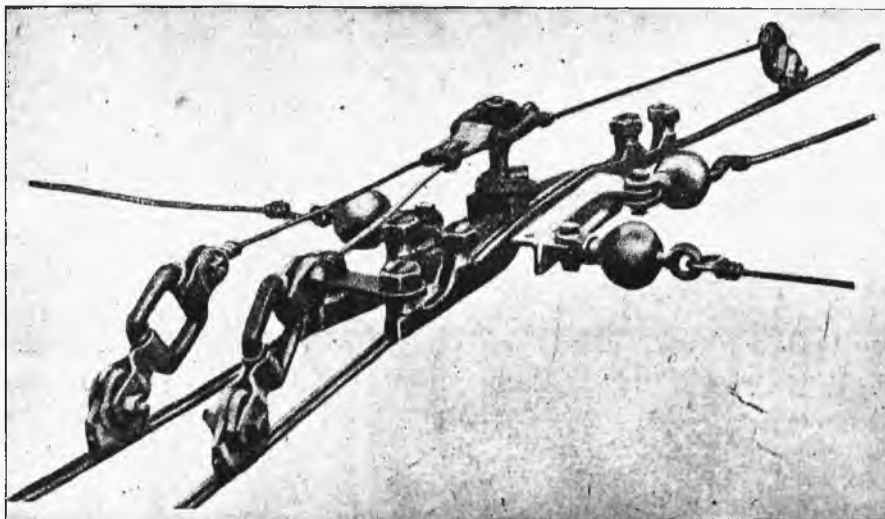
Falistość w drucie roboczym przeszkadza wysunięciu się końców z zacisku w razie przerwania drutu, dodatkowy drut u góru staje się zbyteczny, gdyż same zaciski niedopuszczają do opadnięcia drutu, jak to widać na rys. 217-ym.



Rys. 217.

Na rys. 218-tym widzimy zwrotnicę zabezpieczoną przy pomocy takich zacisków.

Niemniej i tego rodzaju konstrukcje obciążają i komplikują znacznie sieć; przytem zabezpieczają one tylko o tyle, o ile przerwanie drutu nastąpi na wieszaku, nie zaś między dwoma zawieszzeniami. To też należałoby je stosować z największą ostrożnością i wyłącznie tylko na specjalnie zagrożonych miejscach. (Takiemi są przy systemie kółkowym właśnie zwrotnice). Najlepszym zaś zabezpieczeniem pozostanie zawsze wybór dobrych materiałów, umiejętny montaż i staranne utrzymanie.



Rys. 218.

Głównymi przyczynami zerwań drutu roboczego bywają:

- 1) Zbytnie starcie drutu,
- 2) Wszelkiego rodzaju miejsca lutowane,
- 3) Zbyt sztywne zawieszania,
- 4) Zbytne zwieszanie się drutu roboczego,
- 5) Zbytne ciśnienie przyrządu odbierającego prąd,
- 6) Konstrukcje, które powodują uderzenia przy przechodzeniu zbieracza prądu, co wywołuje silne iskrzenie i wgłębienia w drucie.
- 7) Osłabienie drutu przez źle umieszczone śruby i t. p.,
- 8) Złe utrzymanie ślizgaczy (przy systemie pałkowym), nierównomierne ich starcie, rowki i wyżłobienia na ich powierzchni.

Że zwracając baczną uwagę na te przyczyny oraz utrzymując wogóle starannie całą sieć można rzeczywiście przerwania drutu roboczego doprowadzić do minimum, posłużyć może jako przykład sieć tram-

wajów miejskich warszawskich, w której, pomimo nader ożywionego ruchu, w przeciągu lat 7 nie zdarzył się ani jeden wypadek przerwania drutu roboczego.

25) Przewody zasilające. Konstrukcja i montaż przewodów zasilających dla kolei i tramwajów elektrycznych w niczem się nie różni od konstrukcji i montażu takichże przewodów oświetleniowych. Również więc, jak przy oświetleniu i przesyłaniu siły, mogą te przewody być nadziemne, gołe na izolatorach, lub podziemne; w tym ostatnim wypadku mamy znowu do czynienia z normalnymi konstrukcjami i rodzajami kabli, skrzynek kablowych, końcówek i t. p. i znanymi sposobami układania i montowania takich przewodów. Stosowane bywają przy prądzie stałym prawie wyłącznie kable jednożyłowe, obołowione i opancerzone żelazem.

Szeroko rozpowszechnionym i bardzo dobrym sposobem układania jest ułożenie kabli na piasku i przykrycie ich workami napełnionymi betonem (mieszanina cementu, piasku i żwiru 1:2:5). Kable oddzielone bywają od worka pokładem papki smolonej.

Przy większych instalacjach stosowane bywają często kable podwójne, t. j. zamiast jednego przewodu o wyliczonym przekroju układa się dwa przewody, każdy o połowie przekroju. Ma to na celu zwiększenie bezpieczeństwa ruchu, względnie zmniejszenie przerw, w razie bowiem uszkodzenia jednego z przewodników, drugi może zawsze zaopatrywać przez czas jakiś daną dzielnicę w prąd; w celu uniknięcia przeciążenia można wtedy obszar tej dzielnicy zmniejszyć przez odpowiednie przelączenia.

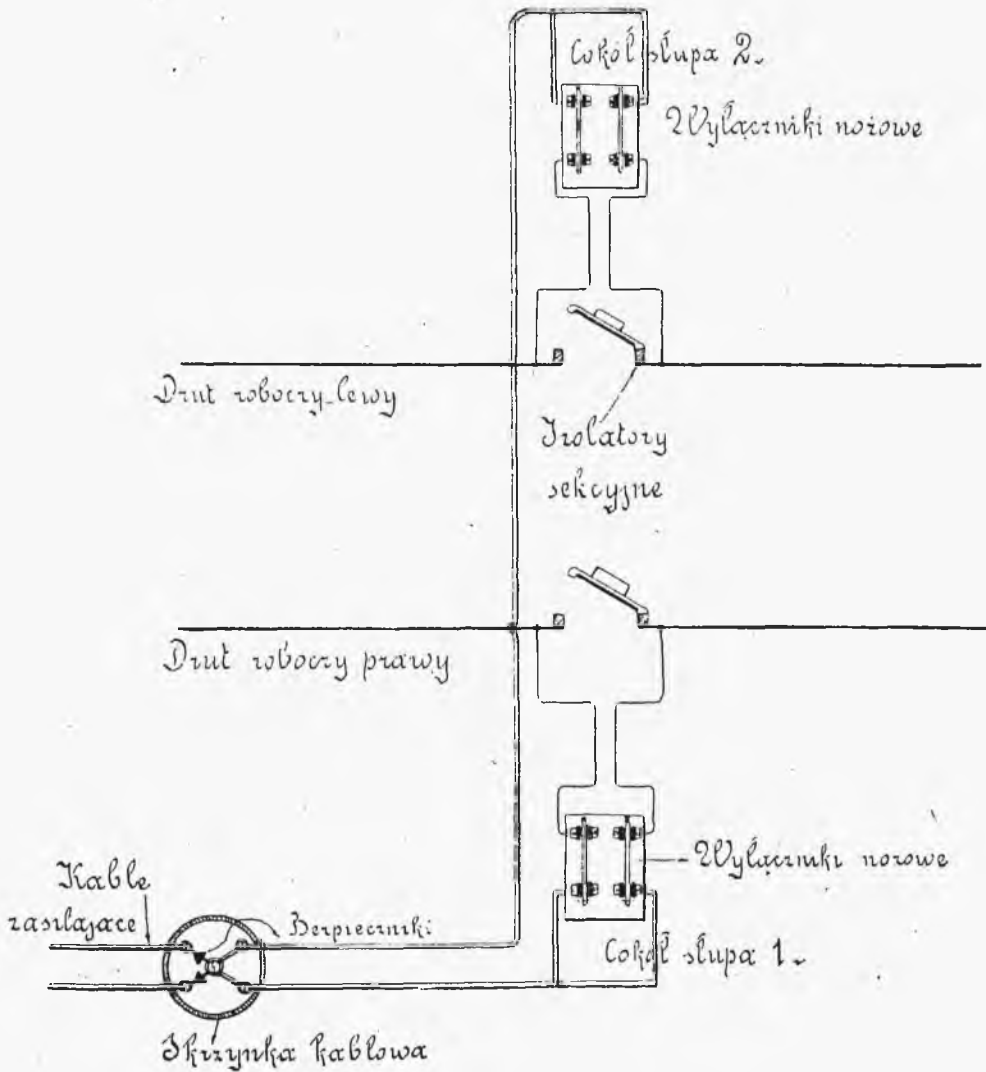
Bardzo dobrze jest stosować zawsze kable z przewodami probierczymi czyli mierniczymi; zwiększa to tylko nieznacznie ich koszt, a natomiast ułatwia znacznie wszelkie pomiary oraz wyszukiwanie uszkodzeń.

W punktach zasilających, t. j. tam, gdzie podziemne kable mają być połączone z siecią, umieszcza się odpowiednią skrzynkę kablową, w której kabel, względnie kable się kończą i łączą za pomocą bezpieczników z giętkim izolowanym przewodem odpowiedniego przekroju, ułożonym przeważnie w rurze gazowej. Przewód ten prowadzi do tabliczki rozdzielczej, zwykle marmurowej lub szyfrowej, umieszczonej jużto w cokole słupa, jużto w odpowiedniej skrzynce na słupie lub ścianie pobliskiego domu. Na tej tablicy umieszczone są wyłączniki, łączące przewód z drugim przewodnikiem, ułożonym jużto w rurze gazowej na ścianie lub słupie, jużto, przy słupach rurowych, wewnątrz słupa, a dalej wzdłuż drutu poprzecznego do drutu roboczego i tu z nim połączonym. Zamiast jednego przewodu i wyłącznika ustawia się zwykle dla linii jednotorowych dwa wyłączniki i układa dwa przewody, umieszczając równocześnie w punkcie zasilającym izolator sekcyjny; pozwala to odrazu

podzielić dzielnicę na dwie połowy, po obu stronach izolatora, i każdą z tych połówek zasilać w razie potrzeby oddzielnie. Dla linii dwutorowych ustawia się w cokole w tensam sposób 4 wyłączniki, po dwa dla każdego toru.

Ten sam system da się oczywiście zastosować i przy przewodnikach, zasilających nadziemnych.

Szemat połączenia dwutorowego, zastosowany w Warszawie, widzimy na rys. 219-tym; tabliczki marmurowe i wyłączniki nożowe umieszczone są w cokółach dwu słupów po obu stronach ulicy.



Rys. 219.

26) Ochrona od przeciążenia. Przy kolejach, jak i tramwajach elektrycznych, są zawsze nieuniknione przeciążenia, uszkodzenia sieci i krótkie zwarcia, które tu z natury rzeczy znacznie częściej się zdarzają, niż przy wszelkich innych instalacjach elektrycznych; należy więc przewody zasilające zawsze starannie ochraniać od takich przeciążeń. Służą do tego bezpieczniki i automatyczne maksymalne wyłączniki, w które każdy przewód zasilający zaopatrzony być musi.

Przeważnie, a w nowszych instalacjach nawet wyłącznie, bywają tu stosowane samoczynne wyłączniki, jako działające znacznie szybciej od bezpieczników. Samoczynne wyłączniki umieszcza się w elektrowni na tablicy rozdzielczej. Niezależnie od nich jednak zaopatruje się przewody zasilające jeszcze i w bezpieczniki umieszczone już to u wyjścia z elektrowni, już to lepiej w skrzynkach kablowych w punktach zasilających. Bezpieczniki takie obliczone być winny na prąd nieco większy jak ten, dla którego nastawione są wyłączniki samoczynne. Przy wyborze typu wyłączników samoczynnych należy pamiętać, iż przeciążenia, a zatem wyskakiwanie ich, jest przy instalacjach dla trakcji elektrycznej rzeczą częstą, poniekąd normalną, że zatem wyłączniki winny być tak zbudowane, aby częste to wyłączanie znosić mogły bez uszkodzeń i zawsze pewnie działały.

Co do dopuszczalnego obciążenia kabli podziemnych to za miarodajne można uważać odnośne przepisy bezpieczeństwa niemieckiego związku elektrotechników.

Niżej podana tablica jest ważna, o ile obok siebie nie leży więcej niż dwa przewodniki. W razie ułożenia większej ilości przewodników obok siebie, n. p. we wspólnym rowie, dobrze będzie podane obciążenia zmniejszyć do $\frac{2}{3}$.

Przy eksploatacjach o obciążeniu dorywczem dopuszczalnym jest chwilowe przewyższanie podanych obciążeń, o ile ono nie wywołuje rozgrzania większego, jak przyjęte przy zestawieniu tablicy. Dla tablicy przyjęto ogrzanie o 25 stopni ponad temperaturę otoczenia przy ułożeniu w głębokości 70 cm.

27) Wyłączniki samoczynne międzyczelnikowe. Niezbędny ze względu na bezpieczeństwo ruchu podział sieci na oddzielne i osobno zasilane dzelnice, pociąga za sobą zwykle większe straty, względnie wymaga większej liczby przewodów zasilających o większym przekroju, aniżeli by to było niezbędne, gdyby sieć mogła stanowić jedną całość, w której przewody zasilające pomagałyby sobie wzajemnie, a różnice napięć same się wyrównywały.

Ostatnimi czasy został przez firmę Siemens i Halske obmyślony, opatentowany i na rynek wypuszczony przyrząd, który, łącząc poszcze-

Tablica Obciążeń dla Przewodników Podziemnych.

Przekrój mm. ²	Największe dopuszczalne obciążenie w amperach przy podziemnem ułożeniu								
	Rodzaj przewodników i napięcie								
	Poje- dyńczy	Skręcony podwójny		Skręcony potrójny		Skręcony poczwórny		Koncentryczny	
		750 v.	3000 v.	10000 v.	3000 v.	10000 v.	3000 v.	10000 v.	Podwójny 3000 v.
1	24	19		17		16			
1,5	31	25		22		20			
2,5	41	33		29		26			
4	55	42		37		34			
6	70	53		47		43			
10	95	70	65	65	60	57	55	70	55
16	130	95	90	85	80	75	70	90	75
25	170	125	115	110	105	100	95	120	100
35	210	150	140	135	125	120	115	145	120
50	260	190	175	165	155	150	140	180	150
70	320	230	215	200	190	185	170	220	185
95	385	275	255	240	225	220	205	270	220
120	450	315	290	280	260	250	240	310	255
150	510	360	335	315	300	290	275	360	290
185	575	405	380	360	340	330	310	405	330
240	670	470		420		385		470	385
310	785	545		490		445		550	455
400	910	635		570				645	530
500	1035								
625	1190								
800	1380								
1000	1585								

gólne dzielnice w jedną całość, rozłącza je automatycznie w razie uszkodzenia.

Przyrząd ten, samoczynnym wyłącznikiem międzodzielnicowym nazwany, składa się w zasadzie z samoczynnego wyłącznika maksymalnego, łączącego ze sobą dwie sąsiednie dzielnice, i szeregu elektromagnesów i przekaźników tak urządzonych, iż po wyłączeniu samoczynny wyłącznik natychmiastowo automatycznie znowu się włącza, ale tylko o tyle, o ile obie połączone dzielnice pozostają pod napięciem; jeżeli jednak którąbądź z dzielnic, lub obie, zostały tymczasem od elektrowni oddzielone, to wyłącznik pozostaje otwarty aż do chwili, kiedy odłączona dzielnica będzie włączona.

Jeżeli więc n. p. dwie dzielnice są ze sobą przy pomocy takiego automatu połączone, samoczynny zaś wyłącznik jest nastawiony na 250 amp., to, skoro tylko prąd wyrównawczy, płynący z jednej dzielnicy do drugiej, granicę tę przekroczy, zostaje połączenie obu dzielnic przerwane; jeżeli ten zbyt wysoki prąd został wywołany przypadkiem tylko i chwilowem przeciążeniem jednej z dzielnic, to wyłącznik na-

tychmiastowo sam się włącza; jeżeli jednak prąd spowodowany został trwałem krótkim zwarciem, jeżeli zatem jedna z dzielnic została pozbawiona napięcia skutkiem wyskoczenia automatu na elektrowni, to wyłącznik zostaje otwarty, dzielnice zatem rozłączone aż do chwili włączenia wyłączzonej dzielnicy; wtedy automat samoczynnie znowu dzielnice łączy. Również w razie odłączenia jednej z dzielnic na elektrowni, rozłącza automat samoczynnie obie dzielnice.

Samoczynny wyłącznik wraz z opornikiem, przekaźnikiem i magnesem zamontowany jest w żelaznej hermetycznej skrzynce, którą umieszcza się na słupie lub ścianie w pobliżu izolatora dzielnicowego łączonych dzielnic.

Przyrząd ten w wyżej opisanej postaci, aczkolwiek działa bardzo pewnie i dobrze i nie wymaga wielkiego utrzymania, posiada jednak kardynalną wadę, która uniemożliwia szersze jego zastosowanie bez odpowiedniego uzupełnienia. Oto bywa przeważnie tak, iż wyłącznik samoczynny, wyskakujący w jednej z dzielnic skutkiem krótkiego zwarcia, „ciągnie” za sobą i automat stacyjny, tak, iż obie połączone dzielnice zostają jednocześnie wyłączone. Jeżeli połączonych ze sobą jest więcej dzielnic, to wszystkie zostają wyłączone tak, jakgdyby automatów wcale nie było, a sieć stanowiła jedną całość.

Prąd, spowodowany krótkim zwarciem, względnie połączeniem z ziemią, gdyż przy tramwajach z prawdziwym krótkim zwarciem prawie nigdy nie mamy do czynienia, połączenie bowiem nawet bezpośrednio drutu roboczego z szynami ma zawsze stosunkowo dość znaczny opór, nie osiąga momentalnie swego maximum, lecz rośnie w bardzo krótkim czasie od 0 do tego maximum; czas ten wzrastania zależny jest od sumy oporów indukcyjnych, jakie prąd na swej drodze spotyka, i będzie tem dłuższy, im większe są te opory.

W obwodzie mającym opór omiczny i samoindukcję prądu po upływie t sekund od włączenia wyniesie:

$$I_t = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R \cdot t}{L}} \right) = \frac{E \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{R \cdot t}{L}}} \right)}{R}$$

E = napięcie w voltach,

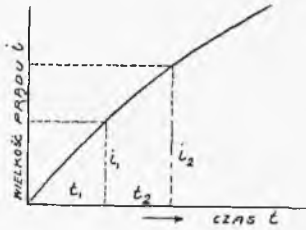
R = opór w omach,

t = czas w sekundach,

L = samoindukcja obwodu w Henry,

e = Zasada naturalnych logarytmów = 2,718.

Ze swej strony nie działa też wyłącznik samoczynny momentalnie, lecz potrzebuje na przerwanie prądu również pewnego, zresztą bardzo krótkiego czasu. (Nóż musi opuścić kontakty, łuk być przerwany i. t. d.)



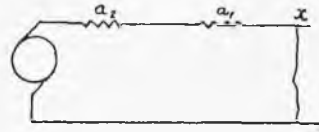
Rys. 220.

Prąd, doszedłszy po upływie czasu t_1 do natężenia i_1 , na które nastawiony jest automat, nasycza na tyle elektromagnes, iż ten przewycięża opór sprężyny i przyciąga swą kotwicę, czem oswabadza nóż wyłącznika, który, przez sprężynę przyciągnięty, odrywa się od kontaktów i prąd przerywa. Na to wszystko potrzeba pewnego czasu t_2 podczas którego prąd rośnie dalej dosiegając wartości i_2 . Wzrost ten prądu ponad normę

praktycznie niema znaczenia, gdyż idzie tu zawsze o czas bardzo krótki, conajwyżej dziesiąte części sekundy.

Wystawmy sobie teraz dwa w szereg połączone automaty, z których pierwszy, od elektrowni dalszy, nastawiony jest na natężenie prądu i_1 , a drugi na większe natężenie prądu i_2 , rys. 221-szy.

Jeżeli w x powstanie krótkie zwarcie, to wyskoczy przedewszystkiem automat a_1 ; jeżeli jednak prąd rośnie tak szybko, iż przed upływem czasu t_2 potrzebnego na to, aby automat a_1 podziałał, dosięgnie wartości i_2 , to nada on również i automatowi a_2 impuls do wyskoczenia. Wyskoczy więc i ten automat, aczkolwiek nie przerwie już żadnego prądu, gdyż ten będzie tymczasem już przzerwany przez automat a_1 . To nam tłumaczy „ciągnięcie” za sobą drugiego automatu tak często w praktyce spotykane.



Rys. 221.

Czasu t_2 , potrzebnego, aby automat podziałał, przeważnie zmniejszyć nie można, natomiast można łatwo spowodować wolniejsze wzrastanie prądu tak, iż nie osiąga on granicznej wartości drugiego automatu, zanim go pierwszy przerwie.

Wystarczy w tym celu włączyć w obwód odpowiednio obliczoną zwojnicę indukcyjną czyli zwiększyć wartość L . Ścisłe obliczenie takiego zwoju jest wprawdzie niemożliwym, gdyż tak czas t_2 jest w silnym stopniu zależny nie tylko od konstrukcji automatu, ale także od jego większego lub mniejszego zanieczyszczenia, jak również i szybkość wzrastania prądu zależy od nieznaney i każdorazowo innej indukcji całego obwodu, ale wystarcza tu obliczenie przybliżone, poparte następnie praktycznymi próbami.

Samoindukcja obwodu oraz opór jego „ R ”; są nam nieznanne i zresztą zmienne, zależne od miejsca, gdzie następuje uszkodzenie i rodzaju

tego uszkodzenia. Wobec tego samoindukcji obwodu bez zwojnicy wogóle nie uwzględniamy, co do oporu zaś, przyjmujemy, iż prąd wyniesie n. p. 1500 amperów; odpowiada to przy napięciu $E = 600$ voltów oporowi $R = 0,4$ oma.

Samoindukcja zwojnicy z żelaznym rdzeniem wyraża się wzorem:

$$L = \frac{4\pi \cdot n^2 \cdot q \cdot \mu}{10^9 \cdot l}$$

Przyczem:

n = ilość zwojów

q = przekrój zwoju w centym. kwadr.

l = długość zwoju w centym.

μ = przenikliwość magnetyczna żelaza

Nie znając stopnia nasycenia żelaza, nie znamy oczywiście i wielkości μ ; nadając jednak rdzeniowi kształt wydłużony, wnioskować możemy, iż wobec długiej drogi przez powietrze, jaką przebyć muszą linje magnetyczne, nasycenie to będzie niewielkie, wartość więc μ duża.

Wymiary zwojnicy obieramy dowolnie; niech n. p. będzie:

Średnica 100 mm., zatem przekrój $q = 78$ cm. kw., długość $l = 300$ mm., ilość zwoji $n = 100$. Dla $\mu = 3000$ otrzymamy:

$$L = \frac{4 \cdot \pi \cdot 100^2 \cdot 78 \cdot 3000}{30 \cdot 10^9} = 0,975 \text{ okrągło licząc} = 1 \text{ Henry}$$

Dla $\mu = 500$ mielibyśmy:

$$L = \frac{4 \cdot \pi \cdot 100^2 \cdot 78 \cdot 500}{30 \cdot 10^9} = 0,163 \text{ Henry.}$$

Przy $L = 1$ Henry wyniesie natężenie prądu po upływie 0,1 sek.:

$$I_{0,1} = \frac{600 \cdot \left(1 - \frac{1}{2,718^{\frac{0,4 \cdot 0,1}{1}}}\right)}{0,4} = \frac{600 (1 - 0,954)}{0,4} = 68,7 \text{ amp.}$$

Przy $L = 0,163$ Henry wyniesie ta wielkość:

$$I_{0,1} = \frac{600 \left(1 - \frac{1}{2,718^{\frac{0,4 \cdot 0,1}{1}}}\right)}{0,4} = \frac{600 \left(1 - \frac{1}{1,28}\right)}{0,4} = 330 \text{ amp.}$$

W rzeczywistości natężenie prądu będzie miało wartość pośrednią między temi dwoma. Łatwo dalej wyliczyć, iż przy $L = 1$ Henry natężenie prądu wyniesie:

Po upływie 0,5 sek. = 271 amp

Po upływie 1 sek. = 498 amp.

Przy $R = 0,20$ oma $L = 0,163$ Henry $I_{0,1} = 348$ amp.

$L = 1$ Henry $I_{0,5} = 285$ amp.

Takie zwojnice indukcyjne zostały w Warszawie włączone w szereg z dwoma automatami międzydzielnicowymi zastosowanymi tam tytułem próby i dały jaknajlepsze rezultaty; nie tylko że ustało wszelkie „ciągnięcie” za sobą automatu sąsiedniej dzielnicy, ale nawet rozmyślnie bezpośrednio obok automatu robione połączenie drutu roboczego z szynami nie powodowało nigdy wyskoczenia automatu sąsiedniej dzielnicy.

Międzydzielnicowe wyłączniki samoczynne mogą oddać duże usługi przy długich, mało rozgałęzionych liniach kolejowych, zwłaszcza przy rzadkim ruchu i, co zatem idzie, bardzo niestałym obciążeniu. Będą one na miejscu również i dla poszczególnych, czasowo przeciążanych linii rozgałęzionych sieci miejskich, gdyż pozwolą nieraz zaoszczędzić oddzielne przewody wzmacniające. Natomiast należy jednak być bardzo ostrożnym z szerszym ich zastosowaniem przy rozgałęzionych sieciach.

Wyobraźmy sobie n. p., iż jakaś dzielnica silnie rozgałęzionej sieci połączona jest przy pomocy takich automatów z czterema innymi dzielnicami; niech automaty nastawione będą na 250 amp. każdy. Jeżeli teraz w środkowej części tej dzielnicy powstanie połączenie z ziemią przez które płynąć będzie prąd n. p. 1500 amp., to łatwo zdarzyć się może, iż przez 4 międzydzielnicowe automaty przepłynie po n. p. 225 amp., razem zatem 900 amp.; żaden z nich więc nie wyskoczy, pozostałe zaś 600 amp. może nie wystarczyć, aby spowodować wyskoczenie automatu stacyjnego zabezpieczającego ową środkową dzielnicę, upływ prądu trwać więc może czas dłuższy, powodując znaczne straty i fatalne następstwa. Dalej pamiętać należy, iż zastosowanie automatów dzielnicowych do już egzystujących sieci nieznacznie tylko dać może oszczędności. Średnie straty w sieci zasilającej nie przewyższają zwykle 6-8%, zaś międzydzielnicowe automaty mogłyby zaoszczędzić co najwyżej 2-3% tego, t. j. ledwo 0,2-0,3% ogólnej energii.

ROZDZIAŁ IX.

Sieć powrotna.

1) **Łączniki.** W sieci powrotnej zastępują drut roboczy szyny, które w tym celu muszą być z sobą elektrycznie połączone i przyłączone do jednego z biegunów, zwykle ujemnego, źródła prądu. Szyny, a zwłaszcza tramwajowe tory, ułożone w jezdni ulic i po główkę w niej

zatopione, nie mogą być dostatecznie od ziemi izolowane; pewna część prądu będzie zawsze mogła ujść z szyn i obrać sobie inną drogę do elektrowni, przez ziemię i zakopane w niej przewody metalowe, jakoto rury wodociągowe lub gazowe, opancerzenie kabli podziemnych i t. p. Z tychże powodów nie może być sieć powrotna podzieloną na niezależne od siebie dzielnice, lecz przeciwnie stanowi ona zawsze jedną niepodzielną całość i musi być zawsze jako taka traktowaną.

Przy powstaniu pierwszych tramwajów elektrycznych w Ameryce byli amerykańscy inżynierowie zdania, iż jako przewód powrotny wystarczy ziemia tak, jak przy telegrafach i telefonach. Nie łączono przeto ze sobą szyn elektrycznie, umieszczając natomiast wzdłuż linii w pewnych odstępach starannie uziemione i z szynami połączone płyty. Biegun ujemny prądniczy łączono również z uziemioną płytą. Już pierwsze jednak próby wykazały od razu, iż ziemia, będąc zupełnie dostatecznie dobrym przewodnikiem dla prądów słabych, jest dla prądów silnych przewodnikiem niedostatecznym. Powstawały ogromne straty napięcia dochodzące do 200 i więcej voltów, a co gorsze, tak znaczne różnice napięcia pomiędzy szynami a ziemią, iż dotknięcie szyn stawało się niebezpieczne. Różne w ziemi ułożone przewody metalowe wykazywały tak znaczne różnice potencjałów, iż n. p. zetknięcie się przypadkowe



Rys. 222.



Rys. 223.

w lochu przewodów wodociągowych i gazowych wywoływało formalny łuk voltaiczny, który w paru wypadkach spowodował nawet pożary w piwnicach.

Przekonano się przeto niebawem, iż ziemi, jako przewodu powrotnego przy instalacjach prądu silnego, używać nie można i że połączenie szyn ze sobą przy pomocy łubków jest pod względem elektrycznym niedostateczne.

Da się to wytłómaczyć tem, iż złącza, zwłaszcza proste, rozluźniają się dość szybko; pomiędzy szyną a łubkami powstaje warstwa rdzy stanowiącej izolację i powstaje, jeżeli już nie zupełne przerwanie ciągłości, to w każdym razie bardzo znaczne zwiększenie oporu na złączach.

Dla zapobieżenia temu zaczęto szyny łączyć na stykach również i elektrycznie, a to przy pomocy t. zw. „łączników“. Wkrótce powstała znaczna liczba przeróżnych konstrukcji takich łączników.

Najprymitywniejszym łącznikiem jest drut miedziany owinięty i czasami oprócz tego przylutowany do dwu nitów, wbitych w szyny, rys. 222-gi.

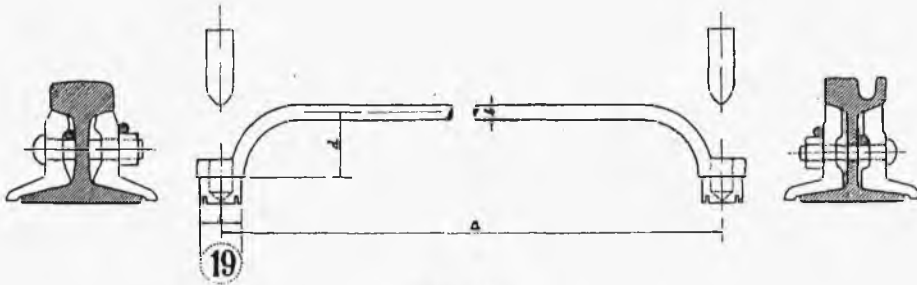
Łącznik taki okazał się jednak niebawem zupełnie niedostateczny, jak również i łącznik rys. 223-eci, przy którym końce drutu są w szynie wkliniwane.



Rys. 224.

Trwalszemi już okazały się łączniki, rys. 224-ty, przy których odpowiednio ukształtowane końce drutów są w szynie wnitowane; i takie jednak łączniki rozluźniają się stosunkowo dość prędko.

Powszechnie dziś używane łączniki składają się z drutu miedzianego, zaopatrzonego na obu końcach w przylutowane do niego korki z żelaza nitowego, lub lepiej stali. Korki te, nieco koniczne, są przy pomocy specjalnych narzędzi silnie wpędzane w otwory wywiercone w szynie. Korki są zwykle ocynkowane, zaś otwory w szynie powinny być przed założeniem łącznika starannie oczyszczone. Łącznik taki widzimy na rys. 225-ym.



Rys. 225.

Przy szeroko stosowanym łączniku t. zw. „Chicago-bond“, rys. 226-ty, stanowią końce drutu miedzianego rodzaj wtyczki, w którą wciska się odpowiedni korek stalowy rozszczepiający wtyczkę i tym sposobem silnie ją do ścianek otworu w szynie przyciskający.



Rys. 226.



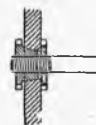
Rys. 227.

Zamiast drutów miedzianych stosowane też bywają liny miedziane, splecione z cienkich drucików i zaopatrzone w odpowiednie końcówki, rys. 227-my i 228-my.

Bardzo trwałe i dobre są łączniki śrubowane, jak n. p. rys. 229-ty systemu Johnston, rys. 230-ty systemu Jenkins i rys. 231-szy systemu



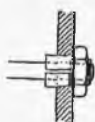
Rys. 228.



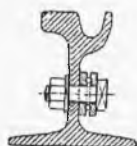
Rys. 229.

Bryan. Przy tym ostatnim leży koniec drutu między dwoma podkładkami z miękkiego żelaza. Wszystkie powierzchnie zetknięć muszą być starannie oczyszczone i poamalgowane.

Montowanie takich łączników śrubowanych jest jednak dość trudne i od montowania zwykłych łączników znacznie droższe.



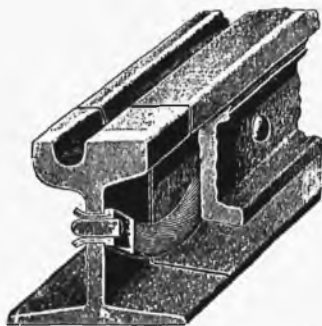
Rys. 230.



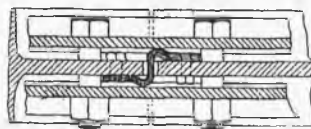
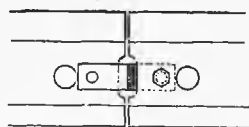
Rys. 231.

Zwykle bywają łączniki dłuższe od łupków, gdyż leżą nazewnątrz takowych; czasami jednak umieszcza się je i pod łupkami, a to dla zmniejszenia ich długości. Na kolejach, których szyny ułożone są na własnym plancie i nie zatopione w jezdni jest nawet takie umieszczenie łączników pod

łupkami prawie że konieczne, gdyż łączniki zewnętrzne są zbyt łatwo dostępne i byłyby narażone na ciągłe kradzieże. Na takie złącza używa się zamiast drutów płaskie sztaby miedziane lub plecione liny, rys. 232-gi 233-ci.



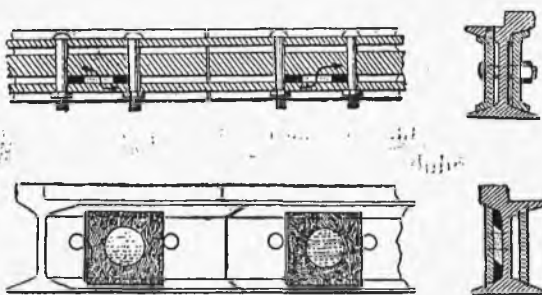
Rys. 232.



Rys. 233.

Na zupełnie innej zasadzie wreszcie polegają łączniki t. n. Edison-Brown Plastic Railbond, rys. 234-ty.

Pomiędzy nóżkę szyny a łupkę wkłada się kawałek korka zaopatrzonego w środku w okrągły otwór; otwór ten napełnia się specjalną masą plastyczną, złożoną z 70% rtęci i 30% cyny. Przed nałożeniem korka czyści się starannie tak odpowiednie miejsce szyny, jak i łupki pilnikami, skrobnikami lub papierem szmerglowym, następnie zmywa wodą i w stanie jeszcze wilgotnym naciera specjalnym amalgamatem dopóty, aż wyglądają jak posrebrzane.



Rys. 234.

Amalgamat składa się z 96% rtęci i 4% sodu. Tak amalgamat, jak i masa plastyczna są trujące i należy unikać dotykania ich gołymi rękami.

Złącza takie mają nadzwyczaj mały opór i są nader trwałe, wymagają jednak bardzo starannego wykonania.

Zamiast pierścieni korkowych można, jak to widać na rys. 232-im, wywiercić dziurę przez łupkę i stopę szyny do odpowiedniej głębokości; przy wierceniu należy zamiast oliwy używać roztworu sody. Tak wywiercony otwór oczyszcza się starannie, poczem amalgamuje i napełnia do połowy masą plastyczną, poczem wreszcie zabija się korkiem stalowym.

Przekrój miedzianych łączników bywa różny, w zależności od profilu szyn i natężenia prądu i waha się od 35 — 100 mm.² Wyliczenie przekroju łącznika jest niemożliwe, gdyż przecie i łupki część prądu prowadzą: tak n. p. szynie o wadze 42 kg. na metr odpowiadałby właściwie przekrój miedzi około 560 mm.², tymczasem rzadko chyba przekracza się przekrój ogólny 120 mm.² Najczęściej używany bywa przekrój 50 mm.², przyczem umieszcza się przy każdym styku po dwa łączniki tak, iż w razie nawet zepsucia jednego, drugi zapewnia dostateczny kontakt. Niezależnie od łączników na stykach łączy się ze sobą obie szyny jednego toru, co jakie 50 — 100 m. przy pomocy specjalnych dłuższych łączników, a o ile tor jest podwójny, to i oba tory. Ma to na celu tak uniknięcie różnic napięć między szynami względnie torami, jak i zapewnienie nieprzerwanej drogi prądowi w razie zepsucia jakiego złącza.

Najbardziej narażone na uszkodzenia są złącza na zwrotnicach i skrzyżowaniach, gdyż wstrząśnienia nieuniknione tu przy przejeżdżaniu pociągów rozluźniają wkrótce najlepsze nawet łączniki. Dlatego też stosuje się zawsze w takich miejscach oprócz łączników zwykłych.

jeszcze łączniki dodatkowe, dłuższe, zaczynające się przed zwrotnicą względnie skrzyżowaniem, a kończące się za nimi, stanowiące przeto rodzaj mostu, przy pomocy którego prąd może te miejsca ominąć.

Oczywiście, iż przy szynach spawanych stają się wszelkie łączniki zbyteczne.

Opór styków, zaopatrzonych w różne łączniki lub bez łączników, bywa tak nadzwyczajnie różny, iż żadnych ścisłych danych przytoczyć tu niepodobna.

Tak n. p. znalazł H. F. Parschall opór łącznika „Chicago-bond“ z korkami 32 mm. przy starannem wykonaniu = 0,00000197 oma do 0,00000215 oma; przy mniej starannem wykonaniu, t. j. nie-oczyszczeniu otworów i korków = 0,0000025 oma; przy niedbałym wykonaniu, bez dozoru = 0,0000080 — 0,0000108 oma. P. Poschenrieder podaje w swem dziele „Bau und Instandhaltung der Oberleitung elektrischer Bahnen“ następujące wyniki pomiarów różnych złączy:

1) Szyny o wadze 41 kg. na metr, bez łączników elektrycznych łupki nie czyszczone, ale mocno ściągnięte 0,0000095 — 0,000081 oma, średnio (jako średnia 6 pomiarów) 0,000031 oma.

2) Takież szyny ale z łącznikiem „Crown“ 0,0000024 oma.

3) Szyny 37 kg., łączniki „Chicago“ próby robione w ruchu: średnio 0,000043 oma.

4) Takież, ale 2,5 lata po ułożeniu średnio 0,000046 oma.

5) Stare 32 kg. szyny z łącznikiem „Chicago“, łupki nie dociśnięte 0,000069 oma.

6) Takież po zupełnem odjęciu łubków 0,000090 oma.

7) Takież po ponownem nałożeniu i starannem dociśnięciu łubków 0,0000473 oma.

8) Szyny 44 kg. na metr, nowe, z dwoma łącznikami „Chicago“ średnio 0,000006 oma.

9) Szyny 41 kg. na metr, łącznik „Edison-Brown plastic-bond“ tylko jedna łupka słabo dociśnięta 0,0000213 oma.

10) Takież, dwie łupki, nieco lepiej dociśnięte 0,0000126 oma.

11) Takież, łubki normalnie dociśnięte 0,0000117 oma.

12) Takież, łubki nadzwyczaj mocno zaciśnięte 0,0000082 oma.

W tramwajach miejskich warszawskich dokonane zostały swego czasu liczne pomiary oporu złączy; pomiarów dokonano na ułożonych i eksploatowanych linjach, w dwa do trzech lat po ich ułożeniu. Przekrój szyn wynosi 6570 mm.² łączniki miedziane podwójne przekroju 50 mm.² ze stalowymi korkami. Pomiary wykonywano mierząc opór torów na większej długości (zwykle około 500 m.) opór zaś złączy wyliczano z porównania oporu, jaki miałyby szyny bez złączy z wymierzonym oporem. Jako opór każdego złącza znaleziono wartości od 0,0000238

do 0,000055 omów, przyczem po sprawdzeniu linii, okazujących wartości ponad 0,00003 oma, znajdowano zawsze parę złączy uszkodzonych.

2) Prądy błędzące. Zastosowanie dobrych łączników zmniejsza wprawdzie znacznie straty napięcia w torach i usuwa tem samem niebezpieczeństwo powstawania znaczniejszych różnic potencjału między torami i innymi ułożonemi w ziemi przewodami, względnie pomiędzy temi różnymi przewodami, nie zawsze jest jednak dostateczne dla usunięcia innych niedogodności, które też wkrótce po wprowadzeniu pierwszych linii elektrycznych powstały, a mianowicie elektrolitycznego uszkodzenia rur i innych metalicznych, przewodów ułożonych w ziemi.

W ziemi, szczególnie na ulicach miast i zamieszkałych miejscowości, znajdują się zawsze w większej lub mniejszej ilości rozpuszczone sole (chlorany, azotany, sulfaty i t. p.). Prąd elektryczny, opuszczając pewien przewodnik ułożony w ziemi, aby przez ziemię przejść do innego znajdującego się w pobliżu przewodnika, rozkłada te sole, przyczem składniki elektro-dodatnie, a zatem cząsteczki metalu, wodór, różne nieszkodliwe zasady, idą za prądem, podczas gdy składniki elektro-ujemne, jak tlen, chlor, azot i różne kwasy, wstępują na ich miejsce. Prąd przeto, opuszczając zakopany w ziemi przewodnik, porywa ze sobą jego cząsteczki metaliczne, na miejsce których osadzają się kwasy, tworząc tlenki lub sole i jeszcze bardziej metal uszkadzając. W miejscach więc, gdzie prąd opuszcza zakopane w ziemi przewody (ale nigdy tam, gdzie do nich wchodzi!) mogą łatwo powstawać poważne ich uszkodzenia.

Ilość metalu zabranego przez prąd zależy od rodzaju tego metalu, oraz od ilości elektryczności, a zatem od iloczynu natężenia prądu przez czas tak, iż n. p. 1 amp. zabierze tyle pewnego metalu przez miesiąc, co 30 amp. przez dzień i t. d.

1 amper zabiera na godzinę: 0,697 gr. żelaza, z którego wytwarza się sześciotlenek żelaza; 3,858 gr. ołowiu (sól protoksydowa), 2,355 gr. miedzi. Przy ruchu więc n. p. 18 godzinnym, czyli 6500 godzinach rocznie zabiera 1 amper okrągło 4,5 kg. żelaza, 25 kg. ołowiu lub 15,2 kg. miedzi. Cyfry te same przez się nic jeszcze nie mówią, gdyż jeśliby n. p. przy jakiejś kolei uchodziło stale do ziemi nawet 50 amp., zabierając rocznie 225 kg. żelaza, ubytek ten jednak był równomiernie rozłożony na całą powierzchnię kilkunastu tysięcy metrów przewodów rurowych, to oczywiście uszkodzenia byłyby tak małe, że praktycznie nie miałyby najmniejszego znaczenia; naodwrot jednak, jeżeliby działanie prądu było skoncentrowane na małej tylko długości linii, to mogłyby już powstać zupełnie poważne uszkodzenia.

Zupełnie zapobiec odgałęzieniu się prądów przez ziemię do innych

przewodów możnaby tylko izolując doskonale szyny od ziemi, co jednak praktycznie jest zupełnie niewykonalne; należy więc zawsze z tem się liczyć, iż część prądu przez ziemię przechodzić będzie i starać się tylko przejście to uczynić dla zakopanych w ziemi przewodów możliwie nieszkodliwym.

Na str. 139-tej widzieliśmy już, iż przy podłożu betonowem n. p. dość znaczna część prądu może uchodzić do ziemi (obliczyliśmy tam, iż opór podłoża betonowego wynosi dla 1 km. toru podwójnego około 0,024 oma, przy oporze samego toru około 0,01 oma). Zaznaczyć jednak musimy, iż wszelkiego rodzaju takie wyliczenia nie mogą mieć żadnego praktycznego znaczenia, gdyż należałoby jeszcze uwzględnić opór ziemi pod lub obok podłoża, dalej przewodu rurowego, opór drogi powrotnej dla przejścia z tego przewodu rurowego znowu do torów i t. d. przyczem mielibyśmy do czynienia z mnóstwem nieznanym i nader zmiennym czynników; służyć więc one mogą li tylko jako dowód, iż upływ do ziemi jest możliwy.

Natężenie prądów odgałęziających się od szyn i uchodzących do ziemi, zwanych zwykle prądami „**błądzącymi**“, zależne jest:

1) Od różnic potencjałów w szynach, gdyż oczywiście, gdyby potencjał był wszędzie jednakowy, toby upływu nie mogło być;

2) Od oporu przejściowego pomiędzy szynami, a przewodami rurowymi.

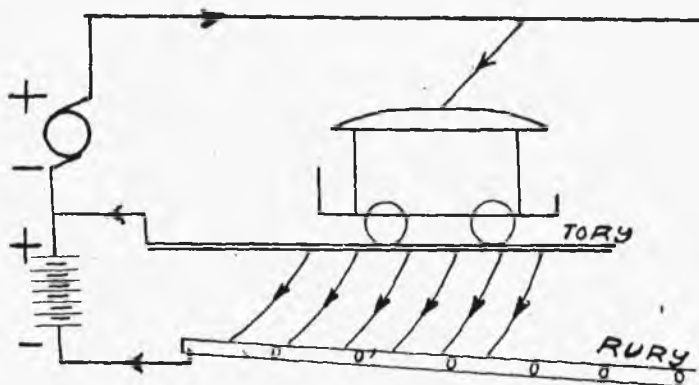
Sposobów przeciwdziałania powstawaniu, a głównie szkodliwości, prądów błędzących obmyślano i wypróbowano znaczną ilość, zaznaczyć jednak z góry należy, iż wszystkie sposoby usiłujące unieszkodliwić prądy, nie zmniejszając ich natężenia, okazały się nietylko bezskutecznymi ale w wielkiej ilości wypadków nawet wprost szkodliwymi.

Próbowano przedewszystkiem zaopatrzyć tory w specjalne uziemione płyty, układając równocześnie przewody rurowe w starych, już niezdatnych rurach i pokrywając je warstwą izolującego pokostu; pokost miał niedozwalać na wejście prądu, zaś rury zewnętrzne przyjmować na siebie cały odgałęziony prąd. Sposób ten jednak całkowicie zawiodł; pokost w dobrym stanie utrzymać się nie dał, a w miejscach jego uszkodzenia powstaje wielka gęstość prądu, a zatem i silne uszkodzenia.

Izolowanie rur na każdym połączeniu, lub co kilka połączeń rur, aby w ten sposób utrudnić drogę prądu, jest w praktyce bardzo trudno wykonalne i jeszcze trudniejsze do utrzymania w należytym stanie. Pozatem jednak wywołuje taka izolacja nowe niebezpieczeństwo, prąd bowiem może opuszczać rury przed izolowanym połączeniem (muftą) i, omijając je, wracać za nim przez ziemię do rur, powodując uszkodzenia w miejscach wyjścia z rur.

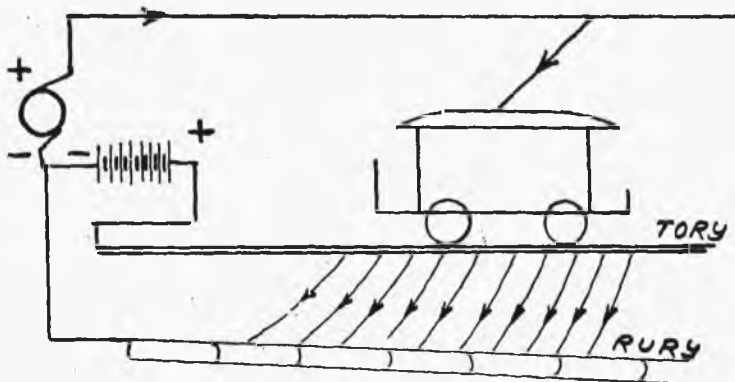
Zawodzi również i droga odwrotna t. j. ułatwianie prądowi przeje-

ścia przez rury i zapobieganie temu, aby prąd opuszczał rury wracając przez ziemię do szyn; w tym celu łączy się rury przy pomocy grubego miedzianego przewodu z ujemnym biegunem maszyny. W takim razie mogą jednak łatwo powstawać uszkodzenia przy nie dość dobrze elektrycznie połączonych złączach rur, a poza tem prądy mogą wywoływać uszkodzenia, przechodząc z jednego ruroprowodu do drugiego.



Rys. 235.

Sposoby uwidocznione na rys. 235-tym i 236-tym działają na pozór radykalnie. Według tej metody utrzymuje się przez włączenie dodatkowego źródła prądu, np. baterji akumulatorów, w rurach potencjał stale



Rys. 236.

względem szyn ujemny, lub naodwrot w szynach stale względem rur dodatni. Zapobiega to oczywiście zupełnie powrotowi prądów z rur do szyn. Uszkodzenia w pobliżu elektrowni ustają rzeczywiście zupełnie, skutek jest jednak tylko pozorny, gdyż uszkodzenia te przenoszą się

tylko w okolicie od elektrowni oddalone, gdzie stają się silniejsze, gdyż opór przejściowy z jednych przewodów rurowych do drugich oraz z ruoprzewodu do ziemi, jest zawsze znacznie mniejszy, jak z szyn do ziemi i przewodu rurowego. Połączone ze źródłem prądu przewody rurowe stają się przewodnikami i same odgałęziają prąd do innych przewodów rurowych, czem wywołują dalsze uszkodzenia.

Takich różnych sposobów dałoby się obmyśleć jeszcze dużo, wszystkie one jednak są zawsze bronią mniej albo więcej obosieczną. Toteż należy zawsze przed zastosowaniem jednego z takich sposobów dokładnie obmyśleć i rozważyć, czy usuwając w danym miejscu niebezpieczeństwo uszkodzeń, nie spowoduje on czasami znacznie jeszcze większego niebezpieczeństwa w innej okolicy. Zaznaczyć przytem należy, że zdecydowanie tej sprawy nie jest bynajmniej rzeczą łatwą. Przebieg prądów błądzących jest od tyłu niezbadanych i do zbadania niemożliwych przyczyn i czynników zależnym i bywa na pozór tak fantastyczny i kapraśny, iż prawie nigdy z góry przewidzieć się nie da.

Zdarzyło nam się n. p. skonstatować przy pomiarze prądów błądzących fakt następujący.

W punkcie *A*, odległym o około 1000 m. od punktu powrotnego *C*, rys. 237-my, skąd prowadzi kabel powrotny do elektrowni, robiono sztuczne obciążenie około 150 amp. Linja kończy się w *B* głucho, bez żadnego połączenia z innymi linjami lub elektrownią; odległość od punktu obciążenia *A* do końca linji w *B* wynosi około 1300 m., elektrownia znajduje się za punktem *C* w odległości około 6000 m. w linji prostej od *B*.



Rys. 237.

Zdawałoby się więc, iż cały prąd, wchodzący przy *A* do szyn, musi płynąć do *C* jużto torami, jużto przez ziemię i pobliskie przewody rurowe. Tymczasem skonstatowano, iż dość znaczna część prądu, mianowicie około 30 amp., płynie w torach ku *B*, a zatem w kierunku od elektrowni; prąd ten stawał się w miarę oddalenia od *A* coraz słabszy, czyli, że stopniowo uchodził z szyn do ziemi. Podobne zjawiska konstatowano niejednokrotnie i w innych podobnie położonych linjach. Konstatowano dalej n. p. obecność dość silnych prądów w torach kolei parowych, wprowadzonych dla dostawy węgla w dziedziniec elektrowni, chociaż tory te oczywiście nigdzie z maszynami połączone nie były i pomimo tego, iż w danej instalacji nigdzie skrzyżowania torów tramwajowych

z kolejowemi nie było, że zatem tory tramwajowe nigdzie nie zbliżały się znacznie do torów kolejowych.

Powyższe przykłady udowadniają, że przebieg prądów błędzących nigdy z góry przewidzieć się nie da, że zatem nawet najlepiej obmyślane sposoby ich unieszkodliwienia przeważnie zawodzą, a często nawet zwiększają uszkodzenia.

Jedynym tedy pewnym i niezawodnym sposobem zaradzenia złemu i zmniejszenia uszkodzeń, wywoływanych przez prądy błędzące, jest zmniejszenie natężenia samych prądów, a więc oddziaływanie na czynniki powodujące ich powstawanie.

Należy przeto z jednej strony układać tory na możliwie izolującej budowie spodniej, unikając zbytniego ich zbliżenia do przewodów rurowych zakopanych w ziemi lub ich części metalowych, przez co zwiększa się opór przejściowy pomiędzy torami a przewodami rurowemi, z drugiej zaś nie dopuszczać do zbytnich różnic potencjałów pomiędzy poszczególnymi punktami torów, czyli starać się o możliwie dobre przewodnictwo elektryczne torów.

3) Przewody powrotne. Przy niezbyt długich linjach o słabym ruchu wystarczają naogół same tory, aby zapewnić powrót prądu bez zbytnich strat, a zatem przy dostatecznie jednostajnym potencjale w szynach. N. p. na jednotorowej linji, której długość = 2 kil., kursuje 6 elektrowozów, zużywających każdy po 15 amp. Elektrownia znajduje się na końcu linji. Opór torów wynosi 0,02 oma na kilometr.

Przyjmując, iż obciążenie jest na całej linji jednostajnie rozłożone, otrzymamy jako stratę napięcia w szynach, a zatem jako różnicę potencjałów między końcami toru:

$$0,02 \cdot 6 \cdot 15 = 1,8 \text{ voltów,}$$

a zatem wielkość zupełnie dopuszczalną.

Jeżeli jednak linja jest n. p. 6 kil. długa, kursuje zaś na niej 18 elektrowozów, to strata napięcia wynosiłaby:

$$3 \cdot 0,02 \cdot 18 \cdot 15 = 16,2 \text{ voltów.}$$

Taka różnica potencjałów wywołałaby niewątpliwie znaczne już bardzo prądy błędzące, byłaby przeto niedopuszczalna.

Ułożenie wzdłuż torów pomocniczego przewodu miedzianego nieizolowanego nie wiele pomaga; jeżeliby n. p. ułożyć przewodnik o przekroju 100 mm.², to opór takiego przewodnika będzie:

$$\frac{6000}{60 \cdot 100} = 1 \text{ om.}$$

Prąd więc płynący przez szyny wyniesie:

$$\frac{1 \cdot 270}{0,02 \cdot 6 + 1} = 241 \text{ amp.},$$

podczas kiedy przez przewodnik popłynie tylko 29 amp. Strata przeto wynosić będzie:

$$0,06 \cdot 241 = 14,46 \text{ voltów},$$

zmniejszy się zatem tylko o 1,74 volta.

Przy przekroju przewodnika n. p. 500 mm.² byłby jego opór 0,2 oma.

Przez taki przewodnik płynęłoby:

$$\frac{0,02 \cdot 6 \cdot 270}{0,02 \cdot 6 + 0,2} = 101 \text{ amp.},$$

strata więc w szynach wyniosłaby jeszcze $169 \cdot 0,06 = 11,14$ volta. Nawet tak znaczny przekrój przewodnika, jak 500 mm.², tylko mało zmniejszyłoby stratę napięcia; chcąc więc osiągnąć pożądany skutek, należałoby stosować zupełnie nieproporcjonalnie wielkie przekroje miedzi.

Jedyną przeto radą w takich wypadkach jest zastosowanie przewodów izolowanych, nadziemnych, lub podziemnych kabli. Biegun prądnic, do którego przewody te są przyłączone, zwykle ujemny, musi być wtedy starannie od ziemi izolowany. Punkt przyłączenia do szyn przewodu powrotnego ma względem ziemi potencjał 0; w miarę oddalenia od tego punktu, rośnie w szynach napięcie dodatnie względem ziemi; biegun prądnic ma względem ziemi napięcie ujemne, równe wysokości straty w przewodzie powrotnym.

Przy większych urządzeniach nie wystarcza zwykle jeden przewód powrotny, lecz należy ich stosować kilka; aby punkty ich przyłączenia do szyn miały wszystkie względem ziemi potencjał 0, musi być oczywiście strata napięcia we wszystkich tych przewodach jednakowa.

Praktycznie zupełna równość strat w przewodach powrotnych osiągnąć się nie da, już chociażby z powodu wahań w obciążeniu, które straty te czynią niestalemi; w rzeczywistości przeto punkty przyłączenia przewodów powrotnych do szyn — punkty powrotne — będą zawsze wykazywały względem ziemi pewien potencjał.

Skutek tego jest taki, iż w punkcie powrotnym o większym potencjale nie cały prąd przejdzie do przyłączonego tu przewodu powrotnego, lecz część jego popłynie dalej szynami do najbliższego drugiego punktu powrotnego o niższym potencjale, zwiększając nieco straty w szynach.

Zwykle wypada zastosować obok jednego lub kilku przewodów długich, jeden przewód powrotny bardzo krótki (mianowicie przewód łączący najbliższej elektrowni położony punkt torów z prądnicą). Jeżeli

obrano jako stratę n. p. 30 voltów i mamy jeden przewód długi na 3000 m., który ma prowadzić 300 amp., drugi na 2000 m., mający prowadzić 400 amp. i trzeci trzeci tylko na 300 m. mający prowadzić 250 amp. to musimy przewodom tym dać następujące opory:

$$\begin{aligned} \text{przewód pierwszy } w_1 &= \frac{30}{300} = 0,1 \text{ oma,} \\ \text{„ drugi } w_2 &= \frac{30}{400} = 0,075 \text{ oma} \\ \text{„ trzeci } w_3 &= \frac{30}{250} = 0,12 \text{ oma.} \end{aligned}$$

Odpowiadałoby to, przy wyżej wymienionych długościach, następującym przekrojom:

$$q_1 = 500 \text{ mm.}^2, \quad q_2 = 440 \text{ mm.}^2, \quad q_3 = 42 \text{ mm.}^2,$$

Oczywiste jest, iż przewodnikowi trzeciemu nie możemy dać tak małego przekroju, gdyż prąd 250 amp. płynący przezeń wywołałby niedopuszczalne nagrzanie samego przewodnika. Przekrój jego nie będzie mógł być mniejszy jak n. p. 200 mm.²; przy długości 300 m. odpowiada to oporowi:

$$w_a = \frac{300}{60 \cdot 200} = 0,025 \text{ oma.}$$

Aby więc w tym przewodzie otrzymać żadaną stratę 30 voltów, należy włączyć opór dodatkowy: $0,12 - 0,025 = 0,095$ oma.

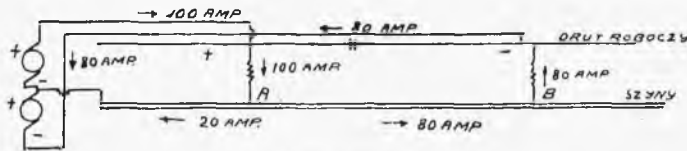
Opory takie dodatkowe są nieuniknione i bywają też rzeczywiście ogólnie stosowane. Wykonywuje się je zwykle tak, że można je dowolnie zwiększać lub zmniejszać, t. j. regulować w ten sposób, aby przy zmiennych warunkach eksploatacji utrzymać zawsze możliwie jednakową stratę w przewodach.

Naodwrot zdarza się też, iż zachowanie obranej straty napięcia w długich, a przytem silnie obciążonych przewodach, wymagałoby zbyt wielkich przekrojów. W takich wypadkach można z powodzeniem stosować maszyny dodatkowe ssące, z angielskiego „boosterami“ zwane.

Są to małe, elektromotorkami napędzane prądnice, przyłączone ujemnymi biegunami do szyn zbiorczych ujemnych, dodatnimi zaś do danego przewodnika powrotnego, w którym strata ma być wyrównana. Oprócz uzwojenia bocznikowego, otrzymują te maszyny zwykle jeszcze uzwojenie dodatkowe, szeregowe, przez który płynie prąd idący przez przewód zasilający daną dzielnicę; skutkiem tego maszyna daje tem większe napięcie, im silniejszy prąd idzie do danej dzielnicy, a zatem, im więcej prądu płynie przez dany przewód powrotny i utrzy-

muje w ten sposób stałą stratę napięcia. Możliwe tu są różne zmiany i udoskonalenia; n. p. zamiast uzwojenia szeregowego, przez które płynie cały prąd zasilający, może być w przewód zasilający włączony mały opornik, od biegunów którego odgałęzia się uzwojenie dodatkowe maszyny ssącej. Im większy prąd płynie przez przewód zasilający, tem większą on stratę wywołuje w oporniku, tem większa staje się zatem różnica napięcia pomiędzy jego zaciskami i tem silniejsze wzbudzenie maszyny ssącej i t. p. Zasada pozostaje jednak ta sama, szczególnie zaś opisywanie różnych odmian przekracza ramy niniejszego dzieła.

Dalszym sposobem zmniejszania różnic potencjałów w torach jest zastosowanie znanego przy sieciach oświetleniowych systemu trój-przewodowego. Poszczególne dzielnice zasilane są naprzemian z bieguna dodatniego i ujemnego, starając się przytem o możliwie równomierne rozłożenie obciążenia na obie połowy sieci; tory stanowią przewodnik środkowy, zerowy. Jako taki prowadzi one tylko prądy wyrównawcze.



Rys. 258.

Jeżeli n. p. w punkcie *A*, rys. 238, w połowie dodatniej, mamy obciążenie 100 amp., zaś w *B* połowie ujemnej, 80 amp., to w torach płynie od *A* do *B* prąd 80 amp., a od *A* do elektrowni tylko 20 amp., podczas kiedy przy systemie dwuprzewodowym musiałoby tam płynąć 180 amp.

Pozatem daje system trój-przewodowy wobec podwójnego napięcia dość znaczne oszczędności w przewodach zasilających. Natomiast staje się całe urządzenie elektrowni bardziej skomplikowane, wymaga podwójnych maszyn lub conajmniej podwójnej baterji akumulatorów i t. d. Również odizolowanie dzielnic przedstawia pewne trudności, gdyż izolatory dzielnicowe muszą tu wytrzymywać podwójne napięcie sieci. Wobec tych trudności system trój-przewodowy dotychczas był mało rozpowszechniony i dopiero w ostatnich czasach znalazł większe zastosowanie. Obecnie zostaje n. p. ten system wprowadzony w Warszawie przy przebudowie i rozszerzaniu sieci tramwajowej.

Racjonalne zaprojektowanie sieci powrotnej wymaga od projektującego dużej wprawy i umiejętności. Jeszcze w większym stopniu, jak obliczenie i zaprojektowanie sieci zasilającej, umiejętne i racjonalne

rozmieszczenie punktów powrotnych pozwala często zaoszczędzić znaczne bardzo ilości miedzi, nie zwiększając przytem strat.

Przy obliczaniu sieci powrotnej mamy do czynienia z siecią nie podzieloną na poszczególne dzielnice, lecz przeciwnie stanowiącą jedną, wielokrotnie rozgałęzioną i powiazaną całość; dowolne dzielenie tej sieci dla ułatwienia rachunku na części mogłoby dać zupełnie fałszywe rezultaty, jest więc stanowczo niedopuszczalne. Ponieważ chwilowe wahania wywierają mały tylko wpływ na działanie prądów błędzących, należy więc przede wszystkim określić średnie obciążenie. Na podstawie tego średniego obciążenia obliczamy następnie przy pomocy którejkolwiek z metod do obliczania sieci rozgałęzionych, n. p. metody punktów węzłowych, napięcia w tych punktach i przebieg prądów w poszczególnych gałęziach, uważając przytem tory jako doskonale od ziemi izolowane. Następnie obieramy punkty powrotne tak, aby różnice potencjałów nigdzie nie przekraczały dozwolonych granic.

Zaznaczyć tutaj należy, iż różnice potencjałów i straty napięcia okażą się zwykle w rzeczywistości mniejsze, jak obliczone, a to właśnie skutkiem powstania prądów błędzących. Skoro bowiem część prądu nie przejdzie przez szyny, lecz się od nich odgałęzi do ziemi i innych przewodów, to temsamem zmniejsza się i straty napięcia, a co zatem idzie, różnice potencjałów. Im większe będą różnice pomiędzy prawidłowo przeprowadzonymi obliczeniami a rzeczywistością, tem większe muszą być w danem urządzeniu prądy błędzące.

Znając już przebieg prądów w całej sieci oraz obciążenie punktów węzłowych i powrotnych, możemy łatwo obliczyć przekroje przewodów powrotnych, obrawszy, jak to wyżej wskazane, dla nich pewną stratę. Pamiętać przytem jednak należy, iż dotychczasowe obliczenia przeprowadzone zostały na podstawie średniego obciążenia, że zatem chwilowe obciążenia mogą być znacznie większe. Sprawdzić więc należy, czy owe chwilowe większe obciążenia nie wywołają przy obranych przekrojach przewodów powrotnych takich strat napięcia, któreby już mogły niekorzystnie się odbić na pracy elektromotorów.

Jako przewody powrotne stosowane bywają zwykle takie same przewodniki, jak i dla przewodów zasilających. Izolacja przewodów powrotnych mogłaby wprawdzie być znacznie słabsza, jak przewodów zasilających, gdyż wytrzymywać one muszą tylko słabe napięcie (a mianowicie napięcie równe stratom w danym przewodniku) zastosowanie jednak konstrukcji takiej samej jak dla przewodów zasilających ma tę zaletę, iż pozwala n. p. w razie uszkodzenia którego z przewodów zasilających zastąpić go powrotnym. W tym też celu przyjęte jest w wielu urządzeniach układać tyleż przewodów powrotnych co i zasilających, punkty zaś powrotne umieszczać zawsze obok punktów zasilających.

Wyłączniki dla przewodów powrotnych są zupełnie zbyteczne i nie bywają tu nigdy stosowane; również nie bywają stosowane i wyłączniki samoczynne. Natomiast bywają czasami przewody powrotne zaopatrywane w bezpieczniki umieszczone w skrzynkach kablowych, jako połączenie kabli z przewodnikiem gołym, prowadzącym od skrzynki do szyn.

Otóż bezpieczniki takie są, zdaniem naszym, nie tylko zbyteczne, ale nawet szkodliwe i nie powinny nigdy być stosowane. O przeciążeniu przewodów powrotnych nie może być, przy racjonalnem obliczeniu, nawet mowy; w razie bowiem przeciążenia sieci w rejonie któregoś przewodu powrotnego zwiększa się w nim wprawdzie i natężenie prądu, ale zwiększa się równocześnie i strata napięcia; potencjał danego punktu powrotnego względem ziemi przestaje równać się 0 i staje się wobec ziemi i innych przewodów dodatnim, część więc prądu płynie od niego ku innym punktom powrotnym i powraca do elektrowni innemi drogami.

Aby więc prąd mógł w jakimś przewodzie powrotnym wzrosnąć do natężenia rzeczywiście już dla przewodnika szkodliwego, na to potrzeba by było formalnego krótkiego zwarcia w danej dzielnicy; od tego chronią jednak zupełnie dostatecznie bezpieczniki, względnie automaty, włączone w przewody zasilające. Uszkodzenie izolacji i połączenie z ziemią nie wywoła też oczywiście żadnych szkodliwych następstw dla przewodnika. Jedynie więc równoczesne uszkodzenie obok siebie leżących przewodów powrotnego i zasilającego oraz połączenie się obu mogłoby być dla przewodnika powrotnego szkodliwe i to tylko wtedy, jeżeli równocześnie zabezpieczenie przewodnika zasilającego okazałoby się niedostateczne. W takim jednak wypadku nicby nie pomogły bezpieczniki umieszczone w skrzynkach kablowych. Jeżeli więc już koniecznie chcemy zastosować bezpieczniki, to można to uczynić, ale umieszczać je należy nie w skrzynkach kablowych, lecz na elektrowni, przy odgałęzieniu od szyn zbiorczych.

Znany nam jest wypadek, kiedy w pewnym urządzeniu, gdzie przewody powrotne zaopatrzone były w bezpieczniki umieszczone w skrzynkach kablowych, nagle, bez widocznej przyczyny i przy normalnem działaniu całego urządzenia, wszystkie te bezpieczniki razem się przepaliły. Oczywiście cała sieć została nagle pozbawiona prądu, a wobec rozrzużenia bezpieczników w skrzynkach po całym mieście przeszło sporo czasu, zanim urządzenie mogło być znowu uruchomione. Wypadek taki daje się wytłumaczyć t. n. „wietrzeniem“ bezpieczników. Paski bezpieczników stają się z biegiem czasu pod wpływem podwyższonej ich temperatury, przy większych obciążeniach, porowate czy też gąbkowate i pokrywają się jakgdyby krostami, przyczem przekrój ich się zmniejsza, a opór zwiększa, co właśnie nazwano „wietrzeniem“. Zwietrzały taki pasek topi się oczywiście przy znacznie słabszym prądzie, aniżeli ten, dla jakiego

on był przeznaczony. Wystarczy wtedy pierwsze lepsze przeciążenie w pobliżu jednego z punktów powrotnych, aby spowodować stopienie się odnośnego paska, poczem już oczywiście topią się łatwo wszystkie następujące, pozbawiając najniepotrzebniej całą sieć prądu.

4) Przepisy o prądach błędzących. Zaznaczyliśmy już, iż prądy błędzące mogą, przy sprzyjających okolicznościach, wywoływać bardzo znaczne nawet uszkodzenia w przewodach rurowych i innych częściach metalowych, zakopanych w ziemi. Uszkodzenia takie rzeczywiście miały miejsce w wielu miastach, zwłaszcza zaś w Ameryce, i wywołały, często przesadny, strach przed prądami błędzącymi. Zajęły się tem żywo władze i zaczęto wydawać różne przepisy bezpieczeństwa, mające bronić od skutków takich prądów. Wszystkie te jednak, różne w różnych państwach, przepisy określają tylko maksymalną różnicę napięcia między szynami a ziemią, względnie rurami w niej ułożonemi, oraz maksymalną stratę napięcia w szynach, czyli uwzględniają tylko jedną z przyczyn prądów błędzących, okazały się przeto, mimo ścisłego ich wypełniania, w wielu wypadkach niedostateczne.

Przepisy angielskie, które stosowano i w licznych innych państwach, przypisują n. p. maksymalną stratę napięcia w szynach 7 voltów; późniejsze francuskie 5 voltów i t. d.

Rzecz ta tak prosto rozstrzygnąć się nie da; różnica potencjałów pomiędzy szynami a rurami jest tylko jedną z przyczyn, wywołujących prądy błędzące; pozatem gra tutaj rolę przecieź i opór pomiędzy szyną a rurą, większa albo mniejsza zawartość kwasów w ziemi i t. d. Dalej nie jest jeszcze natężenie prądów błędzących dostateczną miarą ich szkodliwości, lecz wchodzi w grę również i czas, przez jaki te prądy działają, oraz ich gęstość. Wyciąganie wniosków o szkodliwości lub nieszkodliwości prądów błędzących z różnic potencjałów, mierzonych w istniejących urządzeniach, może dać jaknajfalszywsze wyniki, gdyż silne prądy błędzące wywołują właśnie zmniejszenie różnic potencjałów. Opierać się przeto można wyłącznie na różnicach potencjałów obliczonych (naturalnie na podstawie sprawdzonych, a nie z góry przyjętych oporach torów), a nigdy na mierzonych w naturze; conajwyżej porównanie obliczonych i wymierzonych różnic potencjałów może dawać pewne wskazówki co do natężenia prądów błędzących.

Rozpoznanie uszkodzeń elektrolitycznych jest też rzeczą nie łatwą; charakterystyczny wygląd uszkodzonych mas metalowych (wyglądają one jakgdyby ponadgryzane przez szczury) nie jest też absolutnie miarodajny, gdyż w ten sposób uszkodzone rury można znaleźć i w miastach, nie mających kolei, ani wogóle innych urządzeń elektrycznych.

Dopiero w roku 1907-mym w Niemczech porozumiały się wszystkie

zainteresowane koła fachowe w osobach przedstawicieli swych stowarzyszeń, mianowicie: Stowarzyszenie Niemieckich Elektrotechników, Związek Zarządów Niemieckich Tramwajów i Niemiecki Związek Fachowców Gazowych i Wodociągowych i wyłoniły z pośród siebie Zjednoczoną Komisję prądów ziemnych, w której mieli swych przedstawicieli tak elektrotechnicy, jak i posiadacze rur.

Komisja ta, po długich i obszernych badaniach i pracach, wydała w roku 1910-tych przepisy o prądach ziemnych wraz z wyjaśnieniami, obowiązujące obecnie w Niemczech (przed wojną).

Ponieważ przepisy te są nader starannie opracowane i oparte na licznych doświadczeniach, oraz uwzględniają możliwie bezstronnie sprzeczne interesy elektrotechników i posiadaczy rur i już choćby dlatego górują nad wszelkimi dawniejszymi przepisami, i ponieważ dalej podobnych przepisów w Polsce nie posiadamy, przeto uważałbym za właściwsze stosować się do tych niemieckich przepisów i u nas, tak przy budowie nowych urządzeń, jakoteż przy osądzeniu i określaniu odpowiedzialności przy ewent. skonstatowanych uszkodzeniach.

Pracę Komisji, oraz względy, jakimi się ona przy zestawieniu przepisów powodowała, referował na Kongresie Międzynarodowego Stowarzyszenia Tramwajów i Kolei Dojazdowych, odbytym w Christjanji w roku 1912-tych, członek teje Komisji Regierungsbaumeister, D. H. Buchbaum. Przed podaniem dosłownego tłumaczenia tych przepisów wraz z wyjaśnieniami, uważam za wskazane przytoczyć z powyższego referatu, co następuje:

Komisja postawiła sobie przedewszystkiem za zadanie stwierdzić na podstawie własnych prac, niezależnie od wszelkich uprzednich zdań i twierdzeń, czy i w jakim stopniu prądy odgałęziające się od torów mogą stać się dla przewodów rurowych szkodliwe.

W tym celu przeprowadzono szereg ścisłych badań w licznych miastach, posiadających tramwaje elektryczne i nie posiadających takowych. Badania takie trwały w każdym mieście po kilka tygodni, a nierzadko nawet miesięcy. Przedewszystkiem należało przytem stwierdzić, w razie znalezienia uszkodzonych rur, czy i w jakiej części uszkodzenia te wywołane zostały prądami błądzącymi.

Woda, zawarta w ziemi, z rozpuszczonemi w niej solami, kwasami i alkaljami, stanowi elektrolit, rury są elektrodami, możliwość przeto uszkodzeń zaprzeczyć się nie da. Te sole, kwasy i alkalja jednak mogą i same, bez prądu elektrycznego, nadgryzać rury. Należy przeto, w razie uszkodzenia jakiej rury, określić, jaka część tego uszkodzenia spowodowana była czysto chemicznemi, a jaka elektrolitycznemi przyczynami, a z tych ostatnich przyczyn, jaką część należy przypisać prądom, pochodzącym od kolei.

Elektrolityczne uszkodzenie może przede wszystkim nastąpić tylko tam, gdzie prąd z rur odpływa; dalej pewna ilość prądu może rozpuścić conajwyżej pewną ściśle określoną ilość metalu, a mianowicie 96540 ampero-sekund mogą rozpuścić gramo-równoważnik metalu, t. j. tyle gramów metalu, ile wynosi chemiczny równoważnik danego metalu.

Niezbędnem więc było zmierzyć natężenie i kierunek prądów uchodzących z rur do ziemi. Takich pomiarów wykonano wielką ilość, posługując się przytem t. zw. ramami ziemnymi prof. Habera. Są to specjalnie zbudowane ramy, które wypełnia się ziemią wziętą w pobliżu miejsca, gdzie się ma robić pomiary, a następnie zakopuje obok rury; czuły amperomierz wskazuje, wiele prądu przechodzi przez ramę. Dla uniknięcia polaryzacji są te ramy specjalnie spreparowane. Liczne pomiary w laboratorium wykazały, iż takie ramy mało tylko zmieniają przebieg prądu i że dają przeto bardzo ściśle wyniki.

Przy pomocy takich pomiarów skonstatowano, iż rzeczywiście koleje elektryczne wysyłają zawsze do rur słabsze lub silniejsze prądy; prądy te łatwo rozpoznać po ich charakterystycznych wahaniami. Poza tem jednak skonstatowano niejednokrotnie, iż tam, gdzie wogóle kolei elektrycznych nie było, oraz w czasie unieruchomienia kolei, nieraz bardzo nawet silne prądy płyną od rur do ziemi i naodwrot. W wielu wypadkach stwierdzono też, iż prąd pochodzący wyraźnie od kolei pokrywał się z innym, już uprzednio płynącym prądem, zmniejszając lub zwiększając jego natężenie.

Udział kolei w prądach opuszczających rury określano w ten sposób, iż pomiar powtarzano w czasie unieruchomienia kolei i wyniki porównywano, lub też porównywano wahania natężenia prądu z wahaniami różnicy napięcia pomiędzy szynami i mierzoną rurą.

Niezależnie od tych pomiarów przeprowadzono cały szereg innych; i tak mierzono: napięcie w całej sieci torów i rur, różnice napięć między szynami i rurami, opory ziemne, prądy w szynach, rozkład potencjału w ziemi i t. d. Równocześnie z pomiarami przeliczano wszystkie elektryczne wielkości w sieci torów i porównywano rezultaty obliczone z wymierzonymi. Oczywiście jest, iż tak obszerne dociekania i gruntowne badania musiały dać poważną podstawę naukową do wyjaśnienia działania prądów ziemnych.

Szkodliwe działanie kolei elektrycznych na przewody rurowe nieda się zaprzeczyć, choć przeważnie nie bywa ono tak wielkie, jak się to często daje słyszeć. Zdarzają się jednak i uszkodzenia, które stanowczo nie są spowodowane prądami kolejowymi.

Przebieg prądów ziemnych i prądów w rurach jest tak skomplikowany, że nie da się prawie nigdy z góry przewidzieć. Komplikują go jeszcze siły elektrodźwiczne, powstające w ziemi i przy rurach.

Przeważnie nie da się z pomiarów napięcia wnioskować nie tylko o natężeniu prądu, ale czasami nawet o jego kierunku. Charakterystyczny wygląd zaatakowanych części rur — grafitowy rozkład i jakby wygryzione dziury, — nie jest dostateczny, aby orzec o winie w tem prądów, podobne bowiem uszkodzenia znajdowano w miastach, gdzie nie było wogóle ani kolei elektrycznej, ani innych urządzeń o prądzie stałym. Miarodajnym jest więc wyłącznie natężenie prądu wychodzącego z rur, przyczem należy jeszcze każdorazowo stwierdzić, jaka część tego prądu spowodowana jest przez kolej elektryczną.

Stwierdziwszy możliwość poważnych uszkodzeń, komisja zajęła się następnie wynalezieniem środków, któreby takim uszkodzeniom skutecznie przeciwdziałać mogły; środki te zostały opracowane i wydane w kształcie przepisów.

Przy zestawianiu tych przepisów wzięto przedewszystkiem za zasadę, aby polecać tylko takie środki, które się z wszelką pewnością przyczyniają do zmniejszenia uszkodzeń.

Zastosowanie tych środków pociągnie za sobą dla kolei elektrycznych nieraz nietylko znaczne jednorazowe koszta, ale i późniejsze zwiększenie kosztów eksploatacyjnych; należało jednak z drugiej strony wziąć pod uwagę wielką wartość rur ułożonych w ziemi oraz niebezpieczeństwa, jakieby mogły powstać w razie upływu wody i gazu, spowodowanego uszkodzeniami tych rur.

Uszkodzenia rur postępują zwykle bardzo wolno, a ponieważ przewody rurowe nie bywają nigdy bez potrzeby odkopywane, uszkodzenia więc takie bywają przeważnie dopiero wtedy spostrzeżone, kiedy już spowodują pęknięcie rury. Tak dalece posunięte uszkodzenia ujawniają się, jak to wynika z badań komisji, najczęściej dopiero po upływie jakich lat 10. Za to, skoro tylko gdzie się takie uszkodzenie pojawi, tam można być pewnym, iż ujawni ich się w krótkim czasie więcej. Toteż nie można nigdy sądzić o narażeniu przewodów rurowych na podstawie zjawisk, jakie zostały do danej chwili zauważone, lecz należy zawsze rozważyć, jak się spostrzeżone uszkodzenia rozszerzyć mogą.

Aby obrać drogę pośrednią, zadawalniającą obie zainteresowane strony, obliczono dla każdej badanej kolei tak koszta instalacyjne, jak i zwiększenie kosztów eksploatacyjnych, jakieby wywołało zastosowanie środków zmniejszających prądy ziemne, z drugiej zaś strony oszacowano wartość mogących powstać uszkodzeń przewodów rurowych, upływu wody i gazu i t. d. i dopiero na podstawie tych obliczeń i porównań określano, jakie wydatki może racjonalnie ponieść dana kolej, aby zapobiec tym możliwym uszkodzeniom. Podane więc w przepisach wartości graniczne zostały ustalone po dokładnem rozważeniu obustronnych interesów i są oparte na zgodzie stron obu.

Z badań wynika, iż uszkodzenia przewodów rurowych mogą być tylko w ten sposób zmniejszone, iż zmniejszy się prądy rurowe i ziemne. Przedewszystkiem więc winna się każda kolej starać o jaknajlepsze przewodnictwo torów. Ponieważ na opór torów wywierają wielki wpływ złącza, przeto ograniczają przepisy dopuszczalne zwiększenie oporu przez nie na 20%. Doświadczenie dowiodło, iż utrzymanie tej granicy nie przedstawia trudności, że natomiast pojedyncze złącza ulegają zawsze zepsuciu; dla tego też zostały przepisane częste rewizje złączy.

Aczkolwiek dobre przewodnictwo szyn jest pierwszym warunkiem zmniejszenia prądów błędnych, to nie wystarcza ono przy obszerniejszych sieciach, aby zmniejszyć uszkodzenia rur do dopuszczalnych granic. Różnice napięć w torach takich obszerniejszych urządzeń mogą się pomimo najlepszego przewodnictwa stać tak wielkie, iż mogą powstawać silne już prądy ziemne. W takich więc wypadkach stają się inne jeszcze środki niezbędnymi.

Gdyby cała sieć torów była zupełnie od ziemi izolowana, to powstałaby w niej pewna różnica napięć. W rzeczywistości jednak nie jest sieć torów od ziemi izolowana, część przeto prądu odgałęzia się od szyn i płynie przez ziemię i przewody rurowe. Skutkiem tego zmniejsza się różnica napięć i to tembardziej, im większe prądy odgałęziają się do ziemi. Wymierzone przeto różnice napięć nie mogą służyć jako miernik prądów ziemnych, lecz należy się w tym celu posługiwać wyłącznie temi różnicami napięć, jakieby w danej sieci powstały, gdyby była ona od ziemi izolowana. Różnice te można oczywiście tylko obliczyć, nigdy zaś wymierzyć. Niezbędem więc jest ściśle teoretyczne obliczenie sieci powrotnej. Obliczenie takie szeroko rozgałęzionych sieci jest rzeczą bardzo żmudną, ale konieczną; nie można też przytem robić żadnych uproszczeń, jak n. p. wydzielenia jakiejś dzielnicy i t. p. Nawet różne koleje, zasilane prądem z oddzielnych elektrowni, muszą być traktowane jako jedna całość, o ile tylko stykają się z sobą swemi torami, doświadczenia bowiem dowiodły, iż prądy opuszczają przy takich kolejach szyny w miejscach wysokiego potencjału i wracają do nich w miejscach niskiego, bez względu na wszelkie granice. Nie wystarcza więc np. zmniejszenie różnic napięcia w jakiejś jednej części sieci, lecz należy różnice te zmniejszyć koniecznie w całej sieci.

Dlatego też określają przepisy, iż koleje połączone ze sobą szynami muszą być traktowane jako całość i, że różnice napięć w całej takiej sieci nie mogą przekraczać pewnych granic.

Graniczne te wartości określone zostały w sposób następujący:

dla wewnętrznych rozgałęzionych sieci torów, oraz przylegającego do nich 2 km. pasa, 2,5 voltów, poza temi granicami, 1 volt na kilometr torów.

Przepisy jednak nie stosują się do torów, ułożonych na własnym torowisku, oraz do takich torów, które nigdzie nie leżą bliżej jak 200 m. od jakiegobądź przewodu rurowego. Zestawiając te przepisy powodowała się komisja tem, iż głównie należy ochraniać ważne arterje rurowe wewnątrz miast, podczas kiedy poza granicami miasta ma się przeważnie do czynienia z mniej ważnymi przewodami rurowymi. Pomiary wykazały, iż w miarę oddalania się od torów, maleją prądy w przewodach rurowych i tak się rozkładają na całą ich powierzchnię, że przestają być szkodliwe. Co do torów wreszcie ułożonych na własnym torowisku, to nie wysyłają one do ziemi prawie żadnych prądów.

Ze zmniejszeniem różnic napięć w torach usuwa się główną przyczynę powstawania prądów błądzących. Zmniejszenie tych prądów będzie jeszcze znaczniejsze, jeżeli równocześnie postarać się o zwiększenie oporów na ich drodze, od miejsc wyższych potencjałów do miejsc niskich potencjałów na torach.

Opór ten składa się z oporu przejściowego od szyn do ziemi, oporu ziemi, oporu przejściowego z ziemi do rur i oporu przewodu rurowego.

Zwiększenie oporu przejściowego między szynami a ziemią jest zawsze pożądane; dlatego poleca się układanie torów na źle przewodzącym, starannie odwodnionym podłożu. Również i zwiększenie oporu ziemi może być tylko pożądane. Opór ten zależy w wysokim stopniu od ilości soli rozpuszczonych w wodzie gruntowej; doradza się przeto zredukowanie do minimum używania soli. Badania wykazały, iż uszkodzenia rur są zawsze tam najsilniejsze, gdzie tory głównie posypywano solą.

Zwiększenia oporu przejściowego między ziemią a rurami przepisy nie doradzają, a to dlatego, iż izolowanie rur jest trudne do wykonania, źle zaś odizolowane miejsca powodowałyby zgęszczenie w tych miejscach prądów i temsamem zwiększenie niebezpieczeństwa. Również zostało uznane za niebezpieczne zwiększanie oporu przewodów rurowych. Zwiększenie takie dałoby się osiągnąć przez wbudowywanie izolujących kołnierzy i t. p. Próby jednak dowiodły, iż prądy uchodzą z rur w pobliżu takich izolujących wstawek, aby potem do nich powrócić, zwiększając temsamem ilość miejsc narażonych na uszkodzenia.

Często polecanego metalowego połączenia rur z torami należy stanowczo zaniechać. Bez wątpienia zapewnia takie, dobrze wykonane połączenie, nieszkodliwy odpływ prądów od rur do torów przez owe połączenie, zamiast szkodliwego elektrolitycznego odpływu przez ziemię. Skutkiem jednak takiego połączenia, staje się przewód rurowy przewodnikiem elektrycznym połączonym równolegle z torami tak, iż płyną przezeń bardzo silne prądy. Otóż te prądy zwiększają niebezpieczeństwo powstawania uszkodzeń w mufkach. Niezależnie od tego wysyła taki

przewód prądu przez ziemię do innych przewodów rurowych (tak samo, jak tory) prądy te opuszczają go w miejscach wysokiego, a wracają doń w miejscach niskiego potencjału; wobec zaś znacznie mniejszego oporu przejściowego pomiędzy przewodami rurowymi, wywołują tu wzmożone uszkodzenia. Nic przeto dziwnego, iż przez zastosowanie tego sposobu osiągnięto pozornie świetne rezultaty; uszkodzenia w pobliżu elektrowni oczywiście zupełnie ustały, ale natomiast pojawiły się nowe, znacznie silniejsze wzdłuż całej linii, a głównie w okolicach od elektrowni najbardziej oddalonych.

W podobny sposób działa i wiele innych proponowanych i zachwalanych sposobów; cała rzecz polega na tem, że nie można osądzić środka, który ma być zastosowany, tylko na podstawie działania w jednym miejscu, lecz należy oprócz tego zastanowić się nad skutkami, jakie on wywrze na całokształt sieci.

Ponieważ, pomimo bezwzględnej skuteczności przepisów, mogą się jednak zdarzyć przy nader niesprzyjających warunkach poważniejsze uszkodzenia rur, przeto uważała komisja za niezbędne podać także i te podstawy, jakimi należy się posługiwać, aby określić przyczyny wykrytego zniszczenia rur. Miarodajną dla elektrolitycznego zniszczenia jest li tylko gęstość prądu odchodzącego od rur, i ani pomiary napięcia, ani wygląd uszkodzonych rur nie są dostatecznymi wskaźnikami dla stwierdzenia takiego uszkodzenia; sąd można opierać wyłącznie na pomiarach gęstości prądu.

Doświadczenia zebrane przez komisję przy jej pracach i pomiarach wykazały, iż rurę należy uważać za bezwzględnie zagrożoną, skoro tylko gęstość prądu osiąga 0,75 miliampera na decymetr kwadratowy.

Dla otrzymania średniej wartości należy, w razie zmienności kierunku prądu, prądy do rur płynące wyłączać, gdyż dotychczasowe próby nie pozwalają z pewnością stwierdzić, czy takie prądy rzeczywiście odtwarzają zniszczone żelazo.

Przewody rurowe, ułożone w wilgotnej, solami i kwasami nasiąkniętej ziemi, narażone są na cały szereg uszkodzeń, od kolei elektrycznych niezależnych. Często więc koleje bywają oskarżane o szkody, którym one bynajmniej nie są winne. Aby zapobiec takim niesłusznym oskarżeniom i uniknąć różnic zdań między stronami, zawierają przepisy wydane przez komisję w drugiej swej części naukowo stwierdzone normy dla osądzenia udziału kolei elektrycznych w skonstatowanych uszkodzeniach. Ponieważ normy te zostały i przez posiadaczy rur uznane za słuszne, przeto są one przy rozstrzygnięciu wszelkich sporów bardzo ważne, miarodajne.

PRZEPISY

wraz z wyjaśnieniami dla ochrony rur wodociągowych i gazowych od szkodliwego wpływu prądów kolei elektrycznych o prądzie stałym, używających szyn jako przewodu.

Opracowane przez wydział prac Zjednoczonych Komisji Prądów Ziarnych, Niemieckiego Związku Fachowców Gazowych i Wodociągowych, Niemieckiego Związku Elektrotechników i Związku Zarządów Niemieckich Koleji Miejskich i Podmiejskich.

(Ing. **Besig**, Reg. Baumeister a. D. **Buchbaum**, Baurat W. H. **Lindley**, Obering. Dr. **Michalke**, Obering. **Otto**).

§ 1.

Zakres działania.

Przepisy niniejsze dotyczą budowy kolei elektrycznych o prądzie stałym, lub poszczególnych linii takich kolei, używających szyn jako przewodnika. Przepisane najwyższe wartości dla dopuszczalnych napięć stosują się, jeżeli nie będzie powiedziane inaczej, do projektowania urządzeń: przytem należy brać w rachubę dla określenia oporu i przewodnictwa prądu li tylko szyny i przynależne przewody łączące przerwy pomiędzy niemi, podając równocześnie tak przyjęty dla szyn opór, jako też dodatek procentowy do niego dla uwzględnienia zwiększenia oporu skutkiem złączy.

Graniczne te wartości nie mogą być przekroczone ani przy późniejszych sprawdzających obliczeniach, ani też przy próbach, robionych w wykonaniem już urządzenia w czasie ruchu.

Niepodlegają niniejszym przepisom te koleje, których szyny izolowane ułożone są na własnym torowisku. Jako przykład może służyć ułożenie na drewnianych podkładach, przy którym pozostaje na ogół pewna przestrzeń powietrza pomiędzy szynami a właściwą budową spodnią. Jeżeli tego rodzaju kolej nie odpowiada temu warunkowi w niektórych miejscach, n. p. przy skrzyżowaniach w poziomie, to przepisy nabierają dla niej mocy, o ile innemi miejscowemi urządzeniami nie będzie zapewnione równoznaczne izolowanie danego miejsca. Pozatem nie stosują się niniejsze przepisy do takich linii, które nigdzie nie leżą bliżej od sieci rurowej, jak na 200 metrów.

W y j a ś n i e n i a

Przepisy dotyczą tylko kolei o prądzie stałym i poszczególnych ich odgałęzień, używających szyn jako przewodnika.

Koleje, które szyn jako przewodu nie używają, są z góry wyłączone, gdyż, nie wysyłając żadnych prądów do ziemi, nie mogą wywierać szkodliwych wpływów na przewody rurowe.

Szkodliwy wpływ prądów zmiennych jest, sądząc z dotychczasowych doświadczeń, tak mały, iż rozciągnięcie przepisów również i na koleje o prądzie zmiennym zdaje się być zupełnie zbyteczne. W każdym razie zjawiska zachodzące przy kolejach o prądzie zmiennym nie są dostatecznie zbadane, aby można było już teraz określić, jakim ograniczeniom winny podlegać te koleje ze względu na ich wpływ na przewody rurowe.

Jeżeli pewna kolej używa częściowo prądu zmiennego, a częściowo stałego, to przepisy stosuje się tylko do tych jej części, gdzie w szynach płynie prąd stały.

Przepisane najwyższe granice dla dozwolonego napięcia stosuje się tylko do projektowania, przyczem dla prowadzenia prądu uwzględniony ma być tylko opór szyn i przewodów łączących je. Bocznikowego połączenia przez ziemię nie powinno się przytem brać w rachubę. Skutkiem stykania się szyn z ziemią, część prądu uchodzi z szyn do ziemi, przez co napięcia w sieci szyn stają się mniejsze w porównaniu do napięć jakieby tam powstały, gdyby szyny były od ziemi izolowane, i to o tyle, o ile więcej prądu uchodzi do ziemi.

Wobec tego niesłuszne jest przyjmowanie różnic napięć, mierzonych w ułożonych już szynach, jako miernika niebezpieczeństw szkodliwych wpływów, lecz należy przeciwnie zwracać się do pierwotnej przyczyny, t. j. tych różnic napięcia, jakieby powstały, gdyby sieć torów była od ziemi zupełnie izolowana.

Ten przepis umożliwia dokładne obliczenie wszystkich czynników przy projektowaniu, unikając wprowadzania niepewnych i ciągle w każdym miejscu zmiennych wartości bocznikowego połączenia przez ziemię.

Ani wyniki późniejszych kontrolujących obliczeń, ani dane, otrzymane przez pomiary na torach czynnych, nie mogą przekraczać granicznych wartości. Sposoby wykonania kontrolujących pomiarów będą w § 3. bliżej opisane.

Projektowanie przeto winno być wykonane na podstawie możliwie dokładnych danych co do oporu torów i przewodników oraz zużycia prądu, przyczem należy też w dostatecznej mierze przewidzieć późniejsze zwiększenie ruchu.

Koleje, których tory izolowane ułożone są na własnym torowisku, mają naogół tak wielki opór względem ziemi, iż nie może nastąpić upływ prądu w stopniu dla przewodów rurowych szkodliwym. Można przeto dla takich kolei przyjąć, jako dopuszczalne, wyższe napięcia, jeżeli tylko i na przejazdach (skrzyżowaniach z drogami) i t. p. miejscach przedsięwzięte zostały środki dla dostatecznego odizolowania od ziemi. Jako takie mogą być stosowane: odizolowanie szyn od ziemi, n. p. przez ułożenie warstwy papy dachowej, sięgającej na wszystkie strony dostatecznie daleko poza część toru, mającą być odizolowaną, lub też otoczenie rur warstwą izolacyjną. Wskazane jest jednak sprawdzanie od czasu do czasu wartości izolacyjnej takich miejsc.

Dla zwolnienia od przepisów wymagane jest izolowane ułożenie na własnym torowisku, gdyż tylko wtedy da się osiągnąć i stale utrzymać pewną izolacja od ziemi. Nie opracowano żadnych szczegółowych przepisów co do sposobów wykonania tej izolacji. Trwała izolacja musi być zapewniona przez sposób ułożenia torów, wzmiankowane zaś ułożenie na drewnianych podkładach ma tylko służyć jako przy-

kład. W każdym razie miarodajnym jest dla osądzenia skuteczności izolacji, aby szyny nie mogły stykać się bezpośrednio z wilgocią ziemi, gdyż wilgoć ta najbardziej sprzyja upływowi prądu.

Linje, których tory nie leżą w żadnym miejscu bliżej, niż na 200 m. od przewodów rurowych, nie podlegają przepisom, gdyż przy większych odległościach, skutkiem szerokiego rozchodzenia się prądu w ziemi, nie należy się już obawiać powstania w rurach szkodliwej gęstości prądów. Względem na długie linje zamiejskie grał tu też rolę, gdyż podporządkowanie takich linii przepisom mogłoby je często narazić na znaczne bardzo wydatki. Doradza się jednak usilnie zwracać baczna uwagę na dobre przewodnictwo takich linii zewnętrznych, aby prądy, uchodzące z nich czasem n. p. do stykającej się z nimi sieci podmiejskiej, nie osiągnęły w sieciach rurowych gęstości, przekraczającej miarę przewidzianą w § 5-tym.

§ 2.

Tory jako przewodniki.

Wszelkie szyny, użyte do prowadzenia prądów, należy zamienić w możliwie doskonałe i pewne przewodniki i utrzymać je stale w stanie dobrego przewodnictwa.

Opór całkowitej linii torowej może być zwiększony przez złącza o conajwyżej taki dodatek (porów. § 1 ust. 1), jaki został przy projektowaniu przyjęty; przyrost ten nie może jednak być większy od 20% oporu nieprzerwanej linii torowej takiego samego przekroju i przewodnictwa.

Przewodnictwo właściwe szyn, które mają być ułożone (por. § 1 ust. 1), winno być określone przed ich ułożeniem.

Jeżeli do budowy torów mają być użyte szyny, złożone z szyny głównej i dodatkowej, to można brać pod uwagę przy obliczaniu przewodnictwa sieci torowej pełny przekrój obu szyn tylko w takim wypadku, jeżeli nie tylko złącza szyny głównej i dodatkowej, ale i obie szyny są ze sobą elektrycznie połączone przez odpowiednie łączniki elektryczne, stale dobrze prąd przewodzące.

Szyny po obu stronach skrzyżowań i zwrotnic muszą być starannie ze sobą połączone przy pomocy oddzielnych obwodowych przewodników. Szyny jednego toru, a także kilku obok siebie leżących torów, muszą być ze sobą połączone najdalej co 10 złączy, przy pomocy połączeń o dobrem przewodnictwie.

Te łączniki obwodowe i poprzeczne winny mieć przewodnictwo conajmniej równe przewodnictwu odpowiedniej długości łącznika miedzianego o przekroju 80 mm.²

Na ruchomych mostach oraz innych tego rodzaju budowlach, gdzie przerwanie torów jest nieuniknione, musi być dobra elektryczna łączność torów zapewniona przez zastosowanie izolowanych łączników. Przytem

nie powinna strata napięcia przewyższać przy średnim obciążeniu 5 millivoltów na 1 metr odległości między punktami przerwania.

Wszystkie przewodniki służące do prowadzenia prądu i z szynami połączone, muszą być od ziemi odizolowane, za wyjątkiem li tylko krótkich połączeń, jako-to łączników przy złączach, łączników poprzecznych i łączników obwodowych przy zwrotnicach, przesuwnicach i t. p., które mogą być gołe, o ile nie leżą w ziemi głębiej, jak na 25 cm.

Wyjaśnienia.

Pierwszym środkiem do zmniejszenia prądów ziemnych i nadania skuteczności proponowanemu środkom zaradczym, jest wytworzenie i stałe utrzymanie dobrego przewodnictwa torów. Duże opory na poszczególnych kawałkach torów wywołują zwiększenie wpływu prądu do ziemi. Zachowanie dobrego przewodnictwa torów leży zresztą i w interesie kolei, gdyż skutkiem złego ich przewodnictwa mogłyby z czasem powstawać znaczne straty energii.

Wydawanie przepisów co do tego, jaki ma być profil szyn i właściwy opór stali szynowej, nie jest wskazane, gdyż przewodnictwo właściwe zależy przede wszystkim od twardości; przedewszystkiem więc należy tu mieć na względzie mechaniczne obciążenie i trwałość torów.

Na opór sieci torów wpływa w wysokim stopniu dobre elektryczne połączenie szyn na złączach. Przepisy nie zalecają takiego lub innego wykonania połączeń elektrycznych w złączach, lecz określają tylko dopuszczalne zwiększenie oporu, wywołane przez nie. Wobec różności oporów różnych profili szyn, nie można było przepisać dla oporu jednego złącza jakiejś określonej ogólnej wartości w liczbie absolutnej, lecz wypadło poprzestać na przepisaniu zwiększenia oporu przez wszystkie złącza danej linii razem wzięte, jako procentowego przyrostu do oporu tejże nieprzerwanej linii torowej.

Wielkość tego przyrostu nie może przekraczać 20⁰/₀. W tych granicach pozostawia się projektującemu wybór przyrostu oporu odpowiednio do rodzaju zastosowanego złącza. Przytem jednak należy pamiętać, że przyjęta przy projektowaniu wielkość przyrostu musi być po wykonaniu stale utrzymana (por. § 6 ust. 3). Najwłaściwsze więc jest przy projektowaniu przyjmować zwiększenie oporu przez złącza, blizkie podanej granicy; ważne to jest szczególnie wtedy, jeżeli mają być użyte szyny krótkie, a co zatem idzie, przewidziana jest duża ilość złączy i łączników, gdyż utrzymanie ich bywa rzeczą niełatwą i należy zawsze spodziewać się zwiększenia oporu przez wadliwe złącza.

Aby być pewnym, iż przyjęte przy projektowaniu opory odpowiadać będą rzeczywistym oporom wykonanego urządzenia, należy przed ułożeniem określić przewodnictwo szyn na podstawie próbek. Opór określamy najprościej przez wymierzenie prądu i napięcia w możliwie długiej szynie, którą w tym celu tak się ustawia, aby była zupełnie od ziemi izolowana. Przytem należy uważać, aby przewody do miernika napięcia przyłączone były do szyny w odległości conajmniej 0,5 metra od punktów, w których wchodzi do niej prąd.

Z otrzymanych wartości określa się następnie przewodnictwo szyny w znany sposób. Przewodnictwo obecnie używanych gatunków szyn leży zwykle między 4 i 5,5 Siemensami.

Jeżeli, mając szyny złożone z szyny głównej i dodatkowej, przyjmujemy przy obliczeniu jako przekrój pełną sumę przekrojów obu tych szyn, to należy

także określić przewodnictwo szyny dodatkowej, gdyż może ono być różne od przewodnictwa szyny głównej.

Doświadczenie wykazało, że łączniki przy zwrotnicach i skrzyżowaniach łatwo się rozluźniają, a to skutkiem wstrząśnień, powstających tu przy przejeżdżaniu wozów; dlatego też należy miejsca te ominąć za pomocą oddzielnych przewodników.

Głównym celem wymaganych połączeń poprzecznych jest uniknięcie różnic napięcia pomiędzy sąsiednimi szynami, czy też torami; pozatem jednak zapewniają one dobre metaliczne połączenie przez sąsiednią szynę, w razie złego łącznika lub obwilowego przerwania szyny. Wobec różnorodnych długości stosowanych szyn wskazane jest nie określać absolutnej odległości pomiędzy poprzecznymi połączeniami, lecz odległość tą określić ilością złączy.

Tak przewody obwodowe, jak i łączniki poprzeczne, mogą być wykonane z dowolnego metalu, aby tylko ich przewodnictwo nie było mniejsze od przewodnictwa przewodu miedzianego o przekroju 80 mm.²

Dla połączenia z sobą torów przerywanych, n. p. na mostach ruchomych lub t. p., wymagane jest zastosowanie przewodnika izolowanego, a to wobec okoliczności, ułatwiających tu wpływ prądu do ziemi, jako to wody i t. p. Spadek napięcia w tych łącznikach nie powinien przekraczać, przy średnim obciążeniu, 5 millivoltów na 1 metr odległości między przerywanymi torami tak, iż może między nimi powstać tylko minimalna różnica napięcia. Pozatem należy zwrócić baczną uwagę na to, aby tory ułożone na ruchomym moście były dobrze połączone z przylegającymi torami. Następujący przykład służy do wyliczenia tych połączeń.

Odległość pomiędzy przerywanymi końcami szyn wynosi 20 m.; w takim razie dopuszczalna strata napięcia będzie: 5 . 20 = 100 millivoltów. Jeżeli średni prąd wynosi 120 amperów, a jako przewodnik ma służyć kabel miedziany o długości 30 m, to, przy oporze gatunkowym miedzi 17,5 milliomów na 1 metr i 1 mm.² przekroju, otrzymamy przekrój:

$$q = \frac{17,5 \cdot I \cdot l}{e} = \frac{17,5 \cdot 30 \cdot 120}{100} = 630 \text{ mm.}^2$$

Ponieważ wszelkie zwiększenie powierzchni przewodników, stykających się bezpośrednio z ziemią, powoduje zwiększenie prądów uchodzących do ziemi, przeto wszelkie przewodniki połączone z szynami winny być izolowane, szczególnie, jeżeli one, skutkiem głębszego ich ułożenia, mogą zetknąć się łatwo z wilgocią. Tylko krótkie przewodniki połączeniowe, jako to łączniki złączowe i poprzeczne, łączniki obwodowe przy zwrotnicach i t. p. są od tego przepisu zwolnione i to tylko wtedy, kiedy nie są zagłębione w ziemi więcej, jak na 25 cm. t. j. kiedy zetknięcie się ich z wilgocią gruntową mało jest prawdopodobne. Zwiększenie powierzchni stykających się z ziemią przez te krótkie przewodniki jest tak małe w porównaniu do ogólnej powierzchni ziemi torowej, że niebezpieczne zwiększenie uchodzących prądów przez nie spowodowanem być nie może.

§. 3

Napięcie w szynach.

Pod względem napięć w szynach należy rozróżniać „wewnętrzną rozgałęzioną sieć torów“ i „odbiegające linje“. Przy kolejach zamiejskich należy linje, łączące zamieszkałe miejscowości, uważać za „odbiegające linje“.

W „wewnętrznej rozgałęzionej sieci szyn”, oraz w przylegającym do niej pasie o szerokości 2 kilometrów, różnica napięć między dowolnymi dwoma punktami szyn, wyliczona dla normalnego rozkładu jazdy danego urządzenia, nie powinna przewyższać 2,5 voltów. Przy takich samych warunkach nie powinien spadek napięcia na „odbiegających linjach” poza pasem przewyższać 1 volta na 1 kilometr. Przy określaniu średniego normalnego ruchu rozkładowego nie powinien być uwzględniany ruch odosobnionych, event. nocnych, elektrowozów.

Jeżeli w jakiejś miejscowości tory nie są rozgałęzione, to różnica napięć wewnątrz rozgałęzionej sieci rur nie powinna przewyższać 2,5 voltów.

Przyłączenie do sieci kolejowej innych urządzeń zużywających prąd nie powinno zwiększać napięć w sieci szyn poza ustanowione granice.

Jeżeli kilka różnych linii jest ze sobą połączonych jużto przez sieć torów, jużto przez elektrownię, to należy je tak wykonać, aby one razem wzięte odpowiadały powyższemu warunkom.

Tory w miejscowościach zaopatrzonych w samodzielną sieć rur, winny same dla siebie odpowiadać warunkom niniejszego paragrafu.

Odstępstwa od tych przepisów co do napięć w sieci torów, i to w obie strony, mogą być usprawiedliwione specjalnymi warunkami miejscowymi, albo też znacznie różnymi warunkami eksploatacji. Tak n. p. może być dopuszczone przekroczenie podanych granic napięcia, jeżeli ruch, jak to często ma miejsce przy kolejach towarowych, trwa tylko małą część dnia; dla kolei o ruchu 3 godzinnym, aż do podwójnej, a jednogodzinnym, aż do poczwórnej wartości.

Tam, gdzie sama sieć torów nie wystarcza dla odprowadzenia prądów bez przekroczenia dopuszczalnych w sieci napięć, należy wykonać specjalne przewody powrotne. Przy wyborze punktów powrotnych należy wyszukiwać takie miejsca, któreby leżały najkorzystniej, a zatem daleko od rur i możliwie w suchej okolicy o źle przewodzącym gruncie.

Wskazaniem jest przy kolejach dwuprzewodowych wbudować w przewody powrotne stopniowane opory, przy pomocy których można utrzymać możliwie jednakowe potencjały w punktach powrotnych, nawet przy zmienionych warunkach eksploatacji. Przy kolejach trójprzewodowych wskazane jest w tymże celu urządzać dzielnice trójprzewodowego systemu tak, aby one mogły być przełączane.

W y j a ś n i e n i a.

Jak to już w § 1 zaznaczono, należy przy wyliczaniu napięć w sieci szyn uważać je jako zupełnie od ziemi izolowane; boczne więc połączenie przez ziemię nie powinno być uwzględniane.

Z oporów szyn, które należy wyliczać z uwzględnieniem przepisów przytoczonych w §§ 1 i 2, określa się opór poszczególnych linii torów.

Dla wyliczania napięć należy posługiwać się średnim natężeniem prądu, gdyż wielkość elektrolitycznego rozkładu metalu rur zależna jest od ilości prądu, t. j. od iloczynu natężenia prądu przez czas. Zdarzające się maksymalne wartości nie wchodzi przy obliczaniu w rachubę.

Dla określenia zużycia prądu należy opierać się na średnim ruchu, odpowiadającym rozkładowi jazdy. Średnie zużycie prądu na poszczególnych linjach

można określić na podstawie ilości przejechanych na danej linii w czasie trwania ruchu wagono- lub tonno-kilometrów, biorąc jako zużycie prądu na wagono-względnie tonno-kilometr doświadczalną wartość, zależną od miejscowych warunków.

Można jednak także zużycie prądu rozdzielić na całą sieć w ten sposób, że oznacza się położenie poszczególnych pociągów w pewnym czasie odpowiadającym średniemu ruchowi, a następnie określa zużycie prądu dla każdego pociągu, na podstawie jego wagi i prędkości oraz miejscowych warunków (pochyłość, przystanki).

Co do rozkładu jazdy, to należy uwzględnić ruch letni i zimowy. Należy też uwzględnić regularnie powtarzające się wzmożenia ruchu, np. w niedziele i święta. Mniejszych odstępstw od rozkładu jazdy, jak np. pojedynczych wozów nocnych lub wozów dodatkowych nie uwzględnia się, co do pierwszych dlatego, iż uwzględnianie ich obniżałoby znacznie poza wszelką miarę średnie wartości, co do drugich zaś dlatego, iż nie zawsze mogą one być przy projektowaniu przewidziane, wpływ ich zaś na wynik ogólny jest i tak mały.

Niemożliwym jest oczywiście zestawić przepisy, któreby ogólnie uwzględniały wszelkie miejscowe warunki i możliwości; należy przeto przy projektowaniu odpowiednio uwzględnić wszystkie właściwości danego urządzenia.

Jeżeli oprócz elektrowozów są przyłączone do szyn jeszcze inne przyrządy, zużywające prąd, jako to motory stałe, oświetlenie stacyjne i t. p., to należy i te przyjąć w rachubę.

Określiwszy przebieg prądu w sieci szyn na podstawie powyższych danych, oraz przewidzianych przewodników powrotnych, a przy systemie trój-przewodowym także kierunków prądu w dzielnicach zasilanych z różnych biegunów, i otrzymawszy z tego spadki napięcia w poszczególnych liniach, można już z łatwością określić rozłożenie potencjałów w sieci szyn.

Różnice potencjałów między dwoma dowolnymi punktami sieci szyn muszą odpowiadać następującym warunkom:

Przedewszystkiem należy otoczyć każdą samodzielną sieć rurową t. j. niezwiązaną metalicznie z innymi przewodami rurowymi, 200 metrów szerokim pasem; wszelkie linje torowe leżące poza tym pasem nie podlegają, stosownie do ostatniego ustępu § 1, żadnym ograniczeniom.

Do torów, leżących wewnątrz każdego z takich samodzielných obwodów, stosuje się następujące przepisy:

Jeżeli kolej wewnątrz obwodu rurowego, włącznie 200 m. pasa, jest rozgałęziona, to należy zakreślić naokoło wewnętrznej rozgałęzionej sieci torów pas o szerokości 2,5 kilometrów; na terenie wewnątrz tego pasa nie może napięcie między dwoma dowolnymi punktami sieci szyn przewyższać 2,5 voltów chyba, iż jakaś część szyn, leżących wewnątrz tego 2 kilom. pasa jest od najbliższego punktu linii rurowej odległa o więcej jak 200 m. (por. rys. 239-ty).

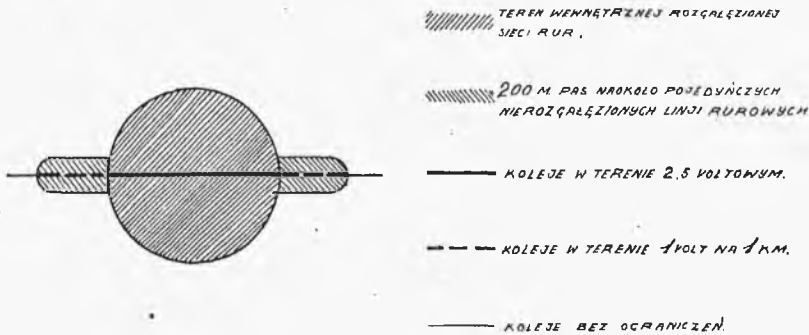
Na kolejach, leżących poza 2,5 voltowym terenem*) napięcie nie powinno nigdzie przewyższać 1 volta na 1 kilometr. Stosuje się to do linii zewnętrznych, na rys. 237-ym oznaczonych przerywanemi linjami.

Jeżeli kolej nie jest rozgałęziona (n. p. kolej zamiejska), podczas kiedy sieć rur jest rozgałęziona, to nie może różnica napięć wewnątrz tej rozgałęzionej sieci rur przewyższać 2,5 voltów, rys 240-ty.

Określenie spadku napięcia 1 volt na kilometr oznacza, iż natężenie prądu w torach nie może być większe jak $\frac{1}{W}$, jeżeli W oznacza opór torów w omach

*) Ale bliżej jak 200 m. od przewodów rurowych.

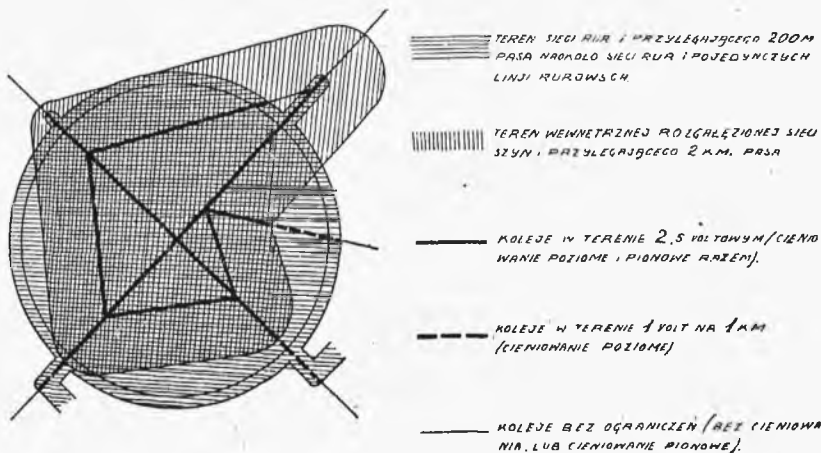
na kilometr. Wynika z tego, iż strata napięcia dozwolona na linii o długości 1 kilometra przy równomiernym obciążeniu oraz jednakowym na całej linii oporze wyniesie $\frac{1}{2}$ voltów.*)



Rys. 239.

Stratę tę napięcia określa się znowu na podstawie średniego obciążenia prądem, odpowiadającego rozkładowi jazdy.

Dla wewnętrznej rozgałęzionej sieci torów, która zwykle odpowiada większemu rozgałęzieniu sieci rur, ustanowiono dlatego ostrzejsze przepisy, gdyż wielkie powierzchnie przejściowe ułatwiają znacznie przejście prądu. Napięcie 2,5 voltów uznano



Rys. 240.

*) Pamiętać należy, iż mowa jest o dwu różnych pasach ochronnych, a mianowicie: 1) pas 200 metrowy naokoło każdego przewodu rurowego. Tory leżące poza tym pasem nie podlegają żadnym ograniczeniom i 2) pas 2000 metrowy naokoło rozgałęzionej sieci torów. Wszystkie linie leżące wewnątrz tego drugiego pasa, chociażby one nie były rozgałęzione, podlegają przepisom 2,5 voltowym, o ile nie leżą dalej jak 200 metrów od przewodu rurowego.

Inaczej powiedziawszy, wszelkie linie, leżące równocześnie wewnątrz obu pasów, podlegają przepisom 2,5 voltowym; linie leżące tylko wewnątrz pasa 200 metrowego podlegają przepisom 1 volt na kilometr, linie zaś leżące poza 200 metrowym pasem, chociażby one leżały wewnątrz 2000 metrowego pasa nie podlegają żadnym przepisom,

dlatego za dozwolone, gdyż można wnosić na podstawie wyników wykonanych badań, że przy tem napięciu i normalnych warunkach uszkodzenia rur pozostaną w dozwolonych granicach.

Aby jednak zapobiedz silnemu zbieraniu się prądów ziemnych i rurowych na liniach zewnętrznych, przylegających bezpośrednio do wewnętrznej rozgałęzionej sieci torów, gdzie częstokroć znajdują się jeszcze ważne i gęsto rozgałęzione części sieci rurowej, rozszerzono surowe przepisy także na teren, leżący wewnątrz 2 kilometrowego pasa naokoło wewnętrznej, rozgałęzionej, sieci szyn.

Określeniem większej straty napięcia, 1 volt na kilometr, zamierzono stworzyć ze względów gospodarczych ulgę dla linii zewnętrznych.

Koleje, związane ze sobą jużto wspólną elektrownią, jużto połączone szynami, winny co do swych przewodów powrotnych podlegać przepisom jako jedna całość, gdyż takie koleje wpływają wzajemnie na siebie; skutkiem połączenia szyn, mogą powstawać prądy wyrównawcze pomiędzy sieciami torów.

Odstępstwa w obie strony od przypisanych napięć mogą być usprawiedliwione specjalnymi okolicznościami. Tak n. p. można pozwolić na zwiększenie napięć przy nader sprzyjającym gruncie, a więc przy zupełnie suchej ziemi. Wskazane jest jednak z podwyższeniem straty napięć i w takich wypadkach postępować nader ostrożnie, aby mieć pewność, iż się nie przekroczy przepisów § 5.

Naodwrot należy trzymać się niżej przepisanych granic przy niesprzyjających warunkach gruntu, jak n. p. wilgotnej, dobrze przewodzącej ziemi.

Dla kolei o krótkotrwałym ruchu rozkładowym dopuszczalne są ulgi, gdyż uszkodzenia rur zależne są od czasu działania prądu tak, iż przy krótkotrwałym ruchu nawet znaczniejszy wpływ prądu poważniejszych uszkodzeń rur wywołać nie może.

Dla kolei n. p. o ruchu trwającym 3 godziny na dobę dopuszczalne są spadki napięcia podwójne, a przy ruchu trwającym 1 godzinę, poczwórne.

Tam, gdzie sama sieć torów nie wystarcza, aby prąd odprowadzić bez przekroczenia spadków napięć dozwolonych w sieci szyn, należy dopomóc zmianą całego przebiegu prądu w szynach. Tak n. p. można osiągnąć polepszenie zastosowując oddzielne przewody powrotne, w które należy event. włączać oporniki, maszyny ssące i t. p. Oporniki najlepiej stosować stopniowane, aby one mogły następnie odpowiadać zmiennym warunkom eksploatacji. Jeżeli sieć kolejowa zasilana jest z kilku elektrowni, to da się często osiągnąć zmniejszenie spadku napięcia w szynach przez zmianę obciążenia poszczególnych elektrowni. Rozmieszczenie przewodów powrotnych i wbudowanie w nie oporników może być wykonane w tak rozmaity sposób, iż niepodobna zestawić ogólnie ważnych wskazówek co do urządzenia. Każdy poszczególny wypadek należy dokładnie zbadać, gdyż umiejętnem urządzeniem i rozmieszczeniem dadzą się czasami osiągnąć znaczne nawet oszczędności tak w kosztach urządzenia, jak i eksploatacji.

Jeżeli utrzymuje się jednakowy potencjał we wszystkich punktach powrotnych, co stosownie do przepisów nie jest wprawdzie niezbędne, ale jednak bardzo pożądane, to już tem samem nabywa się znacznej pewności utrzymania różnicy napięć między dowolnymi punktami danej sieci torów w granicach 2,5 voltów.

Można dalej stosować system trójprzewodowy, przy którym szyny stanowią przewodnik środkowy. Różnice napięć w szynach zależęć tu będą od podziału na dzielnice dodatnie i ujemne. Podział ten zależny będzie od miejscowych warunków danej eksploatacji tak, iż i tu nie dadzą się zestawić ogólniejsze przepisy.

Zmiany w warunkach eksploatacji dadzą się wyrównywać przez odpowiednie przełączanie obciążenia na dodatnią lub ujemną połowę sieci.

Przepisy nie polecają wyboru jakiegoś określonego systemu, lecz przeciwnie pozostawiają w zupełności projektującemu wybór tego lub innego rozwiązania, w zależności od danych warunków.

Zniszczenie rur występuje głównie w miejscach niskiego potencjału, a zatem przy dwuprzewodowym systemie w pobliżu punktów powrotnych, przy trójprzewodowym zaś w dzielnicach zasilanych ujemnie, gdyż prąd przeważnie tu z rur odpływa. Poleca się przeto umieszczać punkty powrotne, względnie dzielnice odjemnie zasilane, w okolicach o suchym, źle przewodzącym gruncie, a zarazem możliwie daleko od takich rur, któreby były dla wodociągów, względnie gazowni, specjalnie ważne.

Tak późniejsze przeliczenia, jak również próby praktyczne, nie powinny dawać różnic w napięciu większych, aniżeli dozwolone.

Mierzenie różnic napięcia między punktami powrotnymi wykonywa się przy pomocy wymaganych w § 6 drutów probierczych. Pomiarów różnic napięcia w sieci szyn ograniczają się do pomiarów w tych punktach, w których podług obliczenia napięcia najbardziej się zbliżają do wartości granicznych. Jeżeli ma się do rozporządzenia długie przewody miernicze, np. druty telefoniczne, to najlepiej jest użyć je do pomiarów. W przeciwnym razie łączy się ze sobą kilka drutów probierczych, albo też prowizorycznie ułożonych przewodów mierniczych, albo wreszcie osiąga ten sam cel przy pomocy szeregu łączących się ze sobą pomiarów miejscowych. Do pomiarów należy używać wyłącznie mierników napięcia o możliwie wysokim oporze własnym, aby opory drutów mierniczych oraz opory przejściowe mogły nie być brane pod uwagę. Przyrządy powinny mieć możliwie powolny ruch wskazówek i silne tłumienie, aby umożliwiać dobre odczyty pomimo silnych wahań. Przy wszelkich pomiarach uwzględnia się tylko wartości średnie. Pomiarów powinny trwać conajmniej przez czas pełnego okresu ruchu, wynikającego ze średniego odstępu pomiędzy pociągami.

§ 4.

Opór przejściowy.

Opór pomiędzy szynami, służącymi do prowadzenia prądu, a ziemią winien być możliwie jaknajwiększy. Gdzie się to nieda z dostateczną pewnością osiągnąć, skutkiem gatunku gruntu lub ułożenia szyn w jezdni, tam należy się starać o zwiększenie oporu przez możliwie skuteczne izolowanie.

Szyny i metalicznie połączone z niemi przewody prąd prowadzące nie mogą być metalicznie połączone ani z rurami, ani z innymi zakopanymi w ziemi masami metalowymi. Niezależnie od tego należy się starać, aby odległość między najbliższą szyną, a takimi częściami sieci rurowej (odwadniacze, rury ssawcze, nasuwki, pokrywy, pręty trzpieniowe, hydranty i t. p.), które dochodzą do powierzchni ziemi, lub też leżą blisko pod nią, była możliwie wielka, w każdym zaś razie, jeśli to tylko możliwe, nie mniejsza, jak 1 metr.

Motory stałe, jak również instalacje oświetleniowe lub inne, zasilane z sieci kolei, używającej szyn jako przewodów, winny być połączone z siecią szyn, czy też przewodami powrotnymi, przy pomocy przewodników izolowanych. Wyjątek stanowią krótkie przewody połączeniowe aż do 16 mm.² przekroju, ułożone w ziemi płycej, jak na 25 cm. i leżące nie bliżej, niż 1 m. od najbliższego przewodu rurowego; takie przewody mogą być gołe.

W celu zwiększenia oporu pomiędzy szynami a ziemią poleca się układać szyny na możliwie złe przewodzącym i starannie odwodnionem podłożu i podłoże to na dostatecznej szerokości oddzielić od jezdni w sposób możliwie dla wody nieprzenikliwy.

Użycie soli dla usunięcia śniegu i lodu należałoby ograniczyć do niezbędnie koniecznych wypadków.

Tam, gdzie szyny nie dadzą się tak ułożyć, aby odległość między nimi a na powierzchni ziemi wychodzącymi częściami sieci rurowych była zawsze dostateczna, doradza się poprzeczną odpowiedniość części sieci rurowych w inne miejsca, albo też utrudnić przejście prądu przez zastosowanie odpowiednich warstw izolacyjnych (zewnętrzne kamienne rury, murywane studzienki i t. p.)

W y j a ś n i e n i a .

Natężenie prądów ziemnych, przechodzących do rur, zależne jest nie tylko od napięć, panujących między różnymi punktami sieci szyn, lecz także i od oporów między szynami i przewodami rurowymi, oraz oporu samych przewodów rurowych. Zwiększenie przeto oporu przejściowego pomiędzy torami i rurami będzie zawsze korzystne. Skuteczne zwiększenie oporu przewodów rurowych dałoby się osiągnąć n. p. przez wprowadzenie izolujących warstewek. Niezależnie jednak od trudności technicznych, jakieby przedstawiało włączenie takich izolujących kawałków w przewody gazowe, a tembardziej wodociągowe o wysokim ciśnieniu, przy zachowaniu stałej szczelności tych przewodów, należy także pamiętać, iż te izolujące kawałki musiałyby być nader umiejętnie i w dostatecznej ilości rozmieszczone, gdyż przy nieumiejętnym rozmieszczeniu mogłyby powstawać właśnie w tych miejscach przerwania specjalnie silne prądy ziemne, a co zatem idzie i zniszczenia rur.

Przeważna część straty napięcia między szyną a rurą powstaje zwykle, jak to od razu jest zrozumiałe, w podłożu szyny. Wynika z tego oczywiste wymaganie, aby ten właśnie opór przejściowy uczynić możliwie wielkim już przez sam sposób ułożenia szyn (odwodnienie i t. p.) i takim go stale utrzymać. W równej mierze jak bardzo doradza się zwiększać opory przejściowe, tak samo usilnie odradza się stosowania wszelkich środków, związanych ze zmniejszeniem tych oporów.

Takiemi są: płyty ziemne, połączenia z masami metalowymi w ziemi, a głównie metalowe połączenia szyn z rurami. Te ostatnie wywołują wprawdzie zmniejszenie gęstości prądu przy rurze bezpośrednio koło miejsca połączenia, lecz pociągają za sobą ogólne zwiększenie prądów rurowych i ziemnych, które to prądy mogą następnie okazać się szkodliwymi w innych miejscach, n. p. koło przerw w przewodzie rurowym lub skrzyżowań przewodów rurowych. Wogóle należy każdy zastosowany środek miejscowy osądzić również i pod względem wpływów, jakie on może wywierać w innych miejscach. Z tego samego punktu widzenia należy także rozpatrzyć metalowe połączenia przewodów rurowych między sobą.

Bezpośrednie zetknięcia szyn z częściami konstrukcyjnymi przewodów rurowych, lub wreszcie zbytne zbliżenie do nich, działają podobnie, jak połączenia metalowe; należy przeto tego unikać przez odpowiednie prowadzenie torów (przeniesienie części rur, warstwy izolacyjne).

Niebezpieczeństwo umyślnego lub nieumyślnego zetknięcia z przewodami rurowymi w budynkach lub posesjach istnieje głównie przy stałych motorach i urządzeniach oświetleniowych, przyłączonych do sieci kolejowej. Dlatego przepisy nakazują określone sposoby ułożenia tych przewodów łączących.

§ 5.

Gęstość prądu.

Powyższe przepisy mają głównie na celu możliwe zapobieżenie powstawaniu uszkodzeń rur. Miarodajną dla elektrolitycznych uszkodzeń jest gęstość prądów wychodzących z rur. Tam, gdzie gęstość ta prądów, przez prądy kolejowe wywołanych osiąga średnią wartość, (por. § 3), 0,75 milliampierów na decymetr kwadratowy, tam należy uważać przewód rurowy jako bezwzględnie przez kolej zagrożony, wobec czego należy przedsięwziąć inne środki ochronne.

Dla kolei towarowych z anormalnie krótkotrwałym ruchem są tu, jak to w § 3 przewidziano, dopuszczalne wyjątki.

Przy zmianie kierunków prądów wychodzących z rur i do rur wchodzących, należy narazie, aż do zebrania dalszych doświadczeń, dla wyliczenia średniej gęstości prądu w czasie trwania ruchu uważać prądy, przychodzące do rur, jako = 0.

Wyjaśnienia.

Ponieważ zupełne usunięcie uszkodzeń rurowych jest w wielu wypadkach możliwe tylko w połączeniu z tak wielkimi stosunkowo kosztami, iż nakłady te znacznie przewyższałyby wartość uszkodzeń, spowodowanych w przewodach rurowych, musiano przyjąć jako dopuszczalne pewne „warunkowe“ uszkodzenia rur, t. j. takie uszkodzenia, które, zmniejszając tylko nieznacznie trwałość przewodów rurowych, praktycznie mają małe znaczenie.

Dlatego też opierano się przy zestawianiu przepisów na warunkach średnich, t. j. takich, jakich najczęściej oczekiwać można. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń należy się spodziewać, że po spełnieniu tych przepisów uszkodzenia przewodów rurowych przez prądy ziemne zmniejszą się naogół do praktycznie dopuszczalnych granic.

Może się jednak zdarzyć, że przy nadzwyczaj niesprzyjających warunkach, t. j. takich, które szczególnie sprzyjają powstawaniu prądów ziemnych, w poszczególnych punktach zostaną wywołane przez prądy kolejowe silniejsze uszkodzenia rur, nawet przy ścisłym zachowaniu przepisanych w § 3-cim wartości skrajnych dla napięć w sieci szyn. Wskazane przeto było wprowadzenie wskaźnika, według którego możnaby było sądzić o egzystencji bezpośredniego niebezpieczeństwa dla przewodów rurowych. Miarodajną dla osądzenia wielkości uszkodzeń, wywołanych przez instalację kolejową, jest gęstość prądów wychodzących z rur, o ile oczywiście prądy te pochodzą od kolei. Gęstość prądu przy rurze da się określić tylko przy pomocy pomiarów po ukończeniu i uruchomieniu danej kolei. Pomiaru te winny być wykonane w czasie rozkładowego ruchu, jak to w § 3 podano. Miaro-

dajnem jest średnie natężenie prądu, które należy wyliczyć z kilkunastu pomiarów, trwających każdy przez czas jednego okresu ruchu rozkładowego.

Wymierzenie gęstości prądu może być dokonane np. przy pomocy obmysłonej przez prof. Habera ziemno-amperomierzowej ramy. Rama ta składa się z dwu od siebie izolowanych i wprawionych w ramę płyt miedzianych, powleczonych dla uniknięcia polaryzacji pastą z siarczanu miedzi (Kupfersulfat) i 20% kwasu siarczanego; na te płyty nałożony jest papier pergaminowy, nasycony roztworem soli glauberskiej. Ramę wypełnia się ziemią i zakopuje obok rury prostopadle do przypuszczalnego kierunku prądu. Przyłączone do płyt miedzianych przewody, między które włącza się czuły miernik prądu, pozwalają wymierzyć natężenie prądu przechodzącego przez ramę; znając powierzchnię ramy, można następnie z tego natężenia obliczyć gęstość prądu. Ponieważ i tu chodzi tylko o wartości średnie, przeto zaleca się używać przyrządy o wolnym ruchu wskazówek.

Stosownie do dotychczasowych badań można przewody rurowe uważać jako bezwarunkowo przez kolej zagrożone, jeżeli gęstość odchodzących z rur i pochodzących od kolei prądów osiąga średnią wartość 0,75 milliamperów na decymetr kwadr. Dla kolei o krótkotrwałym ruchu są i tu dozwolone, podane w § 3, przekroczenia tej wartości aż do wielkości podwójnej, względnie poczwórnej.

Jeżeli przy pomiarach okażą się przy rurach zmiany kierunki prądu, to należy przy wyliczaniu średniej wartości gęstości prądu, prądy do rur wchodzące uważać za $= 0$, gdyż działanie wchodzących prądów na odtwarzanie rozłożonego metalu rur nie jest jeszcze dostatecznie wyjaśnione.

W razie przekroczenia podanych wartości średnich należy przedsięwziąć dalsze środki zaradcze, które jednak będą mogły być określone tylko w zależności od każdorazowych warunków. W wielu wypadkach chodzić będzie tylko o specjalną ochronę ściśle ograniczonego miejsca w sieci rurowej, przyczem dalsze zmniejszenie spadku napięcia w szynach niekoniecznie będzie niezbędne; rozchodzić się będzie często o inne środki ochronne, np. o przeniesienie krótkiego kawałka torów lub rur, lub też o sztuczne zwiększenie w zagrożonym miejscu oporu przejściowego pomiędzy rurą a szyną.

Należy zresztą przedewszystkiem odpowiedzieć na pytanie, czy rzeczywiście kolej winna być uważana jako jedyna przyczyna gęstości prądu. Jako inne przyczyny wchodzi np. w grę gołe przewodniki (zerowe) lub uszkodzenie izolacji urządzeń elektrycznych. Poza tem prądy koło rur mogą być spowodowane powstawaniem ogniów, wywołanem jużto przez użycie przy budowie rur różnych metali, jużto rozmaitym składem płynów ziemnych. Udział kolei w wymierzonej gęstości prądu może być ustalony przez porównanie z pomiarem gęstości prądu w czasie unieruchomienia kolei. Poza tem można często wnioskować o udziale kolei na podstawie równoczesnego pomiaru napięcia pomiędzy rurą a szyną. Czasami można ustalić udział kolei lub innego równocześnie z nią pracującego źródła prądu przez określenie przebiegu napięć w ziemi.

Należy przytem posługiwać się dla stworzenia kontaktu między ziemią a przewodami miernicznymi, niepolaryzującymi elektrodami kontaktowymi. Pomiaru należałoby właściwiej wykonywać w chwili, kiedy w elektrodach niema prądu, a zatem w chwili zupełnego zrównoważenia; przeprowadzenie jednak pomiarów tym sposobem natrafia często przy szybkich zmianach napięcia na znaczne praktyczne trudności. Często więc wystarczające będzie wykonywać pomiary przy pomocy miernika napięcia o tak wysokim oporze, iż prąd płynący do miernika, jest bardzo mały.

Zaznacza się z naciskiem, iż tego rodzaju pomiary winny być wykonywane tylko przez osoby kompetentne, gdyż często na pozór tylko nieznaczne odstępstwa od prawidłowego wykonania mogą dać zupełnie fałszywe wyniki.

§ 6.

N a d z ó r.

Aby umożliwić mierzenie potencjałów w punktach połączenia z szynami, powinny być dla każdego okręgu prądowego przeprowadzone druty miernicze od tych punktów do jednego wspólnego miejsca.

Przy każdym poważniejszym i trwałem wzmocnieniu ruchu należy sprawdzić rozkład napięcia w sieci szyn.

Złącza należy corocznie próbować przy pomocy odpowiedniego aparatu do mierzenia złączy; winny one być tak utrzymywane, aby zawsze odpowiadały wymaganiom §§ 1 i 2.

Szczególniej należy w jaknajkrótszym czasie doprowadzić do należytego i przepisom odpowiadającego stanu te złącza, których opór okazałby się przy takich pomiarach większy, jak opór nieprzerwanej 10 m. długiej szyny.

W y j a ś n i e n i a.

Kontrolę strat napięcia w całej sieci szyn możnaby najłatwiej skutecznie przeprowadzając druty probiercze do pewnego wspólnego miejsca od tych wszystkich punktów, gdzie należy spodziewać się najwyższych i najniższych potencjałów w szynach, gdyż umożliwiłoby to bezpośrednie mierzenie napięć pomiędzy tymi punktami.

Ponieważ jednak często, szczególnie zaś przy rozszerzaniu już egzystujących urządzeń, mogłoby być przeprowadzanie takich drutów bardzo kosztowne, przeto zaniechano wymagania przeprowadzenia drutów probierczych od wszystkich ważniejszych punktów szyn. Natomiast postanowiono, iż wszystkie punkty połączenia z szynami, należące do jednego okręgu zasilania prądem, jak np. przy obecności kilku elektrowni lub stacji przetwornic, powinny być obowiązkowo połączone drutami probierczymi ze wspólnem miejscem, aby w ten sposób umożliwić przynajmniej mierzenie różnic napięcia między punktami powrotnymi, a to tembardziej, iż muszą one i tak być połączone z danem źródłem prądu.

Jeżeliby jednak tylko koszta nie wypadły nieproporcjonalnie wielkie w porównaniu do osiągniętego celu, to doradza się przeprowadzić takie druty probiercze do wszystkich, a już conajmniej do najważniejszych, punktów największego potencjału w szynach.

Przy wszelkich większych a trwałych zmianach w eksploatacji, należy zbadać, zupełnie jak przy nowem urządzeniu, czy rozłożenie napięcia w szynach odpowiada jeszcze wciąż przepisom.

Przy przemijających, t. j. krótkotrwałych i nie powtarzających się regularnie wzmocnieniach ruchu na całej sieci lub poszczególnych jej liniach, jak np. w czasie uroczystości, przekładania lub poprawiania części torów, krótkich wysta-

wach i t. p., są specjalne środki naogół zbytne, gdyż krótkotrwałość działania powinny zredukować uszkodzenia rur spowodowane nawet przy przekroczeniu przepisanych granic do praktycznie nieznacznych wielkości.

Przepisana coroczna próba łączników jest i ze względu na straty energii ze wszech miar wskazana. Dla takich pomiarów odpowiednim jest instrument, przy pomocy którego porównywuje się stratę napięcia, spowodowaną przez złącze, ze stratą w przylegającej nieprzerwanej szynie; pomiary można przeprowadzać w czasie ruchu. Łączniki, których opór przekracza opór 10 m. nieprzerwanej szyny, winny być w jaknajkrótszym czasie poprawione. Poza to nie może przekraczać opór toru, określony przez mierzenie poszczególnych złączy, oporu przyjętego przy projektowaniu (por. § 2 ust. 2).

Jeżeli się w czasie eksploatacji okaże, że złącza mają większy opór niż przyjęty przy projektowaniu, to zmiana łączników może być zbytne, jeżeli tylko pomimo większego ich oporu przepisy co do dopuszczalnej różnicy napięć będą jednak wypełnione. Określona granica zwiększenia oporu nieprzerwanej szyny przez złącza o 20^o%, jednak w żadnym razie nie może być przekroczona.

UWAGA. Ustępy, wydrukowane drobniejszym drukiem na końcu §§ 3 i 4, nie są obowiązującymi przepisami, lecz tylko uwagami doradcze.

C Z Ę Ś Ć IV.

ROZDZIAŁ X.

Tabor, część mechaniczna.

1) **Uwagi ogólne.** Przy kolejach parowych, tak głównych, jak i dojazdowych, mamy do czynienia prawie bez wyjątku z oddzielnymi parowozami, lokomotywami, które nie będąc same przeznaczone do przewożenia osób lub towarów, ciągną za sobą odpowiednio ukształtowane wozy. Wyjątek stanowią tu nieliczne zresztą próby umieszczania maszyny parowej w wozach osobowych parowych tramwajów miejskich.

Rzecz się ma zupełnie inaczej przy kolejach elektrycznych. Łatwość dzielenia potrzebnej mocy na poszczególne motory, mała objętość tych ostatnich i łatwość z jaką się one dają umieszczać w wozach, spowodowały to, iż przy ruchu osobowym mamy przeważnie do czynienia z elektrowozami, które same służą do przewożenia osób. Elektrowozy te mogą pozatem ciągnąć za sobą wozy doczepne. Z lokomotywami elektrycznymi spotykamy się przeto tylko przy ruchu towarowym (i to nie koniecznie) oraz przy kolejach magistralnych o względnie rzadkim ruchu, ciężkich pociągach i wielkiej prędkości i czasami przy kolejach dojazdowych podobnych do głównych, podczas kiedy we wszystkich innych wypadkach mamy zawsze do czynienia z elektrowozami i wozami doczepnymi.

Rozróżniamy przeto przy kolejach elektrycznych:

1) Lokomotywy czyli elektrowozy nie przeznaczone do przewożenia osób lub towarów, lecz do ciągnięcia za sobą większej ilości wozów doczepnych. Zajmować się ich konstrukcją będziemy tu mniej szczegółowo dlatego, iż konstrukcja lokomotywy nie może być uważana za ostatecznie ustaloną, lecz podlega wciąż jeszcze stałym ulepszeniom.

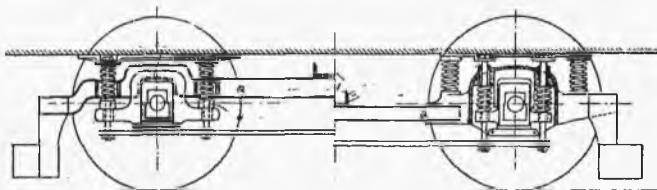
2) Wozy osobowe lub towarowe, zaopatrzone w elektromotory, czyli wozy motorowe lub elektrowozy.

3) Wozy doczepne, ciągnięte przez elektrowozy lub lokomotywy. Zajmiemy się przedewszystkiem wozami motorowymi.

2) **Podwozie.** Pierwotnie, przy pierwszych tramwajach elektrycznych, zawieszano po prostu motory pod podłogą wozu konnego, wzmocniwszy tylko osie i ewent. belki pod skrzynią wozu. Drgania jednak przenoszące się z przekładni i motoru na skrzynię i dające się w sposób bardzo niemiły odczuć podróżnym oraz powodujące szybkie roztrzęsienia się całego pudła wozowego i psucie się przekładni, wykazały wkrótce, iż budowa taka jest dla trakcji elektrycznej zupełnie nieodpowiednia.

Zaczęto więc budować zupełnie oddzielne podwozia, stanowiące same w sobie zupełny wóz; motory wraz z przekładnią są do tych podwozi przymocowane, pudło zaś wozu jest od podwozia zupełnie niezależne i spoczywa tylko na niem. Konstrukcja taka posiada tak wielkie zalety, ułatwia ona między innymi n. p. znacznie dostęp do motorów i przekładni, iż została ogólnie prawie przyjęta i dziś już trudno znaleźć wozy motorowe bez oddzielnych podwozi. Dla rewizji wystarcza rozkręcenie paru śrub i podniesienie pudła do góry, poczem całe podwozie wraz z motorami może z pod pudła wyjechać i być wygodnie oglądane, poprawiane lub ewent. zamienione na drugie.

Powstała więc wkrótce wielka liczba przeróżnych konstrukcji podwozi, tak wielka, iż obecnie trudno nawet znaleźć dwa miasta, któreby



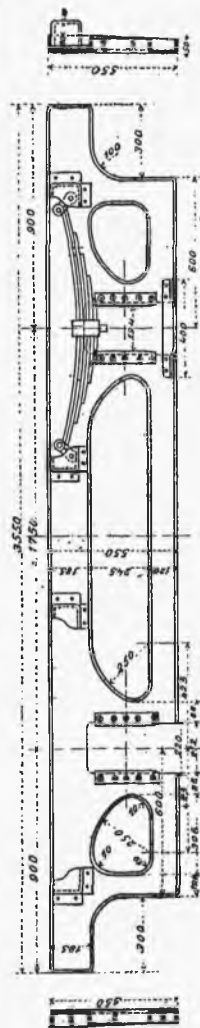
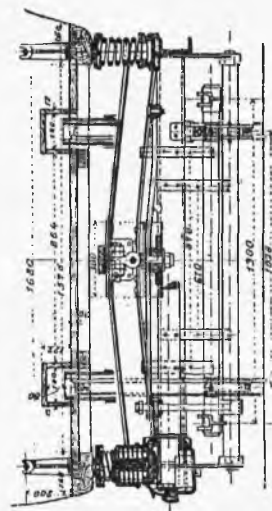
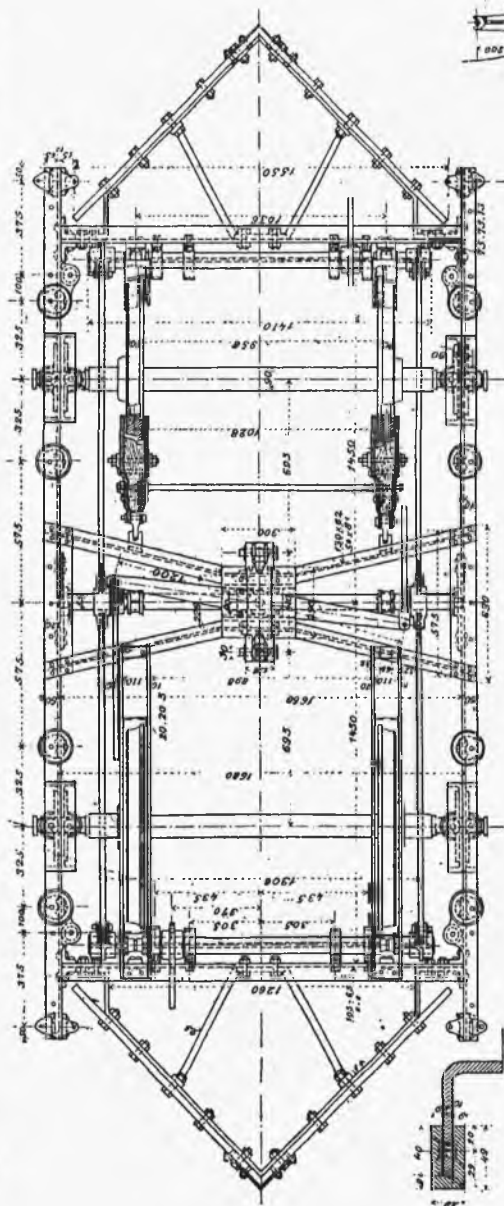
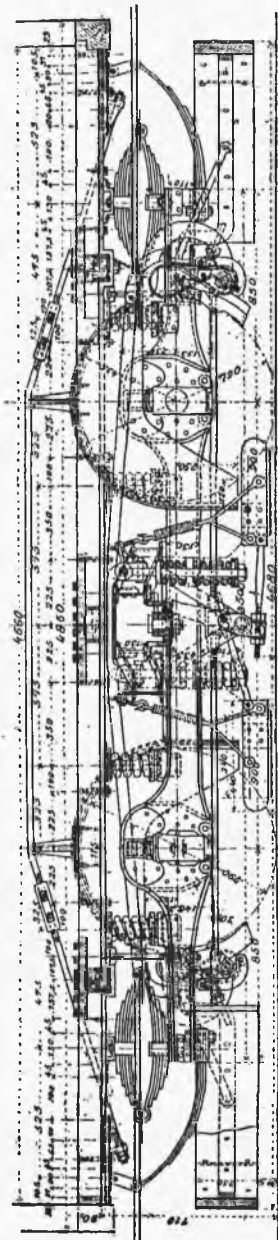
Rys. 241.

Podwozie Benis Car Box C-o. Springfield.

przy swych tramwajach miały zupełnie takie same podwozia. Szczegółowe opisywanie przeróżnych takich konstrukcji za daleko by nas zaprowadziło; wchodzi to w zakres oddzielnej specjalności, budowy wozów elektrycznych i stanowi przedmiot dzieł zupełnie już specjalnych (n. p. Zehme, Handbuch der Elektrischen Bahnen Band I, Wiesbaden 1903 J., Adrée Blondel et F. Paul-Dubois „La traction électrique“ Paris Ch. Beranger, Editeur 1898, i inne).

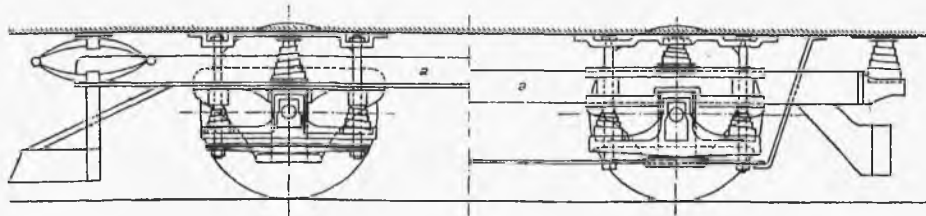
Zaznaczyć tu pragniemy tylko niektóre zasadnicze właściwości różnych typów podwozi oraz podać niektóre, z punktu widzenia eksploatacji ważne wskazówki i wymagania, mające projektującemu ułatwić wybór odpowiedniego do danych warunków typu podwozia.

Rozróżniamy przedewszystkiem trzy różne gatunki podwozi, a mianowicie:



Rys. 243.
Podwozie systemu Mc. Guire tramwajów w Genui.

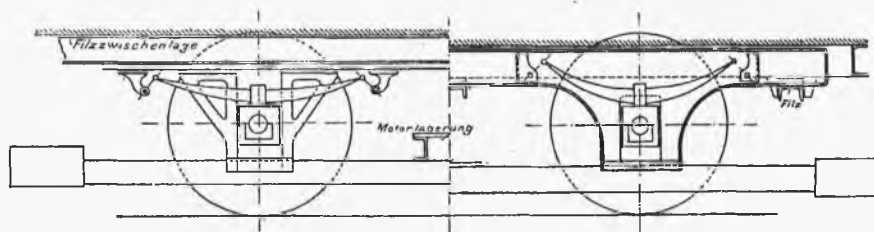
1) Podwozia, przy których główne resory umieszczone są pomiędzy ramą podwozia a pudłem; podwozie opiera się na osiach bezpośrednio, lub też przy pomocy drugorzędnych resorów. Szkice i rysunki takich podwozi widzimy na rys. 241-sym, 242-gim i 243-cim.



Rys. 242.
Podwozie tramwajów Hamburgskich.

Aczkolwiek często stosowane i bardzo zachwalane, mają te podwozia i licznych przeciwników. Tak n. p. E. C. Zehme jest zdania, iż nie mogą one dać spokojnego biegu wozu. Skutkiem niedostatecznego odsprężynowania osi od podwozia oddziaływa wielka masa podwozia na osie, które stają się zbyt mało podatne przy przejeżdżaniu przez wszelkiego rodzaju nierówności toru i udzielają podwoziu niepotrzebnych ruchów i wstrząśnień; wielka ilość resorów między pudłem a podwoziem pozbawia pierwsze dostatecznej stałości; wprawione przez osie w drgania i wahania ciężkie podwozie pociąga za sobą pudło; każde uderzenie powoduje długotrwałe wahania pudła i t. d.

2) Główne resory umieszczone są pomiędzy osiami a podwoziem; resory między podwoziem a pudłem są drugorzędne. Jestto konstrukcja ze wszech miar teoretycznie bardziej racjonalna. Szkic takiego podwozia widzimy na rys. 244-ym.

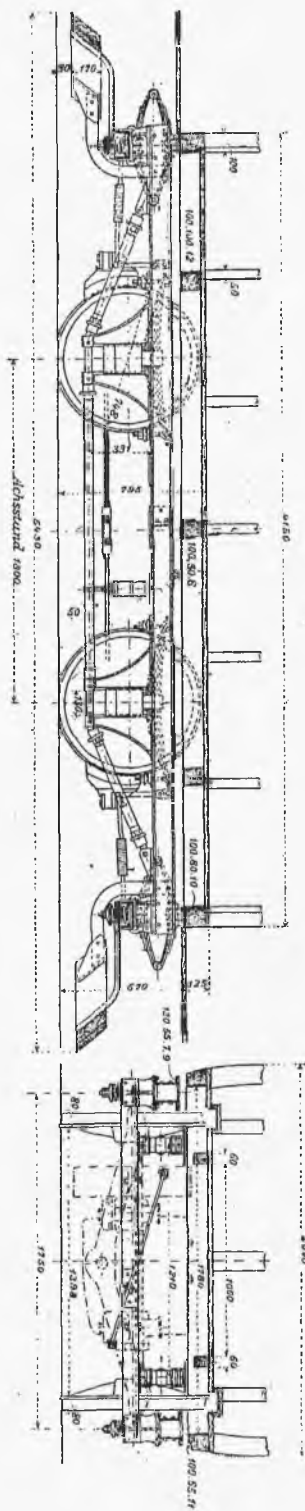
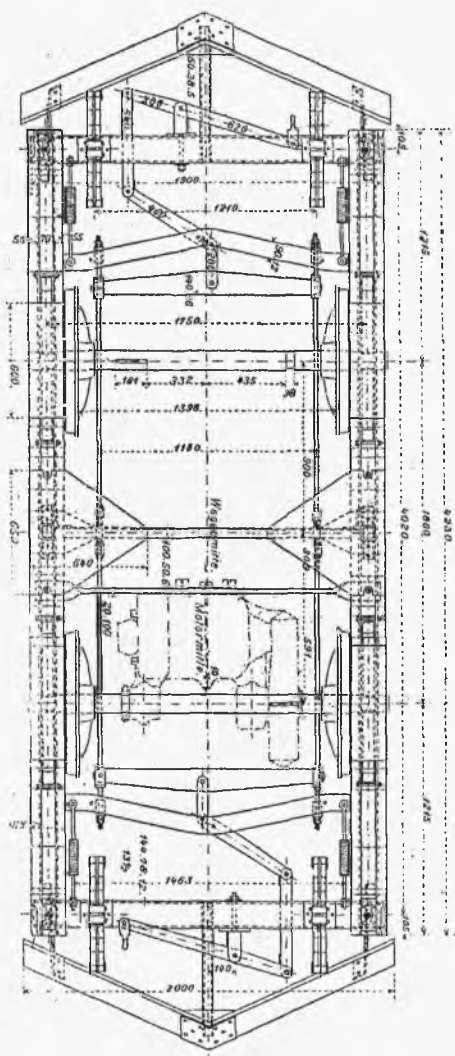


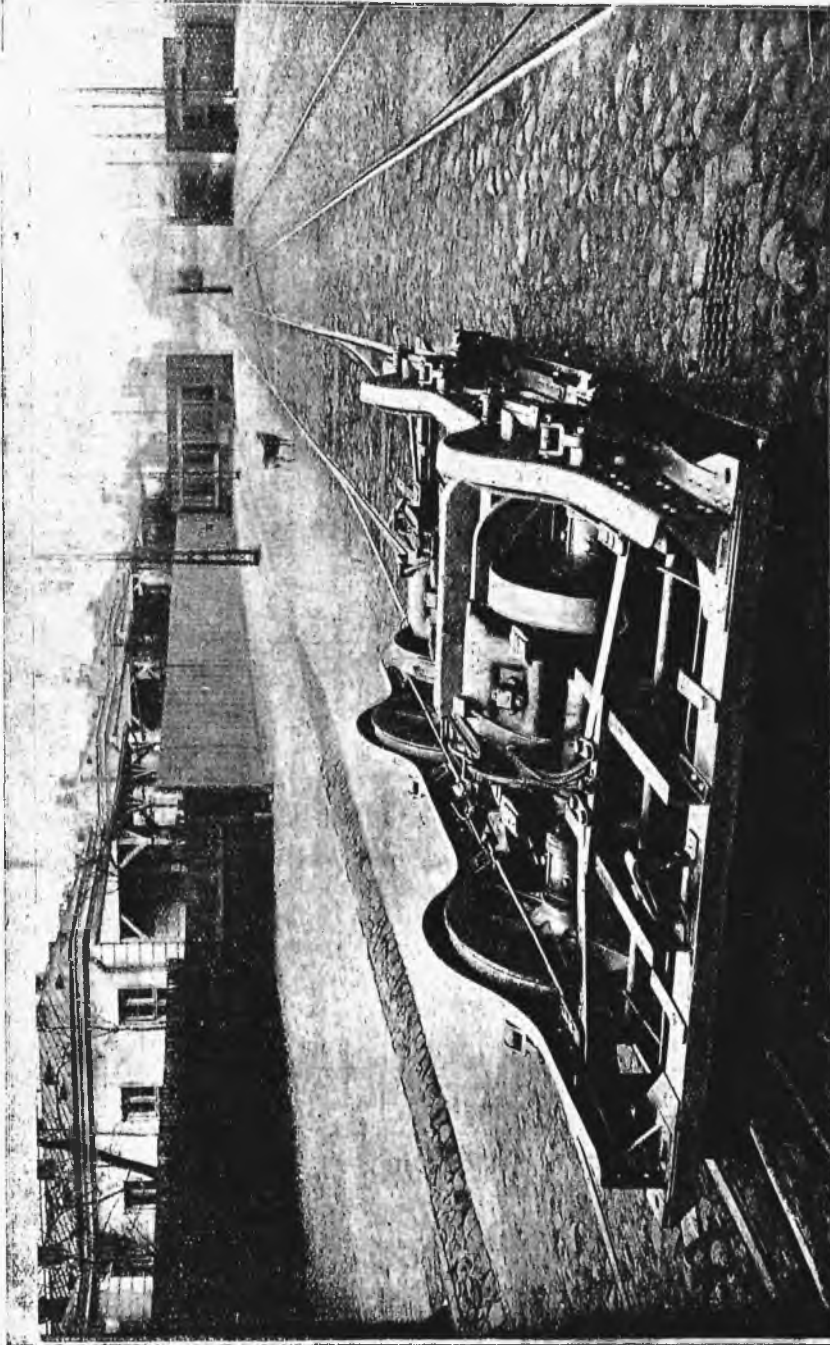
Rys. 244.
Podwozia tow. akc. b. Schuckert i S-ka w Norymbergji.

Zamiast resorów pomiędzy pudłem a podwoziem mamy tu tylko warstwę wójłoku.

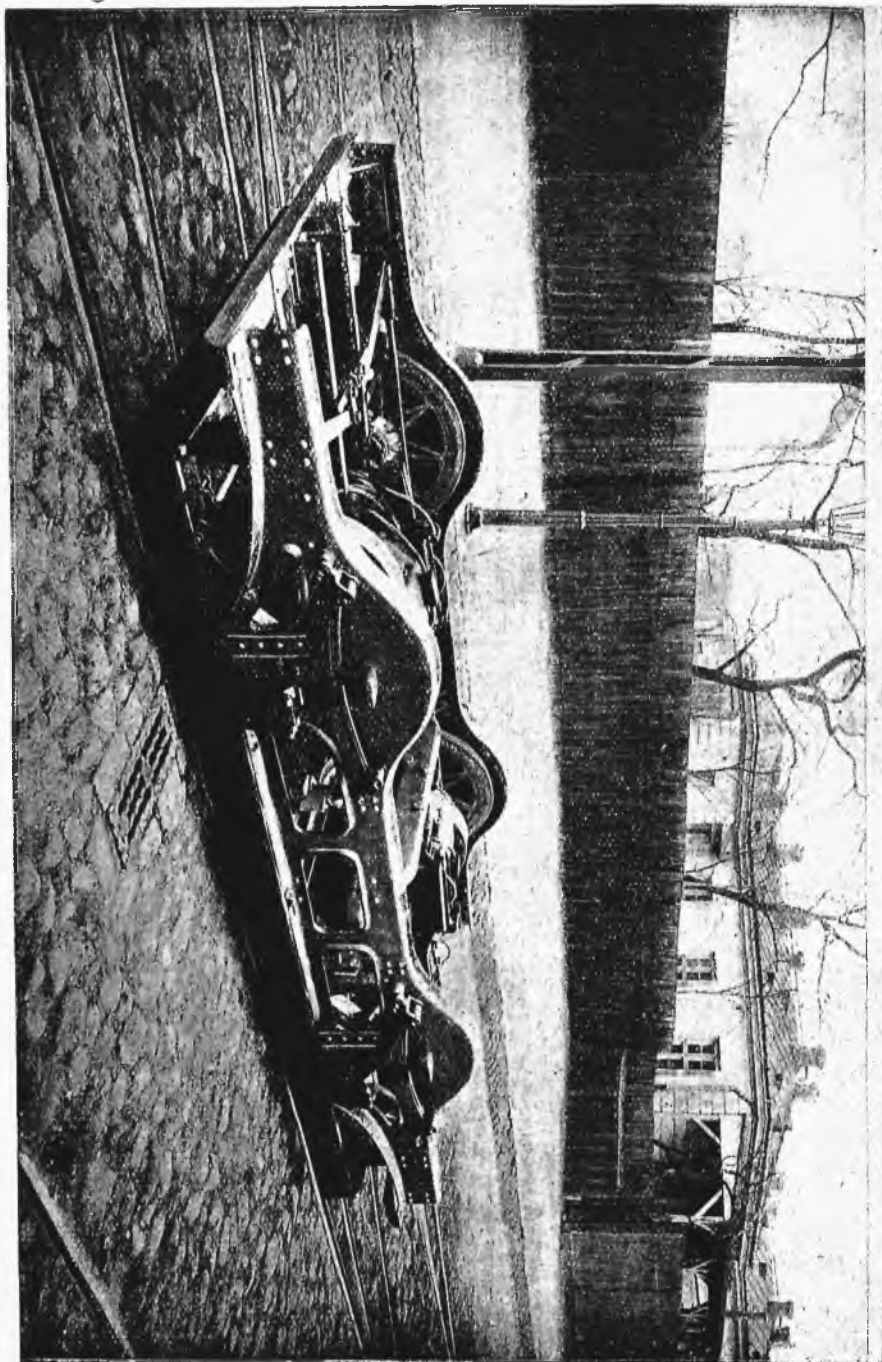
Rys. 245-ty przedstawia również podwozie tej konstrukcji bez właściwych resorów pomiędzy pudłem a podwoziem.

Rys. 247.
Podwozie tramwajów Medjolańskich.

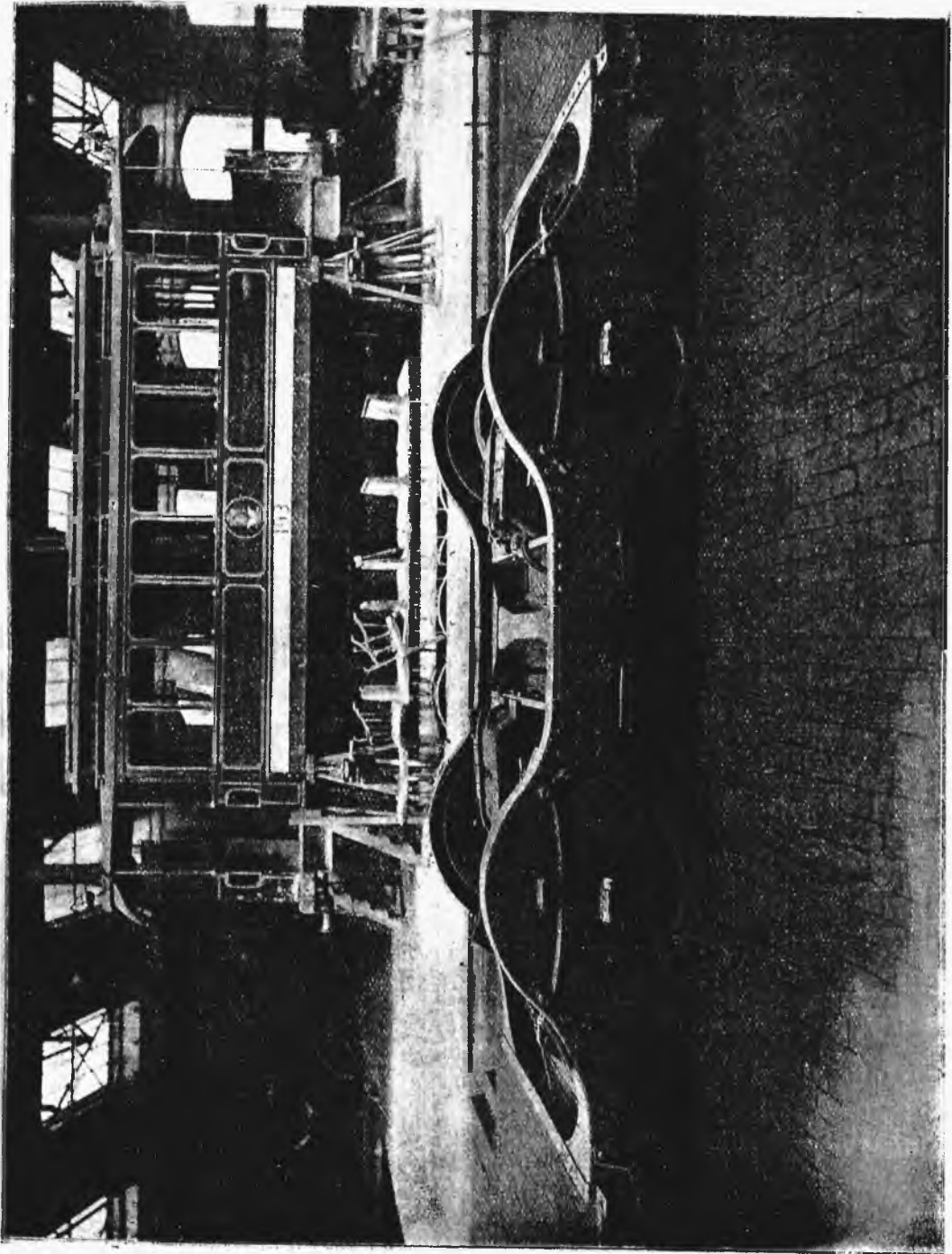




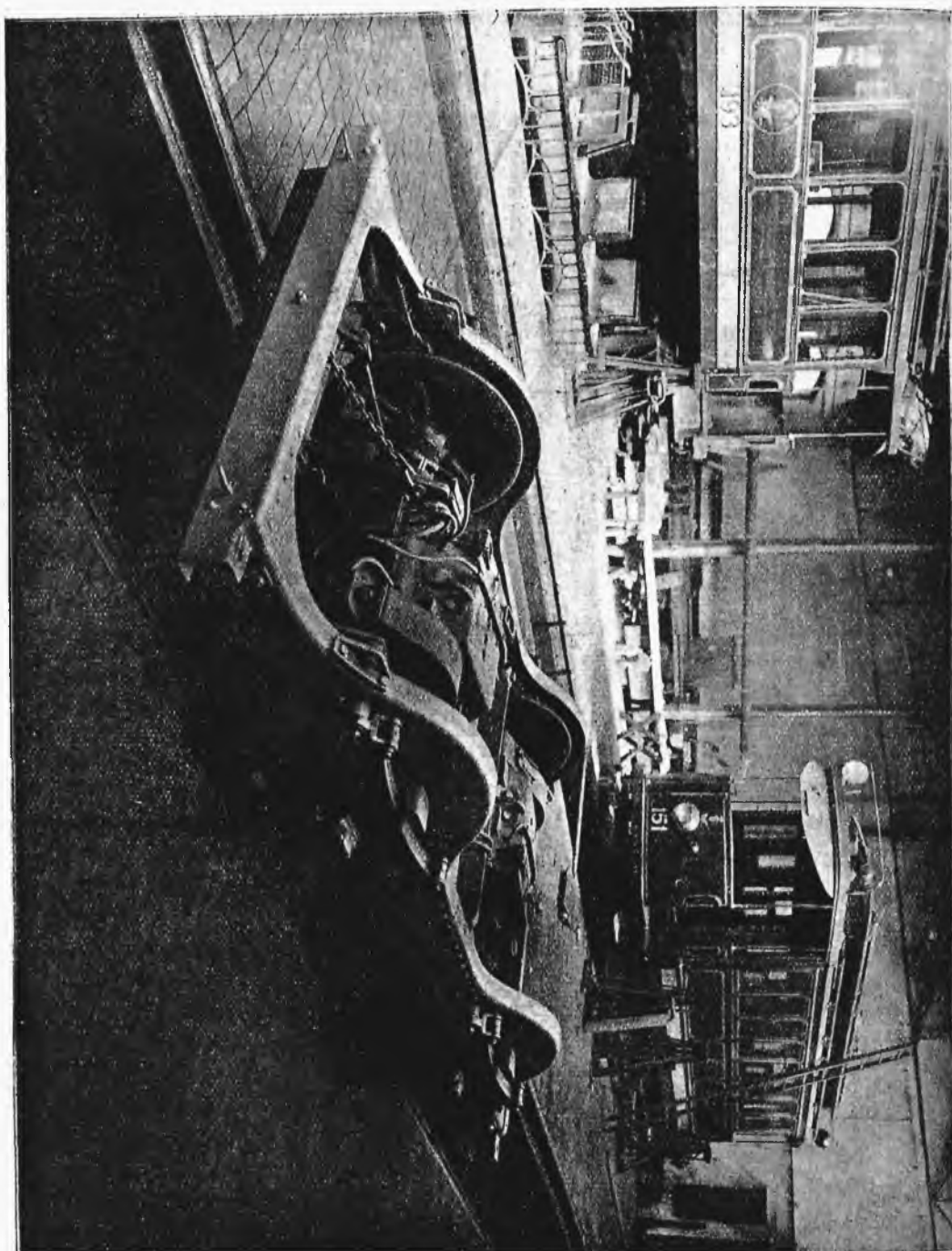
Rys. 248.
Podwozie tramwajów Warszawskich.



Rys. 249
Podwozie tramwajów Warszawskich.



Rys. 250.



Rys. 251.

kowej pozatem budowie, zaopatrzone w resory płaskie będzie zawsze lepsze i trwalsze.

Wobec ostrych łuków stosowanych przy tramwajach miejskich, musi być odległość pomiędzy sztywnie ze sobą związanymi osiami, czyli t. zw. rozstaw kół, stosunkowo mały, gdyż inaczej nie mógłby wóz przebywać takich łuków bez wykolejenia. Rozstaw kół jednak ogranicza ze swej strony długość podwozia i spoczywającego na niem pudła. Pomimo najmocniejszej budowy podwozia i jaknajstaranniejszego odsprężynowania, przy zbyt długim wozie byłyby wahania w kierunku długości, t. zw. „galopowanie“ nieuniknione. Możliwy rozstaw kół zależy od najmniejszych stosowanych łuków i od szerokości toru. Co do jego wielkości bezwzględnej, to nie da się tu zastosować żaden ścisły rachunek, lecz należy opierać się na doświadczeniach. Ostatnimi czasy przekonano się n. p. iż przy starannem ułożeniu torów (rozszerzenie rowków, łuki wjazdowe i t. p.) dadzą się stosować znacznie większe rozstawy, aniżeli dawniej sądzono. Tak np. w wielkich miastach przy normalnej szerokości torów (1435 mm.) i łukach o promieniach do 18 m. rozstaw doszedł do 3000, a nawet 3500 mm. dla wozów doczepnych. Zdaniem naszym nie należałoby jednak dla wozów motorowych, gdzie gra w panewkach musi być mała, przekraczać w tych warunkach 2000—2500 mm. W Warszawie n. p. zastosowano przy długości podwozia 4315 mm. i pudła 9130 mm. rozstaw 2000 mm. Dłuższe pudło przy takim rozstawie nie da się już chyba zastosować; ma ono 24 miejsca siedzące i 16 stojących.

Potrzeba większych wozów wywołała powstanie dwu odmiennych konstrukcji, a mianowicie:

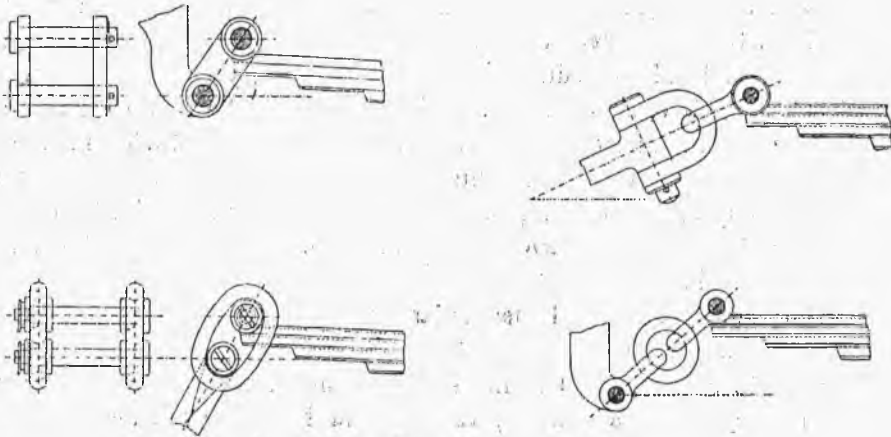
- 1) Osie ruchome czyli nastawiane i
- 2) Wózki ruchome.

3) Osie ruchome. Osie nie są ustawione stale i do siebie równolegle, lecz są tak zmontowane, iż mogą na łukach ustawiać się niezależnie jedna od drugiej w kierunku promienia łuku. Konstrukcji tego rodzaju egzystuje sporo, mniej lub więcej skomplikowanych. Teoretycznie są te konstrukcje zupełnie prawidłowe, gdyż oczywiście jest, iż osie ustawiające się w promieniu łuków pozwalałyby nietylko na zastosowanie znacznie większych rozstawów, ale dawałyby oprócz tego jeszcze i znaczną oszczędność energii oraz szyn i obręczy. Niestety jednak żadna z dotychczas znanych konstrukcji nie okazała się w praktyce dość pewna aby zyskać ogólniejsze zastosowanie, większość ich zaś dała nader smutne rezultaty, wywołując liczne wykolejenia, lub conajmniej znaczne zwiększenie zużycia energii. Sprawa polega na tem, iż osie w praktyce nie ustawiają się dokładnie w kierunku radialnym, a co gorsza, nie wracają po wjechaniu na linię prostą do położenia ściśle równoległego. Nieuniknione w torach tramwajowych, małe nie-

równości i spowodowane niemi boczne uderzenia powodują także przedstawianie się osi i wprawiają je w ruch wahadłowy, nie prędko się uspakajający.

W pewnym dużem mieście n. p. gdzie zastosowano dla wszystkich wozów motorowych takie osie, skonstatowano anormalnie wysokie zużycie energii na wagono-kilometr, i to pomimo płaskiego położenia miasta i szerokich i prostych ulic; zużycie, które wobec tych sprzyjających warunków powinno być mniejsze jak np. w Warszawie, wynosiło 70—80 watt-godzin na tonno-kilometr, wobec 45—50 watt-godzin skonstatowanych w Warszawie. Bliższe badania wykazały zupełnie anormalne zużycie obręczy, które ścierały się nie na powierzchni jezdnej, ale na bokach obręczy. Wszystko to spowodowane było właśnie nieprawidłowym ustawieniem osi do położenia równoległego.

Najbardziej rozpowszechnioną konstrukcją jest zawieszenie na sprężynach, rys. 250-ty.

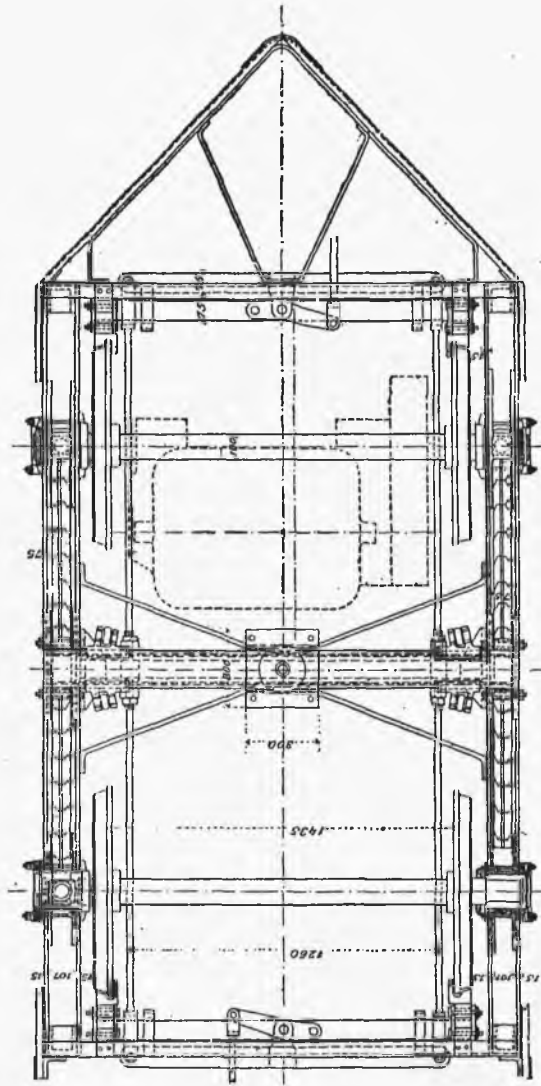
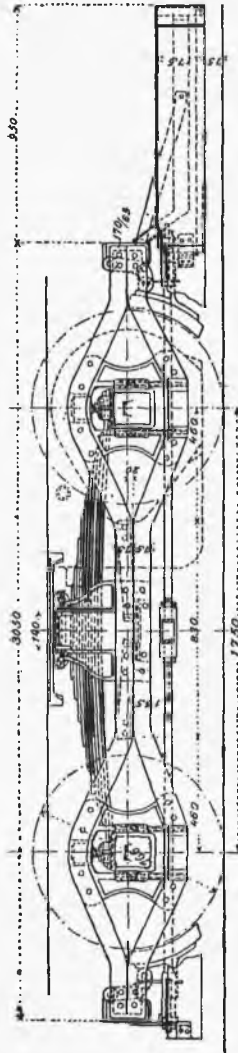
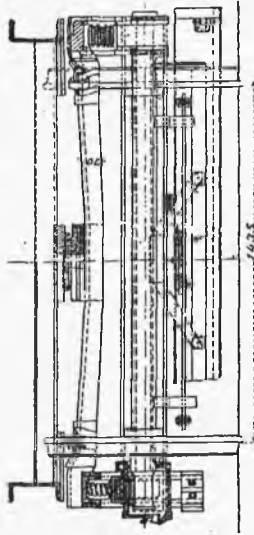


Rys. 250.

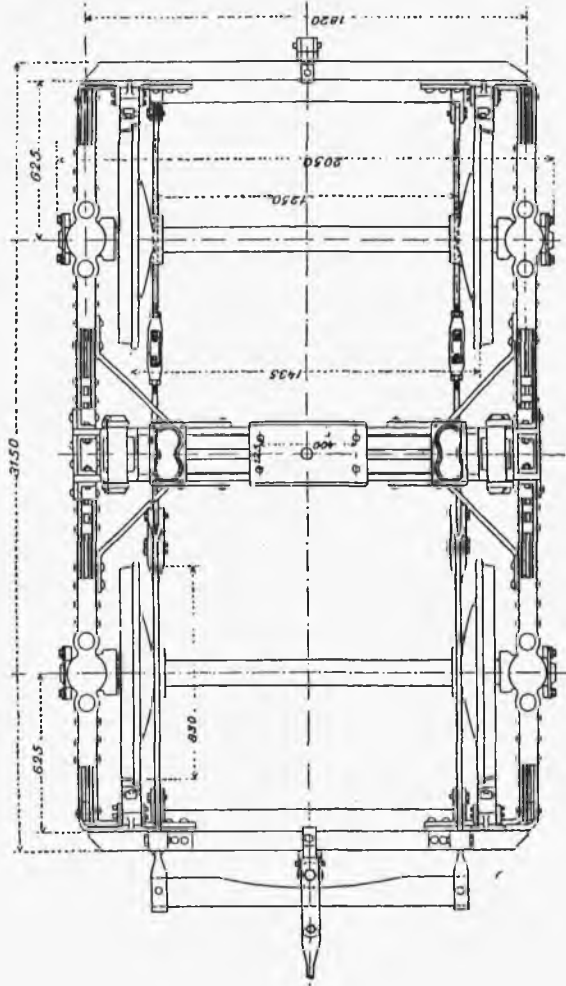
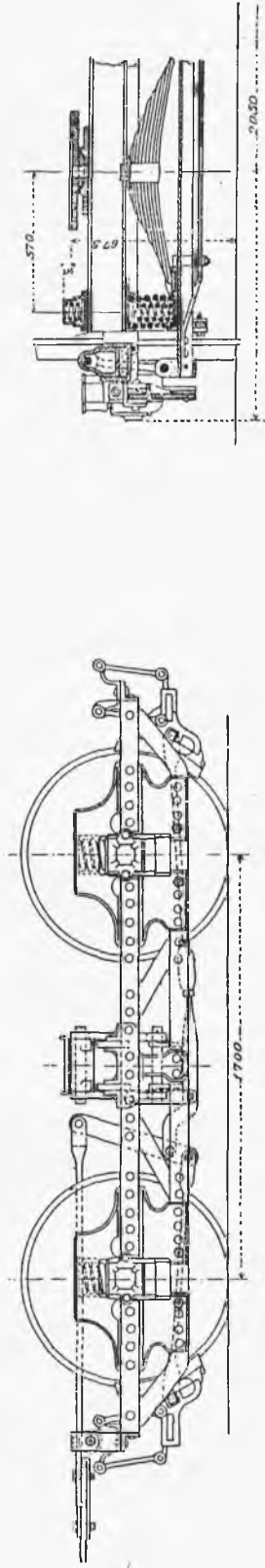
Jestto konstrukcja bardzo prosta, a jako taka względnie pewna.

Na rys. 251-szym, widzimy podwozie z takimi osiami, stosowane podobno z powodzeniem, w Wiedniu i Budapeszcie.

Zawieszenie przegubowe pozwala osiom nastawiać się w kierunku promienia, ciężar zaś pudła zapewnia powrót osi do środkowego, a zatem równoległego położenia. Im większe będzie pochylenie zawieszenia przegubowego, tem łatwiej nastawiają się osie, ale tem mniejsza będzie i siła, zmuszająca je do powrotu do położenia równoległego. Trafny i do zmiennych warunków eksploatacji stale dostosowany wybór tego nachylenia zdaje się nam być rzeczą nader trudną, a pewne ruchy wahadłowe osi — prawie że nieuniknione.

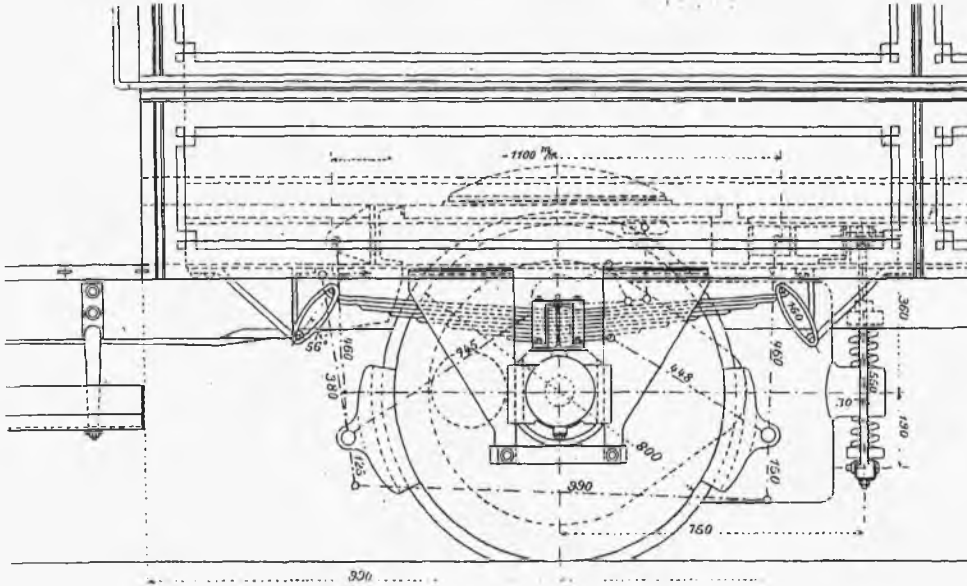


Rys. 253.
Wózek systemu Diamond.



Rys. 254.
Wózek budowy Peckham Truck Co. New-York.

4) **Wózki ruchome.** Wózki ruchome, szeroko przy kolejach w t. z. „wagonach pulmanowskich“ stosowane, znalazły też duże zastosowanie przy tramwajach i kolejach elektrycznych. Wóz spoczywa na dwu dwuosiowych od siebie niezależnych wózkach; rozstaw kół tych wózków jest mały, dostosowany do promienia łuków, odległość zaś między nimi do-



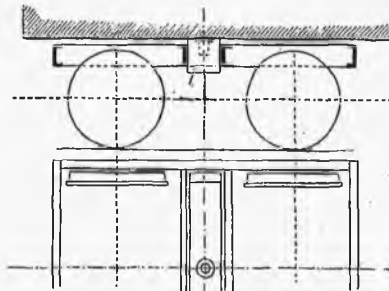
Rys. 251.

wolna, co pozwala na stosowanie długich pudeł. Pudełto opiera się na wózkach przy pomocy czopów, naokoło których wózek może się obracać i nastawiać odpowiednio przy przejeździe łuków.

Zasadę takiej widzimy konstrukcji na rys. 252-im. Czop umocowany tu jest na t. z. „kołysce“, znajdującej się między osiami wózka.

Egzystuje wielka ilość różnych konstrukcji wózków, różniących się między sobą głównie sposobem przymocowania kołyski, a potem szczegółami wykonania.

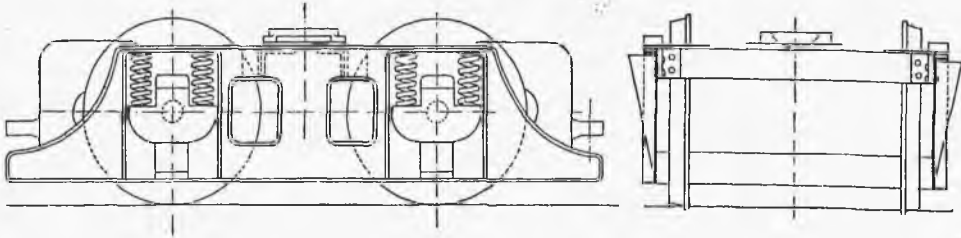
Kołyska może być np., jak na rys. 253-im, wsparta na silnym płaskim resorze i prowadzona ze wszystkich stron przy pomocy pionowych prowadników, lub, jak na rys. 254-ym, zawieszona na płaskim resorze tak, iż może się wahać wzdłuż osi podłużnej wozu. Ta budowa bardzo jest odpowiednia dla torów o ostrych i mniej starannie ułożonych łukach.



Rys. 252.

Oś obrotowa może leżeć poza osiami wózka jak np. na rys. 255-ym. Ciężar pudła wozowego przenosi się tu na wózki przez widoczne na rysunku wałki, toczące się na odpowiednio ukształtowanym odcinku koła.

Rys. 256-ty uwidacznia konstrukcję ze stałą i z wózkiem sztywnie połączoną kołyską. Wadą tej konstrukcji jest to, iż pudło nie jest dostatecznie odsprężynowane.



Rys. 256.

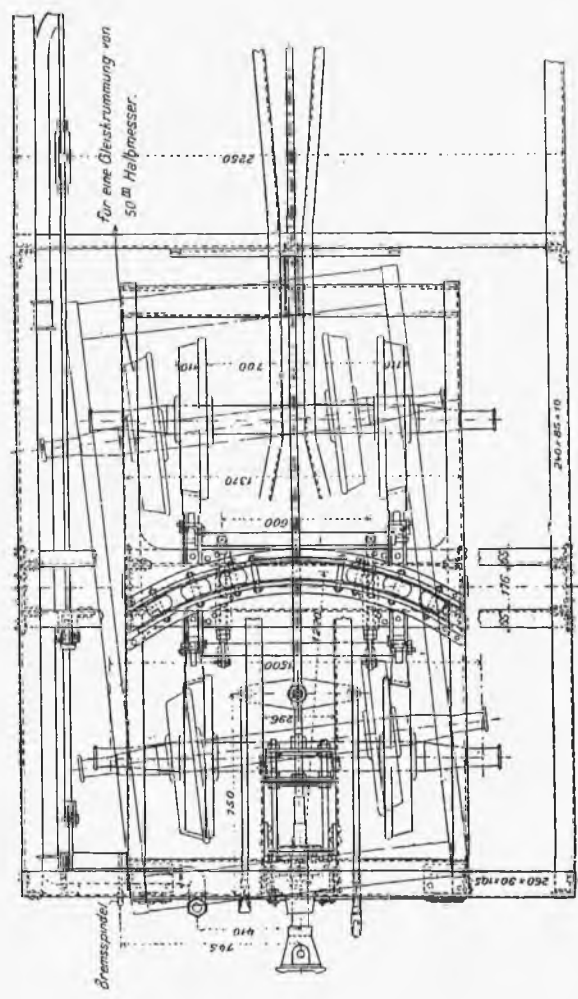
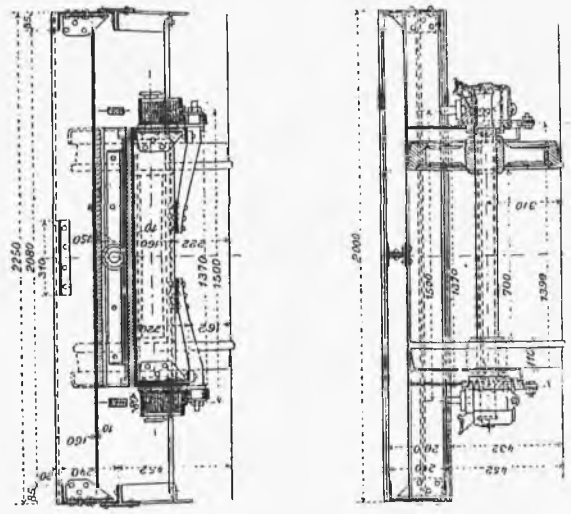
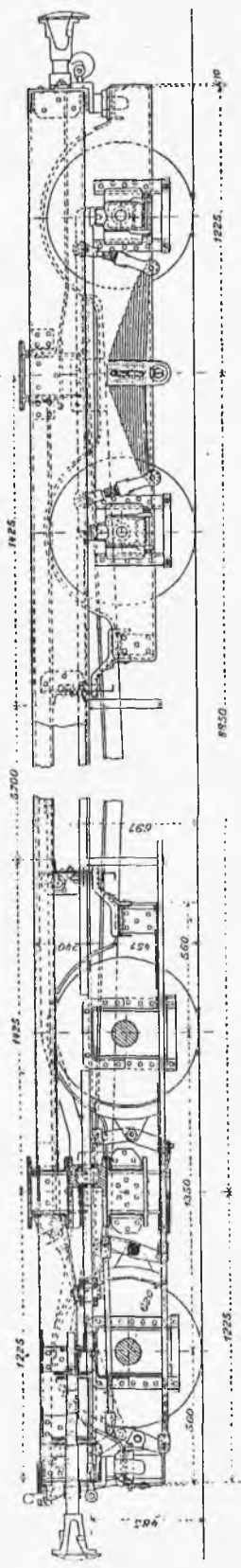
Wózek mocniejszy, przeznaczony dla kolei dojazdowych o większej prędkości, widzimy na rys. 257-ym. Wózki takie zostały zastosowane n. p. na Isarthalbahn.

Wózki są od zwykłych podwozi zawsze znacznie cięższe, bardziej złożone i, co zatem idzie, droższe. Ponadto mają one dla tramwajów śródmiejskich jeszcze i tę słabą stronę, iż chcąc wyzyskać całą wagę wozu jako wagę przyczepności, należy stosować 4 motory, w przeciwnym bowiem razie wyzyskana będzie tylko połowa wagi. Próbowano zaradzić temu przez konstrukcję specjalnych wózków, w których jedna z osi jest bardziej obciążona od drugiej, t. z. „Maximum traction Truck”. Wózek taki widzimy na rys. 258-ym.

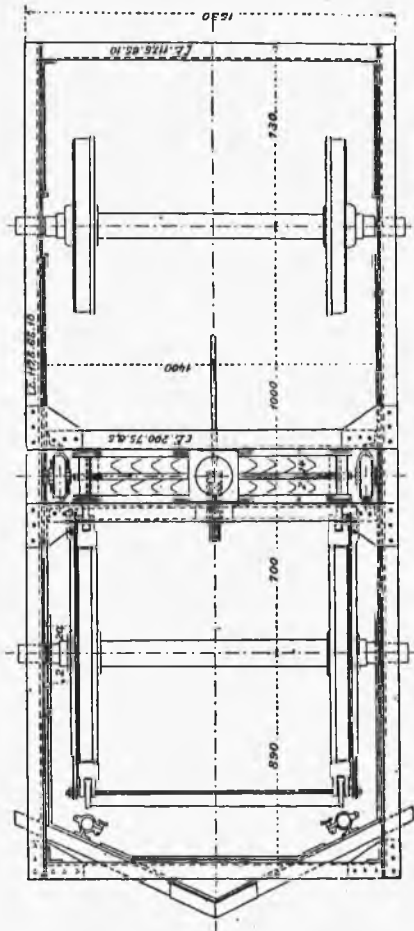
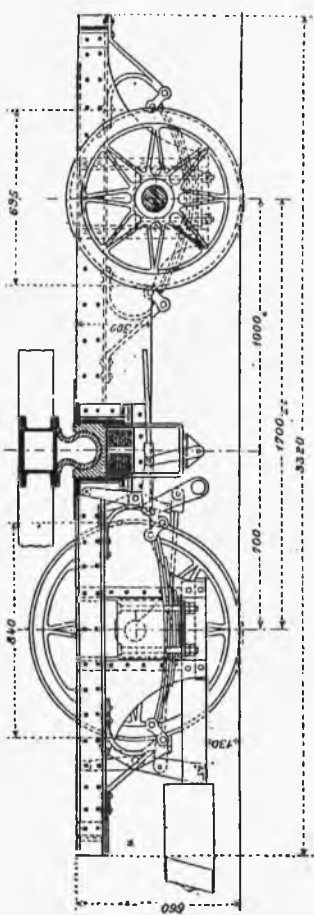
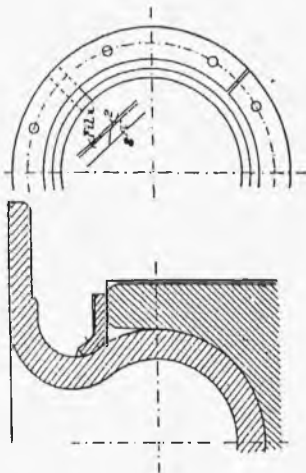
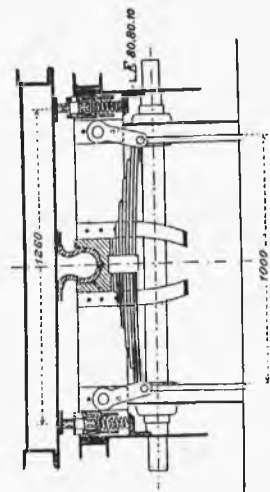
Wózki takie pozwalają przy zastosowaniu dwu tylko motorów wyzyskać dla przyczepności do $\frac{3}{4}$ wagi wozu, mają jednak skłonność do łatwego wykołajenia się; nie są przeto bardzo rozpowszechnione.

Wyzyskanie pełnej wagi dla przyczepności jest przy tramwajach śródmiejskich rzeczą pierwszorzędnej wagi, tak dla hamowania, jak i dla osiągnięcia jaknajwiększego przyspieszenia. Z drugiej jednak strony zastosowanie 4 motorów komplikuje znacznie całe urządzenie elektryczne i czyni je droższem i cięższem. Przy niewielkiej stosunkowo mocy, potrzebnej przy tramwajach, otrzymuje się małe motory o małym współczynniku sprawności, co znowu zwiększa zużycie energii.

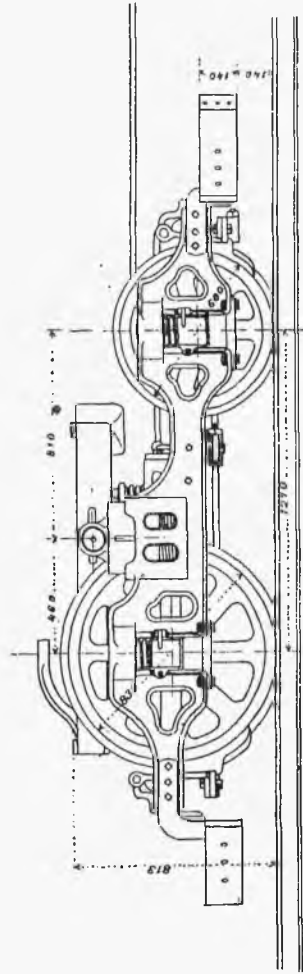
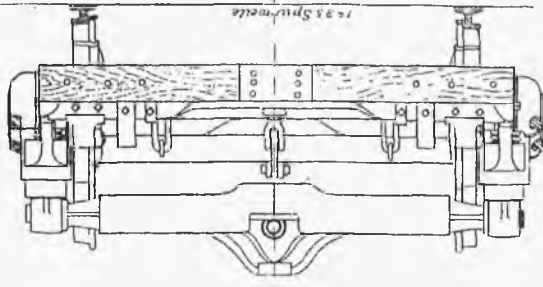
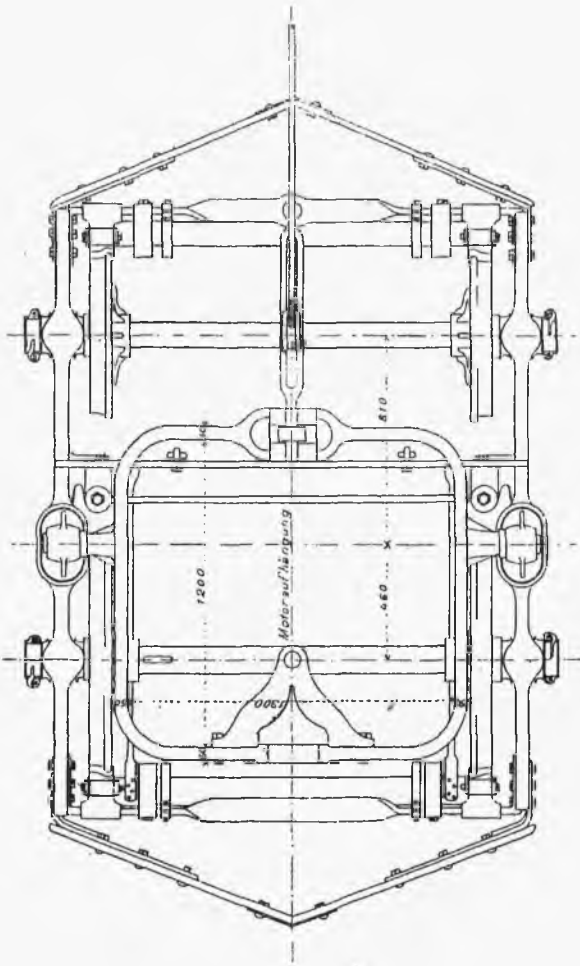
Inaczej rzecz się ma przy liniach zamiejskich i tembardziej przy kolejach dojazdowych, gdzie przystanki są rzadsze, a prędkość większa. Tam nie gra już przyspieszenie takiej roli, jak przy gęstych przystankach i ograniczonej prędkości maksymalnej, natomiast wózki zapewniają daleko spokojniejszy, równiejszy i cichszy bieg wozów i dają często nawet oszczędność energii.



Rys. 255.
Wózek budowy Joh. Weitzer w Gratzu.

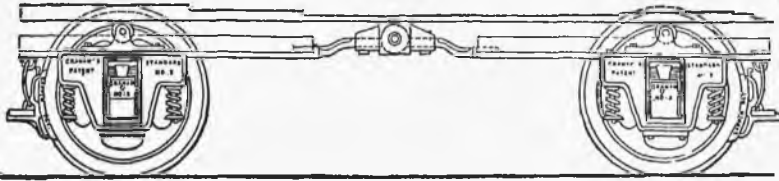


Rys. 257.



Rys. 258.
Wózek Maximum Traction budowy St. Louis Car Co.

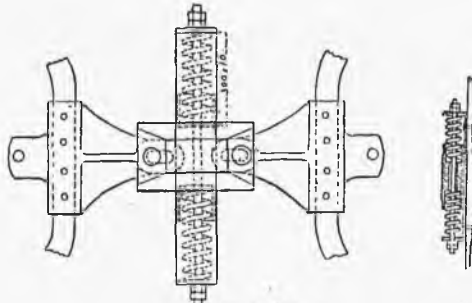
Wynika z tego, iż dla tramwaji śródmiejskich odpowiedniejsze będą zwykle, dwu-osiove podwozia. Gdzie wielkość dwu-osiowych wozów nie wystarcza, tam lepiej zwykle będzie uciec się do wozów doczepnych unikając wozów na wózkach. Natomiast przy kolejach zamiejskich i dojazdowych będą wozy cztero-osiove odpowiedniejsze. Toteż spotyka się je w tego rodzaju urządzeniach znacznie częściej, jak wozy dwu-osiove*).



Rys. 259.

Nadmienić tu wreszcie jeszcze należy o próbach zbudowania wózków jedno-osiowych. Wózki takie zostały obmyślane przez de Rechtera i zastosowane na kolejce Paryż-St. Denis, rys. 259-ty.

Powrót osi do równoległego położenia zapewnia tu mocna wężykowata sprężyna. Konstrukcja ta jednak szerszego zastosowania nie znalazła, gdyż nie jest ona w niczem lepsza od osi nastawianych a zato znacznie bardziej skomplikowana.



Rys. 259a.

Szczegóły urządzenia sprężyn.

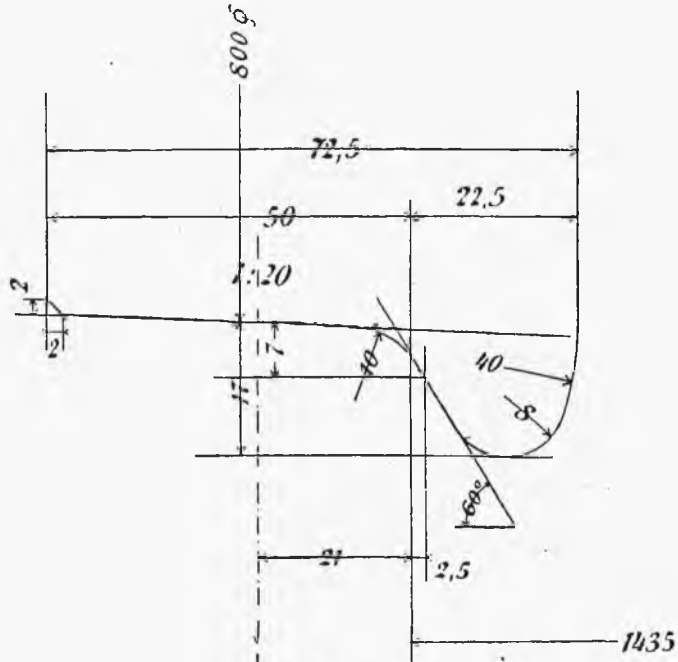
5) Koła. Koła bywają stosowane dwojakiej konstrukcji; w Europie przeważnie szprychowe spawane lub lane stalowe z nasadzaniami na gorąco stalowymi obręczami, a w Ameryce również szprychowe, lecz odlane z jednej sztuki z twardego odlewu (system Griffin) bez oddzielnych obręczy.

Koła z twardego odlewu są znacznie twardsze, a zatem i trwalsze, zużywają jednak znacznie więcej szyny. Koła stosowane w Europie niszczą znacznie mniej szyny, starte zaś obręcze dają się łatwo zastępować nowymi.

Kształt przekroju koła bywa również dwojaki, cylindryczny i stożkowy.

*) W Stanach Zjednoczonych przeciwnie nie spotyka się zupełnie innych wozów, jak 4 osiove; doczepne natomiast używane bywają wyłącznie na kolejkach zamiejskich. Wytłómaczyć się to da może ogólnie tam przyjętym systemem płacenia przy wejściu bez wydawania biletu, co pozwala konduktorowi obsłużyć znacznie większy wagon.

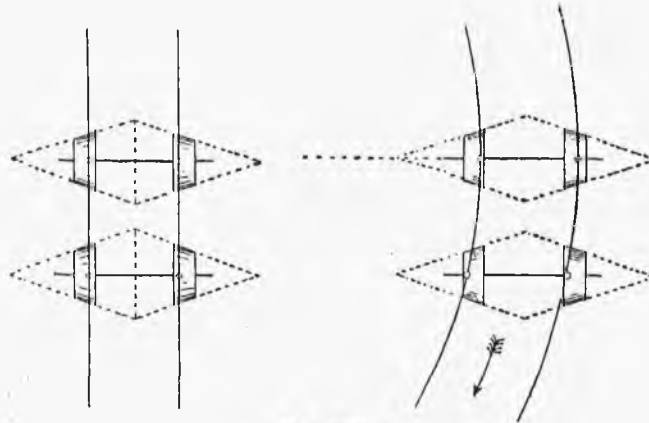
Przekrój stożkowy, rys. 260-ty, stosowany na wszystkich prawie kolejach, ma zapewniać spokojniejszy bieg na linii prostej i łatwiejsze toczenie się kół na łukach. Doświadczenie jednak wykazuje, iż mniema-



Rys. 260.

nie to jest niesłuszne, i że raczej już przekrój cylindryczny spełnia te wymagania.

Na łukach ustawiają się koła zwykle tak, jak to uwidocznione jest na rys. 261-ym; ani więc przednie, ani tylne nie toczą się odpowiednio do swego kształtu.



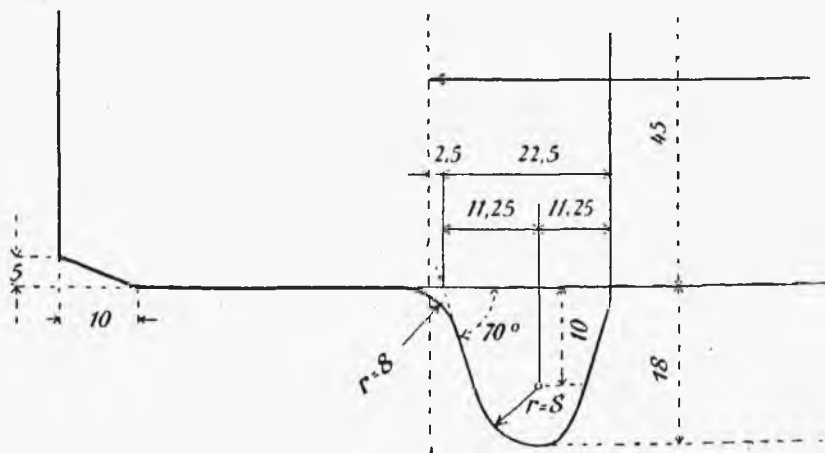
Rys. 261.

Na linii prostej powinny być wprowadzone każde złożenie (t. j. oś z kołami) wytrącone z centralnego położenia skutkiem n. p. złego złącza, natychmiast doń powrócić, w praktyce jednak wpada ono w ruch wahadłowy i nie uspokaja się aż po dłuższym czasie, praktycznie zaś, wobec nieuniknionych małych niedokładności toru, często wogóle nigdy. Toteż zarzucono n. p. w Ameryce kształt stożkowy w wielu wypadkach i na kolejach.

Wyżej powiedziane stosuje się tembardziej do tramwajów i kolejek dojazdowych, których tory bywają przeważnie mniej starannie ułożone. Przy tramwajach, których tory muszą się stosować do profilu ulic, leżą obie szyny rzadko w jednej wysokości; przeważnie leży jedna nieco wyżej od drugiej.

Skutkiem tego przesuwały się złożenia nieco ku niższej stronie, przyczem koła opierają się obręczami o kant niższej szyny. Przy przekroju stożkowym toczą się wtedy koła, biegnące po niżej położonej szynie, po okręgu większym, na wyżej zaś położonej, po mniejszym, co oczywiście wywołuje śpieszenie pierwszych i szkodliwe tak dla kół, jak i szyn, ślizganie się.

Przekrój cylindryczny widzimy na rys. 262-im.



Rys. 262.

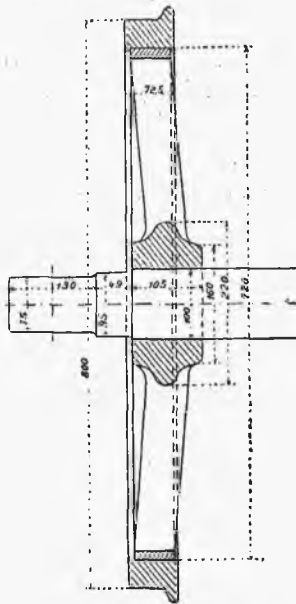
Obręcze wykonywane bywają ze stali o wytrzymałości na rozzerwanie 60—75 kg. i wydłużeniu 15—25% i nasadzane na gorąco przy pomocy odpowiedniej prasy. Czasami zabezpiecza się je jeszcze oprócz tego szeregami śrub.

Tak wykonane koło uwidocznione jest na rys. 263-im.

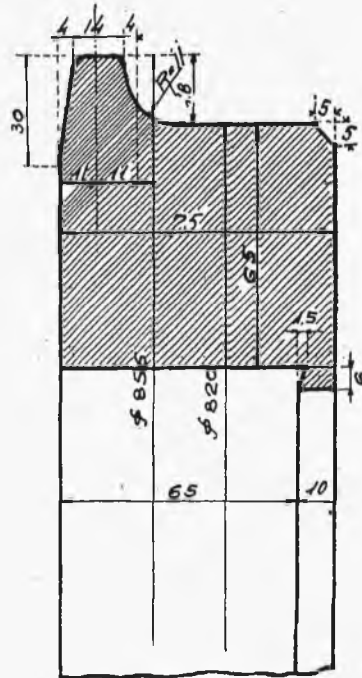
Szerokość obręczy, oraz wymiary i kształt obrzeży dostosowane być muszą do profilu szyn. Zbyt wąskie obręcze źle przechodzą przez krzy-

żownice, zbyt zaś szerokie mogłyby łatwo, przy torach ułożonych w jezdni, uderzać o wystające kamienie. Przeważnie obiera się szerokość obręczy tak, aby one wystawały około 10 mm. poza zewnętrzny kant szyny. W Warszawie n. p. wynosi szerokość obręczy 75 mm., wysokość 18 mm., grubość obręczy 55 mm., przy szerokości powierzchni jezdnej szyny 55 mm., rys. 264-ty.

Zewnętrzna średnica kół, razem z obręczami, wynosi zwykle przy tramwajach 800 mm. Co do obciążenia kół, to nie dadzą się tu postawić



Rys. 263.



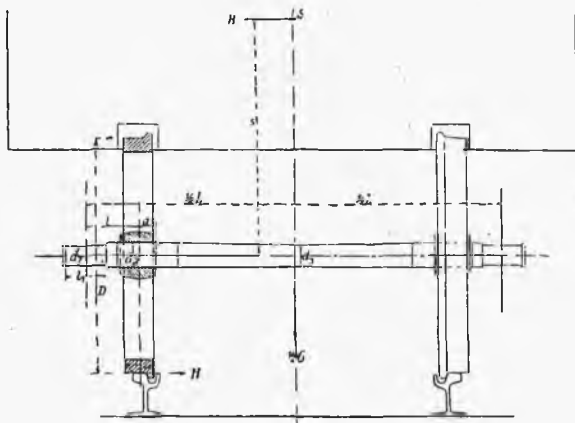
Rys. 264.

ściślejsze normy tembardziej, iż dopuszczalne obciążenie nie jest jedynie zależne od profilu szyn, konstrukcji kół i osi oraz podłoża, ale także i od budowy podwozia, sposobu odsprężynowania, prędkości jazdy i t. p. Stosowane bywają obciążenia od 2 do 3,5 a nawet i więcej ton na koło.

6) Osie. Osie wykonywane bywają przeważnie ze stali martenowskiej o wytrzymałości około 60—75 kg. i rozciągliwości do 25%. Koła nasadza się na osie na zimno przy pomocy pras hydraulicznych o ciśnieniu 75—100 tonn. Obtaczanie obręczy odbywa się dopiero po nasadzeniu kół na osie, na gotowym złożeniu. Złożeniem zwie się oś wraz z kołami.

Obliczenie osi, zwłaszcza pędnych, jest rzeczą bardzo skomplikowaną i nigdy nie może być ścisłe, a to skutkiem znacznej ilości dokładniej

nie znanych, a tylko szacowanych czynników, jako to n. p.: siły dodatkowe przy zmianie kierunku jazdy, uderzenia, siły odśrodkowe masy motoru i t. p. E. C. Zehme podaje w swem dziele „Handbuch der Elektrischen Eisenbahnen“ następujące na to wzory:



Rys. 265.

G = Waga wozu wraz z podróżnymi i waga urządzenia elektrycznego w kg.

k_b = Dopuszczalne obciążenie na zgięcie.

r = Najmniejszy promień łuków w metrach.

g = Przyspieszenie ciężkości.

v = Prędkość jazdy w metrach na sekundę.

p = Obciążenie w kilogr. na cent. kwadr.

G_1 = Waga motoru w kilog.

Do stałego obciążenia każdego z czopów osiowych, rys. 265-ty, $0,25 \cdot G$ dochodzi obciążenie spowodowane uderzeniami. Obciążenie to może wynosić, zależnie od gorszego lub lepszego odsprężynowania podwozia i pudła, od $0,19$ do $0,25 \cdot G$.

Pozatem zwiększa się jeszcze obciążenie skutkiem nieodpowiedniego pochylenia torów na łukach oraz różnych bocznych sił H , przy czem naturalnie obciążenie przeciwległego czopa o tyleż się zmniejsza.

Dla osi ciągnionych mamy:

$$\frac{\pi \cdot d_1^3}{32} \cdot k_b = \left(0,25 \cdot G + 0,1 \cdot G + H \cdot \frac{s}{L} \right) \cdot \frac{l_1}{2},$$

a zatem:
$$d_1 = \sqrt{\frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{16}{\pi \cdot k_b}} \sqrt{0,35 \cdot G + H \cdot \frac{s}{L}};$$

do obciążenia należy jeszcze dodać siłę odśrodkową wozu:

$$\frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{r} \cdot \frac{s}{L}$$

H przyjmuje się zwykle $= 0,2 \cdot G$; $\frac{l_1}{d_1}$ bywa zwykle $= 1,7$ do $2,0$;
 k_b dla stali $= 700$ kg. na cm. Ciśnienie p czopa osiowego może wynosić
do 30 kg., przeważnie 20 kg.; stosownie do tego obiera się $\frac{l_1}{d_1}$.

$$\left(\frac{l_1}{d_1}\right)^2 = \frac{\pi \cdot k_b}{16} \cdot \frac{1}{p};$$

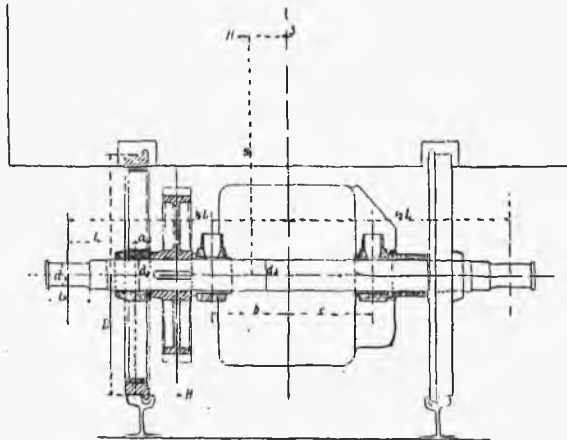
$$d_2 = \sqrt{\frac{32}{\pi \cdot k_b} \left[\left(0,35 \cdot G + H \frac{s}{L}\right) (1+a) + \frac{H \cdot D}{4} - \left(0,35 \cdot G + \frac{H \cdot s + 0,5 \cdot D}{2 \cdot 0,5 \cdot L - 1}\right) \right]} \cdot a,$$

do czego należy dodać moment siły odśrodkowej:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{r} \left[\frac{s}{0,5 \cdot L} (1+a) + \frac{D}{2} - \left(\frac{s + 0,5 \cdot D}{0,5 \cdot L - 1} \right) a \right];$$

d_3 przyjmuje się zwykle $= d_2$, lub $= 0,9 d_2$.

Dla osi pędnych, rys. 266-ty, dochodzi do tego dodatkowe obciążenie H_1 , spowodowane nieodspężynowaną w kierunku osi masą motoru, zwykle: $H_1 = \frac{1}{10} G_1$.



Rys. 266.

$$d_1 = \sqrt{\frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{16}{\pi \cdot k_b}} \sqrt{0,35 \cdot G + H \cdot \frac{s}{L}};$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{32}{\pi \cdot k_b} \left[0,35 \cdot M_b + 0,65 \sqrt{M_b^2 \frac{k_b}{1,3 \cdot k_d} \cdot M_d^2} \right]},$$

przyczem moment zgięcia:

$$M_b = \left(0,35 \cdot G + H \cdot \frac{s}{L} \right) (1 + a) + \\ + \left(\frac{H}{2} + H_1 \right) \frac{D}{2} - \left[0,35 \cdot G + \frac{H}{2} \left(\frac{s + 0,5 \cdot D}{0,5 \cdot L - 1} \right) \right].$$

Moment skręcenia M_d należy obliczać na podstawie największego możliwego natężenia prądu.

Obciążenie na zgięcie k_b = obciążeniu na skręcenie k_d = dla stali 700 kg. na cm.²

Do obciążenia tego dochodzi jeszcze działanie siły odśrodkowej, jak uprzednio.

Obciążenie osi w jej środku jest zawsze mniejsze, jak na czopach, niemniej robi się zwykle $d_3 = d_2$.

Przy normalnych, ciężkich, wozach tramwajowych średnica czopa wynosi zwykle $d_1 = 90-100$ mm., $d_2 = 100-130$ mm.

7) Łożyska. Łożyska stosowane bywają nie — jak dawniej przy kolejach dwudzielne, lecz przeważnie całkowite; są one prostsze, a zatem i tańsze od dwudzielnych, a przytem szczelniejsze i łatwiejsze do obsłużenia. Osiom pozostawia się mały luz w kierunku podłużnym, aby wóz lepiej biegł po szynach i łagodniej wjeżdżał na łuki; luz ten jednak winien być mały, w przeciwnym bowiem razie łatwo mógłby powstawać wężowy ruch wozu (poprzeczne chwianie).

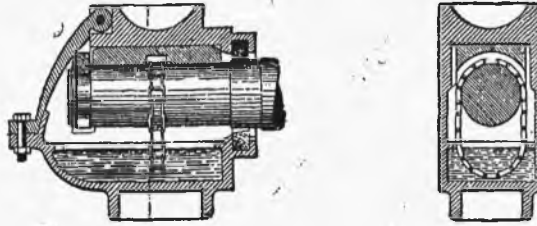
Panewki, przeważnie z brązu, wylane t. n. „białym metalem” (1 część miedzi, 2 części antymonu i 14 części cyny angielskiej), obejmują zwykle tylko $\frac{1}{4}-\frac{1}{3}$ obwodu czopa. Otwór tylny, ze strony koła, jest zamknięty i uszczelniony sprężynującą płytką stalową, jużto drewnianymi płytkami, albo też skórzanymi wkładkami. Przedni otwór, służący do wyjmowania panewek, zmiany smaru i kontroli, musi być szczelnie zamknięty przy pomocy odpowiednich klap.

Do smarowania używane bywają przeważnie smary płynne, a zatem oliwa. Smarowanie odbywa się automatycznie w ten sposób, iż dolna część łożyska stanowi zbiornik-mażnicę. W górze mażnicy znajduje się krata, na której położona jest wełniana lub włosiana poduszka; na niej leży czop.

Przy innych konstrukcjach stosowane bywa smarowanie łańcuchowe, jak na rys. 267-ym.

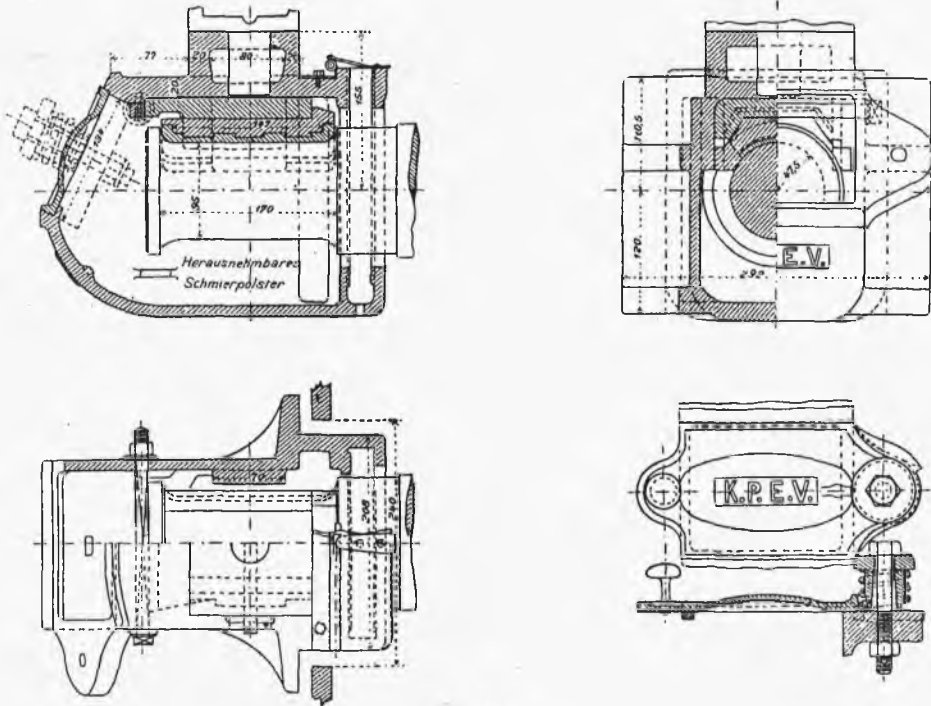
Łańcuch bez końca, zanurzony w oliwie, podnosi jej cząstki i smaruje czop.

Obciążenie panewek wynosi zwykle 20—25 kg. na cm.² powierzchni. Jest duża ilość różnych konstrukcji łożyskowych, różniących się



Rys. 267.

między sobą szczegółami wykonania; opisywanie ich byłoby przeto zbyt liczne. Jako przykład podajemy tylko dwa rysunki, 268-my i 269-ty. Ostatni przedstawia łożyska tramwajów warszawskich.

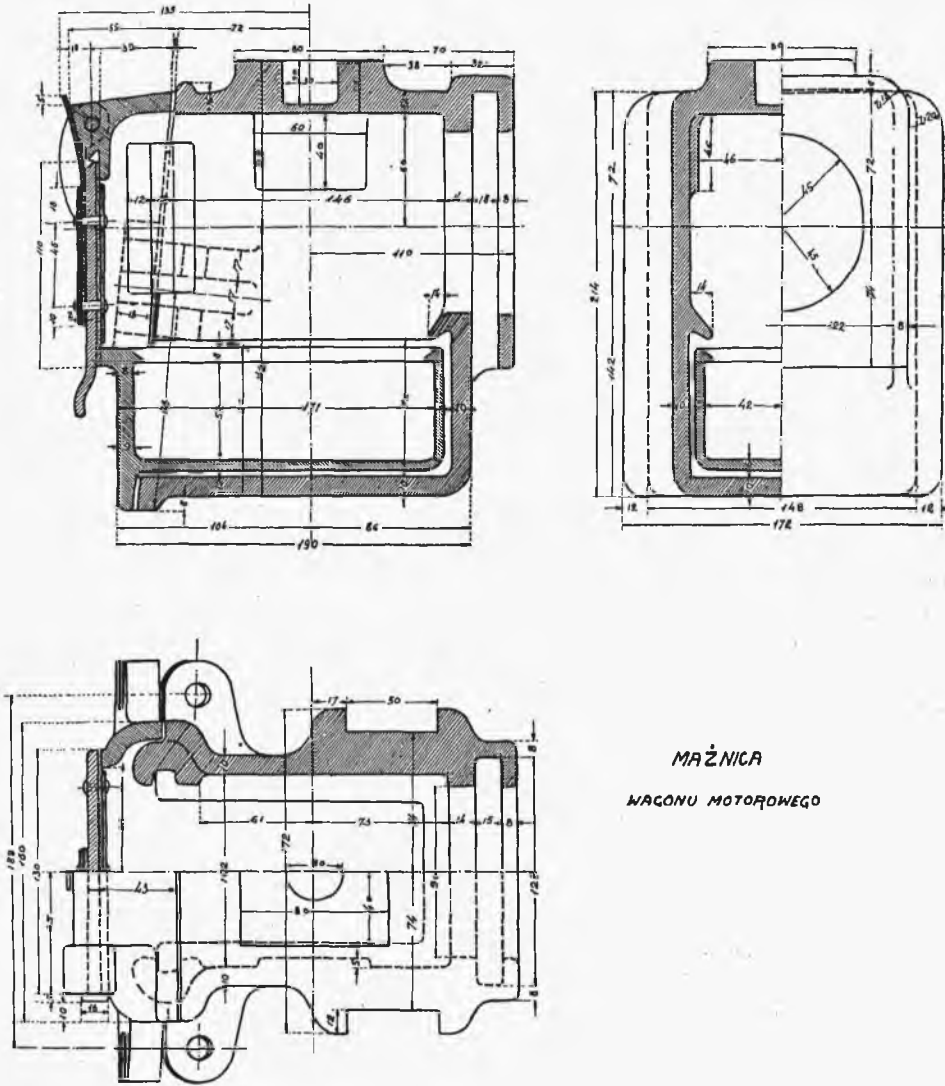


Rys. 268.

Odmienną zupełnie konstrukcję mają łożyska systemu **Korbuly**, rys. 270-ty.

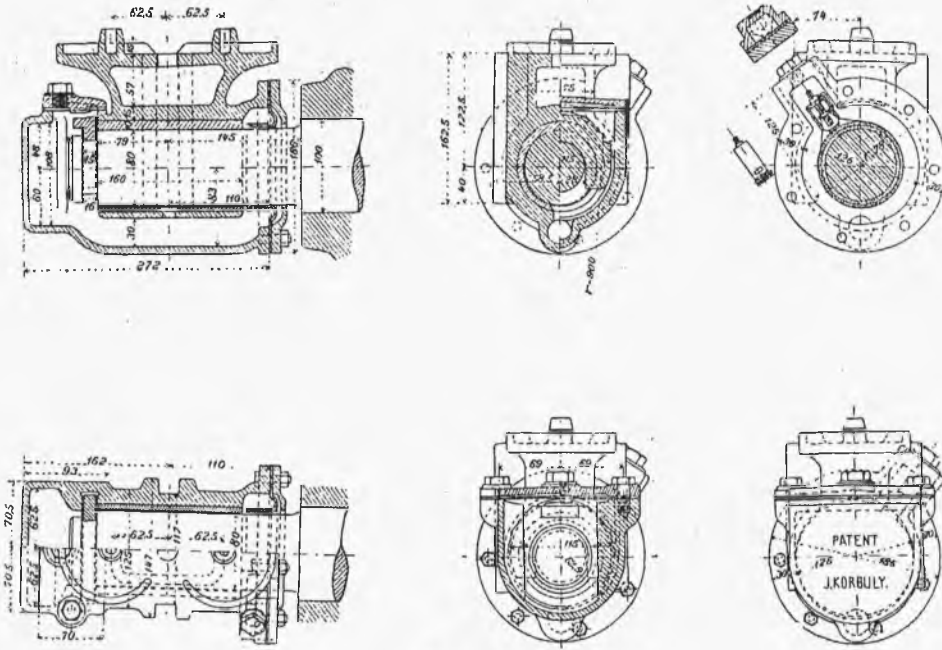
Panewka obejmuje tu cały czop, jest jednak od niego nieco większa, tak, iż przylega tylko w górnej swej części; dolna część zatopiona jest w oliwie.

Łożysko jest z przodu zupełnie zamknięte, posiada więc tylko jeden otwór z tyłu, przez który wchodzi oś. Łożyska takie są między innymi zastosowane w Dreźnie, gdzie dają doskonałe rezultaty, zwłaszcza pod względem oszczędności oliwy; wystarczy oliwę zmienić co 6—8 miesięcy.



Rys. 269.

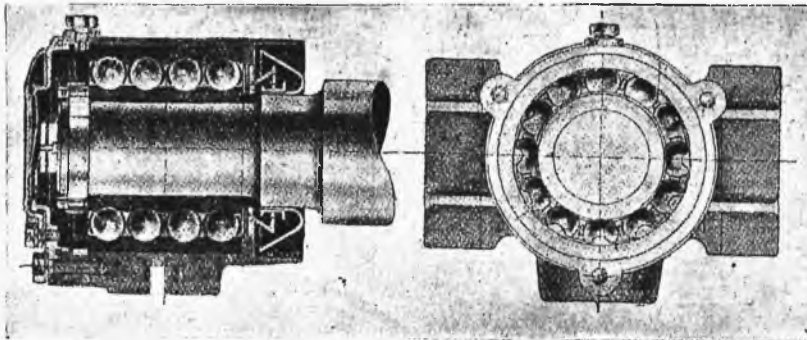
Tarcie osi w panewkach r_1 , wynosi przy tramwajach, jak to już podaliśmy na str. 3-ciej 0,0015—0,002, może jednak przy złym utrzymaniu osiągnąć wartości 0,005; ponieważ zaś całkowity opór traktacji r wynosi



Rys. 270.

(patrz. str. 6) 0,0085—0,01, przeto tarcie w łożyskach stanowi 15—25%, może zaś osiągnąć 50% jego normalnej wartości. Z tego widać, jak ważną rzeczą jest dobra konstrukcja i staranne utrzymanie łożysk.

Robione były dość liczne próby zastosowania do tramwajów i kolei łożysk kulkowych i wałkowych. Pomimo to, iż próby robione z ta-

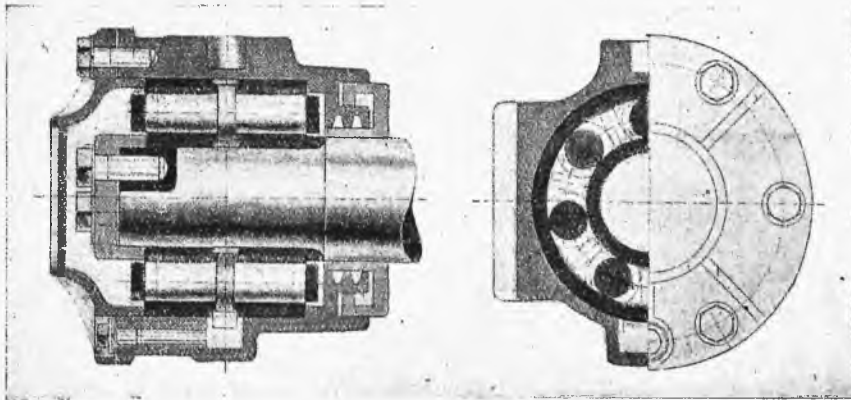


Rys. 271.

kiemi łożyskami dawały nieraz bardzo dobre wyniki (oszczędność pracy dochodziła do 30% i więcej) konstrukcje te jednak szerszego zastosowania nie znalazły.

Należy to przypisać nie dość może opracowanym konstrukcjom i małej trwałości takich łożysk, przy nieuniknionych przy kolejach wstrząśnieniach i uderzeniach, a także zapewne i niechęci towarzystw eksploatujących do nowych, bardziej skomplikowanych i drogiej konstrukcji.

Łożysko kulkowe, uwidocznione jest na rys. 271-ym, wałkowe zaś na rys. 272-gim.

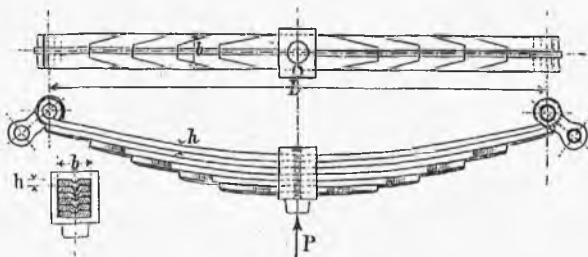


Rys. 272.

8) Resory. Spokojne obciążenie resoru nie powinno przekraczać 50 kg. na mm.² Przegięcie w środku resorów warstwowych nie powinno być zbyt wielkie, gdyż w przeciwnym razie nie stawia resor dostatecznego oporu poprzecznym ruchom wozu. Resory długie nadają wozowi ruch spokojniejszy. Lepsze są resory, złożone z mniejszej ilości silniejszych piór, jak z większej słabych.

Ścisłe wyliczenie resorów nie jest możliwe, przeto bywają zwykle resory po przybliżonem wyliczeniu wyprobowywane i wtedy dopiero odpowiednio wzmocnione lub osłabione.

Jeżeli P = obciążenie koła, L = długość resoru, b , h , n szerokość, grubość i liczba piór, zaś k_b dopuszczalne obciążenie na zgięcie (przy stali lanej = 50 kg. na mm.², rys. 273-ci, to :



Rys. 273.

$$P \frac{L}{4} = \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot n \cdot k_b \quad (\text{nie uwzględniając wygięcia})$$

$$h = 1,7 \sqrt{\frac{P \cdot L}{n \cdot b \cdot k_b}} \quad n = \frac{3}{2} \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2 \cdot k_b}$$

Przeięcie resoru:

$$\delta = \frac{1}{4} \cdot \frac{L^3}{b \cdot h^3} \cdot \frac{P}{E} = \frac{1}{6} \cdot \frac{L^2}{h} \cdot \frac{k_b}{E} \cdot n$$

przyczem $E =$ spólczynnik wydłużalności $= 20000$.

Resory wężykowate i spiralne można obliczać podług wzoru:

$$d = \sqrt[3]{\frac{P \cdot r \cdot 16}{\pi \cdot k_d}}$$

$P =$ obciążenie sprężyny

$r =$ średni promień sprężyny

$d =$ średnica drutu (z którego zrobiono sprężynę)

$k_d =$ obciążenie na przesunięcie $= 50$ kg. na mm.²

Przeięcie, względnie skrócenie:

$$\delta = \frac{64 \cdot n \cdot r^3}{d^4} \cdot \frac{P}{G} = \frac{4 \cdot \pi \cdot n \cdot r^2}{d} \cdot \frac{k_d}{G}$$

$n =$ ilość zwoji

$G = 0,4 \cdot E = 8000$.

9) Hamulce. Uwagi ogólne. Wóz, o wadze W kilogramów, poruszający się z prędkością v metrów na sek. przebiegłby z rozpędu na linii prostej i poziomej l metrów, przyczem:

$$l = \frac{K \frac{W}{2 \cdot g} v^2}{F}$$

$g =$ przyspieszenie ciężkości

$F =$ opór trakcji

$K =$ spólczynnik zwiększający siłę żywą skutkiem mas, znajdujących się w ruchu obrotowym (por. str. 18-ta).

Dla skrócenia tej drogi używa się hamulców. Hamulcami przeto zwiemy przyrządy służące do niszczenia, względnie przetwarzania na ciepło, siły żywej biegnącego wozu lub pociągu i pozwalające zatrzy-

mać go na przestrzeni krótszej od tej, jakąby tenże wóz przebiegł, biegnąc swobodnie dalej.

Sprawa hamulców, już tak ważna przy kolejach, staje się dla tramwajów i kolejek dojazdowych jeszcze ważniejsza. Przystanki są tu znacznie częstsze, co wymaga również znacznie częstszego używania hamulców. Już przy obliczaniu zużytej przez pociąg pracy widzieliśmy, jak wielki wpływ na jej zmniejszenie wywiera możliwość nadania pociągowi dużego opóźnienia, a zatem dobre hamulce.

Dostępność torów dla przechodniów i wszelkich pojazdów czyni możliwość zatrzymania pociągu na możliwie najkrótszej przestrzeni rzeczą pierwszorzędną wagi.

O nadzwyczajnej ważności hamulców świadczy najlepiej wielka ilość przepisów wydawanych przez różne władze oraz bogaty i wszechstronny materiał, jaki znaleźć można w sprawie hamulców w literaturze fachowej.

Również i Międzynarodowe Stowarzyszenie Tramwajów i Kolei Dojazdowych zajmowało się obszernie hamulcami, stawiając tę sprawę na porządku dziennym trzech z kolei swych walnych zjazdów i w ten sposób znacznie przyczyniło się do wyjaśnienia tej sprawy.

Drogę l jaką wóz przebiegłby siłą nabytego rozpędu można zmniejszyć, zwiększając sztucznie opór trakcji F lub też wprowadzając w równanie hamowania nową siłę, przeciwdziałającą sile bezwładności.

Siła pociągowa, jaką mogą rozwinąć motory, ograniczona jest siłą przyczepności. Siłę hamującą możemy uważać jako ujemną siłę pociągową, jest więc ona również ograniczona siłą przyczepności.

Opór trakcji F możemy sztucznie zwiększyć różnymi sposobami, np. przyciskając do obwodu kół klocki hamulcowe i temsamem utrudniając ich obracanie się. Jeżeli siłę, z jaką przyciskamy klocki do kół oznaczymy przez S , współczynnik tarcia pomiędzy bandażami a klockami przez f' , zaś współczynnik przyczepności przez a (por. str. 19—20), to nie powinno $S \cdot f'$ być większe od $W' \cdot a$, w przeciwnym bowiem razie koła przestałyby się obracać, a zmieniłoby się na $f =$ współczynnik oporu ślizgania, i wóz sunąłby dalej na zahamowanych, nieruchomych kołach, jak na saniach. Ponieważ zaś współczynnik tarcia między dwoma ciałami jest większy w czasie spoczynku, jak w czasie ruchu, to wartość f' wzrosłaby, koła nie wpadłyby już w ruch obrotowy, a hamulce przestały działać, ponieważ zaś współczynnik oporu ślizgania f jest zawsze znacznie mniejszy od współczynnika przyczepności a , przeto wóz sunąłby znacznie dalej, aniżeli gdyby się koła mogły obracać, (przy normalnych warunkach wynosi współczynnik przyczepności $a = 0,12$ zaś ślizgania $f = 0,07$).

Maksimum działania osiąga się wtedy, kiedy $S \cdot f'$ osiąga właśnie

wartość $W'.a$ i tak powinnyby hamulce być obliczone. Jestto jednak rzeczą bardzo trudną, praktycznie (za wyjątkiem hamulców elektrycznych) niewykonalną. Z jednej strony współczynnik przyczepności a jest wielkością nader zmienną i zależną od stanu szyn, ich suchości lub wilgoci, czystości lub zanieczyszczenia i t. d., z drugiej zaś współczynnik f' bynajmniej nie jest stały, lecz przeciwnie wysoce od prędkości zależny, a mianowicie tak, iż wartość jego zwiększa się z malejącą prędkością. Jeżeli więc hamulec jest tak zaciśnięty, iż koła się jeszcze obracają, ale $S.f'$ jest bardzo bliskie $W'.a$, to wkrótce skutkiem zmniejszenia prędkości zwiększy się f' tak dalece, iż koła staną. Należałoby więc ze zmniejszeniem się prędkości, zmniejszać odpowiednio i siłę przyciskania S .

Obszerne próby dla określenia współczynnika tarcia między kołami, a klockami hamulcowymi przeprowadził M. Douglas Gatton. Stwierdził on, iż f' zależne jest tak od prędkości, jak i od czasu, a mianowicie, iż wartość jego rośnie ze zmniejszającą się prędkością i zmniejsza z czasem. Poniżej podajemy niektóre wyniki prób:

	Prędkość		Wartość współczynnika f'			
	Kilom. godz.	m. na sek. na obwodzie kół	Pierwsze 3 sek.	po 5 do 7 sek.	po 12 do 15 sek.	po 20 do 26 sek.
Klocki lanne na stalowych obręczach.	96	26,66	0,062	0,054	0,048	0,043
	80	22,22	0,100	0,070	0,056	
	72	20,00	0,125			
	64	17,77	0,134	0,100	0,080	
	48	13,33	0,184	0,110	0,098	
	32	8,88	0,205	0,175	0,128	0,070
	16	4,44	0,320	0,209		
8	2,22	0,360				

M. Douglas Gatton znalazł dalej, iż współczynnik tarcia między kołami a szynami f jest niezależny od czasu, ale zwiększa się znacznie ze zmniejszeniem prędkości.

Próby te były dokonywane dla kolei; dla tramwajów należy się z tem liczyć, iż wartości f mogą się znacznie zmieniać pod wpływem stanu szyn.

W Warszawie przeprowadzono szereg prób dla określenia wartości f w czasie silnego mrozu przy obmarzniętych szynach ($-17^{\circ}R.$) Próby robiono w ten sposób, iż na pochyłości 33% nadawano wozowi pewną

Prędkość na obwodzie kół		Wartość f
Kil. godz.	metr. sek.	
80	22,22	0,040
72	20,00	0,051
61	16,94	0,057
40	10,10	0,080
24	6,66	0,087
16	4,44	0,110

prędkość, poczem zatrzymano koła przez zaciśnięcie hamulców i mierzone prędkość w chwili zatrzymania kół, oraz drogę przebytą na zahamowanych kołach do zatrzymania się wozu. Z tych danych nie daje się wprawdzie ściśle określić wartości f , która jest dla każdego przebiegu wraz z prędkością zmienna, można natomiast obliczyć średnią wartość f dla każdej początkowej prędkości i stanu szyn,

Otrzymano następujące rezultaty:

Stan szyn	Prędkość metr. na sek.	Droga prze- byta do za- trzymania	Wartość f .
Obmarznięte, su- che	3,34	2,0	0,318
	4,00	5,0	0,193
	4,34	10,0	0,127
Świeżo oczysz- czone	3,78	17,5	0,074
	3,72	10,0	0,106

Z powyższego już widać, iż ściśle obliczenie hamulców, t. j. teoretyczne określenie przestrzeni, na jakiej dane hamulce mogą zatrzymać wóz biegnący z określoną prędkością, jest niemożliwe, gdyż wchodzące tu w grę czynniki są wysoce zmienne. Oblicza się więc zwykle tylko siłę hamującą oraz mechanizm hamulca.

W obecnej chwili stosuje się w praktyce przeszło 20 różnych systemów hamulców, które dadzą się jednak podzielić na 3 kategorie a mianowicie:

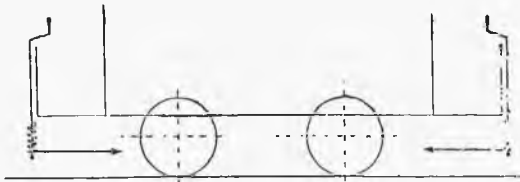
- 1) Hamulce poruszane siłą ręki, czyli hamulce ręczne;
- 2) Hamulce pneumatyczne;
- 3) Hamulce elektryczne i elektro-magnetyczne.

10) Hamulce ręczne. Hamulce ręczne rozróżniamy: 1) kołowe, działające przy pomocy klocków hamulcowych przyciskanych do kół; 2) tar-

czowe, przy których przyciska się do siebie dwie tarcze osadzone na osi; 3) sznurowe lub taśmowe, polegające na tem, iż naokoło odpowiedniej tarczy nawinięty jest sznur lub taśma, przez zaciśnięcie którego lub której, powstaje tarcie; 4) klinowe, przy których pod koła podchodzą odpowiednie kliny; i 5) szynowe; do szyn przyciska się rodzaj odpowiednio ukształtowanych klinów.

Hamulce oznaczone Nr.Nr. 2, 3 i 4 wyszły już prawie z użycia, jako bardziej od Nr. 1 skomplikowane i działające mniej pewnie.

a) *Hamulce kołowe.* Prowadzący wóz siłą ręki przekłada dźwignię lub obraca korbę działającą przy pomocy przekładni na klocki umieszczone obok kół i przyciska je do obręczy. Rozróżniamy tu znowu dwa główne rodzaje hamulców, a mianowicie hamulce z przekładnią łańcuchową, rys. 274-ty i śrubową rys. 275-ty.



Rys. 274.

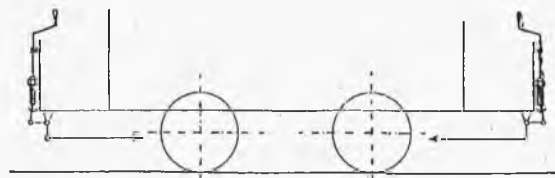
Przy pierwszym nawija się naokoło osi korby łańcuch, działający przez układ dźwigni; przy drugim jest koniec wału korby zaopatrzony w śrubę, po której porusza się naśrubek, połączony z dźwigniami działającymi na klocki.

Przekładnia śrubowa działa przy dobrem utrzymaniu pewniej od łańcuchowej i nie wymaga sprężyn odciągających klocki od kół po skończonym hamowaniu, potrzebuje natomiast lepszego i staranniejszego utrzymania, jak łańcuchowa. Klocki, które przy przekładni łańcuchowej odchodzą same od kół po skończeniu hamowania, muszą tu być odciągane działaniem korby. Oba te rodzaje są równie rozpowszechnione, w ostatnich jednak czasach zaczyna przeważać przekładnia łańcuchowa, a to wobec ogólnego wprowadzenia hamulców mechanicznych i wynikającego z tego zmniejszenia przekładni ręcznych.

Klocki mogą być stosowane po jednym lub po dwa na koło, skutkiem czego powstają hamulce cztero- i ośmio-klockowe (przy wozach cztero-osowych).¹

Przy osiach nastawianych muszą oczywiście być stosowane hamulce ośmio-klockowe, gdyż jednostronny nacisk klocka przesuwałby oś.

Hamulce cztero-klockowe oddziałują na sprężyny podwozia, a te ze swej strony na siłę hamującą *S*; oddziaływanie to zwiększa się skut-



Rys. 275.

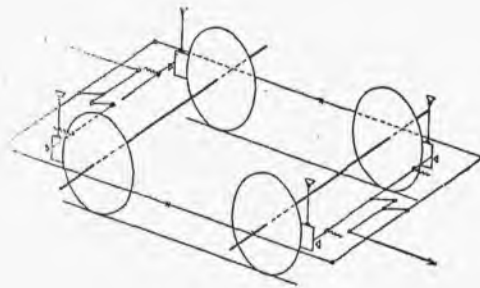
kiem ruchów pionowych podwozia względem osi (zmiana wzajemnego położenia klocków i kół i odległości między nimi). Odziaływanie staje się najmniejsze, kiedy klocek ustawiony jest nieco wyżej środka koła.

Bardzo ważnem jest, aby ciśnienie było jednakowe na wszystkie koła; jeżeliby n. p. klocki naciskały z jednej strony wozu więcej, jak z drugiej, to mogłoby to wywołać powstanie anormalnych ciśnień w łożyskach; w razie silniejszego ciśnienia na jedną parę kół, jak na drugą, mogłyby powstać szkodliwe ślizgania się bardziej naciśniętych kół.

Przekładnia hamulcowa składa się, oprócz korby i jej wału oraz łańcucha, względnie śruby, z szeregu dźwigni, połączonych ze sobą drążkami lub ścięgnowami i musi być tak urządzona, aby hamulec mógł być obsługiwany z obu końców wozu. Umieszczenie tych dźwigni, drążków i ścięgien utrudniają znacznie znajdujące się pod wozem motory.

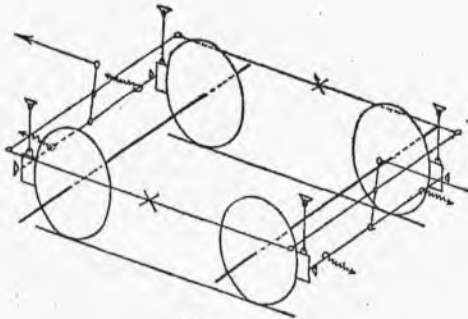
Szemat przekładni dla hamulców cztero-klockowych widzimy na rys. 276-ym i 277-ym, dla ośmio-klockowych na rys. 278-ym i 279-ym

Wobec ścierania się tak klocków, jak i obręczy, musi być dana możliwość nastawiania hamulców, czyli regulowania odległości między klockami a kołami. Odległość ta, przy rozluźnionym hamulcu, nie może być zbyt mała, gdyż w takim razie najmniejsze zanieczyszczenie powoduje tarcie i hamowanie, ani zbyt wielką, gdyż wtedy hamujący musiałby wykonywać zbyt wielki ruch korbą lub dźwignią zanim hamulce działać zaczęły. Zwykle należy przeprowadzać takie regulowanie co najmniej raz dziennie; przekładnia więc winna być tak urządzona, aby miejsca, w których uskutecznia się to regulowanie, były



Rys. 276.

łatwo dostępne, a regulowanie możliwie ułatwione.



Rys. 277.

Często spotyka się przepisy, wymagające żeby siła naciskania klocków S była równa wadze przyczepności wozu W' (przy hamowaniu wszystkich kół = wadze wozu W .) Praktyka jednak wykazała, iż siła taka jest zbyt wielka i raczej nawet szkodliwa, gdyż spowoduje łatwo zatrzymanie kół.

Toteż czyni się zwykle w nowszych czasach S równe 60%, a najwyższej 80% W' .

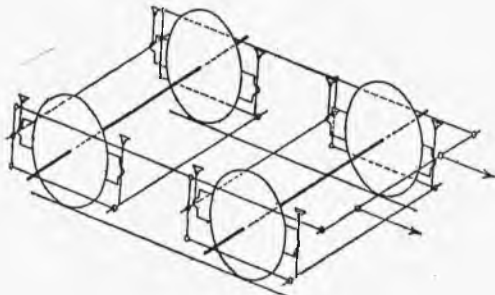
Siła, z jaką hamujący może działać na hamulec, jest oczywiście nader zmienna; praktyka wykazała, iż siła większa od 40 kg. zbytnio już męczy hamującego.

Jeżeli mamy n. p. wóz, wający wraz z obsadą 12 ton i obierzemy $S = 0,7 W$, t. j. 8400 kg., to należałoby zastosować przekładnię:

$$\frac{8400}{40} = 210.$$

Taka przekładnia byłaby jednak praktycznie zbyt wielka, a to dlatego, iż hamujący musiałby wykonywać zbyt wielki ruch, nim hamulce działać zaczęły; ruch zaś taki wymaga zbyt wielkiego czasu.

Znaczenie szybkiego działania hamulca (t. j. czasu, jaki mija od chwili, kiedy hamujący zaczyna hamować, do chwili kiedy hamulce zaczynają działać) jest często niedoceniane, a jednak ma ono znaczenie może większe, jak siła hamowania.



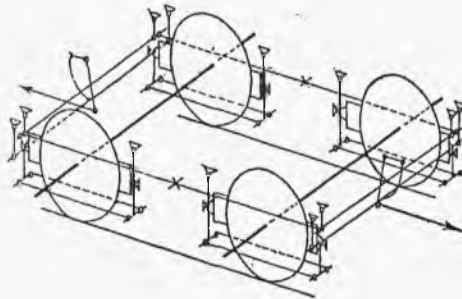
Rys. 279.

Jeżeliby hamulce mogły działać momentalnie, to wóz możnaby zatrzymać na przestrzeni:

$$l = \frac{1,2 \cdot \frac{10000 \cdot 6^2}{2 \cdot 9,81}}{10000 \cdot 0,15} = 14,7 \text{ metrów.}$$

Jeżeli jednak między zaczęciem hamowania a działaniem hamulców mija np. 2 sekundy, to wóz w tym czasie przebiegnie 12 m., a zatem ogółem 26,7 m.

Jeżeliby hamulec taki zastąpić innym, pozwalającym rozwinąć tylko $S = 1200$ kg., ale działającym zato w 0,5 sek. to wóz zostałby zatrzymany po przebyciu:



Rys. 278.

Wyobraźmy sobie n. p., iż mamy zahamować wóz o wadze 10 ton, pędzący z prędkością 6 m. s. = 21,5 km/godz. przy $K = 1,2$ oraz współczynniku przy czepności = 0,15 (szyny posypane piaskiem). F maks. będzie = $10000 \cdot 0,15 = 1500$ kg.

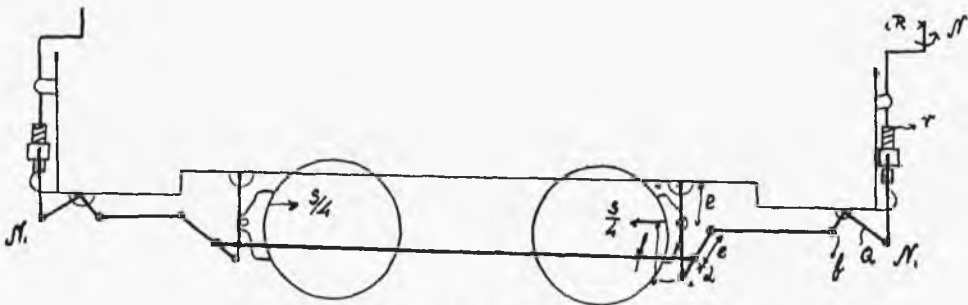
$$l = 0,5 \cdot 6 + 1,2 \cdot \frac{10000 \cdot 6^2}{\frac{2 \cdot 9,81}{1200}} = 3 + 19,4 = 22,4 \text{ m.},$$

a zatem na przestrzeni krótszej, pomimo słabszego działania hamulca.

Dla tego też unika się zwykle w praktyce zbyt wielkich przekładni, rzadko tylko przekraczając 1:150 a najwyżej 1:200.

Czas działania wynosi zwykle 1 — 1,5 sek.

Niech przy hamulcu śrubowym skok śruby będzie s , tarcie śruby μ , przy starannem utrzymaniu można przyjąć $\mu = 0,16$, siła nacisku klocków S , siła z jaką działa hamujący N ; w takim razie mamy dla hamulca, rys. 280-ty:



Rys. 280.

$$N_1 = \frac{N \cdot R}{r} \cdot \frac{2 \cdot r \cdot \pi - \mu \cdot S}{s + 2 \cdot r \cdot \pi \cdot \mu}, \quad S = N_1 \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{e+f}{e},$$

$$S = \frac{N \cdot R}{r} \cdot \frac{2 \cdot r \cdot \pi - \mu \cdot S}{s + 2 \cdot r \cdot \pi \cdot \mu} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{e+f}{e}.$$

Przy hamulcach łańcuchowych uważamy łańcuch, jako giętką linię, działającą na ramieniu $r + \frac{\delta}{2}$, przyczem $r =$ promieniowi bębna, na który nawija się łańcuch, a $\delta =$ grubości łańcucha.

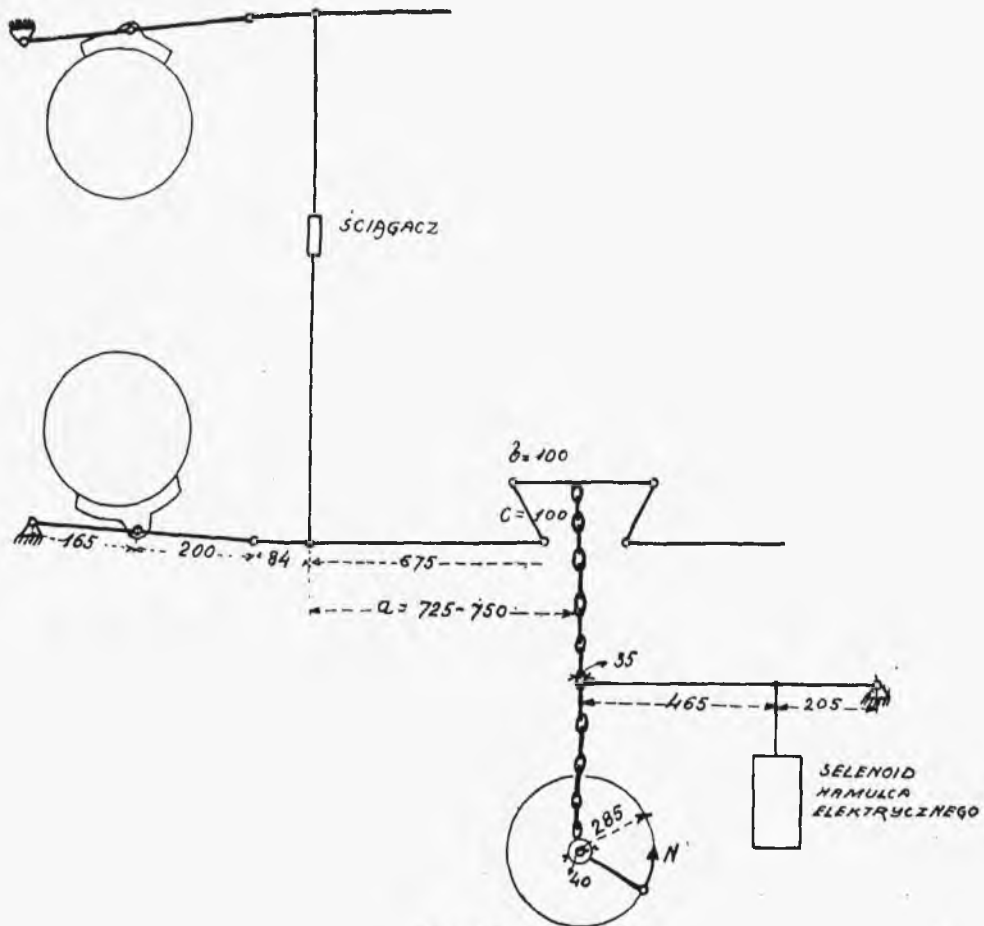
Dla szematu, rys. 281-szy, (przekładnia hamulców w Warszawie) mamy:

$$S = N \cdot \frac{285}{20 + \frac{35}{2}} \cdot \frac{725}{84} \cdot \frac{365}{165} = N \cdot 145$$

Wielkość a zmienia się w miarę przesunięcia dźwigni b i c i może osiągnąć wartości 750 mm.; w tym wypadku staje się $S = N \cdot 150$.

Mamy więc tu przekładnię 1:150.

Przy hamulcach śrubowych musi korba ręczna siedzieć nieruchomo na wale; korbę taką widzimy na rys. 282-gim. Przy hamulcach łańcuchowych natomiast łączy się zwykle korbę z wałem przy pomocy grze-



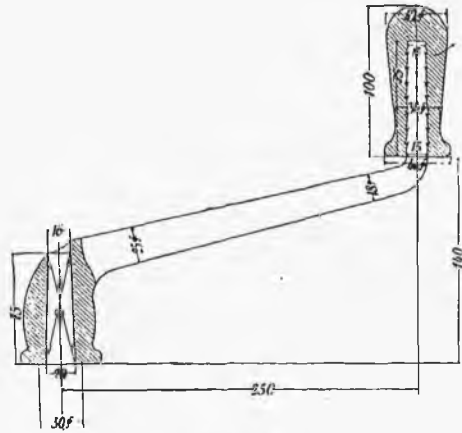
Rys. 281.

chotki, pozwalającej korbę ustawić w położeniu najdogodniejszym dla hamowania. Korbę taką widzimy na rys. 283-cim.

Zamiast korb stosowane bywają także dźwignie, jak na rys. 284-tym, lub wreszcie poziomo lub pionowo ustawione koła.

Wszystkie dźwignie i ściągače winny być mocne, aby uniknąć przegięć i wyciągania się; wszelkie czopy, wały i widła powiuny mieć dużą powierzchnię przylegania, aby możliwie zmniejszyć starcie i rozluźowanie.

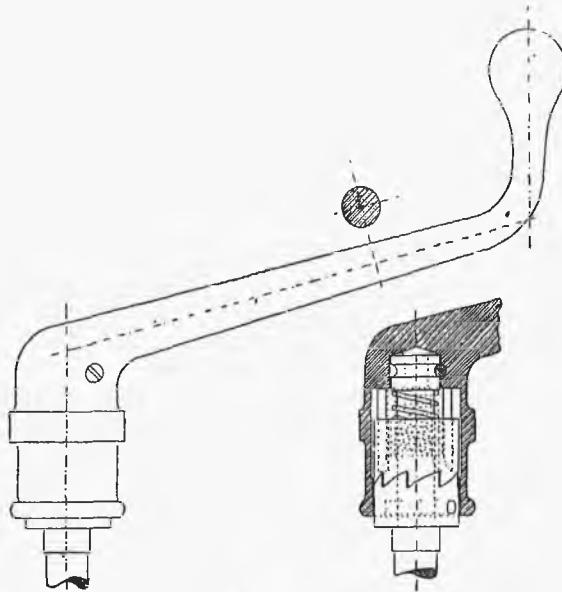
Wszelkie podkładki na przegubach są nieporządane, gdyż wywołują łatwo przy jeździe niemile dźwięczenie i chrzęszczenie; należy natomiast zabezpieczać zatyczkami wszelkie śruby i czopy. Części przekładni nie powinny być przeprowadzone zbyt blisko części stałych wozu, gdyż mogłyby również wywoływać dzwonienie i chrzęszczenie. Aby zapobiec spadaniu pod koła event. w czasie jazdy złamanych drążków, dobrze jest zabezpieczać dłuższe ścięgna przytwierdzonymi do podwozia i wyłożonymi skórą chomontami. Do nastawiania i regulowania całej przekładni służą najlepiej doprężniki (podwójne śruby).



Rys. 282.

Klocki odlewane bywają z żelaza lanego; nie powinny one być ani zbyt miękkie, aby się zbyt łatwo ścierały, ani naodwrot zbyt twarde, aby zbyt łatwo zdzierały obręczy; twardość przeto i gatunek odlewu należy każdorazowo dostosować do gatunku obręczy.

Wał korbowy zaopatrzone u dołu w kółko wychwytowe, w które zachodzi umocowany na podłodze wychwyt (piesek). Wychwyt ten może matorniczy przestawiać nogą; po zasunięciu zabezpiecza wychwyt wał hamulcowy od obrotu w kierunku rozluźnienia klocków, utrzymuje więc hamulec zaciśniętym aż do chwili odzrucenia go w przeciwne położenie.

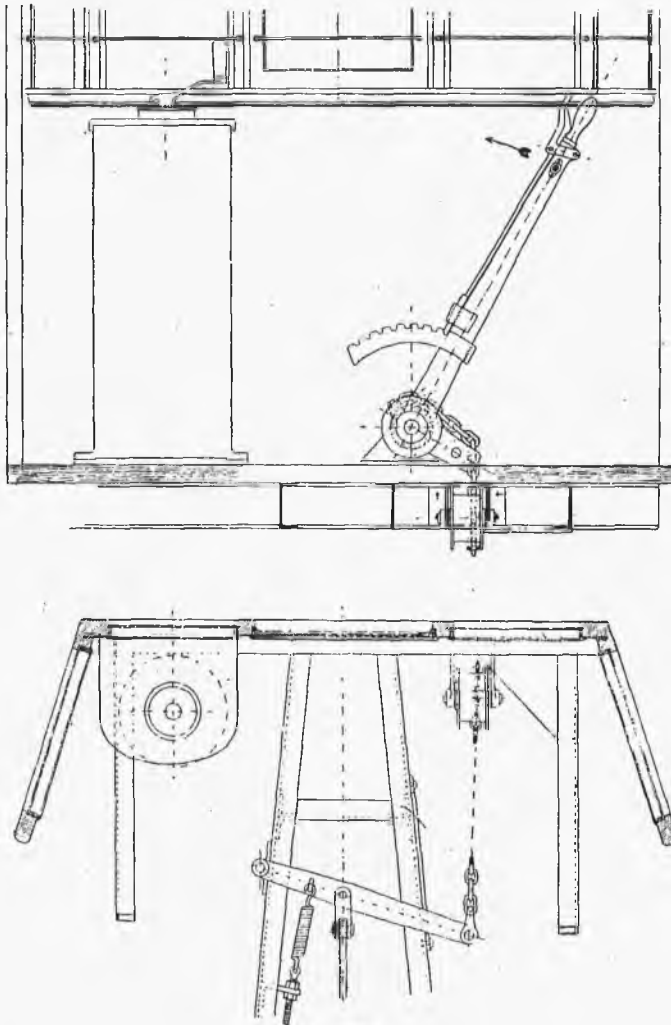


Rys. 283.

b) *Hamulce szynowe.* Hamulce te polegają na tem, iż do szyn, zwykle między kołami, przyciska się odpowiednie klocki. Klocki te mogą też być ukształtowane jako kliny; zawieszenie pozwala wtedy na

powien ich ruch w kierunku osi podłużnej wozu. Po opuszczeniu klocków i przyciśnięciu ich do szyn, zatrzymują się one skutkiem tarcia, poczem tylne koła wjeżdżają na kliny wzmagając ciśnienie. Mamy wtedy hamulec szynowo-klinowy.

Hamulce szynowe mechaniczne, aczkolwiek jeszcze gdzieś stosowane, polegają na zupełnie fałszywej zasadzie. Zwykle, t. j. czysto



Rys. 284.

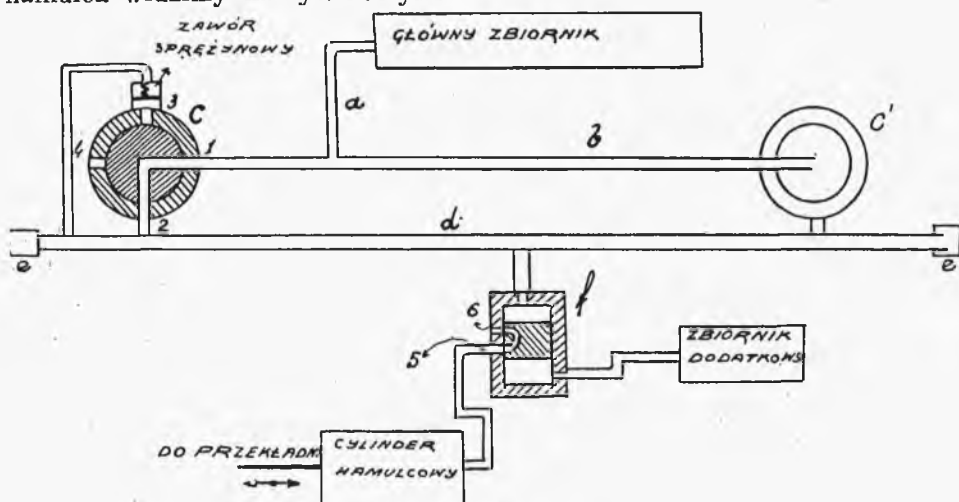
szynowe hamulce, źle działają na łukach, nie trafiając tu dobrze na szynę, o ile zaś są połączone z innym hamulcem n. p. kołowym, to osłabiają jego działanie zmniejszając siłę przyczepności o siłę, z jaką są do szyn

przyciskane. Hamulce szynowo-klinowe znowu zatrzymują koła, zastępują więc spólczynnik przyczepności, mniejszym spólczynnikiem ślizgania. Wprawdzie większa powierzchnia przylegania klocków do szyn może wywoływać skutkiem nierówności częściowe zaklinowania i powodować temsamem szybkie zatrzymania, ale są to skutki czysto przypadkowe, a przeto zawsze niepewne.

11) **Hamulce pneumatyczne.** Siła ręki zastąpiona zostaje siłą sprężonego lub rozprężonego powietrza. Klocki i cała przekładnia pozostają te same, jak przy hamulcach ręcznych, z tą tylko różnicą, iż przekładnia zostaje zmniejszona wobec większej siły działającej na hamowanie. Na przekładnię działa tłok cylindra poruszony ciśnieniem powietrza.

Przy wielkiej różnorodności wykonania rozróżniamy dwa zasadnicze rodzaje hamulców pneumatycznych, a mianowicie hamulce samoczynne (automatyczne) i niesamoczynne.

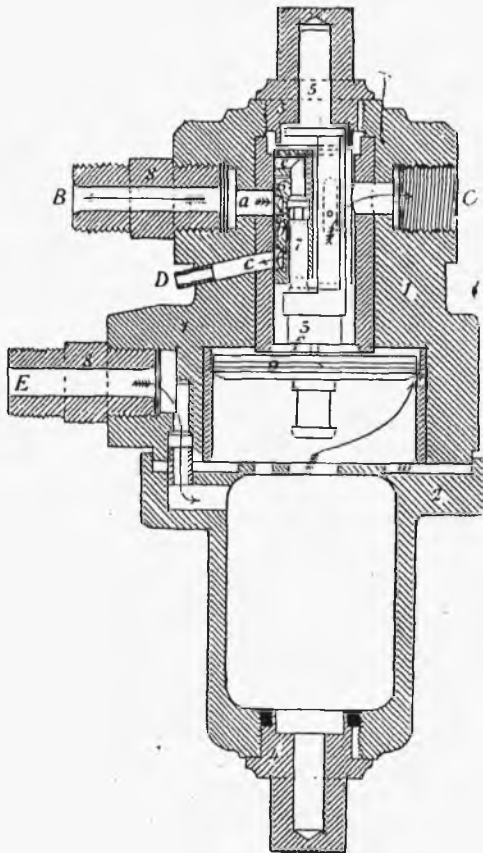
a) *Hamulce samoczynne.* Hamulce te tem się odznaczają, że działają one samoczynnie w razie utworzenia się jakiegobądź nieszczelności w przewodach powietrznych, a także w razie oderwania się od pociągu jakiego wozu. Tym sposobem dają one samoczynnie znać o wszelkiej niesprawności swojej. Pierwowzorem tych hamulców jest szeroko rozpowszechniony i ogólnie znany hamulec **Westinghousa**. Schemat tego hamulca widzimy na rys. 285-ym.



Rys. 285.

Powietrze sprężone dostaje się z głównego zbiornika przez rurę *a* do rury *b*, biegnącej wzdłuż całego wozu i zakończonej na każdym z pomostów t. n. zaworem roboczym *c'*. Zawór ten ma trzy położenia: w położeniu I (jak na szemacie) łączy on przez wyżłobiony w jego rdzeniu kanał otwory 1 i 2, skutkiem czego napęlnia powietrzem sprę-

żonem przewód *d*. Przewód ten biegnie również przez cały wóz i zaopatrzony jest na swych końcach w łączniki *e e*, pozwalające na przyłączenie przewodów wozów doczepnych. Z przewodem *d* połączony jest zawór *f*; jeżeli w przewodzie *d* panuje ciśnienie, równe ciśnieniu w zbiorniku dodatkowym, to tłok zaworu *f* utrzymuje się w równowadze, cylinder zaś hamulcowy połączony jest przez otwory 5, 6 i kanalik w tłoku wentyla z atmosferą zewnętrzną; skoro jednak ciśnienie w *d* z jakiegobądź powodu zmniejszy się, to przeważa ciśnienie zbiornika dodatkowego, zawór *f* przesuwa się ku górze i temsamem oddziela wnętrze cylindra od atmosfery zewnętrznej, łącząc je równocześnie ze zbiornikiem dodatkowym; sprężone powietrze przesuwa tłok i zaciska klocki, powodując hamowanie. W położeniu II łączy kanał zaworu roboczego 1 z 3; od 3 prowadzi dodatkowy przewód do *d*: w przewodzie tym znajduje się zawór sprężynowy, który przepuszcza małe ilości powietrza sprężonego ze zbiornika głównego, uzupełniając w ten sposób zawartość powietrza w głównym kanale, gdzie zawsze są pewne straty skutkiem nieszczelności. W tem położeniu winien stać zawór w czasie jazdy. Dla hamowania przedstawia się zawór w położenie III, w którym kanał łączy 2 z 4; powietrze sprężone uchodzi z przewodu *d* na zewnątrz otworem 4, ciśnienie w zbiorniku dodatkowym przeważa i przestawia zawór *f*, który otwierając dostęp do cylindra hamulcowego powoduje hamowanie.



Rys. 286.

Zbiornik dodatkowy i zawór *f* znajdują się na każdym wozie doczepnym; wozy te mają oprócz tego specjalne kraniki przy pomocy których konduktorzy mogą w razie potrzeby wypuścić powietrze z przewodów *d* i spowodować zahamowanie pociągu.

Przekrój zaworu *f* widzimy na rys. 286-ym.

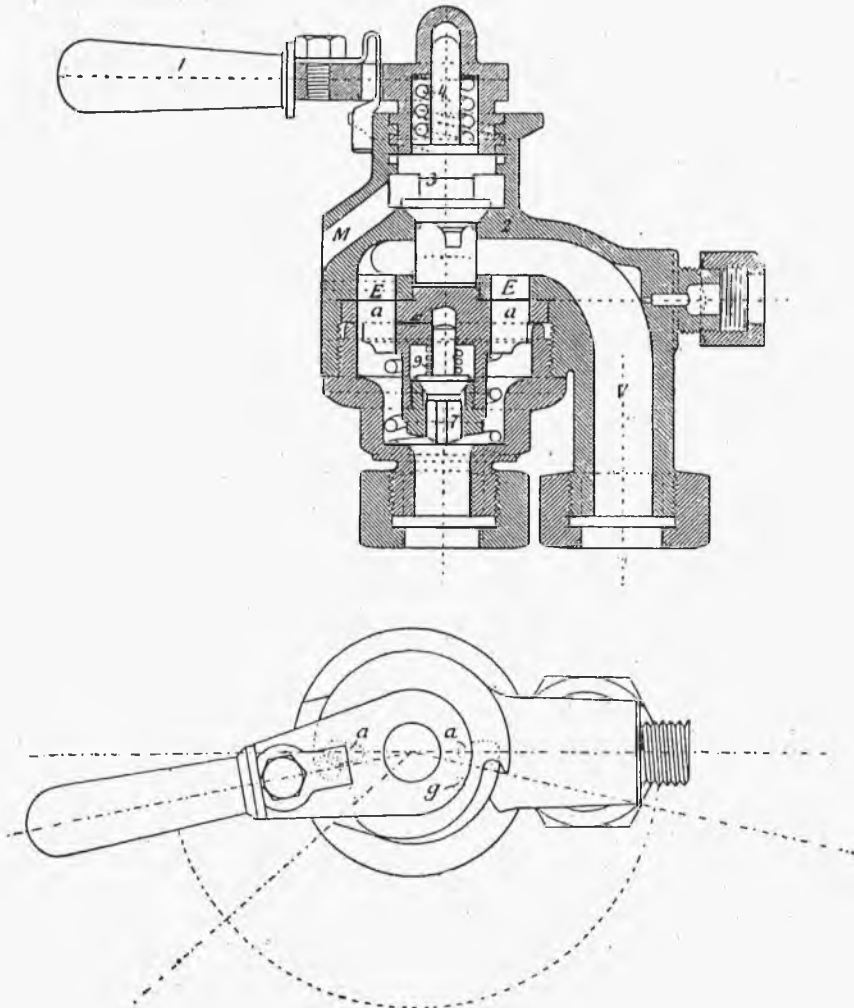
W korpusie zaworu 1 znajduje się tłok 9 5 oraz suwak 6; w narysowanym położeniu zamyka ten suwak kanał *a*, prowadzący do cylindra hamulcowego, łącząc równocześnie ten ostatni przez kanały *b* i *c* z atmosferą zewnętrzną. Kanał *b* wywiercony jest w ścianie suwaka. Sprężone powietrze głównego przewodu podnosi tłok ku górze i wypływa przez *d*, *f*, *C* do zbiornika dodatkowego. Hamulec jest w tem położeniu odhamowany. W razie zmniejszenia się ciśnienia w przewodzie głównym, przesuwa ciśnienie zbiornika dodatkowego tłok ku dołowi, przez co odłącza zbiornik dodatkowy od przewodu głównego *F* (zamykając *d*, *f*), zamyka połączenie cylindra z atmosferą i otwiera przejście ze zbiornika dodatkowego do niego, skutkiem czego zaciska się hamulec. Mały zawór 7 służy do regulowania siły hamowania. Przy małym zmniejszeniu ciśnienia w przewodzie głównym opada tłok 9 5 nieco ku dołowi, nie pociągając na razie suwaka 6 ze sobą, i zamyka wyżłobienie *d*, oraz otwiera zawór 7; skutkiem tego może powietrze sprężone przedostać się ze zbiornika dodatkowego do kanału *e*; przy dalszem opadaniu tłok pociąga za sobą suwak tak, iż *e* trafia na otwór *a*; sprężone powietrze dostaje się teraz przez *C*, wewnątrz suwaka, *e*, *a*, *B* do cylindra hamulcowego. Skutkiem jednak przejścia powietrza sprężonego do cylindra zmniejsza się ciśnienie nad tłokiem 9 5 tak, iż ten ostatni dalej nie opada.

Skoro tylko ciśnienie w zbiorniku dodatkowym stanie się mniejsze od ciśnienia w przewodzie głównym, to tłok podnosi się znowu i zamyka 7 pozostawiając jednak suwak w jego położeniu. W razie dalszego zmniejszenia się ciśnienia w przewodzie głównym powtarza się gra tłoka i zaworu 7. Tym sposobem daje się osiągnąć dowolne stopniowanie ciśnienia w cylindrze hamulcowym, a temsamem i siły hamowania. Jeżeli ciśnienie w przewodzie głównym zmniejsza się szybko, to tłok odrazu opada aż do podkładki skórzanej 10 tak, iż kanał *a*, który ma znacznie większy przekrój jak *e* całkowicie się otwiera, a sprężone powietrze swobodnie przedostaje się do cylindra hamulcowego powodując silne hamowanie.

Ażeby małe nieszczelności w przewodach nie powodowały hamowania, jest przewiercony w ścianie suwaka poniżej *e* mały otwór; jeżeli skutkiem małych nieszczelności ciśnienie pod tłokiem się zmniejsza, to opada on wraz z suwakiem bardzo wolno; ponieważ jednak z początku *a* połączone jest tak przez *b* i *e* z zewnętrzną atmosferą, jak i z tym małym otworem, to powietrze ze zbiornika dodatkowego nie napędza cylindra, lecz uchodzi powoli przez ten otwór na zewnątrz, zmniejszając temsamem ciśnienie nad tłokiem, który powraca do swego pierwotnego położenia.

Na rys. 287-ym widzimy przekrój zaworu roboczego.

Rączka 1 ma nasadkę z gwintem za pomocą którego jest wkręcona w korpus 2. Przez to ściska się sprężyna 4, której naprężenie obciąża zawór 3. Zawór ten ma dwa płaskie skrzydełka, zachodzące jedno w odpowiednie wycięcie śruby rączki, drugie w szczelinę obrotowego



Rys. 287.

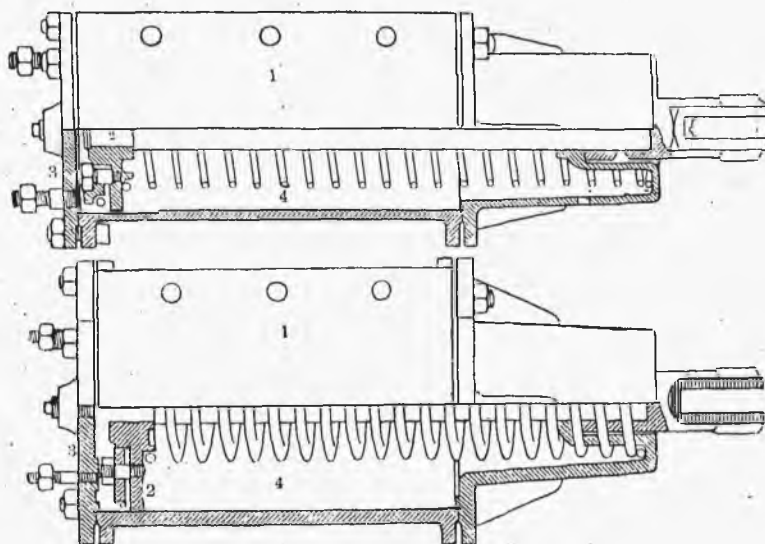
suwaka 6. Każde przeto obrócenie rączki przenosi się na zawór 3 i suwak 6.

Rączka 1 ma trzy położenia:

W położeniu I, jak na rysunku, otwory *a a* suwaka 6 trafiają na otwory *E E* w korpusie zaworu tak, iż sprężone powietrze ze zbiornika głównego przechodzi do przewodu głównego, podnosi tłok zaworu *f*

i odciąga klocki od kół napędzając równocześnie dodatkowe zbiorniki całego pociągu.

W położeniu II, jestto położenie, w jakim winna znajdować się rączka w czasie jazdy, jest bezpośrednie połączenie zbiornika głównego z głównym przewodem przerwane, gdyż skutkiem przekręcenia suwaka 6 otwory *a a* nie trafiają już na otwory *E E*. Mały jednak otwór *G* w suwaku stoi teraz nawprost otworu *E*, powietrze więc ze zbiornika głównego może przedostawać się przez zawór 7, otwór *G*, *E*, *V*, do przewodu głównego, uzupełniając drobne straty wynikłe skutkiem nie szczelności. Sprężyna 9 przyciska zawór 7 z siłą około 0,75 atmosfery tak, iż ciśnienie w zbiorniku głównym jest zawsze o jakie 0,75 atm. większe, niż w przewodzie głównym.



Rys. 288.

Przekrój cylindra hamulcowego.

Jeżeli rączka zostanie przesunięta nieco poza położenie II, to zamykają się wszelkie otwory zaworu, a przewód główny oddziela się zupełnie od zbiornika. Przy dalszem przesunięciu zmniejsza się naprężenie sprężyny 4-ej o tyle, iż sprężone powietrze przewodu głównego zaczyna podnosić wentyl 3 i uchodzić przez *M* na zewnątrz. Spowodowane tem zmniejszenie ciśnienia wywołuje hamowanie.

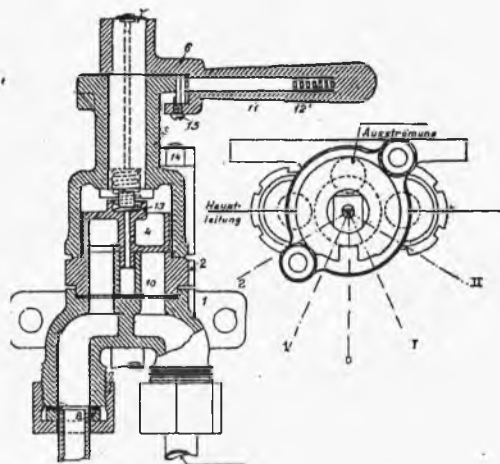
Wreszcie w położeniu III sprężyna 4 jest zupełnie rozluźniona i powietrze uchodzi szybko z przewodu głównego na zewnątrz, powodując gwałtowne hamowanie. Aby motorniczy wypadkowo nie pozosta-

wił rączki w położeniu I, zrobiony jest pod *M* mały otworek, przez który sprężone powietrze tak długo ze świstem uchodzi, aż rączka zostanie przesunięta w położenie II.

Tłok 2, połączony z przekładnią hamulcową, przesuwa sprężone powietrze, wchodzące przez otwór 3; przytem zostaje ściśnięta sprężyna 4, która, po ustaniu dopływu powietrza, przesuwa tłok napowrót w jego pierwotne położenie, odcinając tem samym hamulce od kół.

Z opisu tego widzimy, iż hamulec automatyczny jest mechanizmem nader złożonym, ze znaczną ilością bardzo delikatnych części, wymagających starannego utrzymania, aby hamulec rzeczywiście dobrze działał.

b) *Hamulce niesamoczynne.* Hamulce te są znacznie prostsze od samoczynnych; przesunięciem rączki wprowadza motorniczy bezpośrednio więcej lub mniej powietrza sprężonego do cylindra hamulcowego, powodując słabsze lub silniejsze hamowanie.



Rys. 289.

Zawór roboczy systemu Christensen.

W położeniu „O” zamknięte są wszelkie otwory; zbiornik powietrza i przewód główny napełnione są powietrzem sprężonym.

W położeniu „I” dostaje się sprężone powietrze powoli do cylindra hamulcowego tak, iż hamulec zaciska się stopniowo; skoro tylko osiągnięta została żądana siła hamowania, należy rączkę znowu przestawić w położenie „O”.

W położeniu „II” sprężone powietrze przechodzi

swobodnie do cylindra i następuje najsilniejsze zahamowanie. Jeżeli teraz powrócić do położenia „O”, to hamulec zostaje zaciśnięty

W położeniu „2” przewód główny i cylinder połączone są z atmosferą zewnętrzną, następuje więc odhamowanie.

Jak widzimy, niema przy tym hamulcu ani zbiornika dodatkowego, ani nader skomplikowanego i delikatnego zaworu *f*.

Hamulec samoczynny działa, jak widzieliśmy, tak w razie rozerwania się pociągu, jako też powstania większych nieszczelności. Jeżeli taka nieszczelność powstanie w drodze, w czasie jazdy, to pociąg staje; jeżeli

tej nieszczelności wykryć się nie uda, to, aby umożliwić dalszą jazdę, należy wyłączyć hamulce wszystkich wozów, poczynając od motorowego aż do miejsca uszkodzenia.

Przy hamulcu nie samoczynnym prowadzący pociąg nie zauważy wprawdzie odrazu uszkodzenia, ale wnet je spostrzeże przy pierwszym hamowaniu; wystarczy wtedy odłączyć hamulec wozu, w którym powstała nieszczelność, poczem wszystkie pozostałe działają znowu prawidłowo.

Wynika z tego, iż dla tramwajów o krótkich pociągach, złożonych najwyżej z 3 wozów, biegnących z umiarkowaną prędkością odpowiedniejszy będzie prostszy i łatwiejszy do utrzymania hamulec niesamoczynny, podczas kiedy dla kolei i kolejek podmiejskich, o dłuższych pociągach, większej prędkości i rzadszych przystankach, lepszy jest hamulec samoczynny.

Zbiorniki główne mogą być napełniane powietrzem na stacjach krańcowych lub też w czasie jazdy. W pierwszym wypadku muszą one być większe; w drugim wystarczają mniejsze zbiorniki. Odpowiednie pompy muszą wtedy być umieszczone na elektrowozach. Pompy takie mogą być poruszane n. p. przy pomocy mimośrodów (ekscentryków), łańcuchów lub kół zębatych przez oś wozu, wtedy działać mogą oczywiście tylko w czasie biegu pociągu, lub też przez oddzielne elektromotory, co czyni je niezależnymi od biegu wozu. Ostatni ten napęd jest przeto odpowiedniejszy dla kolei o gęstych przystankach.

Szczegółowe opisywanie różnych systemów pomp i ich napędów oraz rozmaitych systemów hamulców, jak n. p. hamulca automatycznego Christensena, W. Schmida i innych nie wchodzi w zakres niniejszego dzieła tembardziej, że różnią się one od wyżej opisanych tylko szczegółami wykonania, polegając zresztą zawsze na tej samej zasadzie.

Odmienny jest nieco hamulec samoczynny W. Schmida. Przy tym hamulcu niema wcale zaworu F ; zastępuje go wężykowata sprężyna, przyciskająca klocki do kół; jeżeli przewód główny napełniony jest powietrzem sprężonym, to sprężyna zostaje ściśnięta, a klocki od kół odciągnięte; w razie nieszczelności przeważa siła sprężyny i hamulec działa zaczyna. Hamując działa tu więc już nie ciśnienie powietrza, lecz sprężyny, jest to zatem już raczej hamulec sprężynowo-pneumatyczny. Sprężyna umieszczona jest w samym cylindrze hamulcowym.

12) Hamulce elektryczne. Jak ogólnie wiadomo, motory elektryczne dają się zamieniać na prądnice, t. j. mogą one zamiast przetwarzać energję elektryczną na mechaniczną, naodwrot — przetwarzać pracę mechaniczną na elektryczną. Jeżeli więc w wozie, biegnącym z rozpędu po odłączeniu motorów od sieci, zewrzeć obwód motorów, to zaczną one

wytwarzać prąd i będą hamowały wóz, zużywając pracę. Prąd wytworzony w motorach można n. p. zamieniać w opornikach na ciepło.

Na zasadzie tej polega t. zw. hamulec na krótkie zwarcie. Hamulec taki jest nader prosty, nie wymaga bowiem żadnych dodatkowych mechanizmów, oprócz dodania odpowiednich połączeń w regulatorze. Hamulec na krótkie zwarcie, w przeciwieństwie do wszelkich innych hamulców, nie działa bezpośrednio na zwiększenie oporu trąkcyj F , lecz wprowadza w równanie hamowania:

$$F \cdot l = K \cdot \frac{W}{2 \cdot g} \cdot v^2 \text{ nową siłę.}$$

Jeżeli motor lub motory elektrowozu wytwarzają w nieskończenie małym czasie $P dt$ $Kg \cdot m$, a współczynnik sprawności ich będzie η , to w czasie T , jaki upłynie od początku hamowania do zatrzymania wozu, zużyją one:

$$\int_0^T \frac{P dt}{g \cdot \eta} \text{ kilogramo-metrów.}$$

Mamy więc:

$$F \cdot l = K \cdot \frac{W}{2 \cdot g} \cdot v^2 - \int_0^T \frac{P dt}{g \cdot \eta},$$

a stąd drogę l , przebytą do zatrzymania:

$$l = \frac{K \cdot \frac{W}{2g} \cdot v^2 - \int_0^T \frac{P dt}{g \cdot \eta}}{F}.$$

Ponieważ zwiększenie wartości wyrazu $\int_0^T \frac{P dt}{g \cdot \eta}$ jest dla zmniejszenia l daleko skuteczniejsze, jak zwiększenie F , przeto hamulce elektryczne muszą już zasadniczo działać energiczniej od wszelkich innych *).

*) Wóz o wadze 10000 kg., biegnący z prędkością 6 m. s., będziemy w możności zatrzymać hamulcem ręcznym klockowym na szynach posypanych piaskiem, przy współczynniku tarcia kół = 0,15, przyjmując $K = 1,2$ na przestrzeni:

$$l = \frac{1,2 \cdot 10000 \cdot 6^2}{2 \cdot 9,81} = 14,7 \text{ metrów.}$$

1500

Oczywiście, że i przy tych hamulcach musi $W'.a$ stanowić granicę, gdyż gdyby prąd wytworzony przez motory wzrósł tak dalece, iż moment obrotowy na obwodzie kół stałby się większy, jak $W'.a$, to koła natychmiastowo stanęłyby musiały. Z chwilą jednak zatrzymania kół ustaje i siła elektrobodźcza motorów, a z nią i prąd hamujący, koła więc natychmiast znowu zaczynają się obracać. Zjawisko to stanowi jedną z głównych zalet hamulców elektrycznych, niebezpieczeństwo bowiem sunięcia wozu na zahamowanych kołach jest zupełnie wyłączone. Nawet częściowe ślizganie się kół powoduje natychmiast zmniejszenie prądu hamującego. Siła hamowania dostosowuje się sama ściśle do każdorazowej siły przyczepności i wynosić może, zwłaszcza z początku hamowania, kiedy wóz posiada jeszcze dostateczną prędkość, dokładnie to maksimum, na jakie pozwala waga wozu, stan szyn i t. p. Takie dostosowanie jest przy wszelkich innych hamulcach zupełnie niemożliwe wobec zmienności współczynników przyczepności i ślizgania, a także zależnej od obsady większej lub mniejszej wagi pociągu. Jak to więc już wspomniano, należy przy hamulcach nieelektrycznych utrzymywać zawsze siłę hamującą mniejszą aniżeli by nato pozwalała przyczepność. Aczkolwiek więc teoretycznie można wszelkim hamulcem wyrzucić największą możliwie siłę hamującą, czyli zatrzymać wóz na jednakowej prze-

Wykresy odpowiednich motorów pokazują, iż sile pociągowej 1500 kg. na obwodzie kół odpowiada natężenie prądu 74 amp. na motor przy dwu motorach, a zatem razem 148 amp. Przy prędkości 6 m. s. wytworzą motory w pierwszej chwili przeszło 500 voltów napięcia; jeżeli przyjmiemy, iż prąd pozostanie stały (skutkiem wyłączania oporów), a napięcie wyniesie średnio 350 voltów, współczynnik zaś sprawności jest = 0,85, to:

$$\int_0^T \frac{P dt}{g \cdot \eta} = 6200 T,$$

a zatem:

$$l = \frac{1,2 \cdot 10000 \cdot 6^2}{2 \cdot 9,81} - 6200 \cdot T \cdot F.$$

Przyjmując dalej $F = 120$, t. j. normalnemu oporowi trakcji, otrzymamy:

$$\frac{1,2 \cdot 10000 \cdot 6^2}{2 \cdot 9,81} = 6200 T + 120 \cdot l.$$

Jeżeliby prędkość zmniejszała się jednostajnie, mielibyśmy:

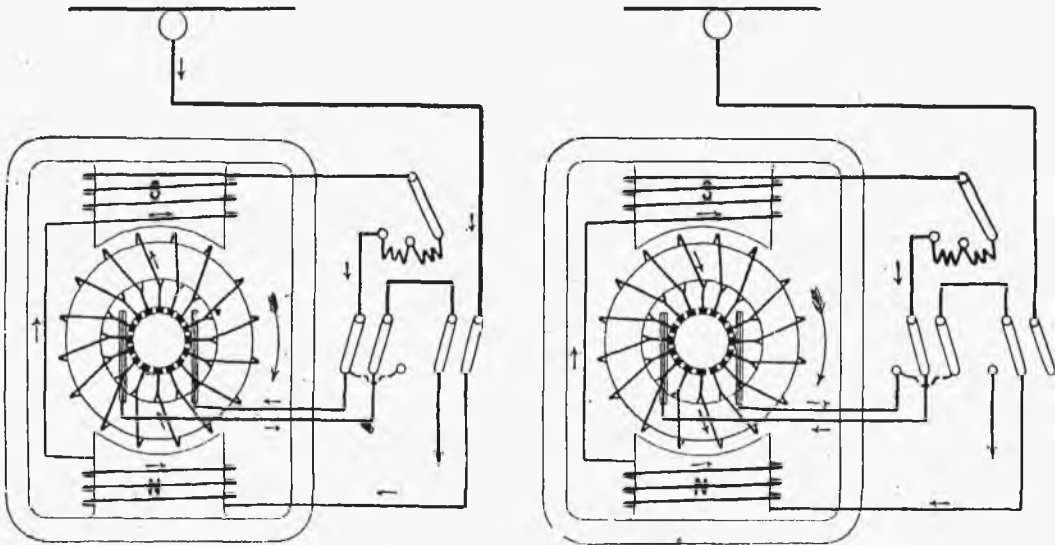
$$l = \frac{v}{2} T, \text{ czyli } T = \frac{2l}{v};$$

$$\frac{1,2 \cdot 10000 \cdot 6^2}{2 \cdot 9,81} = \frac{12400}{6} \cdot l + 120 l = 2186 l;$$

$$l = 10,2 \text{ metra.}$$

strzeni, niezależnie od systemu hamulca, to jednak praktycznie tak nie jest i hamulec elektryczny działać będzie i z tego powodu energiczniej.

Jeśli przy szybkim biegu wozu zamknąć obwód motorów na krótko, t. j. bez włączenia w takowy dodatkowych oporów, to skutkiem wielkiej ilości obrotów powstałoby tak wielki prąd i wysokie napięcie, iż uzwojenia motorów mogłyby łatwo uleść uszkodzeniu. Wobec tego włącza się zawsze w obwód motorów oporniki, które się następnie stopniowo wyłącza, w miarę zmniejszania się prędkości. Jako opory służą zwykle oporniki używane do ruszania, włączanie zaś ich i wyłączenie, jak również zamykanie obwodu hamującego dokonywa się przy pomocy regulatora, który w tym celu zaopatrzony zostaje w specjalne kontakty hamulcowe (zwykle 3—5). Ostatni kontakt odpowiada krótkiemu zwarciu motorów. Daje to możliwość regulowania siły hamowania stosownie do potrzeby.



Rys. 290.

Motor szeregowy prądu stałego, pędzony przez koła i przekładnię w tymże kierunku, w jakim obracał się pod wpływem prądu, wytwarza, zamieniwszy się na prądnicę, siłę elektrobodźczą przeciwną tej, która nań działała, jako na motor; powstający więc przy zamknięciu obwodu prąd płynie w kierunku przeciwnym do prądu, jaki płynął przez motor. Taki prąd rozmagnetyzowałby magnesy, które mogłyby skutkiem tego stracić magnetyzm szczątkowy i nie wzbudzić motoru pracującego jako dynamo. Dla uniknięcia tego należy zawsze przy hamowaniu skrzyżować połączenia między twornikiem a magnesami, jak na szkicu, rys. 290-ty.

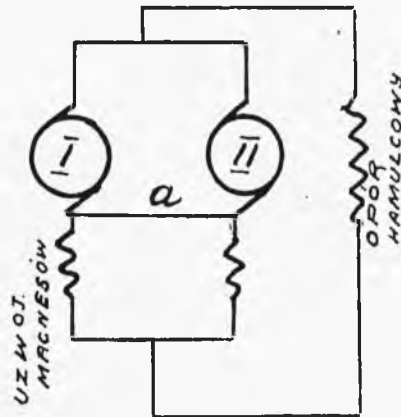
W pierwszej chwili działa magnetyzm szczątkowy, wzbudzając małą siłę elektrobodźczą; powstający prąd wzmacnia pole magnetyczne, siła elektrobodźcza zwiększa się, prąd rośnie wzmacniając dalej pole magnetyczne i t. d.

W motorach bocznikowych nie zmienia się kierunek prądu w magnesach przy zmianie kierunku prądu w twornikach, takie więc przełączanie jest tu zbędne. Przy jeździe z góry można motory bocznikowe nie odłączać od sieci; skoro tylko bowiem prędkość wozu przekroczy normalną prędkość motorów, to ich siła przeciwelektrobodźcza przewyższa siłę elektrobodźczą prądnicy na elektrowni, motory przekształcają się w prądnice i zaczynają oddawać prąd do sieci, hamując temsamem pociąg i nie pozwalając na dalsze zwiększenie prędkości.

Ścisłe obliczenia i próby praktyczne wykazały jednak, iż odzyskać można w ten sposób niewielką tylko część energii, czyli, iż odzyskiwanie energii, zwłaszcza przy tramwajach, daje tylko małą oszczędność. Że zaś, jak to już widzieliśmy, motory bocznikowe mają dla trakcji szereg poważnych braków, przeto odzyskiwanie energii przy prądzie stałym i tramwajach prawie nigdy nie bywa stosowane. Inaczej się rzecz ma przy kolejach; najnowsze doświadczenia pokazały, że aczkolwiek i tu nie odzyskiwuje się wiele energii, najwyżej jakie 10—15%, to zato osiąga się bardzo poważne inne korzyści, jako to: mniejsze starcie klocków hamulcowych, równiejszy bieg z góry, możliwość zastosowania większych prędkości przy jeździe z góry i t. p. Toteż bywa tu odzyskiwanie energii coraz bardziej stosowane, zwłaszcza naturalnie na kolejach o dużych pochyłościach. O sposobach takiego odzyskiwania pomówimy później, w dziale kolejowym.

Jeżeli w elektrowozie znajdują się dwa motory, to dla hamowania łączy się je zawsze równolegle, przy połączeniu szeregowem bowiem powodowałoby uszkodzenie jednego z motorów, połączeń lub przewodów, nie-działanie całego hamulca; przy połączeniu równoległym naodwrot może zawsze nieuszkodzony motor działać hamująco, niezależnie od uszkodzonego.

Niezbędne przytem jest połączenie między sobą uzwojeń magnetycznych przy *a*, rys. 291-szy. W braku takiego połączenia, gdyby przypadkowo, n. p. skutkiem uszkodzenia uzwojenia magnesów jednego z motorów, siła elektrobodźcza jego zmniejszyła



Rys. 291.

się, to motor ten otrzymałby prąd z drugiego, nie uszkodzonego motoru i zaczęłyby obracać się w kierunku przeciwnym, zmniejszając przez to znacznie siłę hamowania.

4 motory jednego wozu łączy się zwykle parami po dwa w szereg i dwie pary równolegle.

Przy bardzo wolnym biegu wozu staje się siła elektrobodźcza motorów tak mała, iż hamulec prawie zupełnie działać przestaje. Stanowi to bardzo poważną wadę hamulców na krótkie zwarcie. Niesłusznem jest jednak mniemanie, jakoby samym hamulcem na krótkie zwarcie wozu zatrzymać nie było można; prędkość, przy której hamulec prawie przestaje działać jest tak mała, iż zahamowany do tej prędkości elektrowóz bardzo prędko staje skutkiem oporu trącej. Na znaczniejszych jednak pochyłościach hamulcem takim wozu całkowicie zatrzymać nie można, a można tylko dowolnie zmniejszyć jego prędkość. Wobec tego nie może być wóz nigdy zaopatrzony w jeden tylko hamulec elektryczny, lecz musi zawsze mieć pozatem jeszcze drugi, pozwalający na pochyłości zatrzymać wóz zupełnie. Drugim tym hamulcem bywa zwykle hamulec ręczny. Potrzeba drugiego hamulca nie ma praktycznie wielkiego znaczenia, gdyż władze prawie zawsze wymagają zaopatrzenia wozów w dwa, niezależne od siebie hamulce.

Przy jeździe z góry odpowiada każdemu oporowi, włączonemu w obwód motorów na każdej pochyłości pewna ściśle określona prędkość, której wóz żadną miarą przekroczyć nie może.

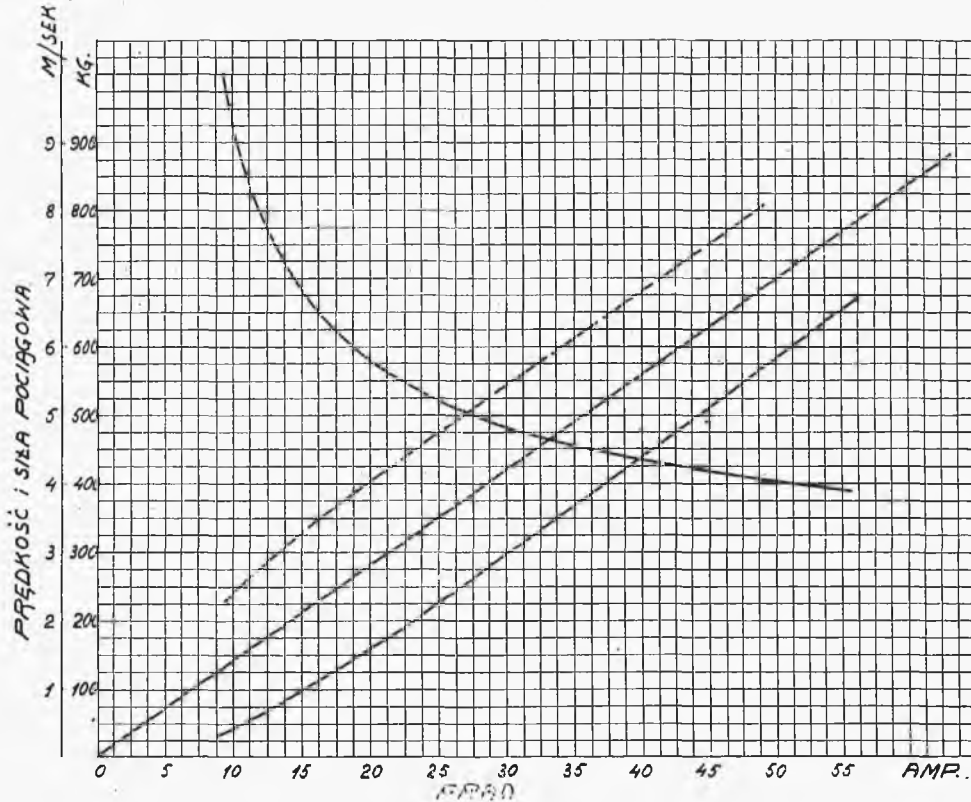
Wielkość poszczególnych oporów hamulcowych daje się obliczyć na podstawie krzywych charakterystycznych motoru. Obliczenie takie ma jednak znaczenie tylko dla linii z wielkimi i długimi pochyłościami, gdzie idzie o utrzymanie pewnej stałej prędkości. Dla hamowania na zatrzymanie byłoby takie obliczenie zupełnie bezcelowe, wobec wysoce zmiennych warunków, w jakich hamowanie to musi się odbywać. Jeżeli więc nie ma się do czynienia ze znaczniejszymi pochyłościami, to wielkość poszczególnych oporów najlepiej wypróbowuje się tak, aby przy normalnem hamowaniu nie dawały się odczuwać wstrząśnienia przy przechodzeniu z kontaktu na kontakt.

Wielkość oporu dla pierwszego kontaktu hamulcowego czyni się często równą oporowi pierwszego kontaktu jazdy; siła hamująca jest wtedy w przybliżeniu równa połowie siły pociągowej w chwili ruszania, co czyni hamowanie bardzo łagodnem; w razie potrzeby silniejszego hamowania przeskakuje się pierwsze kontakty. W tramwajach miejskich warszawskich n. p. są regulatory zaopatrzone w 5 kontaktów hamulcowych, którym odpowiadają następujące oporniki: 9,4 omy, 4,2 omy, 1,65 omów, 0,7 oma i 0 oma.

Wykres, rys. 292-gi, jest wykresem motoru, rys. 12-ty i 13-ty, tylko przerysowanym tak, iż jako rzędną mamy natężenie prądu, a jako odcięta

prędkość w metr. sek. i siłę pociągową na obwodzie kół przy przekładni 5,1 i średnicy kół 0,8 m.

Gdyby nie uwzględniać strat w żelazie ani strat, spowodowanych tarcieniem, to krzywa momentu obrotowego, a w danym wypadku siły pociągowej na obwodzie kół, zaczynałaby się przy 0 prądu i była linią prostą leżącą równoległe do prostej, którąby można w przybliżeniu zastąpić krzywą rzeczywistej siły pociągowej (krzywa ta jest bardzo do linii prostej zbliżona).



Rys. 292.

Linja ta idealnej siły pociągowej jest w szemacie rys. 292-go oznaczona. Różnica odciętych między dwoma linjami siły pociągowej jest sumą strat w motorze.

Kiedy motor staje się prądnicą, straty pozostają przy jednakowym prądzie w przybliżeniu jednakowe. Siłę przeto pociągową, jaką musi wyrzucić waga wozu (względnie jego siła żywa) na pochyłości, aby prądnica oddawała natężenie prądu oznaczone rzędną, znajdziemy, dodając do teoretycznej siły pociągowej dla danego prądu określone jak wyżej straty w motorze. Odznaczając więc od linii teoretycznej siły pociągowej

w górę różnice odciętych pomiędzy tą linią, a linią rzeczywistej siły pociągowej otrzymamy nową linię siły, jaką przy stałej prędkości wywiera waga wozu na różnych pochyłościach (na rys. 292-gim linia punktokreskowana).

Siła, z jaką działa waga wozu W , staczającego się z pochyłości i jest:

$$F' = W \cdot (i - r), \quad r = \text{opór trakcji}$$

Przy pomocy tego równania, oraz znalezionej linii łatwo już określić natężenie prądu odpowiadające każdej pochyłości.

Jeżeli n. p. $W = 12000$ kg., $r = 10$ kg. na tonnę, to dla $i = 50\%$ otrzymamy:

$F' = 12 \cdot (50 - 10) = 480$ kg., a ponieważ wóz zaopatrzony jest w dwa motory, przeto 240 kg., na motor. Z wykresu rys. 292-go widzimy, iż odpowiada to prądowi 10 amp. na motor, czyli ogółem 20 amp. Prędkość v' na danej pochyłości przy włączeniu danego oporu R znajdziemy łatwo, jako funkcję prędkości v , odpowiadającej temu prądowi, a zatem i wzbudzeniu, przy jeździe normalnej. Nie uwzględniając reakcji twornika mamy:

$$\frac{v'}{v} = \frac{(R + r) \cdot I}{E - r \cdot I} \quad \begin{array}{l} r = \text{opór motoru} \\ E = \text{napięcie sieci.} \end{array}$$

Dla 10 amp. mamy n. p. $v = 9,3$ metr. na sek.

Jeżeli więc chcemy utrzymać prędkość dajmy na to 4,5 m. s., t. j. 16,2 km/godz., a r wynosi 0,8 oma, $E = 550$ voltów, to:

$$\frac{4,5}{9,3} = \frac{(R + 0,8) \cdot 10}{550 - 0,8 \cdot 10}, \quad 10 \cdot R = \frac{4,5 \cdot (550 - 0,8 \cdot 10)}{9,3} - 8$$

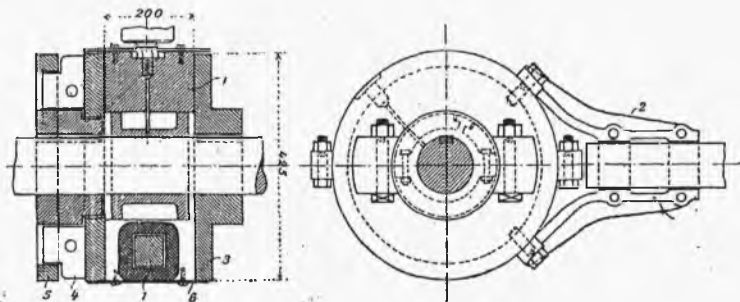
$R = 25,4$ omy, a ponieważ pracować mają dwa motory równolegle, więc opór opornika = 12,7 omów.

13) Hamulce elektro-magnetyczne. Hamulce te polegają na tem, iż odpowiednio ukształtowane elektromagnesy przyciągają przy przechodzeniu przez nie prądu swe kotwice i wytwarzają w ten sposób siłę hamującą. Same klocki hamulcowe mogłyby n. p. być zaopatrzone w odpowiednie uzwojenia i stanowić elektromagnesy; siła przyciągania magnetycznego przyciskałaby je do obręczy kół. Tego rodzaju urządzenie byłoby jednak zbyt skomplikowane, nie znalazło przeto nigdzie praktycznego zastosowania.

Zwykle składa się hamulec elektro-magnetyczny z żelaznej tarczy, umocowanej na osi wozu tak, iż się z nią obraca, może jednak przesunąć się nieco wzdłuż osi, oraz kilku elektromagnesów działających na tę tarczę.

Oprócz tarcia mechanicznego, powstającego po przyciągnięciu tarczy, pomiędzy nią a nieruchomymi magnesami, działają hamująco również i powstające w tarczy, obracającej się w zmiennym polu magnetycznym, prądy wirowe Foucault'owskie. Liczne próby i doświadczenia dowiodły nawet, iż działanie tych prądów przewyższa znacznie działanie tarcia mechanicznego. Działanie przeto tego rodzaju hamulców polega przeważnie na prądach wirowych, samo zaś tarcie mechaniczne jest właściwie zbyteczne. Dla wzmocnienia prądów wirowych nawija się magnesy tak, aby leżące obok siebie bieguny miały znaki przeciwne. Nie mniej jednak jest zetknięcie się tarcz i magnesów dla wywołania dostatecznie silnych prądów potrzebne; aby więc uniknąć, a raczej zmniejszyć, ścieranie się stykających się powierzchni, bywają one często smarowane n. p. grafitem.

Przy hamulcu, rys. 293-ci, jest korpus magnesów „1” osadzony na osi, nie może się jednak z nią obracać, gdyż przeszkadza temu przytwierdzone do podwozia ramie „2”. Po obu stronach magnesów osadzone są tarcze „3” i „4”, stanowiące ich kotwice. Tarcza „3” jest na osi



Rys. 293.

Hamulec elektro-magnetyczny tarczowy systemu Siemens-Halske.

zaklinowana, podczas kiedy tarcza „4” może się wzdłuż osi przesuwać; tarcza ta jest wprowadzana w obrót przez „5”.

Po wzbudzeniu magnesów przyciska się „1” do „3” i „4” do „1”, co wywołuje hamowanie. Korpus magnesów otoczony jest szczelnie płaszczem blaszanym „6”, który chroni je od zanieczyszczenia i pozwala smarować trące się powierzchnie.

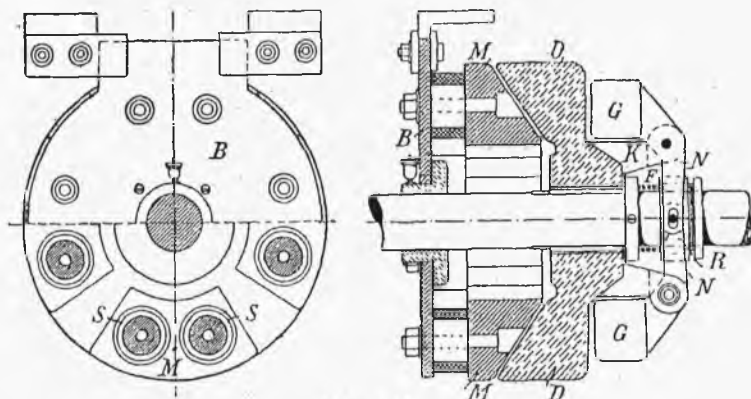
Inne znowu konstrukcje zaopatrują tarcze w sprężyny odpychające je od siebie, aby w ten sposób uniknąć wszelkiego tarcia przy niewzbudzonych magnesach. Siła magnetyczna przewycięża po wzbudzeniu magnesów siłę sprężyny i przyciska tarcze do siebie.

Pomimo regulowania natężenia prądu mogą jednak przy hamulcach tarczowych, zwłaszcza zaopatrzonych w sprężyny, powstawać dość silne

szarpnięcia przy hamowaniu, a to w chwili przewyciężenia przez magnetyzm siły sprężyny i przyciągnięcia do siebie tarcz; w tej bowiem chwili następuje gwałtowne zwiększenie się prądów wirowych, do których dołącza się jeszcze działanie tarcia mechanicznego.

Szarpnięciom takim zapobiega hamulec systemu Deri-Blahy, rys. 294-ty.

Układ magnesów MM , umocowanych na wspólnej płycie B , przytwierdzony jest nieruchomo do podwozia. Uzwojenia ich otoczone są hermetycznie blachą. Kotwica D z lanego żelaza obraca się razem z osią; może się jednak wzdłuż niej przesuwac, zbliżając się lub oddalając od magnesów. Do występów kotwicy K przymocowane są ruchome ciężary



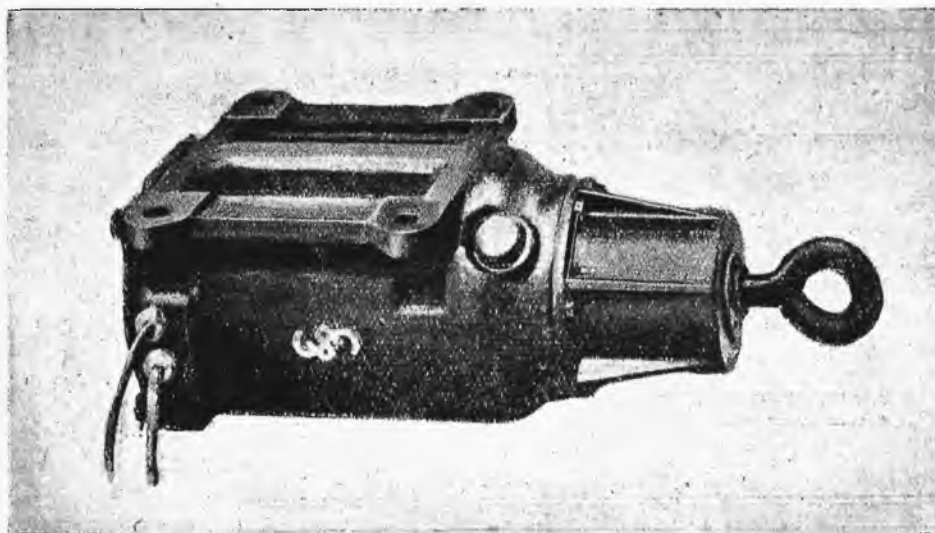
Rys. 294.

G , które naturalnie wraz z nią i osią obracają się, wytwarzając znaczną siłę odśrodkową. Siła ta przyciska przy pomocy dźwigni N pierścieni R do sprężyny F , opartej o pierścień przymocowany do osi. Tak ciężary G , jak i sprężyna F starają się w czasie obracania się osi odciągnąć D od M . Z początku hamowania siła magnesów nie może przewyciężyć siły sprężyny oraz siły odśrodkowej ciężarów; dopiero po zmniejszeniu się prędkości, a zatem i siły odśrodkowej, przeważa siła magnesów i przyciska D do M , wywołując wzmocnienie siły hamującej. W tym momencie jest jednak takie wzmocnienie właśnie bardzo pożądane, gdyż skutkiem zmniejszenia się prędkości maleje i natężenie prądu hamującego.

Prąd, potrzebny do wzbudzenia elektromagnesów, może być brany z sieci; czyni to jednak hamulce zależnymi od niej i obecności w niej prądu i stanowi zresztą zupełnie zbyteczny rozchód energii. Przeważnie więc hamulce elektro-magnetyczne bywają połączone z hamulcami na krótkie zwarcie, przyczem prądu hamującego dostarczają same motory, pracujące jako prądnice. Czyni to hamulce zupełnie niezależnymi od

sieci tak, iż działają zawsze niezależnie od tego, czy sieć jest pod prądem czy też nie. Spotyka się jednak dość często konstrukcje, przy których prąd na ostatnim kontakcie hamulcowym brany jest z sieci. Umożliwia to zupełne zatrzymanie wozu na każdej pochyłości. Osie pędne, zaopatrzone w motory, nie otrzymują zwykle hamulców tarczowych, gdyż hamują je same motory, zaopatruje się zaś w nie osie niepędne (n. p. przy wozach jednomotorowych oś bez motoru) oraz osie wozów doczepnych.

Wszystkie wyżej opisane i liczne inne konstrukcje hamulców elektromagnetycznych tarczowych działają na ogół bardzo dobrze i pewnie, są jednak bądź co bądź dość skomplikowane, mają liczne uzwojenia i wymagają starannego utrzymania. Poza to działa każdy hamulec tylko na jedną oś tak, iż zwykły np. wóz doczepny musi być zaopatrzony w dwa hamulce, o ile tylko wyzyskaną ma być cała jego waga przyczepności. Czyni to całość jeszcze bardziej skomplikowaną i kosztowną.

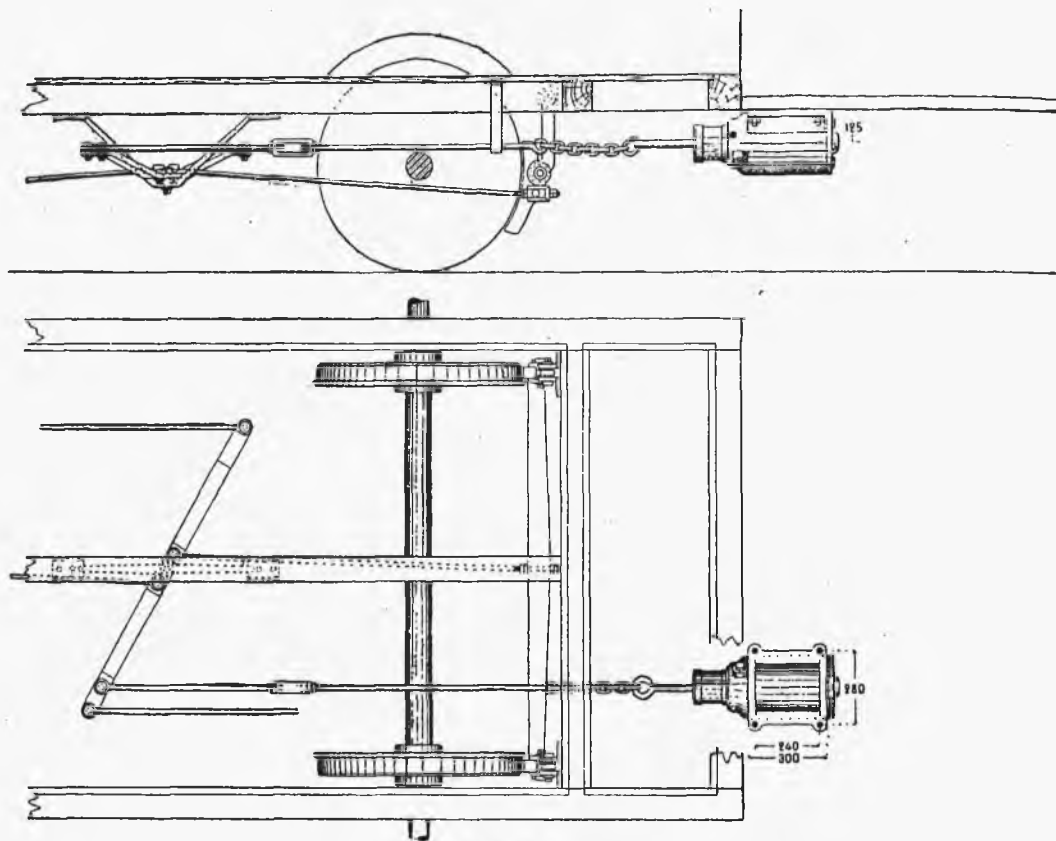


Rys. 295.
Hamulec solenoidowy Siemens.

Znaczne ulepszenie stanowi najnowszy hamulec elektromagnetyczny firmy Siemens i Halske, t. zw. hamulec solenoidowy, polegający na tem, iż solenoid wciąga pod wpływem prądu swój rdzeń, który działa na mechanizm hamulca ręcznego. Cała konstrukcja jest tak prosta i mocna, że nie wymaga prawie żadnego utrzymania, działanie zaś hamulca jest nader pewne i energiczne, koszt zaś znacznie mniejszy jak innych

hamulców elektromagnetycznych. Hamulce takie wyrabiają obecnie i inne fabryki elektrotechniczne.

Wewnątrz lanego stalowego cylindra wsunięta jest zwojnica; rdzeń zwojnicy stanowi stalowy tłok, występujący nazewnątrz i zaopatrzony na swym końcu w hak lub oczko. Uzwojenia wykonane są z drutów starannie izolowanych i wraz z rdzeniem hermetycznie zamknięte wewnątrz cylindra tak, iż żadnym uszkodzeniom podlegać nie mogą.



Rys. 296.

Cały cylinder przymocowuje się silnymi śrubami do pudła wozu, pod jego podłogą. Rdzeń, wciągany przez solenoid działa na przekładnię hamulca ręcznego i zaciska klocki hamulcowe.

Szkic rys. 296-go uwidacznia szemat połączenia solenoidu z mechanizmem ręcznego hamulca.

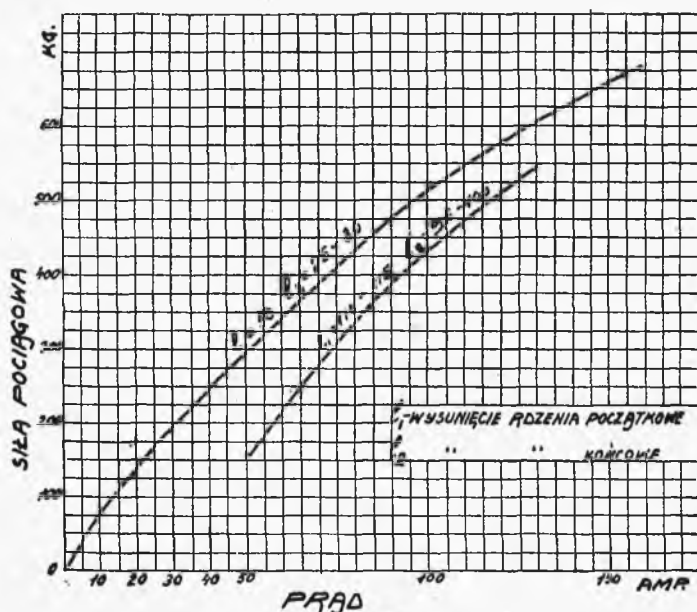
Na rys. 281-szym (str. 244) uwidoczniiony jest też solenoid. Przekładnia jest tu wobec większej siły zmniejszona i wynosi:

$$\frac{465}{205} \cdot \frac{725}{85} \cdot \frac{365}{165} = 1:43.$$

Hamulce solenoidowe wyrabia firma Siemens-Schuckert w dwu wielkościach; mniejsze, o sile normalnej 400 kg. i skoku 135 mm. dla wozów o wadze do 5 ton i większe dla wozów cięższych o sile normalnej 600 kg. i skoku 150 mm.

Elektryczny opór solenoidu wynosi około 0,25 oma.

Sama konstrukcja hamulca wskazuje, iż zużywanie się tych hamulców jest praktycznie = 0; starciu podlegają tylko klocki i mechanizm przekładni, wspólny z hamulcem ręcznym. Stwierdza to w zupełności i praktyka; tak np. w tramwajach miejskich warszawskich, gdzie znajduje się około 250 hamulców solenoidowych, skonstatowano w ciągu



Rys. 297.

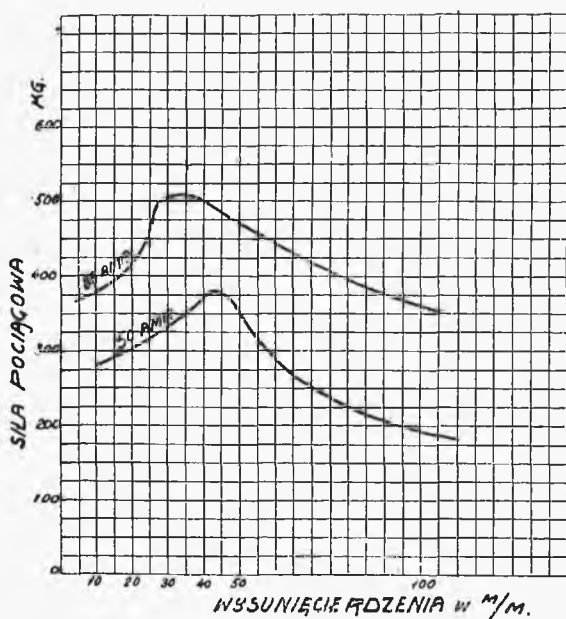
6 lat tylko jedno uszkodzenie, a mianowicie wewnętrzne przebicie izolacji jednego hamulca.

Ponieważ hamulec solenoidowy nie zabiera miejsca na osi, może przeto być umieszczany na każdym wozie motorowym. Obecność takiego hamulca stanowi znaczną ulgę dla motorów, które dają wtedy słabszy prąd hamujący, i czyni hamowanie przy małych prędkościach znacznie energiczniejszym; słaby prąd, jaki motory, oddają przy małych prędkościach, któryby sam przez się działał niedostatecznie, wystarcza wtedy do energicznego zahamowania.

Na rys. 297-mym widzimy wykres siły solenoidu większego w zależności od natężenia prądu, dla dwu początkowych położenia rdzenia.

Z wykresu tego widzimy, że prądowi 25 amp. odpowiada siła około 175 kg., co przy przekładni 1:43 daje siłę hamującą około 7600 kg. Ponieważ opór obwodu dwu równoległe połączonych motorów i solenoidu wynosi około 0,65 oma, przeto wystarcza już napięcie około 16 voltów, aby wywołać prąd 25 amp., napięcie zaś takie wytwarzają motory już przy bardzo małej prędkości.

Znaczna różnica w obu liniach siły dowodzi, że należy i ten hamulec zawsze starannie regulować i starać się zawsze nastawiać tak, aby początkowe położenie rdzenia (przy odciągniętych klockach) dawało wysunięcie około 50 mm. Jeszcze bardziej uwidoczniła to wykres 298-my, przedstawiający przebieg siły dla prądu 85 i 50 amp. w zależności od położenia rdzenia.



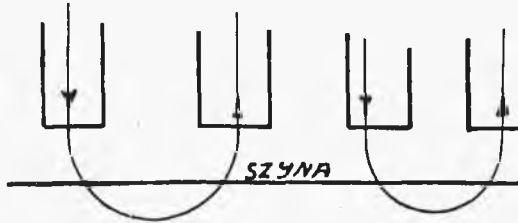
Rys. 298.

Trzeci rodzaj hamulców elektromagnetycznych stanowią hamulce szynowe. Hamulce te polegają na tej samej zasadzie co i hamulce szynowe ręczne, t. j. na tym, iż tarcie wytwarza się pomiędzy szynami a odpowiednio ukształtowanymi klockami. Różnica polega na tym, że zamiast wytwarzać siłę, potrzebną dla powstania tarcia naciskaniem mechanicznym, używa się do tego odpowiednich elektromagnesów, które wytwarzają tarcie przyciągając klocki do szyn. Usuwa to odrazu jedną z kardynalnych wad hamulców szynowych mechanicznych, czyniąc ją teoretycznie niewłaściwymi, a mianowicie to, iż siła przyczepności zmniejsza

się o siłę przyciskania klocków do szyn; tu wprost przeciwnie siła przyciągania magnesów zwiększa przyczepność. Zasadniczo więc mogą i powinny takie hamulce działać energiczniej od wszelkich innych.

Hamulce elektromagnetyczne szynowe próbowano stosować już dość dawno. Pierwsze konstrukcje składały się z szeregu elektromagnesów zawieszonych nad szynami; linje magnetyczne przebiegały wzdłuż szyny, jak na szkicu 299-tym.

Konstrukcje te, do których należy i hamulec Schiemana, działały bardzo dobrze, okazały się jednak mało praktyczne. Dużą ilość uzwojeń trudno było dostatecznie od wilgoci uchronić; cały hamulec był dość długi i ciężki, znaczna ilość ostrych krawędzi łatwo powodowała zaczepiania, zwłaszcza na skrzyżowaniach, znaczne też trudności przedstawiało dobre zawieszenie.

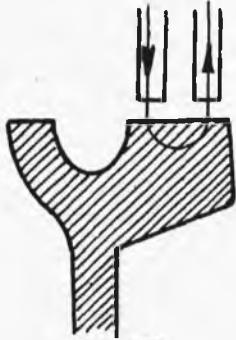


Rys. 299.

Jednym słowem cały hamulec jest skomplikowany i łatwo na uszkodzenia narażony, koszty zaś jego utrzymania okazały się tak znaczne, że system ten szerszego zastosowania znaleźć nie mógł.

Dopiero znacznie później, bo około roku 1908, zaczęła firma Westinghaus budować hamulce szynowe, oparte na zasadzie obmyślanej przez R. Brauna.

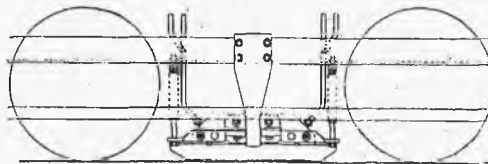
Przy tych hamulcach przebiegają linje magnetyczne, rys. 300-ny, w kierunku poprzecznym do szyny, co umożliwia zastosowanie jednego tylko krótkiego magnesu z jednym uzwojeniem, zamiast stosowanych przy dawniejszych konstrukcjach licznych magnesów z również licznymi uzwojeniami.



Rys. 300.

Hamulec elektromagnetyczny szynowy Westinghousa, rys. 301-szy ma dwa uzwojenia.

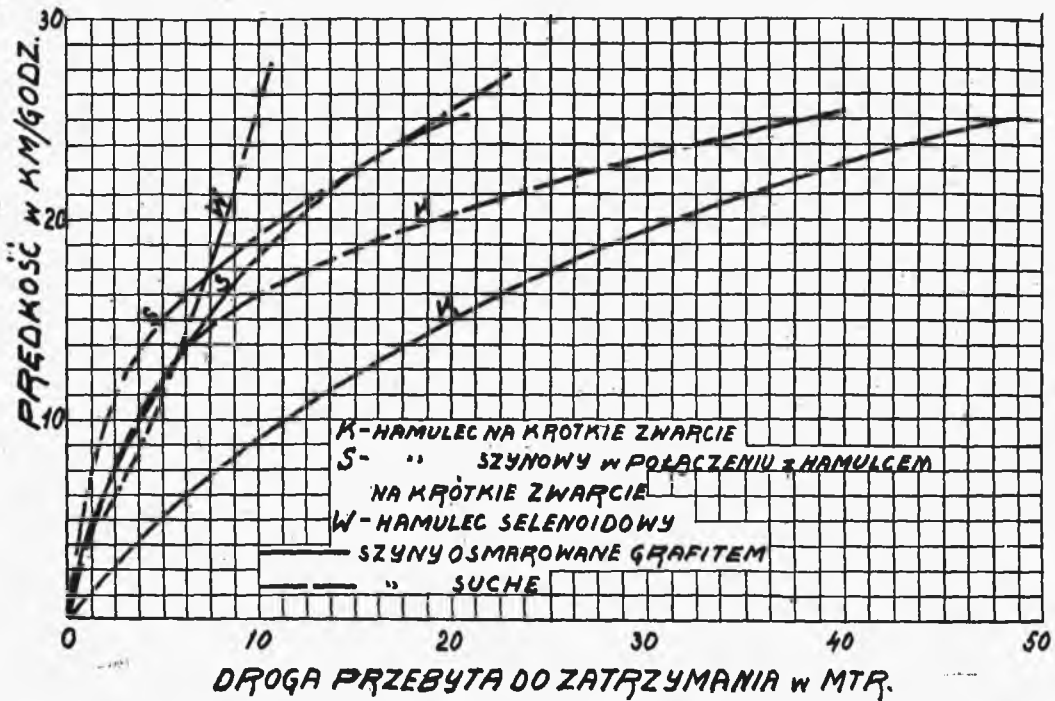
Jedno z nich służy dla prądu pochodzącego od motorów, drugie, od niego niezależne, dla prądu wziętego z sieci. Cała konstrukcja jest nader prosta, uzwojenia zamknięte są hermeticznym w pudle blaszanym. Klocki mają kany zaokrąglone, co zabezpiecza od zaczepiania; zamiana klocków daje się bardzo łatwo uskutecznić.



Rys. 301.

Obszerne próby, wykonane w Dreźnie przez prof. Kühlera i R. Naumana wykazały znakomite działanie tego hamulca; zwłaszcza na szynach obślizgłych góruje on znacznie nad wszelkimi innymi. Porównyując n. p. działanie hamulca szynowego z hamulcem na krótkie zwarcie otrzymano następujące wyniki.

Stan szyn	Hamulec na krótk. zwarcie		Hamulec szynowy	
	Opóźnienie w metr. na sek. w sek.			
Posmarowane grafitem	0,33	— 0,61	1,0	— 1,8
Wilgotne	0,62	— 1,75	1,6	— 2,2
Suche	0,8	— 1,88	1,95	— 2,83



Rys. 302.

Wykres, rys. 302-gi, pokazuje wyniki hamowania hamulcem na krótkie zwarcie i hamulcem szynowym na szynach osmarowanych grafitem i na szynach suchych:

Ogromna przewaga hamulca szynowego na szynach ślizkich bije tu w oczy. Tak n. p. zatrzymano wóz, biegnący z prędkością 20 kil. godz., hamulcem na krótkie zwarcie na przestrzeni 32 m., zaś hamulcem szynowym w połączeniu z hamulcem na krótkie zwarcie na przestrzeni 19 m.

Dla porównania z działaniem hamulca solenoidowego, wrysowano w powyższy wykres również i krzywe hamowania tym ostatnim hamulcem, jednak na szynach posypywanych piaskiem (w chwili hamowania). Aczkolwiek wyniki te nie dadzą się bezpośrednio porównać, gdyż posypywanie piaskiem zmniejszyłoby napewno drogę i dla hamulca szynowego, to jednak widać, że w każdym razie hamulec solenoidowy mało tylko ustępować może szynowemu.

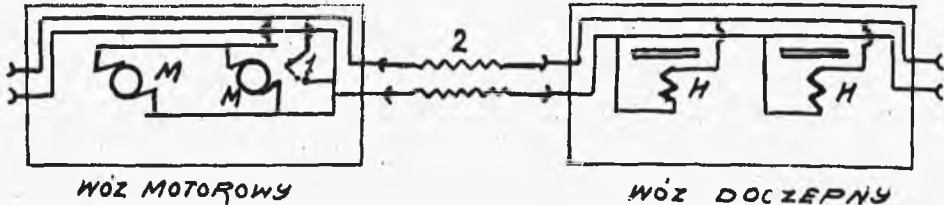
Danych o trwałości hamulców szynowych systemu Brauna oraz o koszcie ich utrzymania i wogóle praktycznem szerszem ich zastosowaniu dotychczas jeszcze otrzymać niepodobna. Zdaje się jednak być pewnem, iż hamulce te, jak i wszelkie inne szynowe, wymagać muszą nader starannego utrzymania bruków przylegających do szyn, nieznaczne bowiem nawet wystawanie kamienia ponad główkę szyny łatwo może wywołać zaczepienie i ewent. połamanie hamulca. Koszt utrzymania, mimo względnej prostoty budowy, będzie zawsze większy, jak koszt utrzymania hamulców solenoidowych. Zastosowanie tych hamulców, o ile wytrzymają one próby praktyczne, ograniczy się prawdopodobnie do miast bardzo górzystych i zaopatrzonych w bardzo dobre bruki.

14) Hamowanie przeciw - prądem. Hamowanie przeciw - prądem, czyli prądem przeciwnym, polega na tem, iż motory biegnącego wozu puszczają się w ruch w kierunku biegowi przeciwnym, przyczem oczywiście koła obracają się również w kierunku przeciwnym biegowi. Przyczepność zamieniamy więc ślizganiem się kół, co, jak wiadomo, jest zawsze niekorzystne. Mamy tu zjawisko analogiczne do sunięcia się wozu na zahamowanych kołach. Wyniki takiego hamowania muszą zasadniczo być zawsze gorsze, a że przytem motory podlegają silnemu bardzo przeciążeniu, przeto sposobu tego nie należy nigdy używać jako normalnego hamowania, a uciekać się do niego chyba w razie konieczności i zepsucia innych hamulców.

15) Połączenie hamulców między sobą. Hamulce elektromagnetyczne w pociągu mogą być łączone między sobą równolegle albo szeregowo. Hamulce tarczowe łączone bywają przeważnie równolegle, hamulce solenoidowe zaś przeciwnie, szeregowo tak, iż ilość ich nie wpływa na natężenie prądu, potrzebnego do hamowania. Aczkolwiek przy połączeniu szeregowem zwiększa się opór obwodu hamulcowego, to zwiększenie to niema tu znaczenia wobec bardzo małego oporu solenoidu; druga wada połączenia szeregowego, mianowicie, iż w razie uszkodzenia jednego hamulca wszystkie działać przestają, ma również małe tylko znaczenie wobec nader rzadkich uszkodzeń hamulców solenoidowych.

Dla połączenia hamulców między sobą służą przewody hamulcowe, ułożone tak w wozach motorowych, jak i doczepnych i kończące się

na obu końcach wozu specjalnymi gniazdami łącznikowymi, oraz linki łącznikowe, zaopatrzone w odpowiednie wtyczki przystosowane do gniazd, którymi łączy się wozy między sobą.

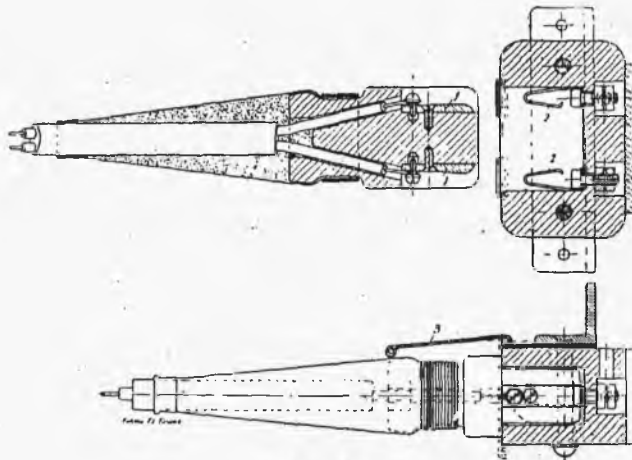


Rys. 303.

Na rys. 303-im widzimy szemat połączenia hamulców tarczowych, połączonych równoległe. Prąd wytworzony przez motory $M M$ dostaje się przez linki łącznikowe 2 do hamulców $H H$ wozu doczepnego. Wyłącznik 1 musi być przytem otwarty; jeżeli wóz motorowy idzie sam, bez doczepnego, wtedy zamyka się wyłącznik 1.

Zamiast wyłącznika stosowane też bywają linki stale przymocowane do wozu; w razie jazdy wozu motorowego samego, wtyka się wolny koniec w gniazdo, czem zamyka się obwód hamulcowy.

Linki łączy się zwykle w jeden, wspólnie izolowany przewód o dwu żyłach. Na rys. 304-ym widzimy gniazdo i wtyczkę budowy firmy „Union“.

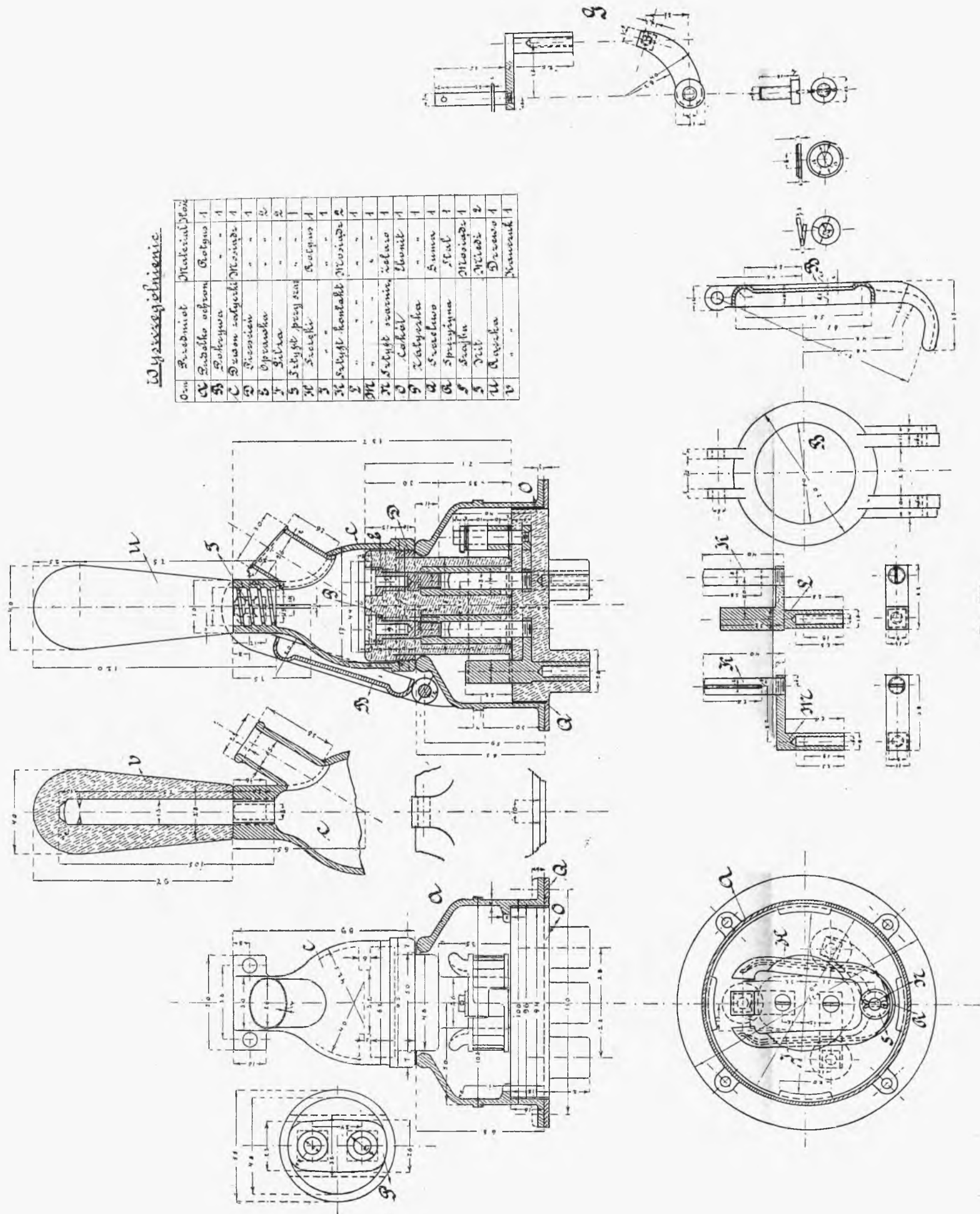


Rys. 304.

Na rys. 305-ym widzimy szemat połączenia szeregowego hamulców solenoidowych.

Gniazdo łącznikowe ma oprócz dwu trzpieni kontaktowych a, b , trzeci kontakt sprężynowy c , który przylega do jednego z trzpieni a lub b o ile linka łącznikowa nie jest wetknięta w gniazdo (na rys. 305-ym

Śniarzo i zatyczka śamulca magnesowego.

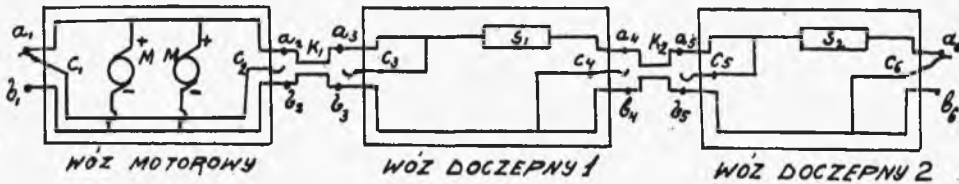


Wykaz części i materiałów.

Opis	Symbol	Materiał	Mnoż.
Śniarzo	A	Stal	1
Przewód	B	-	1
Śniarzo	C	Stal	1
Przewód	D	-	1
Śniarzo	E	Stal	1
Przewód	F	-	1
Śniarzo	G	Stal	1
Przewód	H	-	1
Śniarzo	I	Stal	1
Przewód	J	-	1
Śniarzo	K	Stal	1
Przewód	L	-	1
Śniarzo	M	Stal	1
Przewód	N	-	1
Śniarzo	O	Stal	1
Przewód	P	-	1
Śniarzo	Q	Stal	1
Przewód	R	-	1
Śniarzo	S	Stal	1
Przewód	T	-	1
Śniarzo	U	Stal	1
Przewód	V	-	1

z przodu wozu motorowego i z tyłu drugiego doczepnego). Przez wetknięcie wtyczki łącznikowej odsuwa się c od a względnie b .

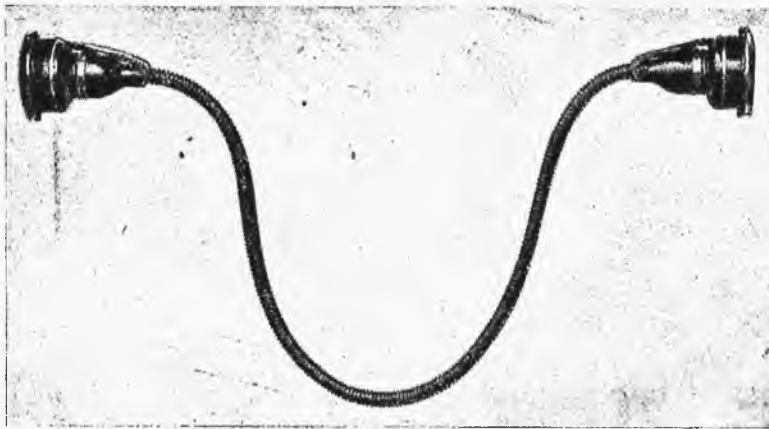
Prąd wytworzony w motorach $M M$ przechodzi przez trzpień a_2 jedną z żył linki k_1 , a_3 , solenoid S_1 , trzpień a_4 , linkę k_2 , trzpień a_5 , solenoid S_2 do a_6 ; stąd przez c_6 do b_5 , linka k_2 , b_4 , b_3 , linkę k_1 , b_2 i wraca do motorów.



Rys. 305.

Jeżeli wóz motorowy jedzie sam, to c_2 przylega do b_2 i prąd przechodzi z motorów do a_1 przez c_1 , c_2 do b_2 , a stąd do motorów.

Odpowiednie gniazdo łącznikowe widzimy na rys. 306-tym, linkę na rys. 307-mym.



Rys. 307.

Dobra i mocna konstrukcja linek i gniazd jest rzeczą pierwszorzędnej wagi. Są to części najbardziej narażone na niepowołane dotknięcia i uszkodzenia; wyjmowanie, zakładanie i przenoszenie linek uskutecznia zwykle mało technicznie wykształcona służba wagonowa, przy czym o uszkodzenie nie trudno, uszkodzenie zaś, lub nawet złe założenie linki lub gniazdka, może spowodować odmówienie hamulców.

Aczkolwiek więc dotychczas przeważają sprężynowe konstrukcje gniazd i wtyczek, w rodzaju przedstawionych na rys. 304-tym i 306-tym,

to jednak, zdaniem naszym, stanowczo lepsze są kontakty śrubowe, jak na rys. 308-ym; są one nieco kłopotliwsze do założenia, ale zato znacznie pewniejsze.



Rys. 308.

16) Porównanie różnych hamulców. Warunki, którym powinien odpowiadać idealny hamulec, dadzą się streścić jak następuje:

- 1) Hamulec winien w razie niebezpieczeństwa zatrzymywać wóz, względnie pociąg, na jaknajkrótszej przestrzeni.
- 2) Należy mieć możliwość łatwego, dowolnego regulowania siły hamowania tak, aby normalne zatrzymania mogły następować bez wstrząśnień.
- 3) Działanie hamulca winno być szybkie, t. j. czas, jaki upływa od chwili, kiedy hamujący zacznie hamować, do chwili, kiedy hamulce zaczynają działać, winien być jaknajkrótszy.
- 4) Hamulec winien działać niezawodnie, a zatem podlegać jaknajmniej zepsuciom.

- 5) Konstrukcja hamulca winna być możliwie prosta, a regulowanie jego łatwe (n. p. po starciu klocków).
- 6) Jeżeli pociąg składa się z paru wozów, to hamulec winien działać równocześnie na wszystkie z siłą proporcjonalną do ich przyczepności i być uruchomiany przez prowadzącego pociąg z jednego miejsca.

Hamulce ręczne odpowiadają tylko częściowo warunkowi 1), gdyż przy ciężkich wozach i znacznych prędkościach są zbyt słabe, wymagając przytem zbyt dużego natężenia od motorniczego. Warunkom 2), 4) i 5) odpowiadają one w sposób doskonały, natomiast ich działanie nie jest dość szybkie tak, iż warunkowi 3) odpowiadają też tylko względnie. Warunek 6) nie może być przez ręczne hamulce wogóle wypełniony, gdyż obsłużenie wszystkich hamulców w pociągu przez prowadzącego pociąg jest przy hamulcach ręcznych wręcz niemożliwe. Hamulce ręczne, wystarczające dawniej dla lekkich wozów przy małej prędkości, stały się obecnie zupełnie niewystarczające. Niemniej jednak prawie wszystkie bez wyjątku wozy, tak motorowe, jak i doczepne, są zaopatrywane w hamulce ręczne, niezależnie od drugiego hamulca pneumatycznego lub elektrycznego. Hamulec ręczny służy wtedy albo jako zapasowy, na wypadek zepsucia się hamulca mechanicznego, lub też bywa przy starszych instalacjach używany dla normalnego zatrzymywania na przystankach, podczas kiedy hamulec drugi służy do nagłego zatrzymywania w razie wypadków.

Hamulce pneumatyczne odpowiadają, na ogół biorąc, wszystkim warunkom, najgorzej jednak warunkowi 5), gdyż konstrukcja ich, a zwłaszcza samoczynnych, jest jednak dość złożona. W klimatach zimnych słabym punktem czasami jest i warunek 4), gdyż zdarza się, iż w czasie silnych mrozów zamarzają przewody, a zwłaszcza wentyle (powietrze sprężone, oziębiając się przy rozprężaniu, wydziela parę wodną)

Hamulce elektro-magnetyczne odpowiadają również wszystkim warunkom; wyzyskując lepiej siłę przyczepności, działają przy większych prędkościach nawet lepiej od pneumatycznych, a są od nich znacznie prostsze.

Częstokroć niedocenianą, a jednak ważną zaletą tych hamulców jest to, iż hamuje się tą samą korbą, którą się pociąg puszcza w ruch i reguluje prędkość, prostem przesunięciem jej poza położenie „O“. Przy hamulcach pneumatycznych służy do hamowania oddzielna, i od korby regulatora niezależna, rączka tak, iż dla hamowania należy zawsze wykonać dwa ruchy, mianowicie najpierw wyłączyć prąd, przesunąwszy korbę regulatora na „O“, a następnie odpowiednio przestawić rączkę hamulca. Aczkolwiek są to czynności nader proste, to jednak zdarza się, iż w chwili niebezpieczeństwa motorniczy zapomina wyłączyć prąd

i hamuje całą siłą z włączonymi motorami, co oczywiście przedłuży hamowanie i prowadzi łatwo do uszkodzenia motorów. Praktyka wykazuje, iż wypadki takie zdarzają się stosunkowo nawet dość często.

Znane są wypadki, kiedy motorniczy, chcąc zatrzymać wóz na dużej pochyłości, hamował zbyt silnie tak, iż koła stawały, poczem wóz sunął dalej na zahamowanych kołach ze wzrastającą prędkością, powodując poważne wypadki. Przy hamulcach elektrycznych wypadek taki jest niemożliwy, gdyż stanęcie kół powoduje natychmiast odpuśczenie hamulców, każdemu zaś kontaktowi odpowiada dla każdej pochyłości pewna, ściśle określona prędkość. Właściwość ta stanowi ogromną zaletę hamulców elektrycznych dla linii górzystych, gdyż hamulce te dają absolutną pewność, iż pociągi z góry idące nigdy przepisanej prędkości przekroczyć nie mogą.

Często spotykany zarzut, iż hamulce elektryczne przeciążają motory, mógł być czasami słuszny dawniej, kiedy stosowano naogół słabe motory; dziś jednak, kiedy siłę motorów obiera się przeważnie tak, aby mogły one doprowadzić bez przeciążenia koła do obracania się (przy unieruchomionym wozie), czyli inaczej mówiąc, wyzyskiwały całą siłę przyczepności, nie wytrzymuje on krytyki, gdyż i siła hamowania ograniczona jest tą samą przyczepnością. Pozatem przecie hamowanie całą siłą stanowi wyjątek i bywa stosowane tylko w razie wypadków; normalnie hamuje się łagodnie, nie obciążając w pełni motorów. Mamy przytem na myśli głównie tramwaje miejskie, gdzie pociągi złożone są z dwu, a najwyżej trzech wozów, przyczem wozy doczepne są zwykle od motorowego znacznie lżejsze. Przy większej ilości ciężkich wozów doczepnych, jak n. p. na kolejach i kolejkach dojazdowych postać rzeczy się zmienia. Dla ruszania wyzyskiwuje się tylko siłę przyczepności wozu motorowego, dla hamowania zaś — całego pociągu; tu więc przeciążenie motorów może rzeczywiście mieć miejsce, względnie może zachodzić potrzeba zwiększenia ich mocy ze względu na hamowanie.

Oprócz chwilowych przeciążeń, o których, jak to widzieliśmy, przy nowszych instalacjach nie może być mowy, możnaby się obawiać wzmożenia pracy motorów i wywołanego tem zbytniego ich nagrzewania się. Aby kwestję tę zbadać poleciło Międzynarodowe Stowarzyszenie Tramwajów i Kolei dojazdowych wszystkim należącym do niego towarzystwom eksploatacyjnym przeprowadzić próby w ten sposób, iż na jedną i tę samą linię puszczano wóz, który hamowano wyłącznie elektrycznie, i drugi, który hamowano wyłącznie ręcznie, względnie pneumatycznie; przy zejściu do remiz mierzono następnie i porównywano ze sobą temperaturę motorów obu wozów. Otrzymane odpowiedzi były bardzo różne, co się da wytłómaczyć różnorodnością eksploatacji i tem, iż między odpowiadającymi było sporo starszych instalacji ze słabymi motorami.

4	Towarzystwa	skonstatowały	ogrzanie	większe	o	10°—24°
6	Towarzystw	"	"	"	o	5°—10°
5	"	"	"	"	mniej	5°

Analogiczne próby, przeprowadzane przez czas dłuższy w Warszawie dały następujące wyniki:

Hamowanie	wyłącznie	elektryczne:	temperatura	kollektorów	47°
"	"	ręczne	:	"	41°
Różnica . . .					6°

Z wyników tych widocznem jest, iż przy nowszych urządzeniach również i o znaczniejszem wzmożeniu pracy motorów mowy być nie może.

Na rys. 309-ym widzimy wykresy hamowania elektrycznego i ręcznego, zdjęte w Warszawie (zdjęcia dokonane przy pomocy samopiszących aparatów).

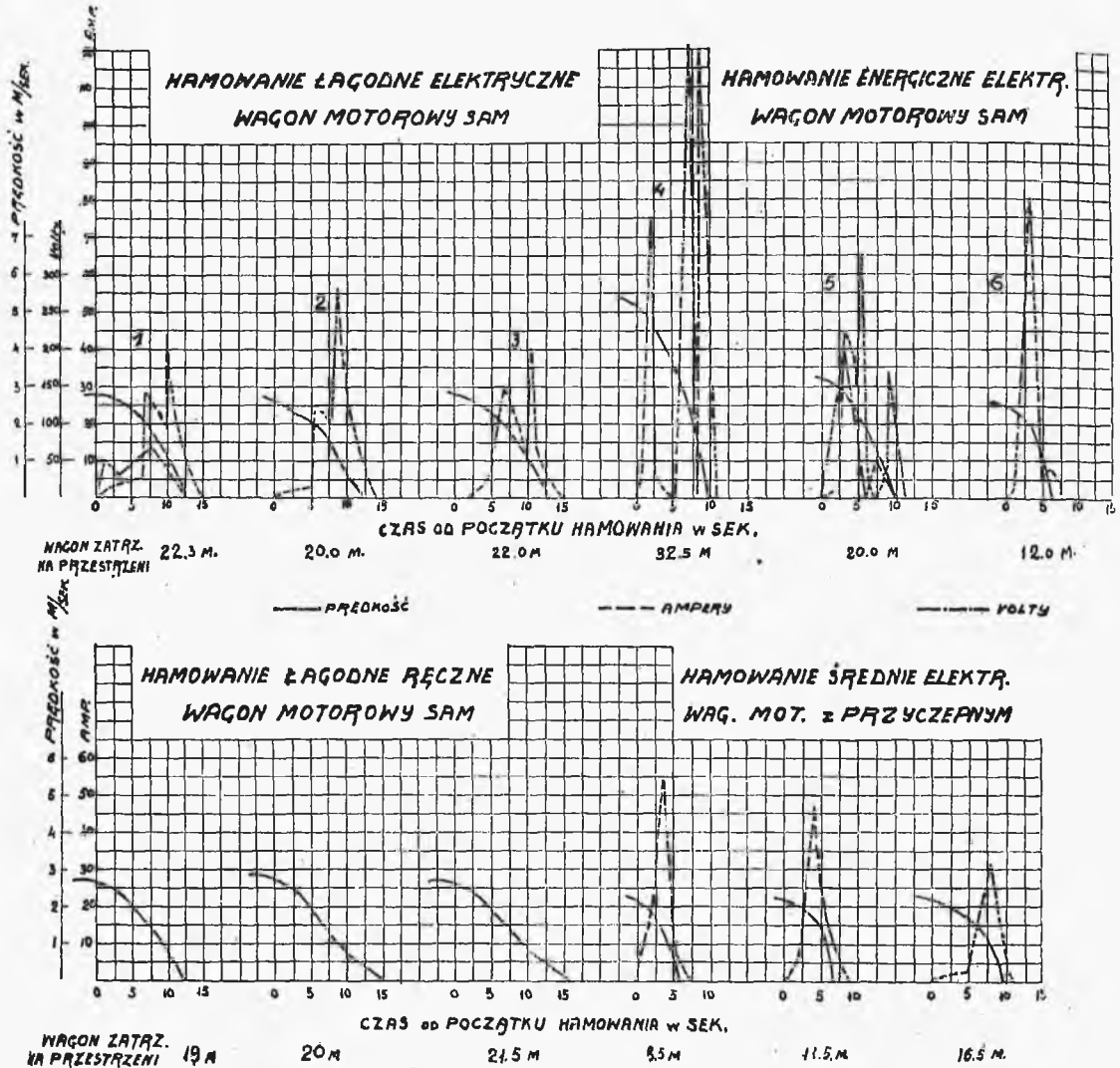
Przebieg linii prędkości wskazuje, iż hamowanie elektryczne jest równie, jak ręczne, łagodne, a nawet dla podróźnych przyjemniejsze, gdyż początkowe zwolnienie jest mniejsze; (elektryczne hamowanie: średnie opóźnienie 0,213—0,220 m. s. s., początkowe 0,11—0,123 m. s. s., ręczne hamowanie: średnie opóźnienie 0,173—0,213 m. s. s., początkowe 0,130—0,142 m. s. s.) Prąd nie przekracza przy łagodnem hamowaniu 56 amp. na oba motory razem tak dla wozu motorowego samego, jak i motorowego z doczepnym i wynosi zwykle koło 50 amp.; o przeciążeniu więc motorów nie może tu być mowy. Widoczne w diagramach skoki w natężeniu prądu spowodowane są przechodzeniem z kontaktu na kontakt. Przy hamowaniu energicznem wskazuje spadanie prądu prawie do 0 na chwilowe zatrzymania kół.

Widoczne na wszystkich wykresach ciekawe zjawisko, iż prąd nie spada do 0 wraz z prędkością, lecz trwa jeszcze parę sekund po zatrzymaniu wozu, da się może wytłumaczyć indukcją motorów, działaniem solenoidu przy klockach powracających do pierwotnego położenia i t. p. Prąd ten, wynoszący do 10 amp. trwa do 5 sek. od chwili zatrzymania wozu.

Rys. 310-ty pokazuje przebieg prądu i prędkości przy hamowaniu na pochyłości 35‰ i włączeniu różnych oporów. Wykresy te zostały zdjęte również w Warszawie.

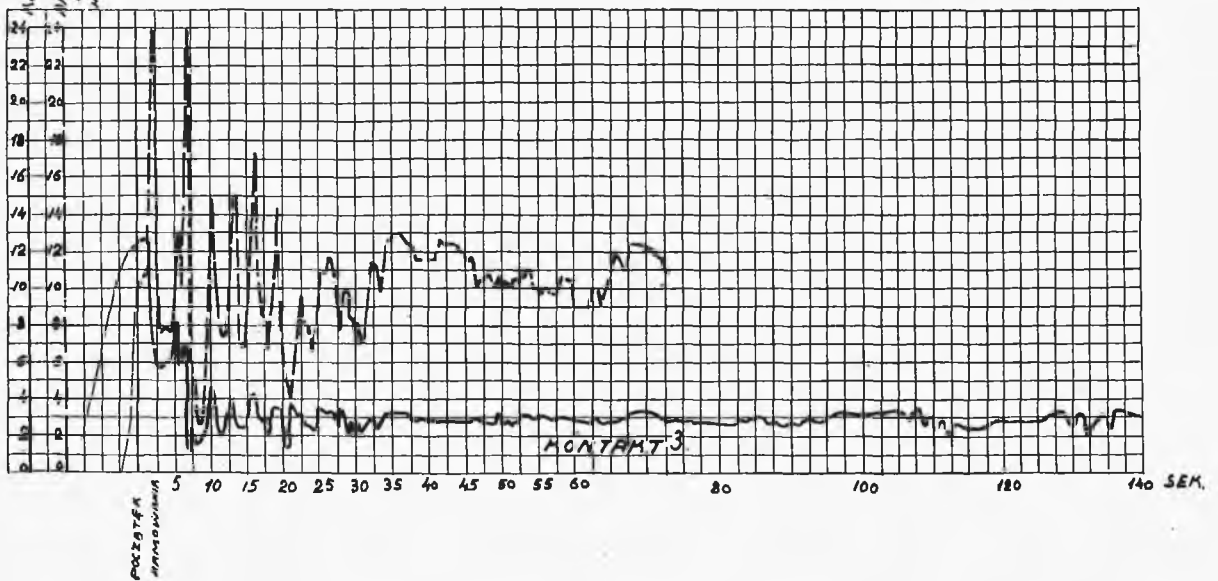
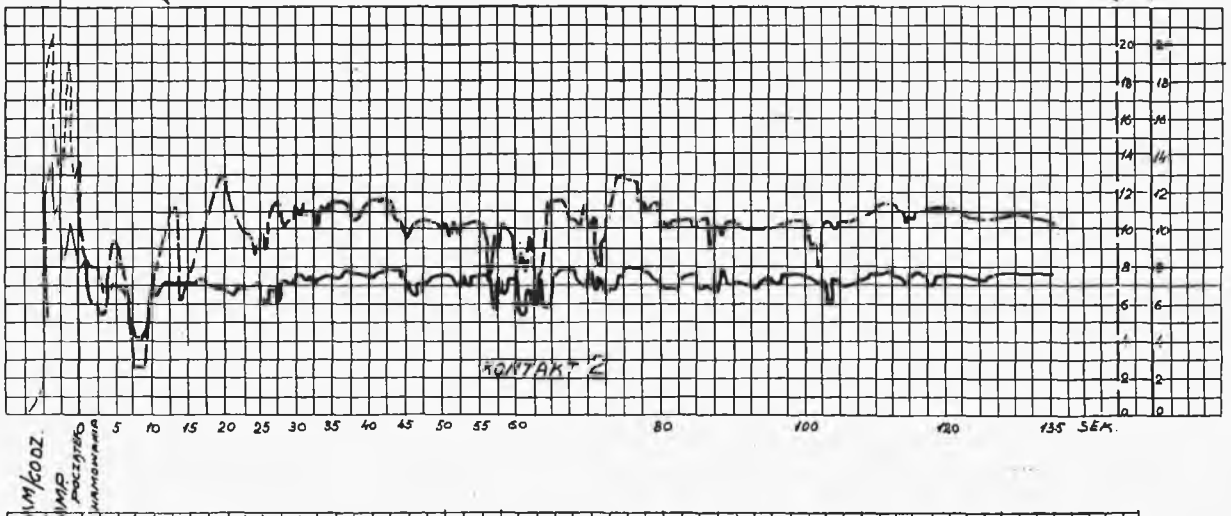
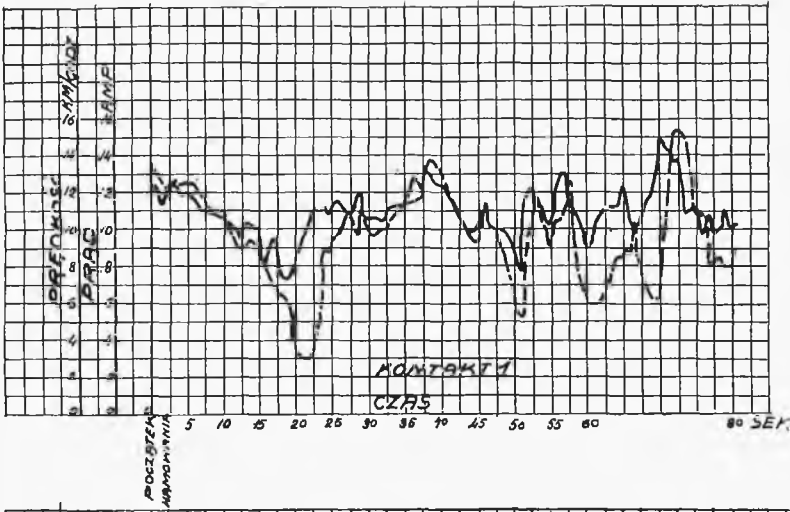
Kontakt regulatora.	Średnie natężenie prądu.	Średnia prędkość.
1	9,6 amp.	11 kil. godz.
2	10,3 "	7,5 " "
3	11 "	2,5 " "

Próby, przeprowadzone w Como (Włochy) z hamowaniem hamulcem szynowym systemu Schiemana na spadku wynoszącym 68‰ dały następujące wyniki:

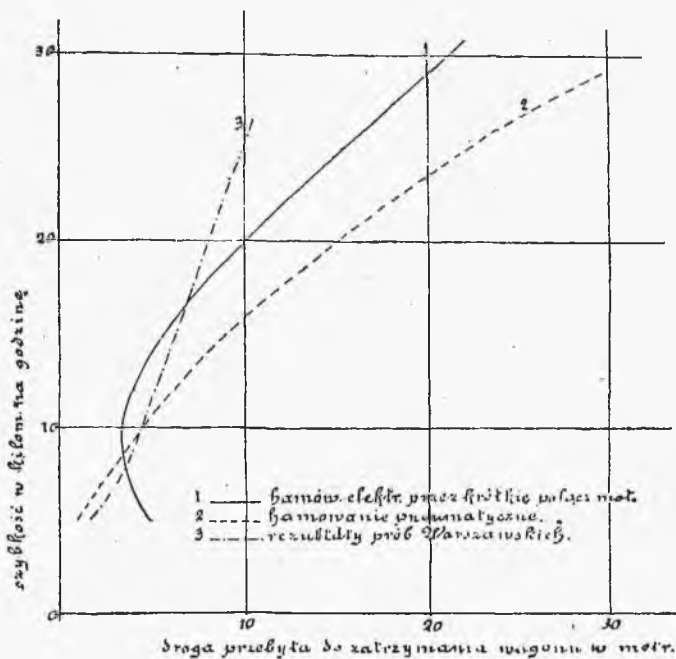


Rys. 309.

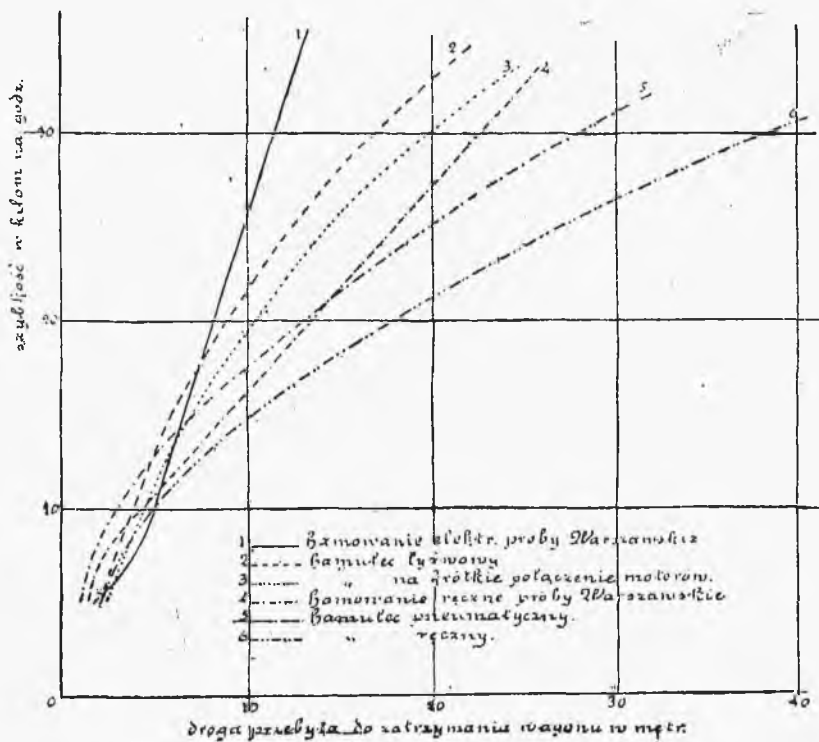
Położenie regulatora.	Średnie natężenie prądu.	Średnia prędkość.
1	8,0 amp.	19,5 kil. godz.
2	8,8 „	12,7 „ „
3	9,7 „	7,1 „ „
4	12,7 „	4,6 „ „



Rys. 810.



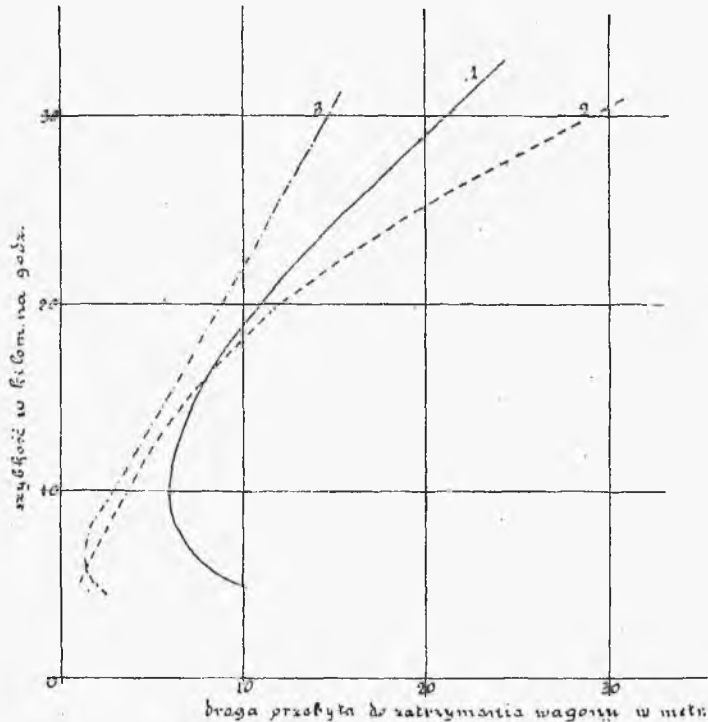
Rys. 311.



Rys. 312.

Liczne dane co do przestrzeni, na jakiej daje się różnymi hamulcami zatrzymać wóz lub pociąg, biegnący z pewną prędkością zebrano również Stowarzyszenie Międzynarodowe Tramwajów i Kolei dojazdowych drogą doświadczeń i prób, wykonanych przez stowarzyszone przedsiębiorstwa eksploatacyjne.

Wyniki zebrał i referował na walnym posiedzeniu, odbytem w roku 1908 w Monachium. M. Ph. Scholtess, dyrektor tramwajów w Norymbergji. M. Scholtess obliczył średnie wartości, otrzymane z wszystkich prób, wykonywanych przez różne eksploatacje dla każdego systemu hamulców i przedstawił je w kształcie wykresów, rys. 311-ty.



Rys. 313.

Niezależnie od tego referował na temże posiedzeniu też samą kwestję drugi referent M. Schörling, dyrektor tramwajów hanowerskich, opierając się na licznych własnych próbach, które przedstawił również w kształcie wykresów, rys. 312-ty, 313-ty i 314-ty.

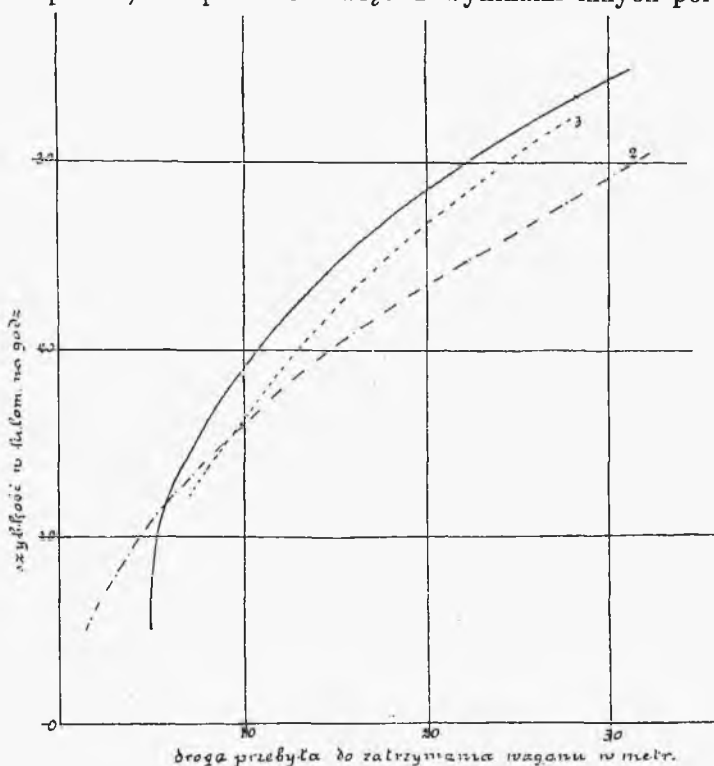
Wykresy, rys. 311-ty i 312-ty, odnoszą się do wozów motorowych samych, rys. 313-ty do wozów motorowych z jednym, rys. 314-ty z dwoma doczepnymi wozami.

Ponieważ w czasie dokonywania uwidocznionych w wykresach prób hamulce solenoidowe jeszcze szerzej rozpowszechnione nie były

przeło wrysowaliśmy w wykresy, rys. 311-ty, 312-ty i 313-ty, wyniki prób, wykonanych w Warszawie (tak wozy motorowe, jak i doczepne zaopatrzone w hamulce solenoidowe) a w wykres rys. 314-ty wyniki prób wykonanych przez firmę Siemens-Schuckert (tylko wozy doczepne zaopatrzone w hamulce solenoidowe).

Wszystkie próby wykonywane były na linii poziomej, przy suchych szynach: próby M. Schörlinga były wykonywane na szynach Vignolowskich.

Próby warszawskie dokonywane były na szynach rowkowych, z użyciem piasku, bezpośrednio więc z wynikami innych porównywać



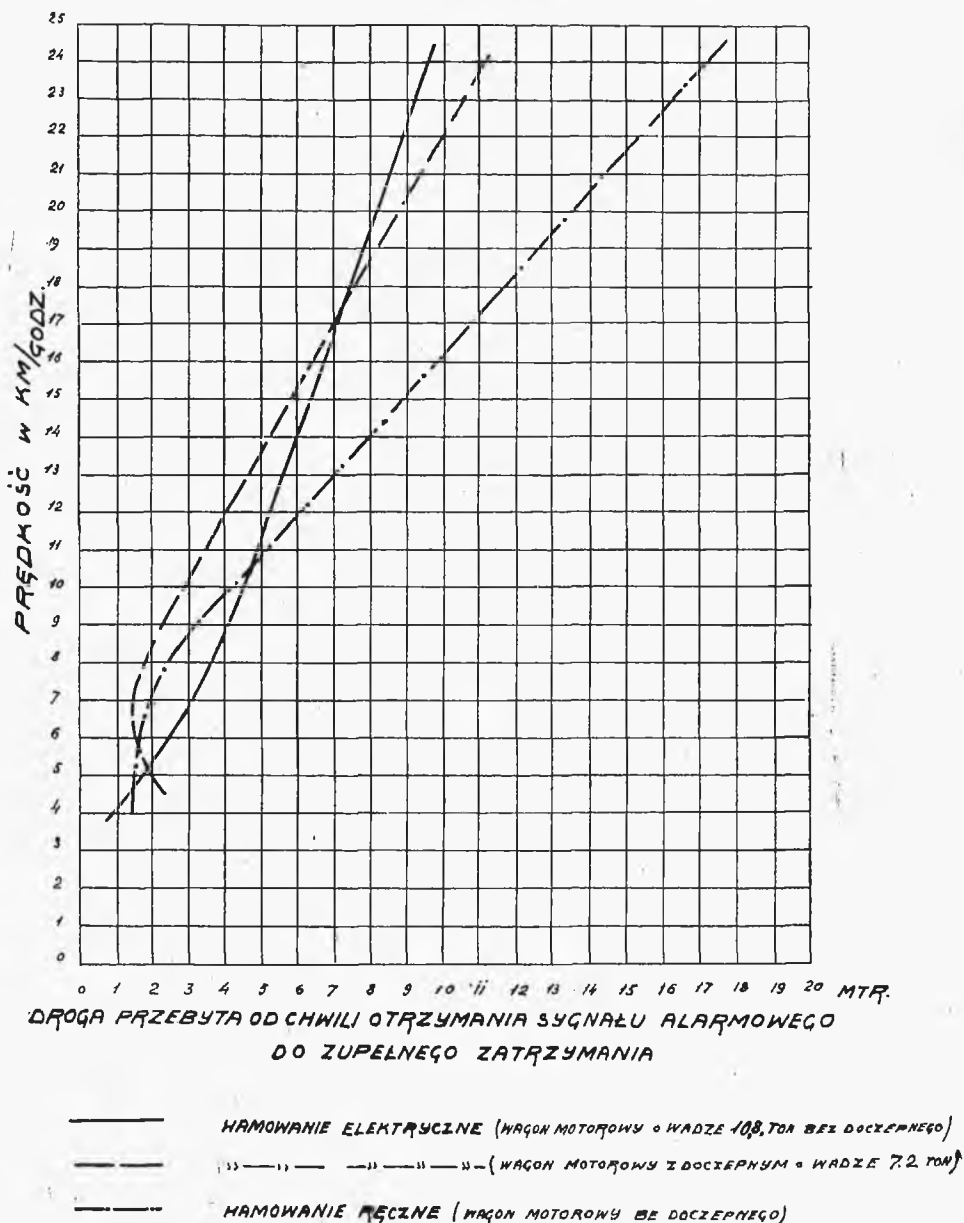
Rys. 314.

się nie dają, wykazują jednak bezwzględną wyższość hamulców solenoidowych, nawet nad szynowymi, (prawdopodobnie systemów dawniejszych, nie Brauna).

Ze wszystkich wykresów widać wyraźnie, iż o ile hamulce pneumatyczne dają przy prędkościach mniejszych przebieg krótszy, o tyle przy większych górują nad nimi elektryczne. Górowanie to zaczyna się według M. Ph. Scholtesa dla wozu motorowego samego już od około 7 km. na godz., M. Schörlinga zaś dopiero 12 km./godz. dla wozu mo-

torowego z jednym doczeplnym od 16 km./godz., z dwoma doczeplnymi od 12 km./godz.

Wykres rys. 309-go i 315-go wskazuje wyniki obszernych prób wykonanych w Warszawie Wozy motorowe i doczeplne, zaopatrzone w hamulce solenoidowe, czerpiące prąd z motorów, pracujących jako prądnice; hamulec ręczny łańcuchowy o przekładni 1 : 150.



Rys. 315.

Zwolnienie osiągało przy hamulcu elektrycznym 2,3 m. s. s. (szyny posypywane piaskiem), przy ręcznym 1,3 m. s. s. Dolna część krzywej hamowania ręcznego pokazuje wyraźnie wpływ szybkości działania hamulca. Czas potrzebny, aby hamulec działać zaczął, ma przy małych prędkościach wpływ przeważający, gdyż, skoro tylko hamulec działać zacznie, zatrzymuje wóz bardzo szybko.

Skutkiem tego droga przebyta do zatrzymania przy małych prędkościach staje się mało od prędkości zależna, krzywa hamowania jest stroma. Przy większych prędkościach przeważa już czas, potrzebny na zniszczenie siły żywej, i krzywa znacznie się pochyla. Wręcz przeciwny charakter krzywej hamowania elektrycznego wozu motorowego samego spowodowany jest działaniem solenoidu. Siła pociągowa solenoidu rośnie przy słabym prądzie ze zwiększaniem się prądu znacznie szybciej, jak przy silniejszym (por. rys. 297-iny, str. 335) co właśnie powoduje wygięcie krzywej na lewo.

To, iż wóz motorowy z doczepnym daje się dla prędkości do 17 km./godz. zatrzymać na przestrzeni krótszej, jak sam motorowy, dowodzi, iż do tej prędkości motory i solenoid wozu motorowego nie wyzyskiwały w zupełności jego wagi napędnej, że zatem wóz doczepny poniekąd go przytrzymuje. Dla prędkości większych postać rzeczy się zmienia.

Przebieg do chwili zatrzymania jest najmniejsza dla wozu motorowego z doczepnym przy prędkości 7 km./godz. (1,5 m. s.); przy prędkościach mniejszych staje się ona większą, gdyż siła elektrobodźcza motorów nie wystarcza już, aby przesłać dostatecznie silny prąd przez połączone w szereg solenoidy. Dla prędkości do 10,5 km./godz. działa dla wozu motorowego samego hamulec ręczny silniej; tak n. p. wóz przy prędkości 8 km./godz. daje się zatrzymać hamulcem ręcznym na przestrzeni 2,5 m., elektrycznym zaś 3,7 m.

Od tej prędkości jednak zaczyna hamulec elektryczny tembardziej górować, im większa staje się prędkość. Tak n. p. otrzymano:

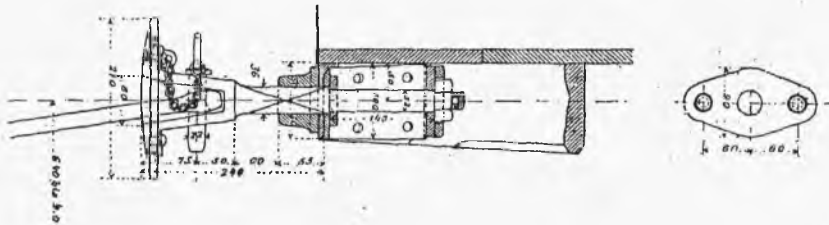
Prędkość km./godz.	Przebieg do chwili zatrzymania wozu, hamując:	
	hamulcem ręcznym	hamulcem elektrycznym
16	9,8 metr.	6,7 metr.
20	13,5 „	8,2 „
24	17,2 „	9,6 „

Kwestja, który z hamulców, pneumatyczny, czy elektryczny jest lepszy i winien jako taki być wszędzie stosowany, nie jest bynajmniej rozstrzygnięta; tak jeden, jak i drugi system mają swych gorących stronników i przeciwników. Toteż doszło Stowarzyszenie Międzynarodowe Tramwajów i Koleji dojazdowych po obszernych debatach na pięciu kolejnych walnych zjazdach do tego przekonania, iż ogólne orze-

czenie w tej kwestji wydać się nie da, gdyż większa lub mniejsza odpowiedniość tego lub owego systemu zależna jest od różnych warunków miejscowych, wydanie przeto jakichkolwiek przepisów nakazujących stanowczo stosowanie pewnego systemu byłoby bezwarunkowo szkodliwe.

Zdaniem naszym będzie zastosowanie hamulców elektrycznych stanowczo tam odpowiedniejsze, gdzie idzie o pociągi, składające się z dwu, a najwyżej z trzech wozów przy niezbyt wielkiej prędkości, n.p. do 35 — 40 kil. godz., a zatem dla tramwajów miejskich i niektórych kolejek dojazdowych. Jeżeli zaś idzie o pociągi dłuższe, o ciężkich wozach doczepnych i o większej prędkości, tam należy uprzednio dokładnie zbadać kwestję ewent. przeciążenia motorów; tam zastosowanie hamulców pneumatycznych może być odpowiedniejsze. Tosamo stosuje się i do urządzeń już egzystujących, starszych, które mogą ewent. mieć zbyt słabe motory.

Co zaś do systemu hamulców elektrycznych, a raczej elektromagnetycznych, to dotychczas zdaje się nam hamulec solenoidowy



Rys. 316.

najlepszy; konkurować z nim mógłby chyba hamulec szynowy Brauna, co do którego jednak, jak to już zaznaczono, brak jeszcze dostatecznych danych.

17) Przyrządy do ciągnięcia i pchania wozów. Oba te, przy kolejach oddzielne przyrządy zjednoczone bywają zwykle w jeden t. n. zderzak, przyczem stosowany bywa przeważnie jeden zderzak po środku, a nie po dwa jak przy kolejach parowych.

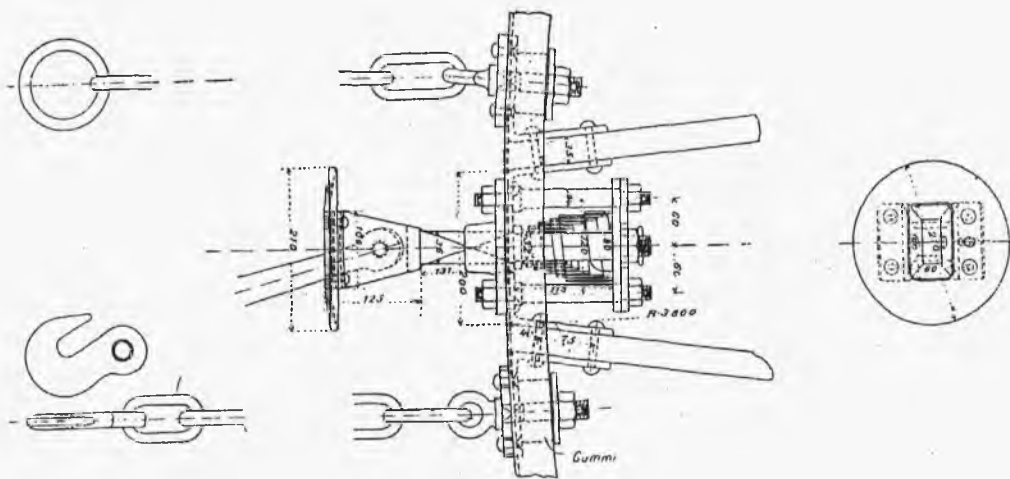
Z przodu zderzaka, w t. n. talerzu, utworzony jest otwór, w który w razie potrzeby zczepienia dwu wozów wkłada się trzon, zagważdżając go odpowiednimi zatyczkami. Zderzak sam przytwierdza się do wozu nieruchomo, albo częściej przy pomocy sprężyn. W konstrukcji zderzaków panuje wielka różnorodność, przytoczymy więc tu tylko dwie różne konstrukcje.

Rys. 316-ty przedstawia zderzak krótki; potrzebną przy przejeżdżaniu łuków, jak również w kierunku pionowym grę, daje tu sam trzon obracając się naokoło zatyczki; wydrążenie w zderzaku jest odpowiednio od trzona

większe, aby ruch ten umożliwić. Takie zderzaki mogą być stosowane tylko na linjach o łagodnych łukach.

Zderzak, rys. 317-ty, długi, obraca się naokoło osi pionowej. W obszarze umieszczona jest wężykowata sprężyna. Wydrążenie w zderzaku jest do trzonu ściśle dopasowane i na żaden ruch nie pozwala. Jeżeli wóz idzie sam, to zderzak utrzymany jest w środkowym położeniu odpowiednią klamrą. Takie zderzaki pozwalają na przejeżdżanie najostriejszych łuków.

Na linjach o znaczniejszych spadkach dobrze jest, oprócz zderzaków, zaopatrywać wozy jeszcze w łańcuchy bezpieczeństwa, które przytrzymywałyby wóz doczepny w razie urwania się zderzaka, i zapobie-



Rys. 317.

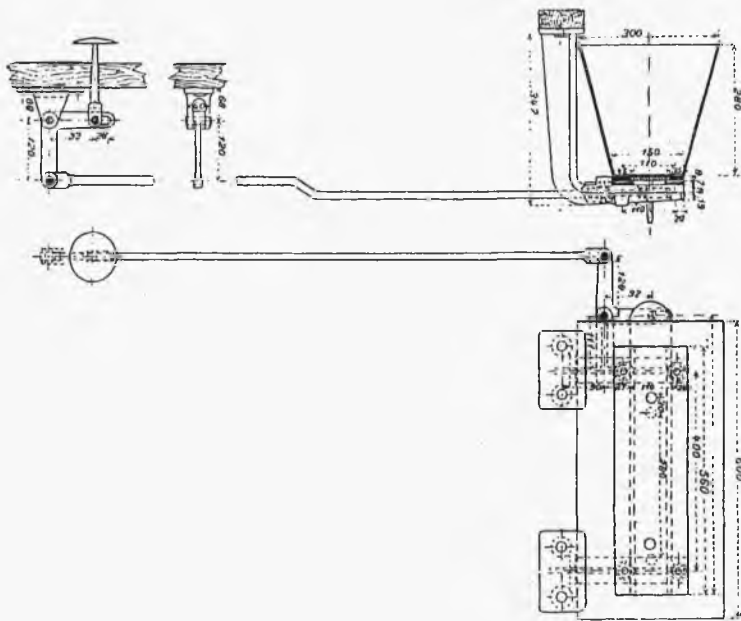
gały stoczeniu się oderwanego wozu na dół. Zderzak, rys. 314-ty, zaopatrzony jest w takie łańcuchy, widoczne na rysunku.

18) Piasecznice. Widzieliśmy już, iż współczynnik tarcia między kołami a szynami, czyli przyczepność, daje się znakomicie powiększyć posypując szyny piaskiem. Współczynnik ten, wynoszący przy czystych, suchych szynach około 0,12—0,15 i spadający przy obślizgłych do 0,05, podnosi się przez posypanie piaskiem do 0,2—0,3.

Wobec przeważnie zanieczyszczonych i często obślizgłych szyn, z jakimi mają do czynienia tramwaje śródmiejskie i wogóle kolejki o torach ułożonych nie na własnym torowisku ale na jezdni ulic i dróg, sprawa posypywania szyn piaskiem staje się dla nich rzeczą pierwszorzędnej wagi. Niestety, zbudowanie dobrej piasecznicy nie jest bynajmniej rzeczą łatwą. Aby piasek działał skutecznie, musi on koniecznie padać przed samem kołem na główkę szyny, a nie n. p. w rowek lub

obok; wymaga to doprowadzenia rury piaskowej przed same koło i możliwie nisko nad szynę, aby wiatr nie mógł sypanego piasku zwięzać. Przy takim jednak doprowadzeniu rury staje się bryzganie w nią wody i błota nieuniknione. Woda ta i błoto wysychając, a w czasie mrozów, zamarzając, łatwo otwór zatykają. Poza to nie zawsze ma się do rozporządzenia odpowiednio miętki i suchy piasek, piasek zaś wilgotny łatwo tworzy bryły zatykające przewód, w czasie zaś mrozów zamarza w jedną bryłę.

Znana i używana jest znaczna liczba przeróżnych konstrukcji piasecznic, od najprostszych, do znacznie już skomplikowanych.

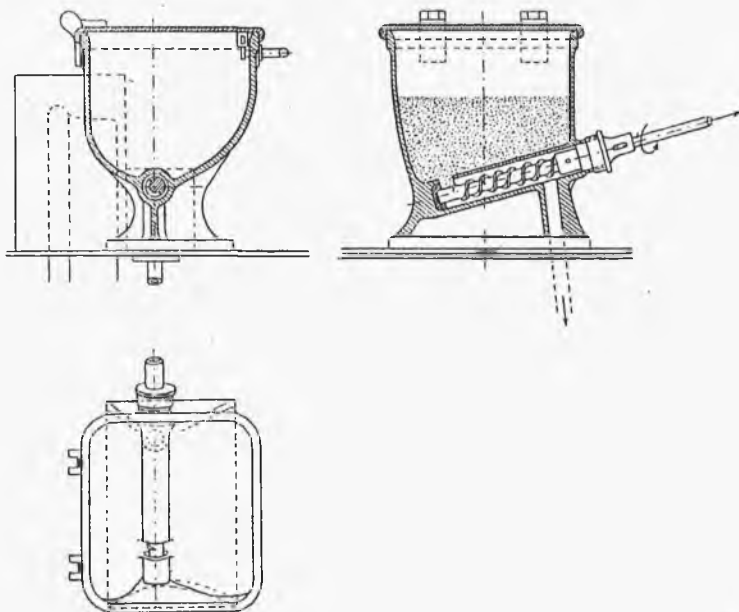


Rys. 318.

Najprostszą piasecznicą jest lej blaszany, przymocowany do fartucha wozu, od którego prowadzi w tył wygięta rura pod pomost ku kołu wozu. W razie potrzeby czerpie motorniczy odpowiednim czerpakiem piasek z ustawionego na pomoście naczynia i wysypuje go w lej. Na łukach działają takie proste piasecznice zupełnie źle, skutkiem bowiem wychyłania się pomostu piasek nie trafia na główkę szyny. Nie mniej jednak powróciło i powraca sporo poważnych eksploatacji po licznych próbach do tej najprostszej piasecznicy, lub nawet do jeszcze prostszego sypania piasku przez motorniczego wprost czerpakiem na szynę. Zdaje się to być wprawdzie zbytnią krańcowością, niemniej jednak należałoby obok lepszej piasecznicy zaopatrywać wozy również

i w kubły z piaskiem tak, aby motorniczy mógł w razie odmówienia piasecznic posypywać szyny tym najprymitywniejszym sposobem.

Bardzo często używana bywa piasecznica, uwidocziona na rys. 318-tym. Piasecznica ta składa się z blaszanego leja, umieszczonego pod podłogą wozu i połączonego z rurą odpowiednio wygiętą i prowadzącą piasek tuż przed koło; rura ta kończy się w wysokości 40—50 mm. nad szyną i jest obcięta skośnie od koła, co utrudnia wbrzgiwanie wody. Lej oddzielony jest od rury suwakiem, poruszającym przy pomocy szeregu dźwigni nogą lub ręką. W tym ostatnim wypadku dźwignie są połączone z pionowym wałkiem, wyprowadzonym wzdłuż fartucha i zakoń-



Rys. 319.

czonym rączką, umieszczoną pomiędzy regulatorem a korbą hamulca ręcznego. Rury winny być dość szerokie, unikać należy ostrych zgięć.

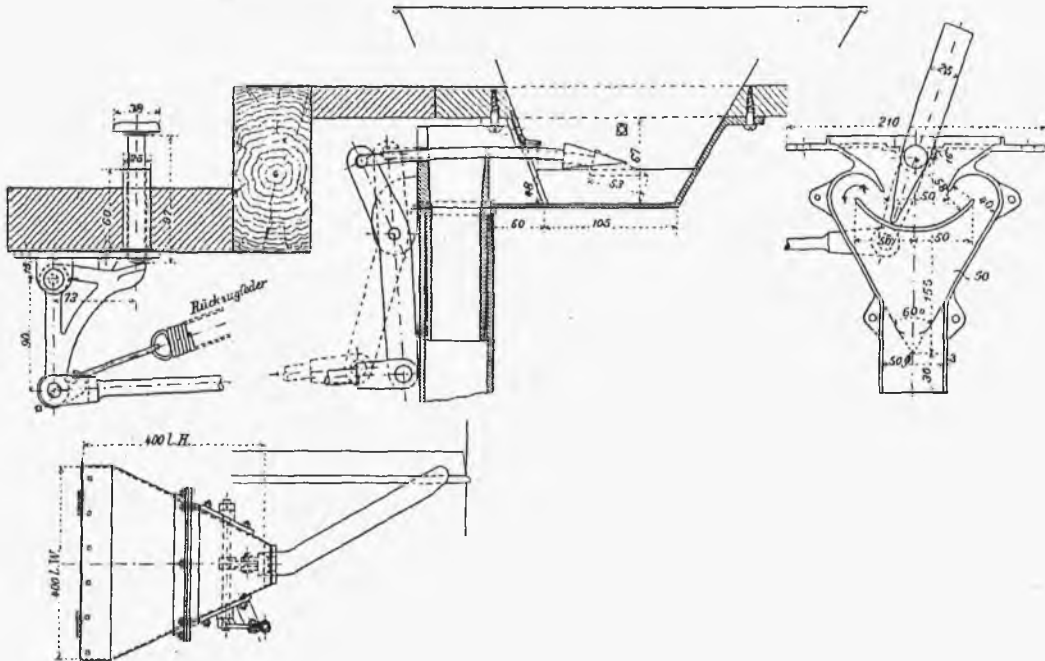
Piasecznic takich umieszcza się zwykle 4 na każdym wozie, po jednej na koło; każda para, przednia i tylna, poruszane są wspólnymi dźwigniami z odpowiedniego pomostu.

Na rys. 319-y widzimy ulepszoną piasecznicę, w której suwak zastąpiony jest śrubą bez końca. Inne jeszcze konstrukcje, rys 320-ty i 321-szy, mają uniemożliwiać zatkanie się przewodów.

Tam, gdzie stosowane bywają hamulce pneumatyczne, stosować można piasecznice wydmuchowe, w których piasek wydmuchuje się

z wielką siłą sprężonym powietrzem; piasecznice takie działają znakomicie.

Bardzo ważnym czynnikiem dobrego działania piasecznic jest dobry, suchy, nie gliniasty i starannie przesiany piasek. Znakomicie nadaje się też bardzo drobny żwir oraz schlacka. Wogóle, należy to zaznaczyć z naciskiem, sprawa dobrych piasecznic jest rzeczą bezwzględnie pierwszorzędnej wagi; należy przeto na ich konstrukcję zwracać jaknajbardziej uwagę i nigdy na tem nie robić oszczędności.



Rys. 320 i 321.

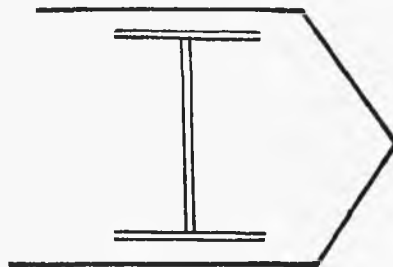
19) Przyrządy ochronne. Zadaniem przyrządów ochronnych jest niedopuszczanie do dostania się pod koła przedmiotów ewent. na torach leżących, oraz możliwie skuteczna ochrona, w razie najechania, osób najechanych. Najprostszymi, a przytem najpewniej działającymi, a zatem i najlepszymi przyrządami ochronnymi są proste deski ochronne, przytwierdzone do podwozia bezpośrednio przed kołami.

Deski te wzmacnia się jeszcze odpowiednimi sztabami żelaznymi, do których się je przyśrubowuje. Oprócz desek poprzecznych niezbędne są również i deski podłużne, chroniące od wpadnięcia pod koła z boków tak, iż wytwarza się naokoło kół zamkniętą ramę ochronną. Ramę taką widzimy na rys. 248-mym i 249-tym (str. 287 i 288). Co do tego, czy przednie ochrony mają być złożone z jednej, do osi równoległej

deski, jak na rys. 248-mym, czy też z dwu desek ustawionych ukośnie i tworzących rodzaj dzioba, jak na szkicu 322-gim, są zdania fachowców podzielone.

Ukośne ustawienie desek ma tę zaletę, iż spycha napotkane przedmioty na boki i odrzuca je z torów, podczas kiedy deska prosta pcha je przed sobą. Natomiast dziób, powstający przy deskach ukośnych, może być niebezpiecznym przy najechaniach na ludzi.

Deski ochronne ustawia się zwykle w wysokości 80—100 mm. nad główką szyny; pożądana jest oczywiście jak-najmniejsza wysokość, ale opuszczać deski jeszcze niżej trudno, gdyż należy uwzględnić sprężynowanie podwozia na osiach, mniejsza przeto wysokość mogłaby łatwo powodować zaczepianie o lada nierówność bruku. Im przeto lepszy i staranniej utrzymany jest bruk, tem niżej można opuszczać deski. W każdym jednak razie, muszą deski sięgać niżej, aniżeli najniżej leżąca część mechanizmu.



Rys. 322.

Wzmocnienia żelazne (zwykle kątowniki lub ceowniki) nie powinny być ciągłe, t. j. nie powinny ciągnąć się wzdłuż całej deski, a to dlatego, aby dać możność w razie potrzeby deskę tę łatwo przepiłować (n. p. w razie dostania się jakiego przedmiotu pod deskę).

Zdawałoby się, iż wobec wysokości deski około 90 mm. nad główką szyny, dostanie się człowieka pod koła jest niemożliwe. Niestety praktyka wskazuje co innego i dowodzi, iż wypadki takie są zupełnie możliwe. Gra tutaj rolę t. zw. „galopowanie” wozu, czyli ruchy wahadłowe w kierunku podłużnym, a zatem opadanie i podnoszenie się przodu i tyłu, wzmożone jeszcze w razie wypadku hamowaniem, zahamowany bowiem gwałtownie wóz ma tendencję do obniżenia swego przodu; sprężyny reagują i powodują wzmożone wahanie, które deskę to obniża, to podnosi, przyczem najechany łatwo może być pod deskę chwycony.

Starano się przeto obmyśleć sposób utrzymania deski w jednej stałej wysokości. Sposób taki zawieszenia, obmyślany przez E. C. Zehme, widzimy na rys. 323-cim. Czy zawieszenie takie okazało się rzeczywiście praktyczne, nie wiadomo, w zasadzie jednak powinnyby ono działać dobrze.

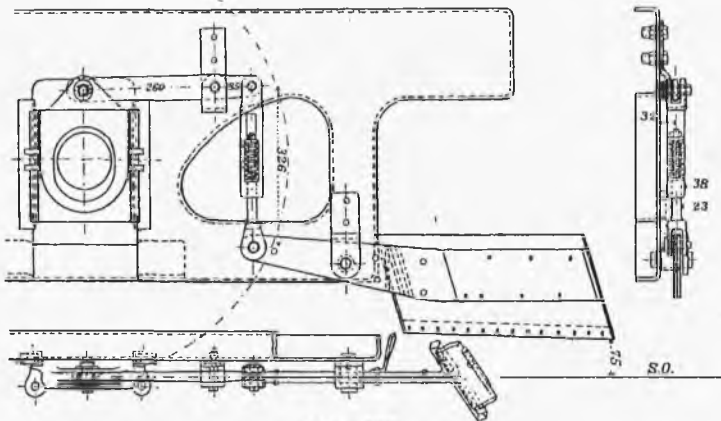
Obmyślono i wykonano całe mnóstwo przeróżnych przyrządów ochronnych; przyrządy ochronne stanowiły i stanowią jeszcze niewyczerpane pole popisów dla różnych mniej lub więcej powołanych wynalazców, patentujących swe wynalazki. Mamy więc przeróżne siatki,

sieci, materace i t. p. przyrządy stałe, opuszczane, automatyczne, połączone z hamulcami i t. d., mające chwycić, usuwać i chronić najechanego.

Wszelkie stałe, to jest stałe do podwozia przytwierdzone tego rodzaju przyrządy grzeszą tem samem, co i deski ochronne, t. j. tem, iż muszą być przytwierdzone w wysokości około 100 mm. nad szynami i że również, jak i one, podlegają wahanom wozów, mogą zatem najechanego chwycić pod siebie. Poza tem zabierają one zawsze sporo miejsca, tak, iż brzeg ich musi zawsze leżeć znacznie dalej od koła, jak brzeg deski, co znowu zmniejsza odległość między najechanym a przyrządem, zwiększając niebezpieczeństwo dostania się pod przyrząd.

Najgorsze pod tym względem są wszelkie sieci, umieszczone przed pomostem, gdyż mogą one wprost zbijać z nóg przechodnia, któryby inaczej uniknął najechania

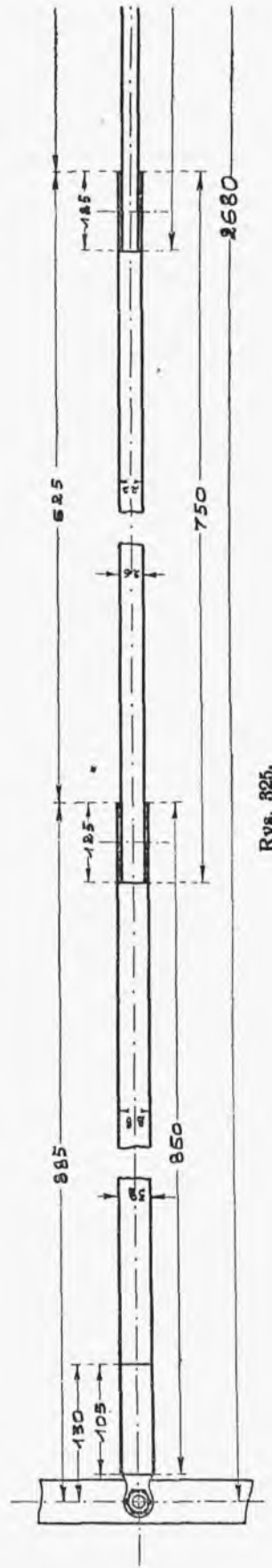
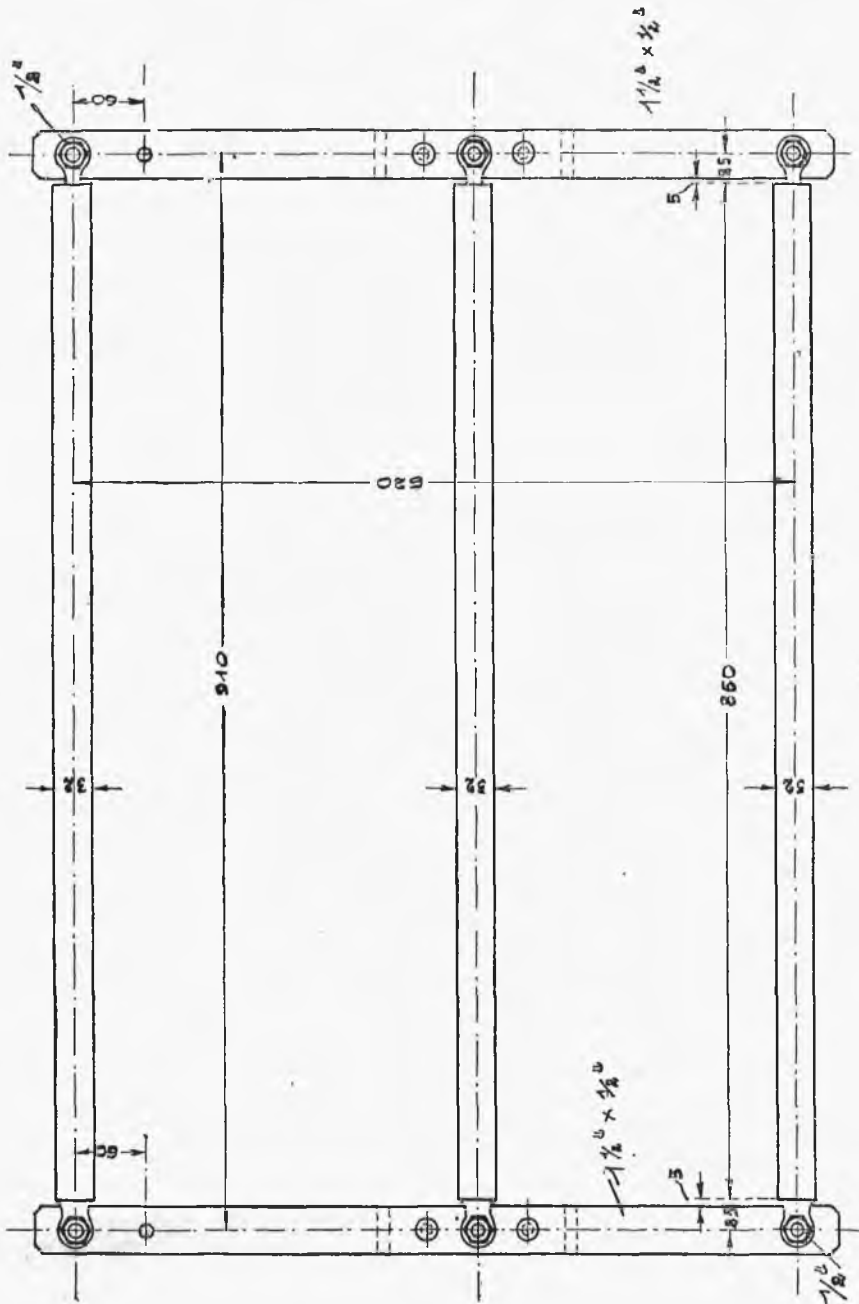
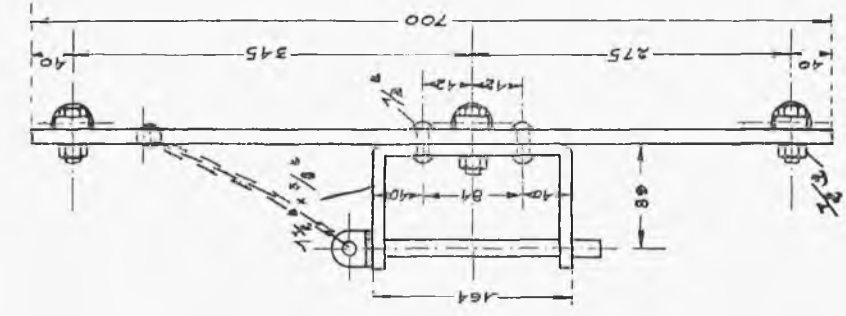
Przyrządy niestałe, lecz mające się opuszczać w razie potrzeby, mogą być samoczynne, lub nie. O ile one nie są samoczynne, to



Rys. 323.

wymagają oddzielnej czynności od motorniczego, zajętego i tak hamowaniem, sypaniem piasku i t. d. Motorniczy przeto łatwo o opuszczeniu przyrządu zapomina, lub, opuszczając go zbyt późno, właśnie nim przygniata najechanego. Przyrządy automatyczne, np. połączone tak z ostatnim stopniem hamulca, iż przy gwałtownem hamowaniu same opadają, często zawodzą, a poza tem nie unikają również niebezpieczeństwa przygnięcia sobą do ziemi najechanego.

Praktyka wykazała, iż wszelkie takie przyrządy są nietylko bezskuteczne, ale przeciwnie, iż większość z nich jest wprost szkodliwa, jedyną zaś racjonalną ochroną pozostaje dobry hamulec w ręce umiejętnego motorniczego.

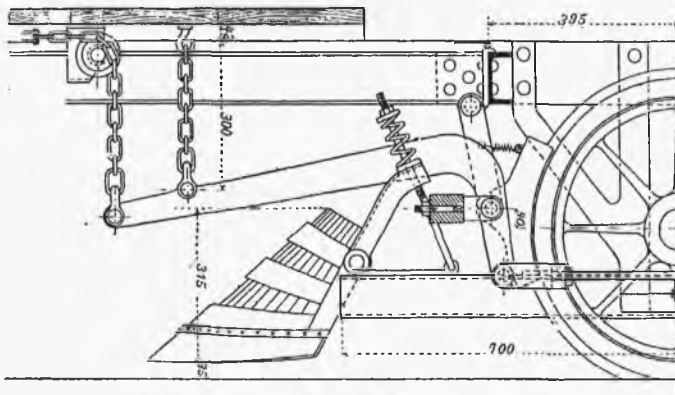


Rys. 325.

Conajwyżej ma pewną rację bytu konstrukcja J. Weitzera, rys. 324-ty, polegająca na tem, iż wachlarzowaty ku przodowi przyrząd poddaje się przy uderzeniu o przeszkodę ku dołowi i w ten sposób przeszkodę tę chwyta od dołu.

Konstrukcja ta jest w Austrii szeroko rozpowszechniona.

Oprócz ochrony przed i z boku kół należy jeszcze uniemożliwić przypadkowe dostanie się pomiędzy dwa zczepione wozy, n. p. motorowy i doczepny. Służą do tego ruchome i przenośne ścianki; ścianki takie muszą się na łukach wydłużać, względnie skracać. Mogą to być kraty żelazne w rodzaju t. n. nożyc norymberskich, lub wsuwające się w siebie teleskopowate poziome drążki, jak n. p. na rys. 325-tym.



Rys. 324.

Ściankę taką ochronną umieszcza się pomiędzy wozem motorowym i doczeplnym, względnie dwoma doczeplnymi, zawieszając ją na odpowiednich hakach przy fartuchach; zwykle stosowana bywa tylko jedna ochrona od strony toru, z której się do wozów wsiada i z nich wysiada.

20) Pudło wozowe. Na kształt i sposób wykonania pudła wozowego wpływają nietylko warunki czysto techniczne, ile warunki i wymagania miejscowe, klimat, gęstość ruchu, przyzwyczajenia i upodobania publiczności, większe lub mniejsze wymagania estetyczne i t. p. tak, iż wykonanie bywa najrozmaitsze. Niema też chyba większego przedsiębiorstwa tramwajowego czy kolejowego, któreby nie miało swego specjalnego ulubionego typu pudła, a często takowych nawet kilka. Ogólniejsze przeto prawidła i reguły nie dadzą się tu żadną miarą zestawić. W praktyce rzecz się ma zwykle tak, iż inżynier, projektujący nową eksploatację lub rozszerzenie starej, ma zrobić wybór między licznymi typami pudeł, które mu proponują specjalne fabryki wagonów, powodując się przytem tak wyżej wymienionymi względami, jako też względami natury

finansowej, względnie zarządzać niektórych zmian w przedstawionych mu typach.

Wystarczy przeto dla naszych celów wskazanie tych technicznych wymagań, którym winno odpowiadać każde pudło, wyliczenie główniejszych typów pudeł, oraz zwrócenie uwagi na niektóre ze względów eksploatacyjnych specjalnie ważne szczegóły, pozostawiając szczegółowe opisy budowy pudeł dziełom specjalnym.

Co do typów pudeł, to rozróżnić można przedewszystkiem 3, a mianowicie: 1) wozy zamknięte, jak n. p. na rys. 326-tym, 2) wozy otwarte czyli letnie, rys. 327-my, i 3) wozy z siedzeniami na dachu, rys. 328-my.

Dość liczne próby zbudowania wozów, dających się zamieniać z zamkniętych zimowych na otwarte, letnie, nie dały dotychczas zadawalniającego wyniku.

Wymywanie ścian jest zawsze kłopotliwe, pozatem zwykle takie ściany już wkrótce nie przystają dość dobrze, skutkiem czego powstaje przy jeździe niemiłe stukanie i dźwięczenie; cała budowa jest cięższa. To samo da się powiedzieć i o wozach ze ścianami zasuwanemi, w rodzaju żaluzji.

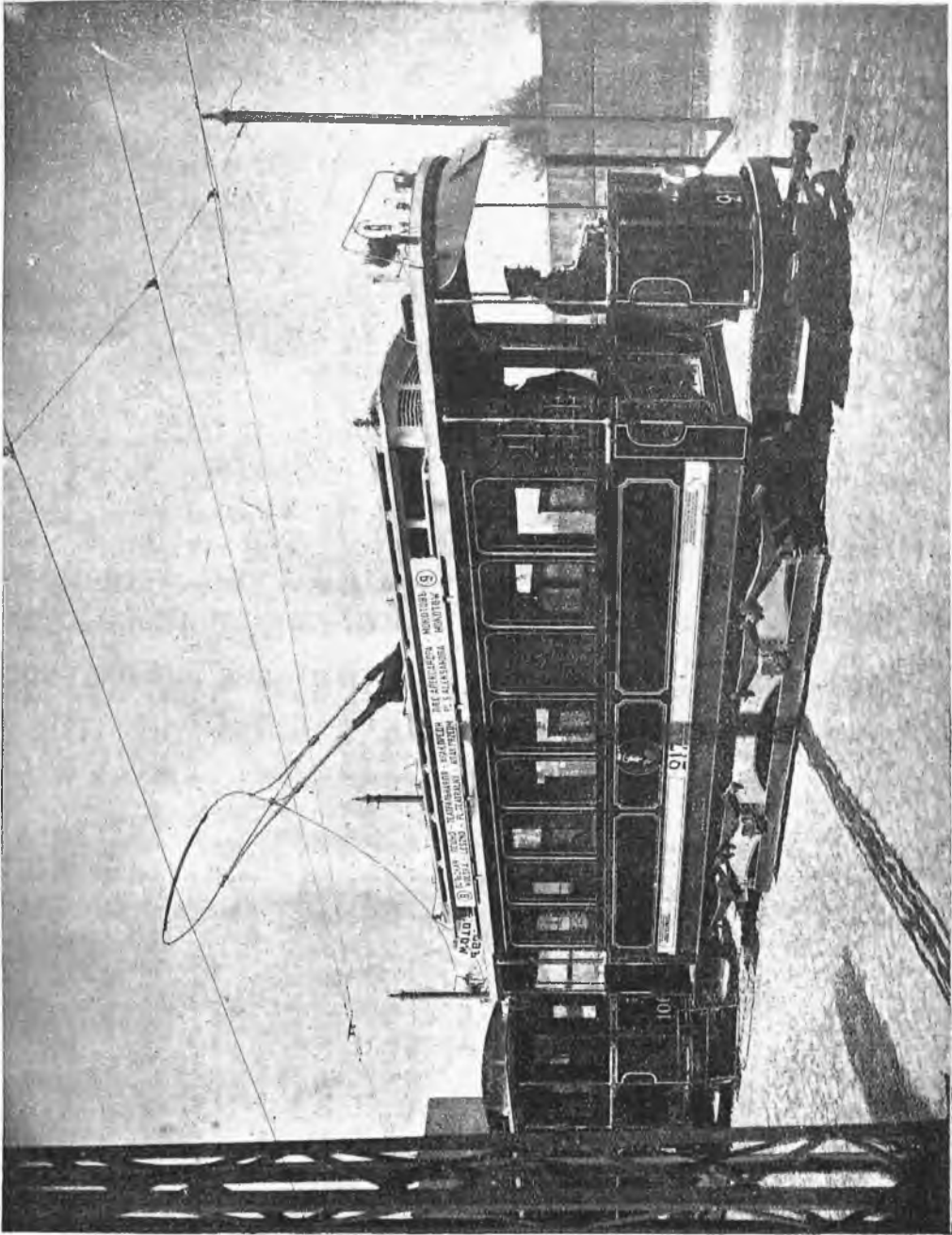
Daleko lepsze wyniki osiąga się przez zastosowanie szerokich i łatwo opuszczalnych okien, takich, jak n. p. na rys. 326-ym; po opuszczeniu okien wóz staje się faktycznie otwarty.

Co do wozów otwartych, letnich, to takimi bywają przeważnie tylko wozy doczepne, motorowe bowiem są zbyt kosztowne, aby można było stosować takie, któreby całą jesień i zimę bezczynnie stać musiały.

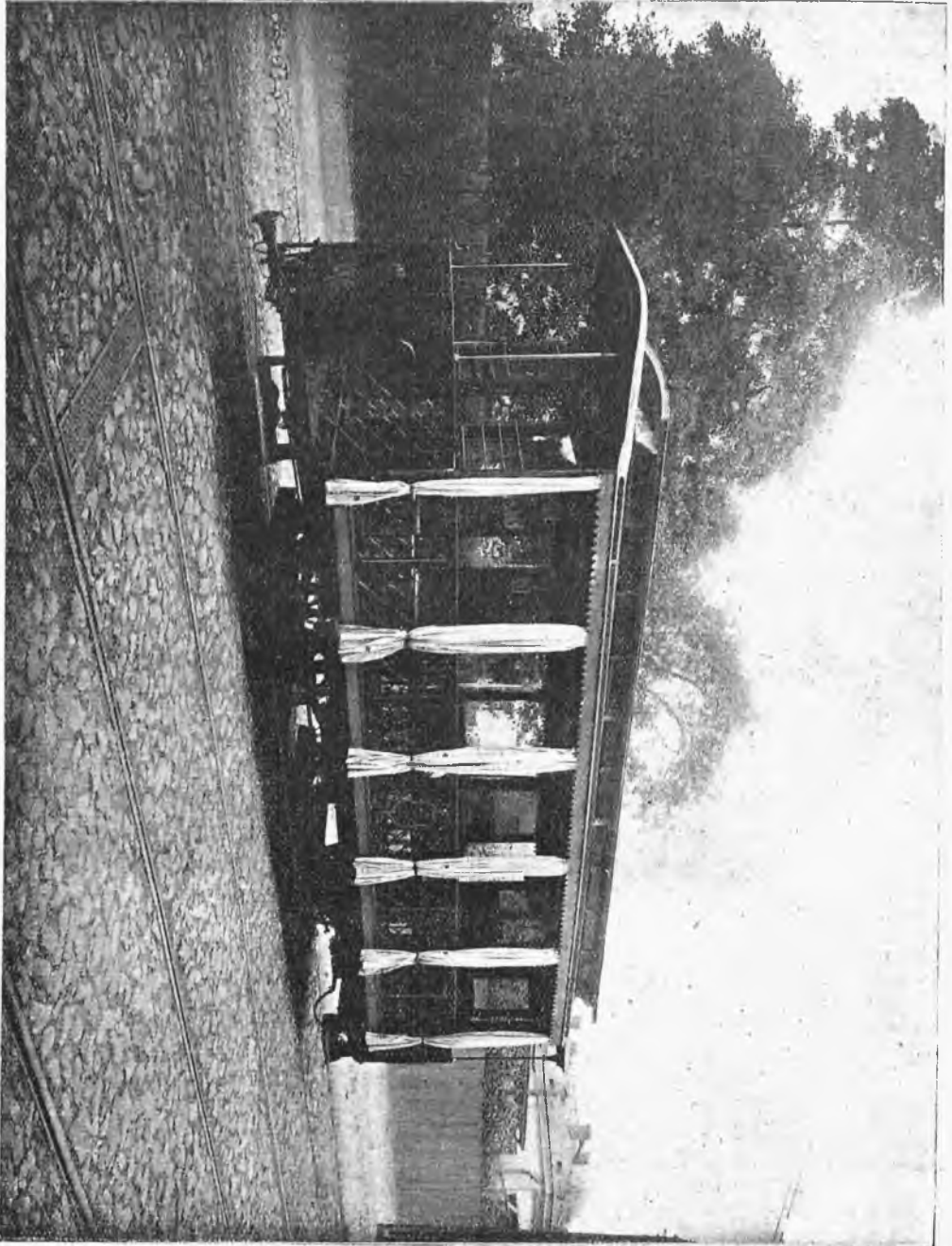
Otwarte więc wozy motorowe stosowane bywają chyba w zupełnie ciepłych klimatach, południowych Włoszech, Hiszpanji, Krymie i t. d.

Wozy z siedzeniami na dachu mają tę wielką wadę, że ich środek ciężkości leży zbyt wysoko, co wymaga specjalnie mocnej budowy podwozi; mimo wszystko takie wozy są zawsze niebezpieczne przy większych prędkościach. Lepiej jest przeto miejsca na dachu zastąpić lekkim, otwartym wozem doczepnym.

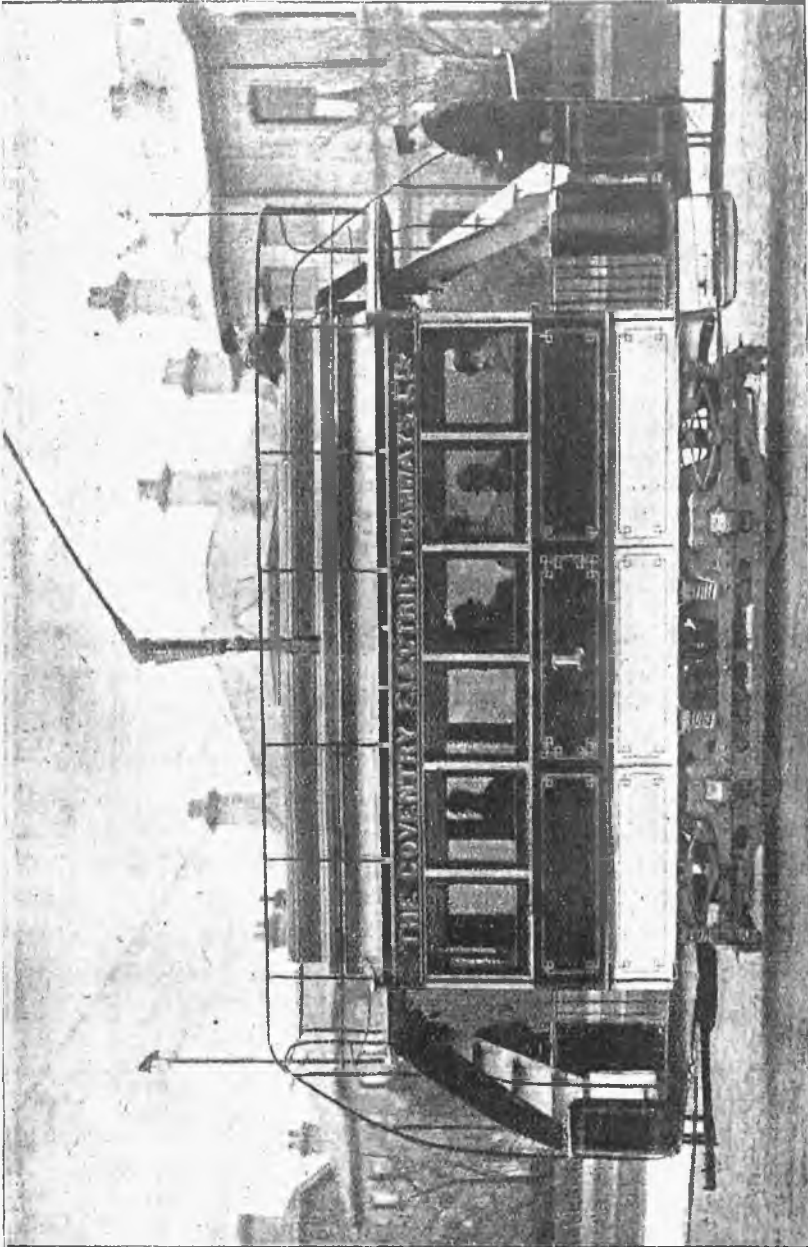
Oprócz właściwego pudła każdy wóz ma zawsze dwa pomosty na obu końcach, przez które się wchodzi, względnie z wozu wychodzi. Na pomostach umieszczane są regulatory, hamulce i wogóle przyrządy służące do kierowania wozem. Pomosty oddzielone są od wnętrza właściwego pudła ściankami z drzwiczkami. Zwykle pozostawia się na pomostach pewną przestrzeń dla miejsc stojących. Miejsca takie są zawsze dla eksploatacji korzystne, gdyż zajmują znacznie mniej przestrzeni od miejsc siedzących. Na miejsce siedzące należy zawsze liczyć $0,45 \cdot 0,5 \text{ m.}^2$ na miejsce stojące zaś tylko $0,25 - 0,35 \text{ m.}^2$ Stosunek między długością pomostów, a długością właściwego pudła, czyli między ilością miejsc siedzących i stojących, zależny jest czysto od warunków miejscowych,



Rys. 326.



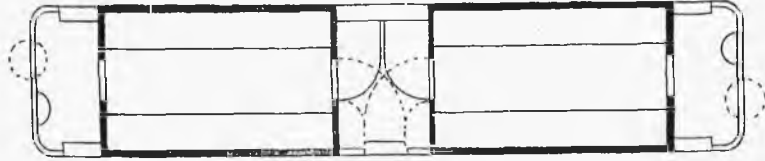
Rys. 321.



Rys. 328.

przyzwyczajeni i wymagań publiczności. Im n. p. krótsze są kursy, tem większa może być ilość miejsc stojących. Będzie ona więc większa dla tramwaji śródmiejskich, jak zamiejskich, podczas kiedy przy kolejach dojazdowych często wogóle nie daje się miejsc stojących.

Wozy cztero-osiowe miewają pozatem często jeszcze pomost po środku, jak n. p. na rys. 329-tym.



Rys. 329.

Stosunek długości obu pomostów razem do długości pudła wynosi n. p.

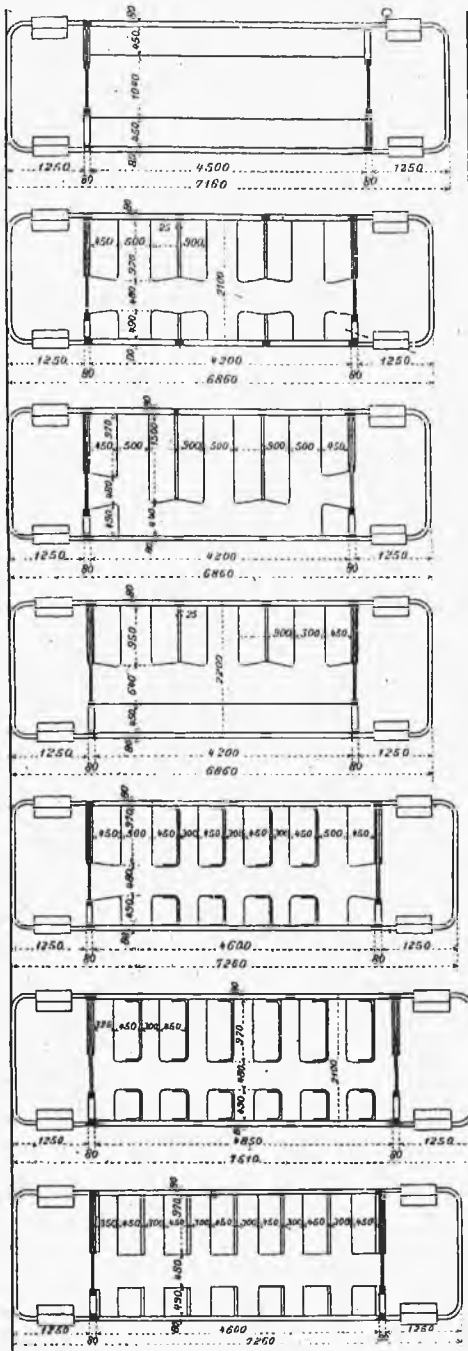
Grosse Berliner Strassenbahn	1 : 1,85
" " "	1 : 2,34
Kolej Centralna Hamburg-Altona	1 : 2,22
Tramwaje Monachijskie	1 : 2,04
Tramwaje Budapeszteńskie	1 : 2,16
Tramwaje Medjolańskie	1 : 1,82
Tramwaje de l' Est-Parisien	1 : 2,24
Tramwaje w Madrycie	1 : 2,20
Tramwaje Warszawskie	1 : 1,93
Kolej dojazdowa Düsseldorf-Krefeld	1 : 3,5.

Siedzenia we wnętrzu wozów mogą być ustawione podłużne, w kształcie ławek pod ścianami, lub poprzeczne, przyczem jednak musi być pozostawione przejście przez środek wozu; przy wozach otwartych, letnich, przejście takie staje się zbyteczne, a zastępuje je stopień ciągnący się wzdłuż całego wozu.

Na osobę liczy się zwykle 0,46—0,50 metra szerokości; głębokość siedzenia powinna wynosić 0,38—0,45 m.; przejście winno być conajmniej 0,48—0,50 m. szerokie.

Na rys. 330-tym uwidocznione są różne możliwe kombinacje ustawienia siedzeń.

Najlepiej wyzyskuje miejsce urządzenie Nr. 4, gdyż daje przy tej samej długości pudła o dwa miejsca więcej. Natomiast dla podróżnych, zwłaszcza siedzących na ławce podłużnej, takie ustawienie ławek nie jest zbyt wygodne, gdyż muszą oni trzymać nogi w wązkim przejściu. Rozmieszczenie Nr. 3 jest dla przejścia niewygodne, a że nie daje



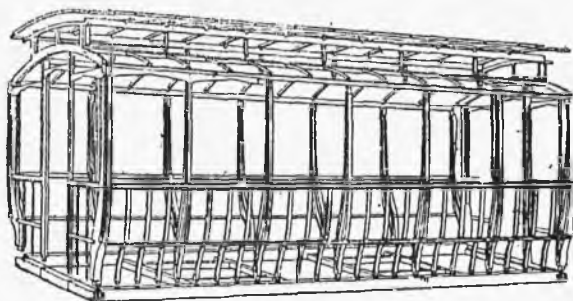
Rys. 330.

- 1) Ławki wzdłuż wozu z przejściem po środku, 18 miejsc siedzących.
- 2) Ławki poprzeczne z przejściem po środku, 18 miejsc siedzących.
- 3) Ławki poprzeczne z przejściem bocznym, 18 miejsc siedzących.
- 4) Ławki poprzeczne i podłużne, przejście po środku, 20 miejsc siedzących.
- 5) Ławki poprzeczne z przekładanymi plecami, końcowe ławki stałe, przejście po środku, 18 miejsc siedzących.
- 6) Ławki poprzeczne z przekładanymi plecami, przejście po środku, 18 miejsc siedzących.
- 7) Ławki z przekładanymi siedzeniami, przejście po środku, 18 miejsc siedzących.

żadnych korzyści co do wyzyskania powierzchni obciążając przytem jednostronnie wóz, niema ono przeto racji bytu. Siedzenia z przekładanemi plecami dają możność siedzenia zawsze w kierunku jazdy, wyzyskują natomiast gorzej powierzchnię. Ławki podłużne są zawsze dla podróżnych mniej wygodne, należy je przeto stosować tylko przy wozach węższych jak 2000 mm., które już na zastosowanie ławek poprzecznych nie pozwalają.

Miejsc stojących wewnątrz wozów należy zawsze unikać, gdyż utrudniają one tak prawidłową obsługę biletową, jak i wsiadanie i wysiadanie, powodując znaczne straty czasu na przystankach.

Największa, zewnętrzna szerokość wozów tramwajowych wynosi zwykle 2000 - 2200 mm.



Rys. 331.

Jako materiał na szkielet pudła, rys. 331-szy, oraz ramę podłogi i ramę górną używa się przeważnie dębu. Wszelkie wiązania, zaczopowania wręby i t. p. powinny być starannie dopasowane i przed związaniem osmarowane gorącym werniksem z oleju lnianego, a po wyschnięciu farbą olejną, lub w inny sposób przed gniciem zabezpieczone. Baczna uwagę należy zwrócić na staranne i mocne związanie rogów, event. przy pomocy odpowiednio ukształtowanych blach żelaznych, gdyż potrzeba pozostawienia w podłodze szerokich otworów, umożliwiających dostęp do motorów, nie pozwala na stosowanie wiązań skośnych i krzyżowych. Ścianki końcowe powinny być tak wykonane, aby stanowiły pod i nad drzwiami mocne związanie ścian bocznych. Szkielet poniżej okien winien być tak wykonany, aby stanowił kratownicę z poprzecznymi wiązaniami; zapobiega to event. przeginaniom się części wystających poza podwozie.

Drzewo, użyte do budowy pudła, winno być jaknajlepszego gatunku, bez sęków i pęknięć i zupełnie suche. Wsuszenie powinno być naturalne, skutkiem dłuższego leżenia, conajmniej 2—3 lat, a nie zaś sztuczne, przez ogrzewanie.

Zewnętrzne obicie pudła stanowi 1,5—2 mm. gruba blacha.

Całe pudło spoczywa na podłużnych żelaznych belkach, do których przytwierdzone są resory, opierające się na podwoziu. Pudło umieszcza się zwykle w takiej wysokości, aby koła pod niem mogły się swobodnie obracać i aby można było wygodnie wyjmować lub zmieniać motory; spodnia więc powierzchnia podłogi pudła znajduje się w wysokości rzadko mniejszej jak 850 mm. nad główką szyny. Dodawszy do tego grubość podłogi otrzymuje się dla wysokości jej około 890 — 900 mm., zwykle nieco więcej, do 950 mm. Ponieważ stopień schodów, jeżeli ma być wygodny, nie powinien być wyższy nad 330—350 mm, przeto należałoby umieszczać dwa stopnie, czyli prawdziwe już schody, co oczywiście znacznie utrudniałoby dostęp do wozu. Dla uniknięcia tego obniża się zwykle pomosty o jakie 250 mm. tak, iż wystarcza jeden stopień, zaś w przejściu z pomostu do wnętrza wozu powstaje próg około 250 mm. wysoki.

Wyjątek stanowią tu wozy otwarte z bocznymi wejściami i stopniami wzdłuż całego pudła; pudło umieszcza się tu niżej, zaopatrując podłogę w odpowiednie wycięcia dla górnej części kół; wycięcia te pokrywa się następnie odpowiednio ukształtowaną blachą i rozdziela ławki tak, by koła właśnie pod niemi wypadły.

Wobec obniżenia podłogi pomostu, otrzymuje on zwykle oddzielną ramę z belek drewnianych, przymocowaną do ramy właściwego pudła. Oddzielnych belek żelaznych zwykle pomosty nie mają, lecz spoczywają na tychże belkach co i pudło; belki te są w tym celu odpowiednio wygięte ku dołowi.

Dogodne urządzenie stopni stanowi wielką trudność przy pomostach środkowych jakie czasami bywają stosowane przy długich, cztero-osiowych wozach. Nie pozostaje tu nic innego, jak, albo pogodzić się z niewygodą dwu-stopniowych schodów (schody takie zabierają oczywiście też sporo miejsca), albo też przez odpowiednie wygięcie w środku głównych belek opuścić środkowy pomost niżej, co jednak przerywa ciągłość wiązania i całą konstrukcję osłabia, wymagając zastosowania mocniejszych i cięższych belek.

Pomosty bywają zamknięte, półzamknięte i otwarte.

Pomosty zamknięte, t. j. zaopatrzone ze wszystkich stron w ściany z drzwiami przy wejściu stosowane bywają tylko na kolejach głównych. kolejach międzymiastowych i innych o wielkiej prędkości i długich kursach.

Pomostami pół-zamkniętymi zwiemy, pomosty zaopatrzone z przodu i boków aż do wejść w ściany z oknami, ale bez właściwych drzwi.

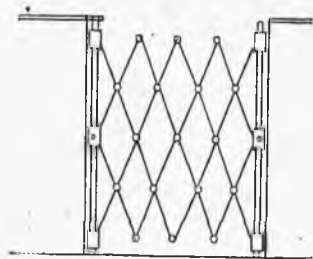
Pomosty otwarte właściwych ścian nie mają; u przodu znajduje się tu t. zw. fartuch z blachy żelaznej z drewnianą poręczą u góry, około 1000 mm. wysoki, z boków teje wysokości wązkie ścianki blaszane; cały pomost nakryty jest dachem, wspierającym się na kolumnach.

Zastosowanie takich, lub innych pomostów przy danem urządzeniu jest rzeczą wysoce zależną od warunków klimatycznych. Aczkolwiek zdawałoby się na pierwszy rzut oka, iż pomost pół-zamknięty jest dla prowadzącego wóz zawsze dogodniejszy, to jednak praktyka wykazuje, iż nie zawsze tak jest. Rzecz polega na tem, iż np. w czasie deszczu pokrywają się przednie szyby strugami ociekającej wody, w czasie zaś śniegu lub mrozu obmarzają, tamując wzrok; skutkiem tego motorniczy, prowadząc wóz po ludnych i ruchliwych ulicach zmuszony jest wtedy właśnie opuszczać szyby, kiedyby najbardziej potrzebował ochrony.

Co innego na kolejach zamiejskich, dojazdowych i t. p.; jazda poza miastem nie wymaga tak stale czujnej uwagi, zwłaszcza, jeżeli toru ułożone są na własnym torowisku; tam będą takie pomosty zupełnie na miejscu. Toteż przeważają w ogromnej większości tramwajów miejskich pomosty otwarte; pół-zamknięte spotyka się tu tylko wyjątkowo. Natomiast ma się rzecz wręcz przeciwnie na kolejkach podmiejskich i dojazdowych, gdzie właśnie przeważają pomosty pół-zamknięte, otwarte zaś stanowią tylko wyjątek.

Tożsamo da się potwierdzić i o urządzeniu na pomostach siedzenia lub chociażby siodełka dla motorniczego. Nie da się zaprzeczyć, iż stanie przez cały czas służby koło regulatora jest rzeczą uciążliwą i wysoce męczącą; z drugiej jednak strony pewne jest, iż postawa stojąca daje większą swobodę ruchów i sprzyja bardziej naprężonej uwadze niezbędnej wśród ożywionego ruchu ulicznego. Praktyka potwierdza w zupełności to rozumowanie; siedzenia dla motorniczych przy tramwajach spotyka się tylko wyjątkowo (o ile nam wiadomo tylko w Rosji), natomiast przy kolejach, kolejkach podmiejskich i dojazdowych znajdujemy prawie zawsze takie siedzenia.

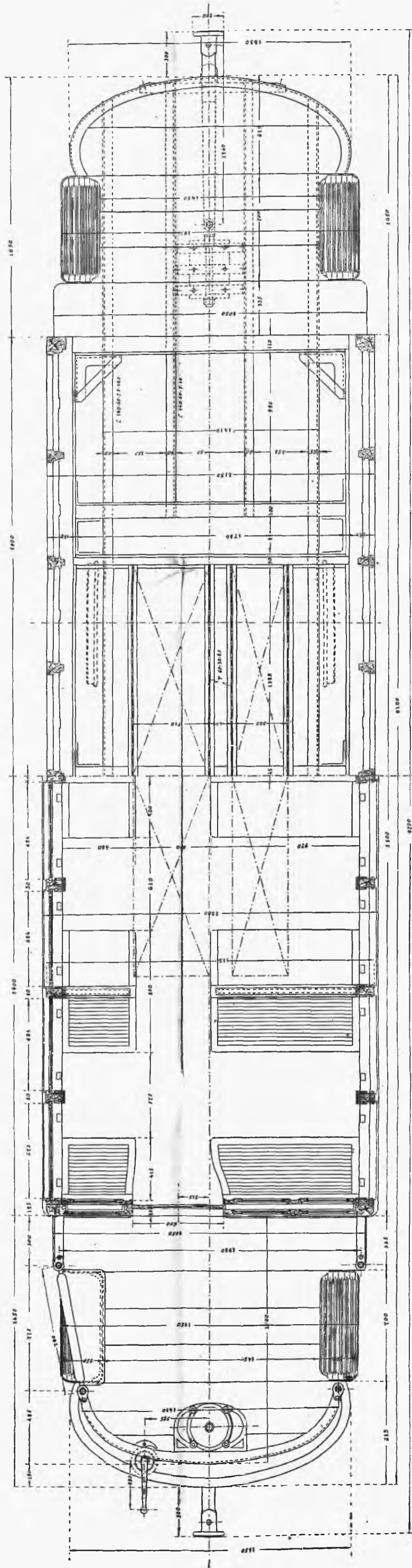
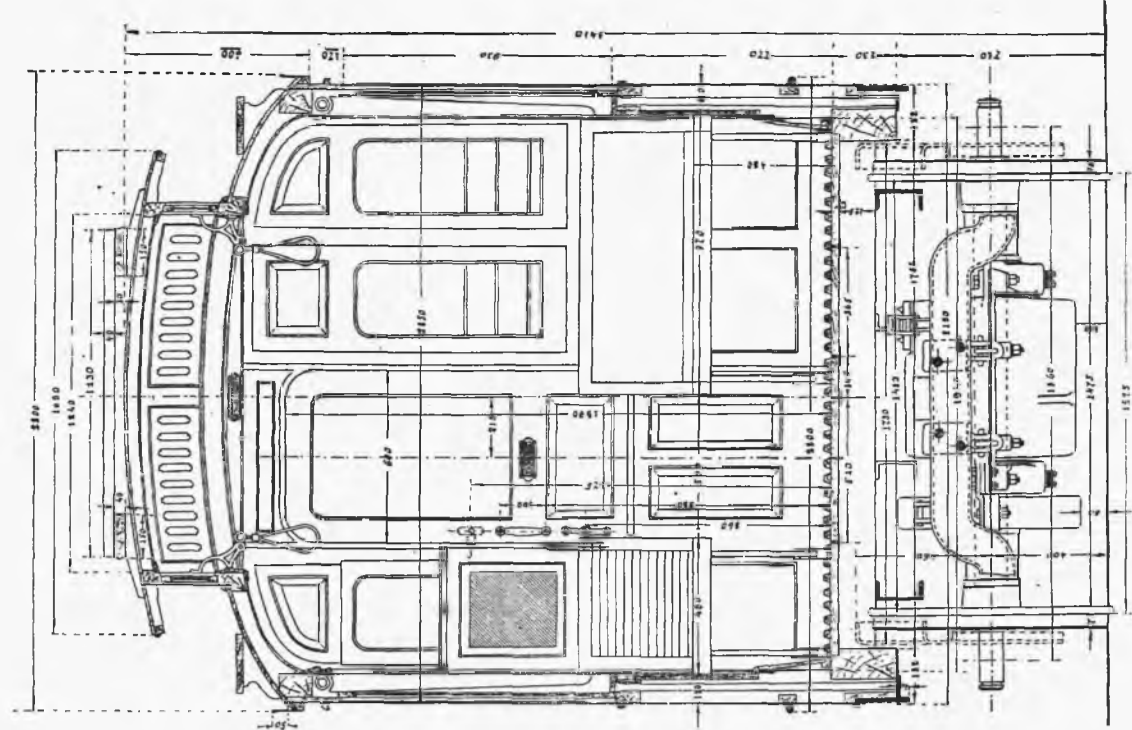
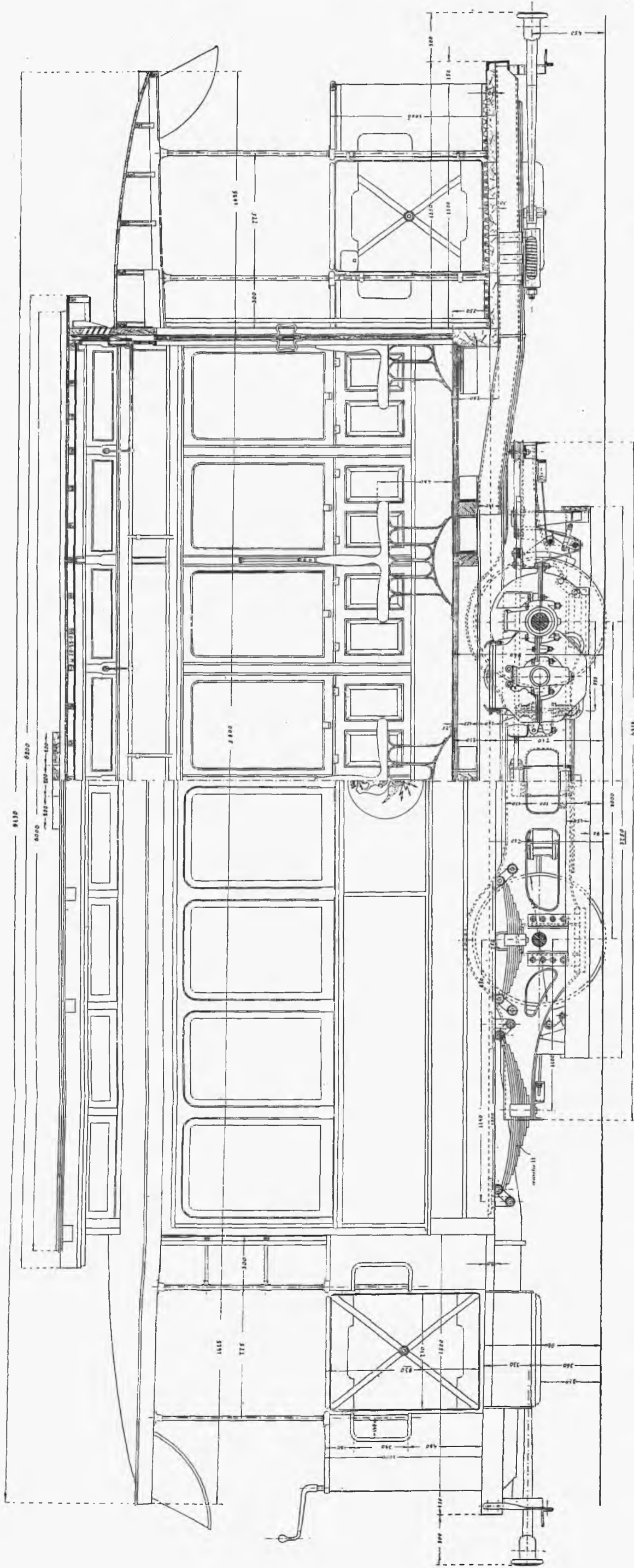
Jedną stroną pomostu, prawą lub lewą—zależnie od tego, czy ruch odbywa się na torze prawym, jak n. p. w Warszawie, Łodzi i wszędzie w Rosji, czy lewym, jak w Niemczech i Austrii—zamyka się przenośne drzwiczkami, aby uniemożliwić wsiadanie i wysiadanie z tej strony. Drzwiczki takie przenośne widzimy na rys. 332-gim.



Rys. 332.

Aby uniknąć wystawiania stopni poza profil wozu, wpuszcza się je zwykle w podłogę pomostów; drzwiczki więc przenośne muszą być zaopatrzone w odpowiednią klapę, zakrywającą wycięcie stopnia ze strony zamkniętej.

Stopnie robi się najlepiej kratowe, aby nie były ślizkie.



Wagon motorowy

Typ 1910 r.

Rys. 333.

Baczną uwagę należy zwracać na staranne wykonanie i dopasowanie okien i drzwi, aby uniknąć tak wiania, jak nie milego brzęczenia i tarabanienia w czasie jazdy, a później paczenia się, kantowania, zacinania i t. p. Szyby najlepiej jest umocowywać w ramach na odpowiednio ukształtowanych paskach gumowych, co zupełnie zapobiega dzwonieniu. Okna zaopatruje się zawsze w firanki lub żaluzje, najlepiej skręcane na wałkach. Jeżeli wozy mają być ogrzewane, to wskazane jest zastosowanie na zimę okien podwójnych, na lato wyjmowanych; zaoszczędza to dużo ciepła. Konstrukcja takich okien winna być taka, aby dawały się one łatwo wstawiać i wyjmować, i to koniecznie bez śrub, gwoździ i t. p., gdyż te zawsze rozluźniają się z biegiem czasu.

Wobec ciężaru przyrządu doprowadzającego prąd, pałąka lub krążka, oraz konieczności dania dostępu do tego przyrządu, dach musi być silnie zbudowany i zaopatrzony w specjalne chodniki, po których możnaby było wygodnie chodzić przy obsłudze zbieracza prądu. Poza to należy wóz zaopatrzyć w drabinki, umożliwiające dostęp na dach. Drabinki te umieszcza się najlepiej na pomostach, wstawiając pomiędzy kolumny parę poprzeczek, stanowiących szczeble.

Wozy prostszej konstrukcji otrzymują dach ciągły; lepiej z podwyższeniem pośrodku, t. n. latarnią, zapewniającą lepszą wentylację. W ściankach bocznych tej latarni umieszcza się małe, otwierane okienka. Niezależnie od tego zaopatruje się przednie ścianki nad drzwiami w odpowiednie, n. p. żaluzjowe wentylatory.

Na zakończenie opisu pudeł wozowych podajemy poniżej szczegółowy opis pudła wozów motorowych tramwajów miejskich warszawskich, rys. 333-ci i 326-ty (str. 361).

Tramwaje miejskie warszawskie są jedną z najpóźniej zbudowanych instalacji tramwajowych wielkomiejskich; że zaś przy budowie ich starano się zastosować wszelkie najnowsze ulepszenia, przeto wozy te, które w praktyce okazały się rzeczywiście bardzo dobre i odpowiednie, mogą służyć jako wzór wygodnie urządzonych wozów dla ruchu wielkomiejskiego.

Główne wymiary pudła są następujące:

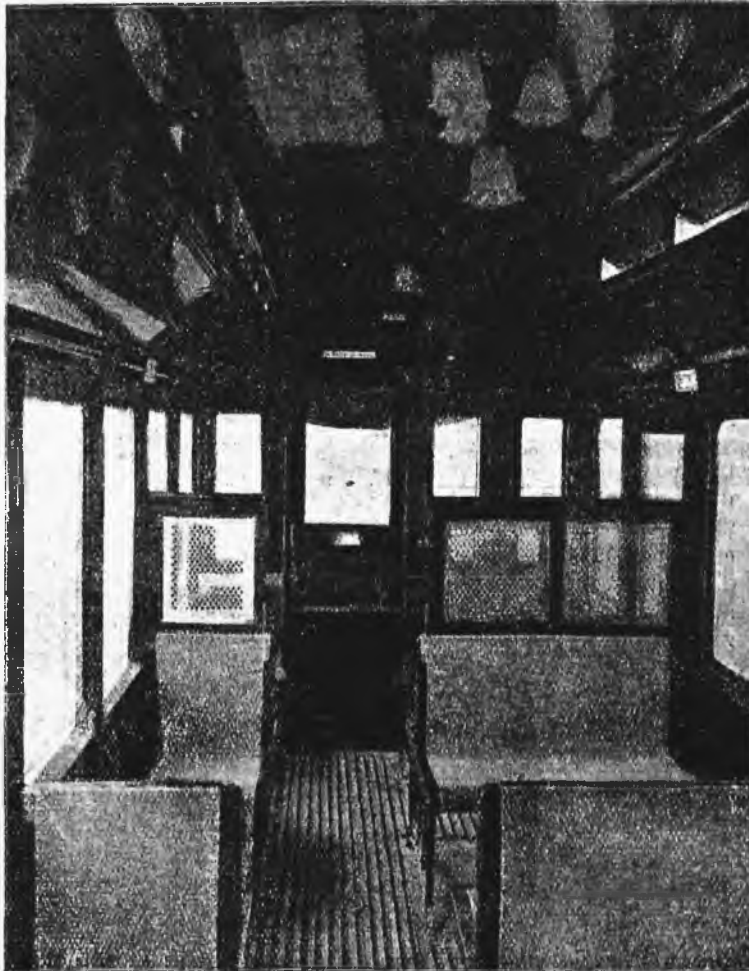
długość między zderzakami 9700 mm., bez zderzaków 9130 mm.,
bez pomostów 5800 mm.; największa szerokość zewnętrzna
2200 mm.;

wysokość pudła samego 2700 mm., wysokość podłogi pudła
nad szynami 940 mm, pomostów 690 mm., wysokość całego
wozu 3410 mm.

Główne wymiary podwozia:

długość 4315 mm., rozstawienie kół 2000 mm., szerokość toru
1525 mm. (normalna rosyjska), średnica kół 800 mm.

Szkielet pudła wykonany jest z dębu, wewnętrzne oszalowania, drzwi, okna i t. p. z mahoniu, ramy okienne z drzewa tekowego, sufit z jaworu jasnego. Zewnątrz jest pudło obite 1,5 mm. grubą blachą żelazną. Całe pudło umocowane jest na dwu podłużnych, odpowiednio



Rys. 334.

wygiętych ceownikach $160 \times 65 \times 7,5 \times 10,5$ mm., biegnących wzdłuż całego wozu wraz z pomostami. Pod podłogą pomostów umieszczone są oprócz tego jeszcze dwa ceowniki $140 \times 60 \times 7 \times 10$ mm., do których przymocowane są zderzaki. Siedzenia ustawione są poprzecznie; z jednej strony wozu znajduje się 8 ławek, ustawionych plecami do siebie, każda

ławka na dwie osoby (szerokość 970 mm.), z drugiej również 8, ale na jedną osobę każda (szerokość 480 mm.). Między obu rzędami ławek zestawione jest 500 mm. szerokie przejście, biegnące wzdłuż całego wozu. Dwa pierwsze rzędy ławek od obu końców stanowią klasę drugą, dalsze — pierwszą. Poręcz pomiędzy ławkami drugiej i pierwszej klasy jest podwyższona przez dodanie dziurkowanej blachy mosiężnej w odpowiedniej ramie drewnianej i stanowi przedział pomiędzy klasami. Ławki w klasie drugiej są politurowane, w pierwszej obite mokiety. Miejsca na pomoście przednim są klasy drugiej, tylnym — pierwszej*).

Z każdej strony wozu znajduje się 8 okien; szyby dają się zupełnie opuszczać i ukryć wraz z ramami między podwójnymi w tych miejscach ściankami. Szyby osadzone są w ramach na paskach gumowych. Na zimę wstawia się okna podwójne; okna te wstawia się wraz z ramami w otwory okienne i zahacza się w specjalnie w nich przewidziane występy. W obu ściankach poprzecznych, oddzielających wewnątrz pudła od pomostów, znajdują się, nieco z boku, wprost przejścia, zasuwane drzwi 600 mm. szerokie i 1890 mm. wysokie; drzwi te chodzą na kółkach. Obok drzwi znajdują się z jednej strony dwa, a z drugiej jedno okno. Drzwi są do połowy zaszkłone, okna przednie podwójne, niewyjmowane. W drzwiach poniżej oszklenia znajduje się mały otwór, zamknięty zasuwką, służący do inkasowania należności za bilety bez otwierania drzwi.

Górna część pudła stanowi latarnię z bocznymi otwieraniami okienkami ze szkła lodowatego. Nad drzwiami umieszczone są wentylatory zasuwkowe.

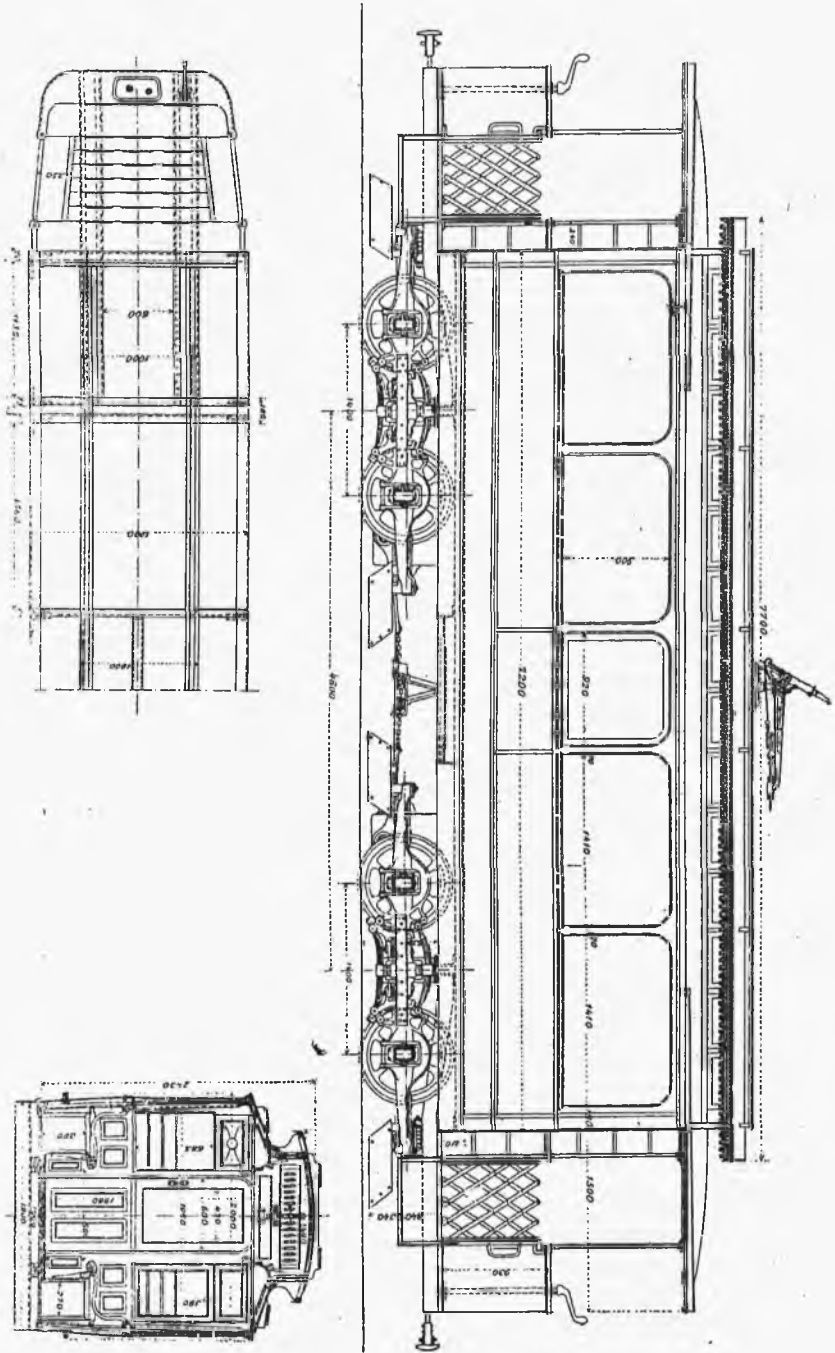
Wnętrze wozu uwidocznione jest na rys. 334-tym.

Pomosty są otwarte**). Przed fartuchami znajdują się 150 mm. szerokie występy, zakończone odpowiednio wygiętym ceownikiem, stanowiące tarany, zabezpieczające fartuch od zderzeń. Dach nad pomostami spoczywa na 4 kolumnach, między którymi znajdują się stopnie i wejścia. Stopnie 330 mm. szerokie są wpuszczone w pomost. Wejścia tak przedniego, jak i tylnego pomostu z lewej strony w kierunku jazdy są stale zamknięte przenośnikami drzewczkami żelaznymi, zaopatrzonymi u dołu w klapy, zakrywające stopień. Wszystkie okucia, tak wewnątrz, jak i zewnątrz wozu, są brązowe, polerowane.

Ogólna ilość miejsc wynosi 40, z których 24 siedzące i 16 stojących na obu pomostach. Ciężar elektrowozu wraz z urządzeniami elektrycznymi wynosi 10200 kg.

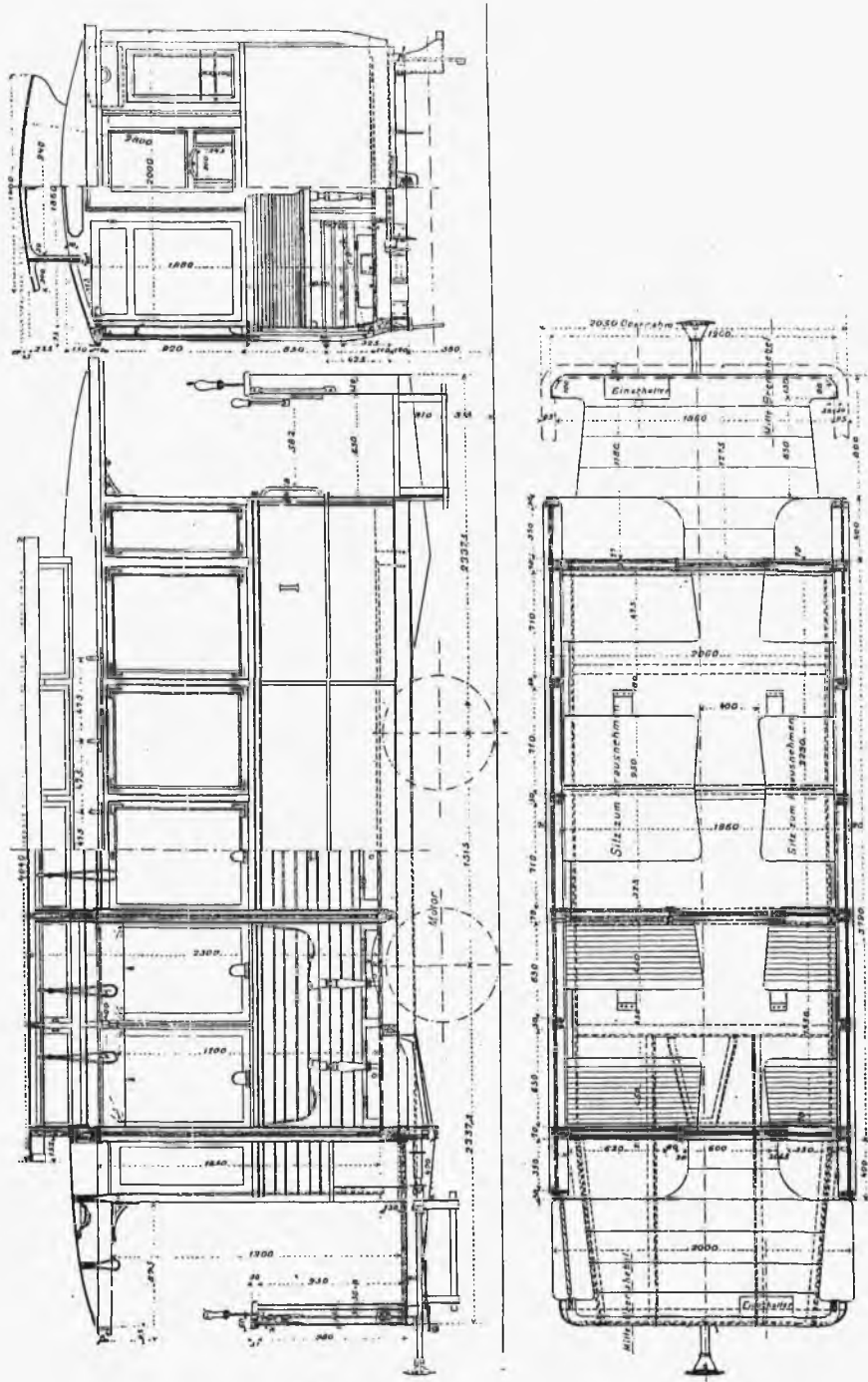
*) Podział na klasy został później zniesiony.

**) Obecnie przerabia się je na półzamknięte.



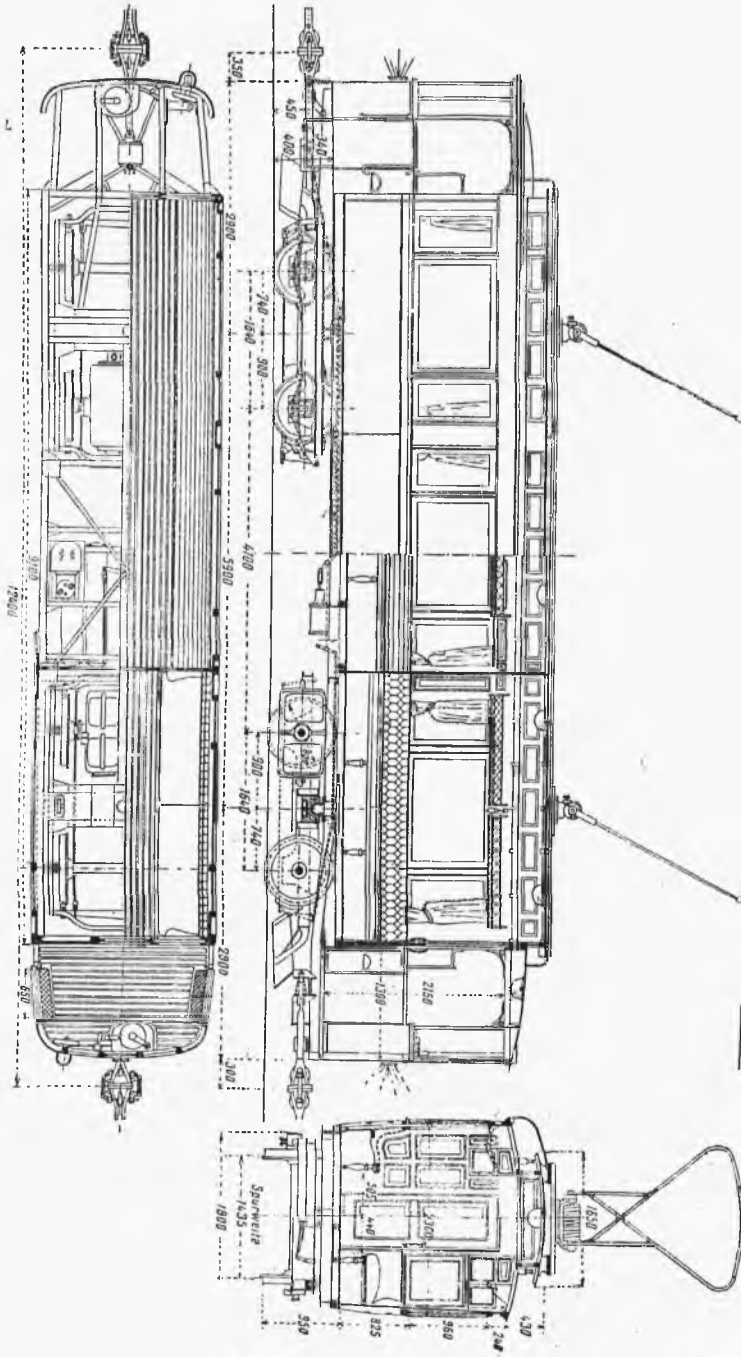
Rys. 385.

Wóz cztero-osiowy tramwajów berlińskich. 28 miejsc siedzących, 15 stojących.



Rys. 386.

Wóz motorowy tramwajów lwowskich. 16 miejsc siedzących wewnątrz, 6 siedzących i 10 stojących na pomostach.



Rys. 337.
Wóz cztero-osiowy kolei dojazdowej Düsseldorf-Krefeld, 34 miejsc siedzących, 14 stojących, pomosty półzamknięte.

Abb. 63.

21) Dzwonki. Dla porozumiewania się między sobą konduktora i motorniczego służą przy tramwajach przeważnie dzwonki, umieszczone na obu pomostach. Są to zwykle dzwonki mechaniczne, które się porusza przez pociągnięcie rzemyka, przechodzącego u góry przez całą długość wozu; jeżeli pociąg składa się jeszcze z jednego lub dwu wozów doczepnych, to sygnały powtarzają sobie kolejno konduktorzy. Dzwonki ciągłe, t. j. takie, przy pomocy których konduktor ostatniego wozu doczepnego mógłby dawać bezpośrednio sygnały motorniczemu, okazały się niepraktyczne. Gdzieniegdzie, n. p. w Medjolanie, zastosowano dzwonki elektryczne. Działają one doskonale, koszt jednak ich utrzymania jest stosunkowo znaczny (zmiana baterji, naprawy i t. p.).

Dzwonki alarmowe służą do przestrzegania przechodniów i pojazdów o zbliżaniu się pociągu. Dzwonki te bywają przeważnie umieszczone pod podłogą pomostów i poruszane nogą przy pomocy odpowiedniego grzybka, przechodzącego przez podłogę i naciskającego na młotek, bijący w brązową miskę. Średnica takich dzwonów wynosi zwykle 200—260 mm. Czasami, zwłaszcza w dawniejszych urządzeniach, bywały dzwonki alarmowe umieszczane na korbie hamulca ręcznego i poruszane ręką. Urządzenie takie jest jednak mniej praktyczne, gdyż utrudnia hamowanie.

W miastach o słabym, lub, jak przeważnie bywa za granicą, doskonale uregulowanym ruchu ulicznym, gdzie same władze policyjne ściśle pilnują, aby wozy i pojazdy nie tamowały ruchu tramwajowego, nie jeździły po torach, a w każdym razie przy pojawieniu się pociągu natychmiast z takowych zjeżdżały, jest kwestja dzwonek alarmowych rzeczą zupełnie drugorzędnej wagi. Każdy dzwonek, aby działał łatwo, nie był skomplikowany i miał przyjemny dźwięk, będzie tam dobry. Inaczej jednak w miastach o silnym i słabo uregulowanym ruchu ulicznym, jak niestety przeważnie bywa u nas; tu zmuszają motorniczego niechęć ustąpić z torów furmanki, wlekące się po torach dorożki, ślepo przed siebie pędzące dzieci, zamyśleni przechodnie i t. p. do stałego, prawie nieustannego, dzwonienia. Oczywiście jest, iż najlepsze i najmocniejsze nawet dzwonki wkrótce się rozbijają, grzybki i młotki deformują i zacinają, co nietylko powoduje znaczne dość koszta reparacji, ale zmusza często do wycofania z ruchu na parę godzin wagonu dla poprawy dzwonek. Ustawiczne tupanie nogą w grzybek dzwonka staje się pracą nader uciążliwą i wymęcza bodaj bardziej motorniczego, jak wszystkie inne jego czynności razem wzięte; tupanie to powoduje nieznośny ból mięśni i wywołuje nierzadko rozszerzenie żył.

Należałoby przeto koniecznie zwrócić na dzwonki alarmowe baczniejszą uwagę; dotychczas w tym kierunku nic prawie nie zrobiono, a rozstrzygnięcie kwestji nie zdaje nam się być trudnem; prawdopodobnie

wystarczyłoby postawienie odpowiednich wymagań ze strony towarzystw eksploatujących, aby wnet powstały ulepszone konstrukcje.

Tam, gdzie wozy zaopatrzone są w hamulce pneumatyczne, daje się zastosować z powodzeniem dzwonki powietrzne. Dzwonki takie zostały między innymi już od dość dawna zastosowane w większej ilości w Kijowie, gdzie zdają się działać dobrze; o kosztach utrzymania i reparacji brak nam niestety danych.

Dzwonki elektryczne stosowane były dotychczas tylko tytułem próby, między innymi w Moskwie; o rezultatach tych prób wiadomości nie posiadamy.

W handlu znajdują się dzwonki elektryczne dla napięć do 150 voltów; zbudowanie jednak dzwonka dla napięcia 500—600 voltów nie powinno przedstawiać nieprzewycięzonych trudności. Ponadto można by się posługiwać i dzwonekami dla 150 voltów włączając przed nie odpowiednie oporniki. Użycie baterji ogniowych byłoby zbyt kosztowne, wątpliwe też jest, czy zastosowanie akumulatorów okazałoby się praktyczne, gdyż ładowanie ich przedstawiałoby zawsze znaczne trudności. Powtarzamy, rozwiązanie kwestji nie zdaje nam się być trudnem i należałoby koniecznie dążyć do zastąpienia dzwonek mechanicznych elektrycznymi, czem nie tylko zmniejszyłoby się koszta eksploatacyjne, ale przede wszystkim ulżyło ciężkiej pracy motorniczych.

Próbowane też były różnego rodzaju syreny; przyrządy te jednak, zupełnie odpowiednie dla kolejek zamiejskich, są dla śródmiejskich tramwajów zbyt hałaśliwe i w dźwięku niemiłe.

22) Ogrzewanie. Potrzeba sztucznego ogrzewania wozów zależna jest nie tylko od warunków klimatycznych, ale także i od ogólnego charakteru linii, t. j. większej lub mniejszej długości przejazdów, jakie przeciętnie robią podróźni. Ogrzewanie więc takie, niezbędne dla kolei dojazdowych i długich podmiejskich linii, staje się często dla tramwajów śródmiejskich zbyt kosztowne. Ponieważ nikt w wozach tramwajowych nie zdejmuje wierzchniego ubrania, przeto nie należy w takich wozach nigdy podnosić temperatury wyżej ponad $+4 - 6^{\circ}$ (oczywiście przy sztucznem ogrzewaniu), większa bowiem ciepłota byłaby nieprzyjemna i mogła łatwo wywoływać zaziębienia.

Z wszelkich sposobów ogrzewania zdadne są dla tramwajów i kolejek elektrycznych tylko dwa, a mianowicie: ogrzewanie piecykami, opalanymi brykietami lub antracytem i ogrzewanie elektryczne.

Piecyki antracytowo brykietowe mogą być ustawiane albo na ławkach, jak na rys. 338-ym, albo pod siedzeniami, rys. 339-ty.

Gazy spalinowe muszą oczywiście być wyprowadzone na zewnątrz, jużto kominem ponad dach wystającym, jużto bocznymi otworami

w ścianach (przy urządzeniu, jak na rys. 339-ym). Ogrzewanie takie działa doskonale i jest tak w urządzeniu jak i eksploatacji bardzo tanie, wymaga jednak dla utrzymania równomiernej temperatury dość starannej obsługi. Urządzenie, rys. 338-my, daje równomierniejszą temperaturę, zabiera jednak conajmniej jedno miejsce siedzące. Pozatem trudno uniknąć pewnego zabrudzenia i zapylenia wnętrza wozu.

Daleko czystsze, przyjemniejsze i łatwiejsze do obsługi, ale zato w eksploatacji znacznie droższe, jest ogrzewanie elektryczne. Wewnątrz wozu ustawia się odpowiednie oporniki, przez które przepuszcza się w razie potrzeby ogrzewania prąd elektryczny; energia elektryczna zamienia się tu na ciepło i ogrzewa wnętrze wozu. Jeżeli napięcie w voltach oznaczymy przez E , a natężenie prądu w amperach przez i , to prąd wykona pracę:

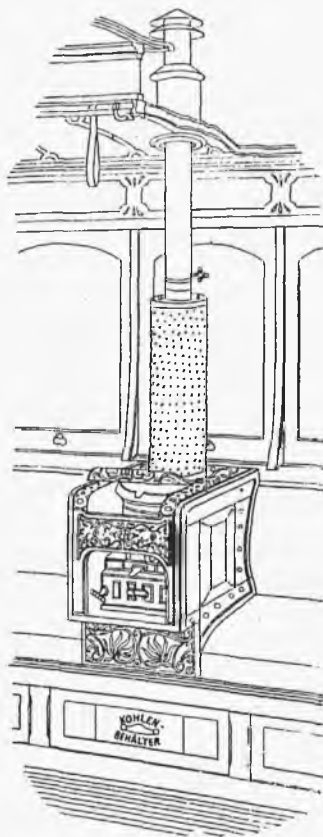
$$\frac{E \cdot i \cdot 75}{736} \text{ kilogr. metr. sek.}$$

zaś 1 kaloria = 424 kg. m. przeto otrzymamy

$$\frac{E \cdot i \cdot 75}{736 \cdot 424} \text{ kalorii na sekundę.}$$

Próby wykazują, iż dla podniesienia temperatury wagonu o 20 miejscach siedzących z otwartymi pomostami o 20—25° ponad temperaturę zewnętrzną, a zatem utrzymania + 5° przy zewnętrznej temperaturze — 15—20° potrzeba około 0,6 kal. na sek. Odpowiada to 4,5 amp. przy 550 voltach.

Licząc średnio tylko połowę, t. j. 1250 watów, wynika, iż ogrzewanie w przeciągu trwania ruchu, średnio 17 godzin, jednego wozu zużywa 20,25 kilow. godzin, co przy koszcie kilowatt-godziny n. p. 4 kop. stanowi 81 kop. dziennie. Nie jest to więc znowu suma tak wielka, aby nie równoważyły jej inne wygody związane z ogrzewaniem elektrycznym. Pozatem jednak nie należy zapominać, iż elektryczne ogrzewanie zwiększa obciążenie elektrowni, że więc nie zawsze da się zastosować, względnie, że należy już przy projektowaniu przewidzieć ogrzewanie. W normalnych warunkach, wynosi, jak to już widzieliśmy, średnie obciążenie elektrowni 12 — 14 amp. na wagon, ponieważ zaś ogrzewanie wymaga około 5 amp., zwiększa więc ono obciążenie o około 30%.

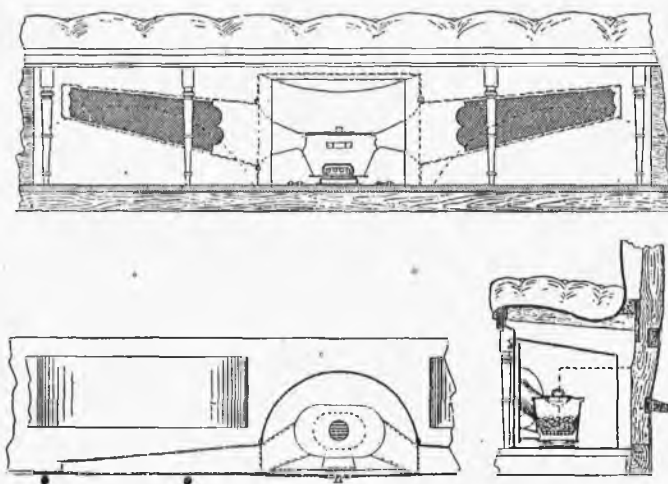


Rys. 338.

To jest właśnie główną słabą stroną ogrzewania elektrycznego stojącą na zawadzie szerszemu jego rozpowszechnieniu. Przy cięższych wozach i większych prędkościach kolei dojazdowych jest to dodatkowe obciążenie procentowo znacznie mniejsze i przestaje grać poważniejszą rolę.

Piecyków elektrycznych, t. j. oporników, ustawia się zwykle dla osiągnięcia równomierniejszej temperatury kilka, łącząc je ze sobą parami w szereg.

Tak n. p. ustawiono w wozach tramwajów Warszawskich po 4 oporniki, włączone w dwa obwody po dwa w szereg; każda para zużywa 1100 watów. Dwa obwody ułatwiają regulowanie ogrzewania.



Rys 339.

ROZDZIAŁ XI.

Tabor. Część elektryczna.

1) **Motory.** W rozdziałach I — IV podaliśmy już sposoby obliczania mocy potrzebnej dla poruszania pociągu oraz określania mocy motorów, mówiliśmy również o rodzajach motorów stosowanych do trakeji, ich właściwościach, zaletach i wadach, jakoteż o liczbie motorów na wóz, sposobach ich łączenia, puszczenia w ruch i regulowania prędkości.

Ponieważ zaś techniczne obliczanie motorów i ich części, określanie wymiarów i mechaniczne wykonanie należy raczej do nauki o bu-

dowie maszyn elektrycznych, przeto przestaniemy tu na paru tylko wskazówkach.

Po dość długich próbach początkowych typy motorów prądu stałego, używanych do trakcji ustaliły się dziś już zupełnie; w normalnych warunkach, za wyjątkiem tylko niektórych lokomotyw, stosowane bywają wyłącznie motory zamknięte, t. j. takie, których kadłub (jarzma, łączące bieguny magnesów) stanowi zewnątrz, hermetycznie zamknięte pudło, zawierające w swem wnętrzu twornik, kolektor, szczotki, uzwojenia magnesów i t. p. i chroniące je od wilgoci i pyłu.

Dla umożliwienia wyjmowania twornika wykonywane się pudła dwudzielne w kierunku osi przez łożyska; dwie połowy pudła są z jednej strony połączone zawiasami, z drugiej zaś śrubami; rozśrubowanie tych paru śrub pozwala otworzyć pudło i wyjąć twornik. Motory bywają tak zmontowane, że albo podnosi się górną połowę pudła, albo opuszcza dolną; w tym wypadku jest górna połowa zaopatrzona w rodzaj zasuwek czy haków, które zabezpieczają twornik od wypadnięcia po otwarciu pudła. W pierwszym wypadku wyjmuje się twornik przez odpowiedni otwór w podłodze wagonu, w drugim opuszcza się go w dół wprost do dołu rewizyjnego, co jest stanowczo wygodniejsze, jak wyjmowanie przez pudło wagonu. Łożyska twornika i łożyska, któremi motor opiera się na osi wagonu, stanowią przy tej konstrukcji jedną całość z pudłem motoru.

Takie dwudzielne pudła są dotychczas w Europie ogólnie używane. Natomiast w Ameryce rozpowszechnia się coraz bardziej inna konstrukcja z pudłem nie dwudzielnem, lecz stanowiącym rodzaj cylindra, zamkniętego z obu końców naśrubowanymi tarczami, stanowiącymi jedną całość z łożyskami twornika. Dla wyjęcia twornika należy tu wyjąć z podwozia cały motor, gdyż twornik wysuwa się w kierunku osiowym, na co nie pozwoliłyby koła i inne części podwozia. Jestto wprawdzie może nieco mniej wygodne, jak wyjmowanie przy pudle dwudzielnem, zapewnia zato znacznie większą szczelność zamknięcia i większą trwałość łożysk i panewek. Przy wyjmowaniu twornika przez pudło wagonu, lub w dole rewizyjnym, łatwiej też o uszkodzenia, jak przy wyjmowaniu całego motoru i dozywaniu twornika dopiero w warsztatach. Toteż konstrukcja ta zaczyna się obecnie coraz bardziej rozszerzać i w Europie.

Niezależnie od sposobu dozywania twornika, pudło bywa zawsze zaopatrzone nad kolektorem w otwór, zamknięty klapą, przez który można się dostać do kolektora i szczotek, nie rozbierając motoru.

Kształt taki motorów trakcyjnych spowodowany został tem, że motory umieszczane bywają przeważnie pod pudłem wagonu i przytwierdzone w odpowiedni sposób do podwozia. W tem miejscu są oczywiście motory narażone na wilgoć, pył i różne zanieczyszczenia, od

których szkodliwego wpływu należało koniecznie ochronić uzwojenia, kolektory i t. d.

Dalszą konsekwencją umieszczenia motorów pod wagonem, w podwoziu, jest ich ścieśniona konstrukcja i mała średnica przy stosunkowo większej długości, gdyż mała średnica kół nie pozwala na zastosowanie większych średnic tworników.

Prawie wszystkie nowsze motory tramwajowe i kolejowe są 4-biegunowe; większa ilość biegunów wymagałaby zbyt wielkiej ilości działek kolektorowych, a co zatem idzie — zbyt wielkich kolektorów, które tylko z trudnością dałyby się pomieścić w pudle motoru. Motory o większej ilości biegunów stosowane bywają tylko przy lokomotywach, gdzie mogą być umieszczone nad ramą podwozia; takie motory bywają czasami otwarte i zbliżają się bardziej do normalnego typu. Motory wreszcie osadzone bezpośrednio na osi pędnej bywają czasami dwubiegunowe, a to dlatego, aby umożliwić pewne sprzężowanie między twornikiem, osadzonym na osi pędnej, a magnesnicą, osadzoną na podwoziu.

Moc motoru ograniczona jest, jak wiadomo, nagrzewaniem się jego części, gdyż temperatura twornika, uzwojeń magnesów i kolektora nie może przekraczać pewnych granic, szkodliwych dla materiałów izolacyjnych (75—90° C. dla uzwojeń, 85° C. dla kolektorów).

Nagrzanie się to jest silniejsze w motorach zamkniętych, jak otwartych, toteż motory trakcyjne określonej mocy zawsze muszą być większe, jak motory otwarte tej samej mocy. Motory trakcyjne dawniejszej konstrukcji nie miały wogóle wentylacji; dopiero w ostatnich latach zaczęto, najpierw w Ameryce, budować takie motory z naturalną ulepszoną wentylacją.

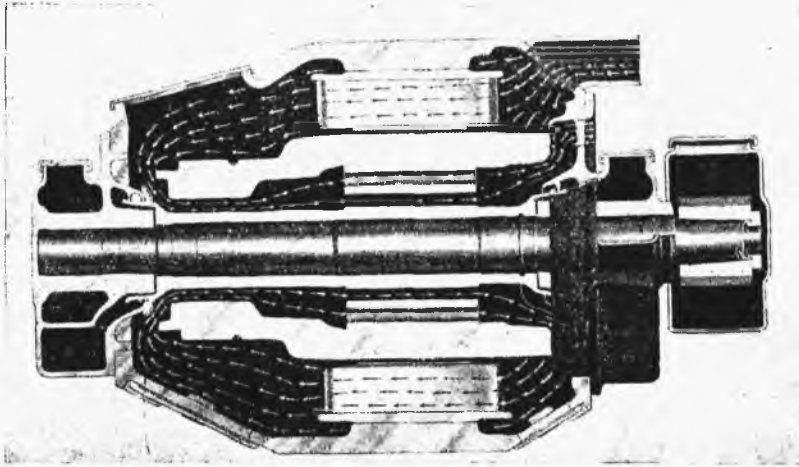
Na osi motoru, wewnątrz jego pudła, umieszczony zostaje mały wentylator, kolektor zaś i twornik zaopatrzone są w kanały, biegnące równoległe do osi. Pudło ma na swem końcu, od strony koła zębatego, otwór zamknięty siatką, przez który wentylator wciąga powietrze z zewnątrz i pędzi je przez kanały, wydmuchując przez szereg otworów na tymże końcu pudła, ale bliżej osi. Przebieg prądu powietrza widzimy na rys. 340-tym.

Jeżeli konieczne jest zupełnie hermetyczne zamknięcie, to otworów niema, a wentylator pędzi przez kanały tylko powietrze, zawarte w pudle, rys. 341-szy.

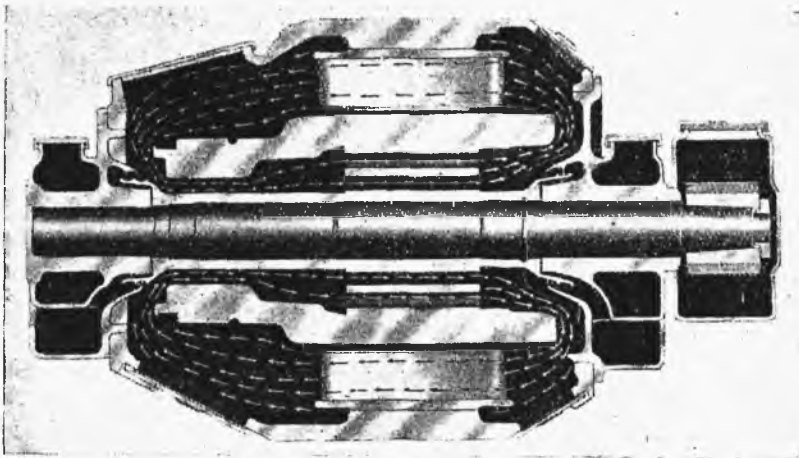
Wentylacja taka, nawet przy hermetycznym zamknięciu, które rzadko tylko bywa konieczne, zmniejsza znacznie nagrzanie się motoru i zwiększa dopuszczalne obciążenie i moc przy określonych wymiarach. Większe motory lokomotywowe otrzymują zwykle sztuczną wentylację

przy pomocy oddzielnych wentylatorów, pędzących powietrze do wnętrza ich pudła.

Moc motorów trakeyjnych podawana bywa zwykle przy jednogodzinnem obciążeniu; moc przy stałym obciążeniu jest znacznie mniejsza od tej godzinnej mocy, dobra jednak wentylacja bardzo znacznie zmniejsza tę różnicę.



Rys. 340.



Rys. 341.

Najczulszem miejscem motorów prądu stałego są kolektory; wobec konieczności zmiany kierunku obrotów szczotki muszą być ustawiane na linii neutralnej, co oczywiście, wraz z nierównomiernem obciążeniem

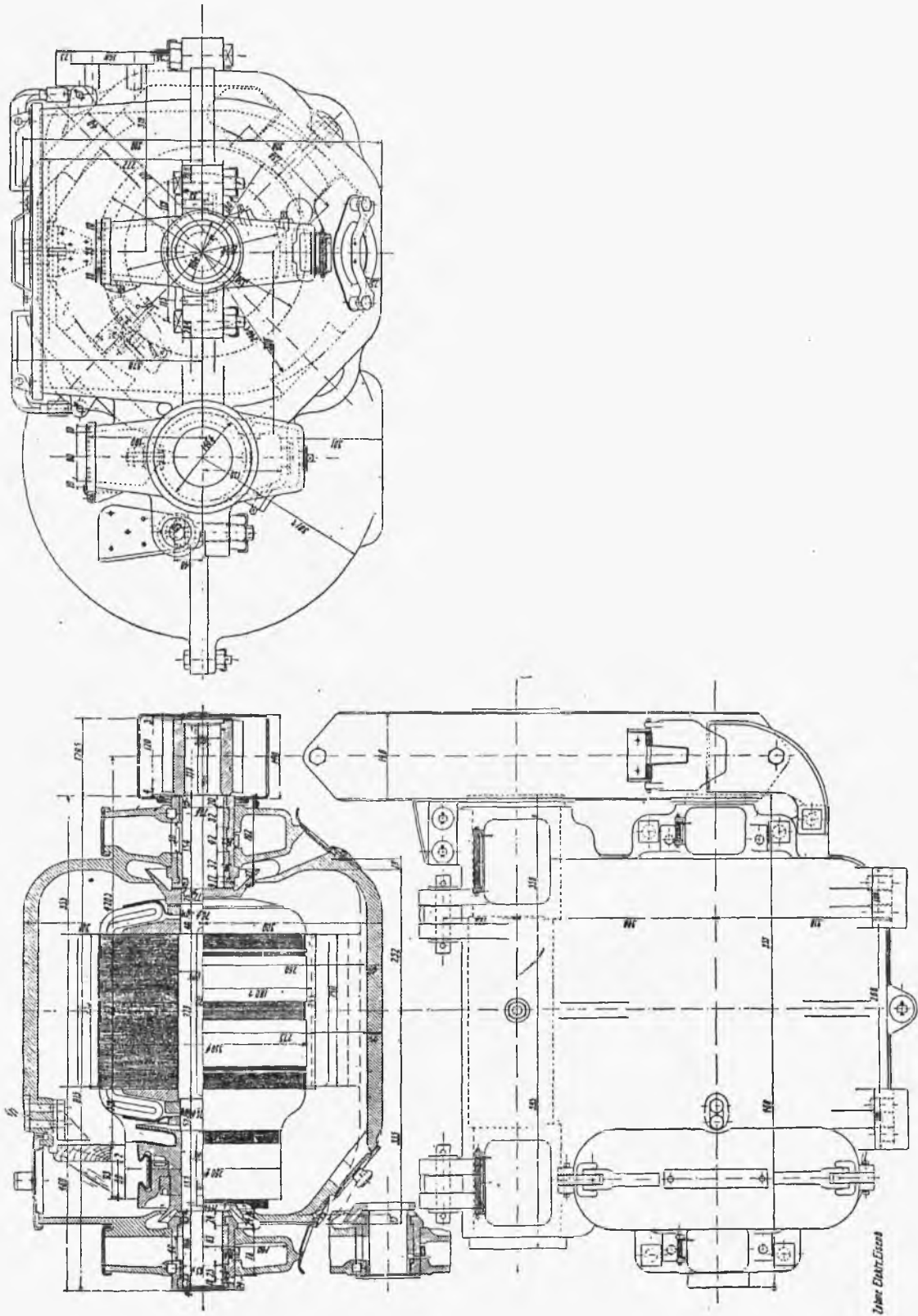
i częstymi przeciążeniami, wysoce sprzyja iskrzeniu. Kolektory przeto muszą być jaknajstaranniej obliczane i zbudowane. Szczotki stosowane bywają obecnie prawie wyłącznie węglowe.

W ostatnich czasach, od chwili obmyślenia t. n. biegunów zwrotnych (Wendepole), zaczęto je stosować do motorów trakcyjnych. Już pierwsze, około roku 1908, przeprowadzone próby, dały tak znakomite rezultaty, iż motory z biegunami zwrotnymi zaczęły się nader szybko rozpowszechniać, a dziś już trudno znaleźć w ostatnich latach zbudowane motory, któreby w takie bieguny nie były zaopatrzone. Ułatwiając komutacje i zmniejszając iskrzenie na kolektorach, pozwalają te motory na daleko szersze zastosowanie bocznikowania, gdyż pole magnetyczne może być znacznie bardziej osłabione bez obawy powstawania szkodliwych iskier na kolektorze. Bocznikowanie, które, jak to już wspominaliśmy, zaczęto zarzucać, znowu zaczęło się rozpowszechniać. Zastosowanie bocznikowania daje możność racjonalniejszego regulowania prędkości, zwiększając ilość kontaktów jezdnych z dwu przy połączeniu szeregowo-równoległym, na 3—6.

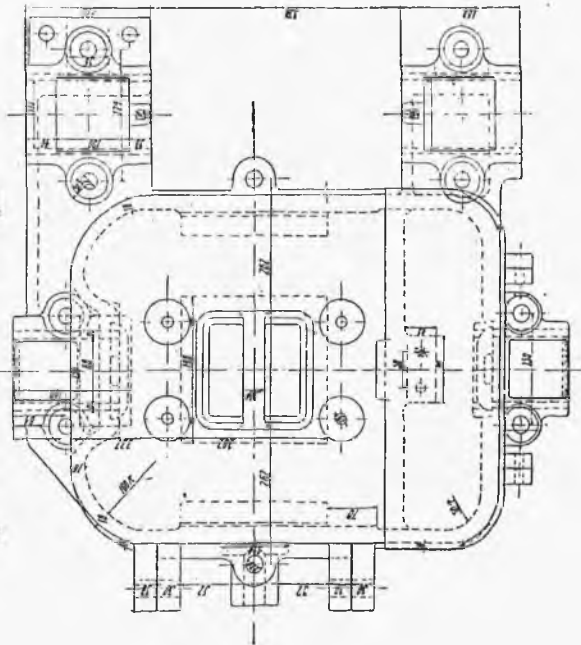
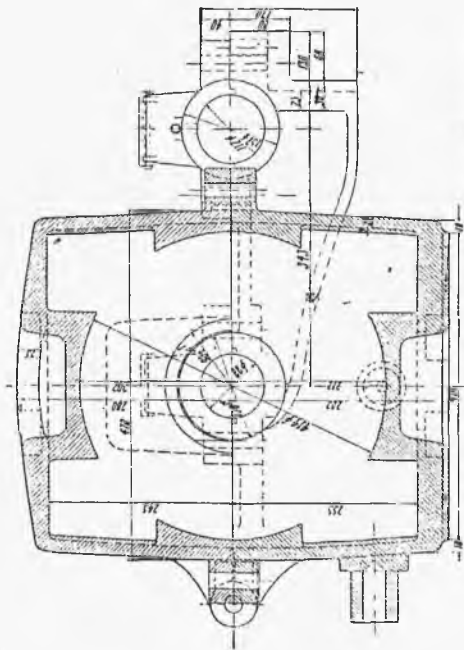
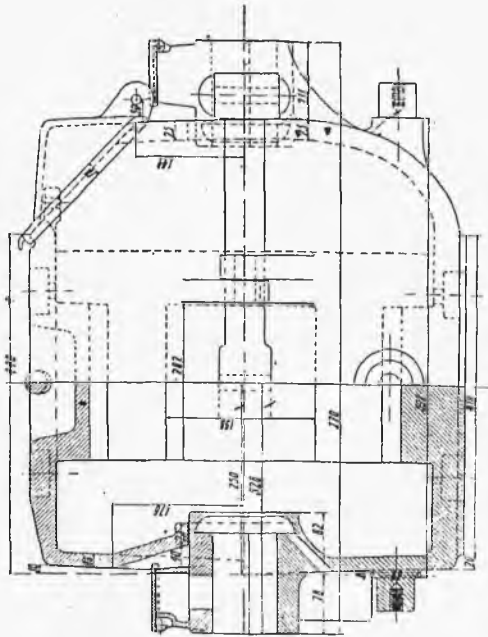
Dane zebrane przez Międzynarodowy Związek Tramwajów i Koleji dojazdowych wykazały, iż zastosowanie biegunów zwrotnych zwiększa znacznie trwałość kolektorów i szczotek. Z odpowiedzi różnych towarzystw wynika, iż odstępy czasu, w jakich trzeba oczyszczać kolektory, stały się znacznie większe (od 2 do 50 razy!) i że szczotki węglowe wystarczają na przeciąg czasu 2,5—4 razy dłuższy. Są to korzyści tak poważne, iż opłacają one sownie nieco większą wagę i koszt motorów z biegunami zwrotnymi.

Im mniejsza jest średnica twornika, tem przy jednakowych innych warunkach, większą musi być ilość obrotów; wynika z tego, iż niepodobna dla tramwaji i większej części kolejek dojazdowych zbudować motoru, któryby mógł bezpośrednio napędzać koła wozu, lecz należy koniecznie użyć przekładni.

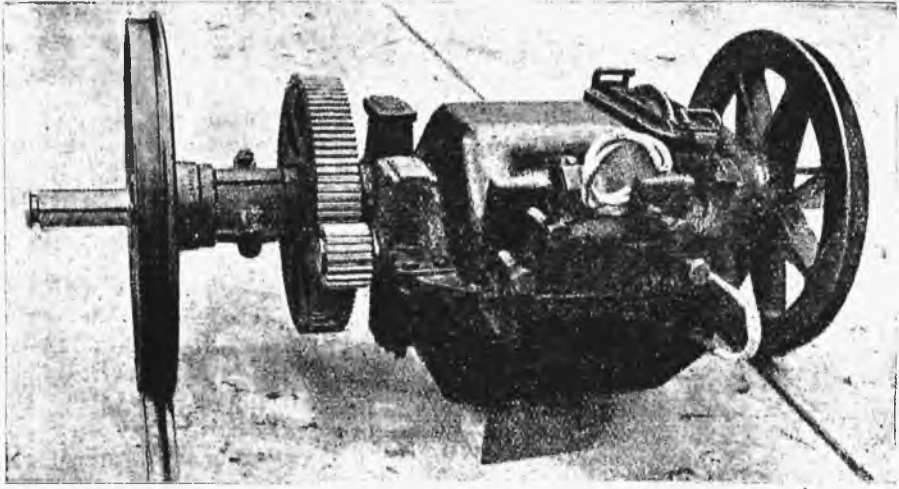
Stosowane dawniej jako przekładnie pasy, łańcuchy, śruby bez końca i koła zębate stożkowe, zostały zupełnie już zarzucone i zastąpione frezowanymi kołami zębatymi czołowymi. Dawniej stosowano często przekładnię podwójną; dziś, po wprowadzeniu motorów o biegu powolniejszym, stosowana bywa wyłącznie przekładnia pojedyncza. Na osi twornika, ale już zewnątrz pudła, siedzi małe koło frezowane zębate stalowe (stal tyglowa), obracające większe, również frezowane koło, z lanej stali, osadzone na osi wozu. Stosunek przekładni może, przy starannie wykonanych kołach, dochodzić do 1:7 a nawet i więcej, pamiętać jednak należy, iż im większy jest ten stosunek, tem większe staje się starcie kół i tem gorszy współczynnik sprawności. Wskazane przeto jest w miarę możliwości nie przekraczać stosunku 1:5—1:6.



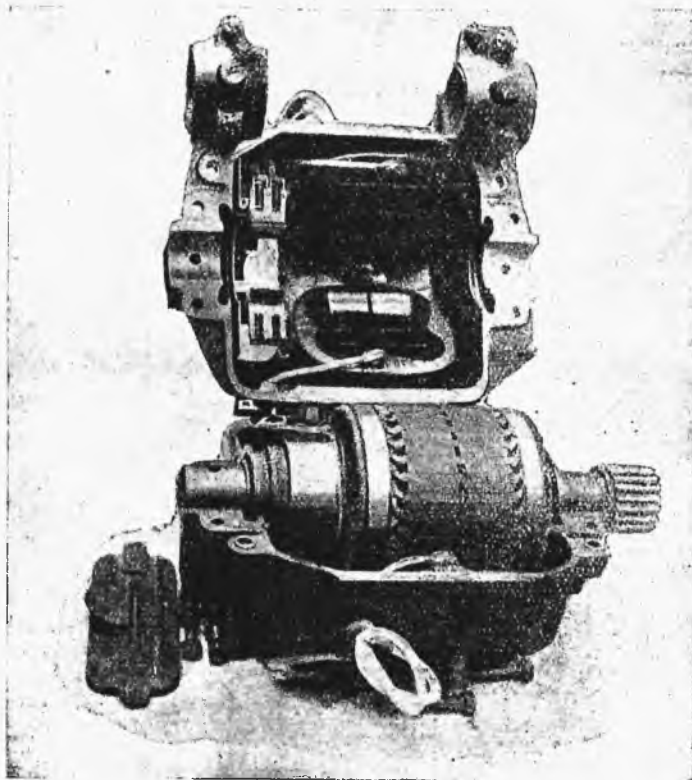
Rys. 342.
Motor tramwajowy fabryki Schuckert, moment obrotowy 41 kg. przy 550 obr. na min. i napięciu 500 voltów.



Rys. 343.
Kadłub motoru General Electric Co. Moment obrotowy 32 kg. przy
550 obrotach na min. i 500 voltach.

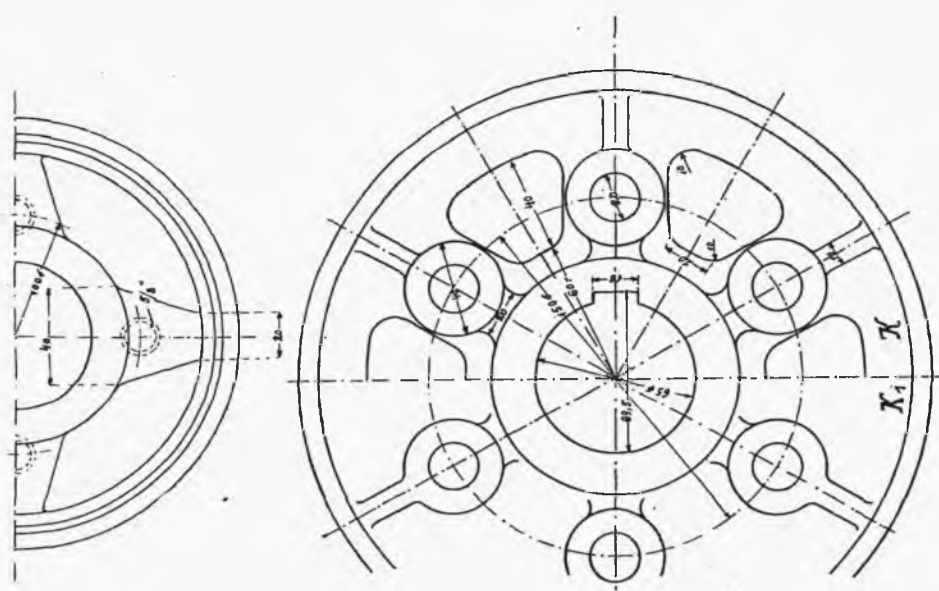
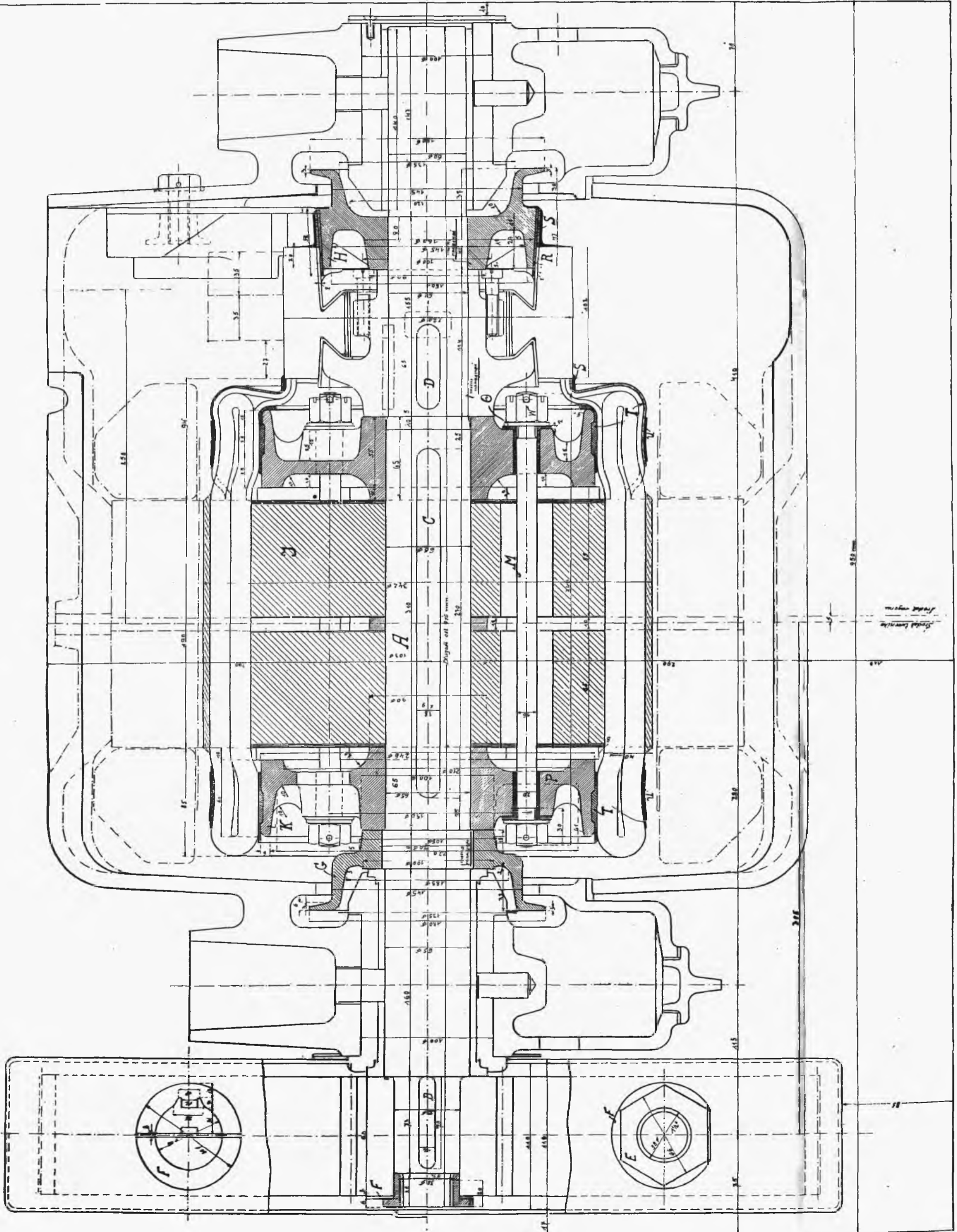


Rys. 344.



Rys. 345.

TWORNIK I OŚ MOTORU D 54.



Materialien pro Meter

Material	Menge	Einheit	Material	Menge	Einheit
A	1	Stk.			
B	1	Stk.			
C	1	Stk.			
D	1	Stk.			
E	1	Stk.			
F	1	Stk.			
G	1	Stk.			
H	1	Stk.			
I	1	Stk.			
J	1	Stk.			
K	1	Stk.			
L	1	Stk.			
M	1	Stk.			
N	1	Stk.			
O	1	Stk.			
P	1	Stk.			
Q	1	Stk.			
R	1	Stk.			
S	1	Stk.			
T	1	Stk.			
U	1	Stk.			
V	1	Stk.			
W	1	Stk.			

Rys. 346. Motor tramwajowy Siemens-Schuckert D. 54, moment obrotowy 47,5 kg. przy 480 obrotach i 550 voltach.

Oba koła, małe i duże, zamyka się we wspólnym, odpowiednio ukształtowanym pudle blaszanym. Pudło to jest dwudzielne i ma u góry otwór zamykany klapą, ułatwiający dostęp do przekładni. Spółczynnik sprawności dobrej i starannie smarowanej przekładni wynosi zwykle 95—97%.

Ogólny kształt motorów widzimy na rys. 342-im, 343-im, 344-ym, 345-ym, i 346-ym. Rys. 347-my pokazuje motor budowy nie dwudzielnej.

Warunki, jakim winien odpowiadać dobry motor trakcyjny, dadzą się sformułować w sposób następujący:

1) Jaknajmocniejsza konstrukcja mechaniczna niewrażliwa na uderzenia i wstrząśnienia, doskonała ochrona przed wilgocią, pyłem i t. p.

2) Jaknajmniejsza waga przy możliwie małej ilości obrotów, gdyż duża ilość obrotów wymaga dużych przekładni, zaś zbyt wielka przekładnia jest niepożądana. Wynika z tego, że do budowy motorów winny być użyte wyłącznie najlepsze materiały.

3) Trwałość kolektorów, a zatem możliwie najmniejsze iskrzenie, co osiąga się przez zwiększenie ilości działek, zastosowanie szczotek węglowych oraz jaknajwiększe nasycenie żelaza magnesów; do tegoż celu służą bieguny zwrotne.

4) Wielka elastyczność pracy, a zatem dobre działanie przy nader zmiennych warunkach, także przy silnych przeciążeniach. W tym celu należy stosować małe gęstości prądu i motor tak obliczać, aby się przy normalnym obciążeniu mało rozgrzewał.

5) Możliwie płaski przebieg krzywej współczynnika sprawności tak, aby współczynnik ten nie tylko był wysoki przy pełnym obciążeniu, ale również dostateczny przy małych obciążeniach.

Jako przykład wagi motorów mogą służyć następujące dane:

Motor „Walker” 25 HP. moment obrotowy 29 kg. 600 obrot., waga wraz z przekładnią 944 kg.

Motor Siemens-Schuckert typ D. 53 w/n, 27,5 Kw., moment obrotowy 47,5 kg. przy 480 obrotach, waga bez przekładni 950 kg., z przekładnią 1112 kg.

Motor Siemens-Schuckert typ D. 43, 22 Kw., moment obrotowy 41 kg. przy 500 obrotach, waga bez przekładni 910 kg., z przekładnią 1006 kg.

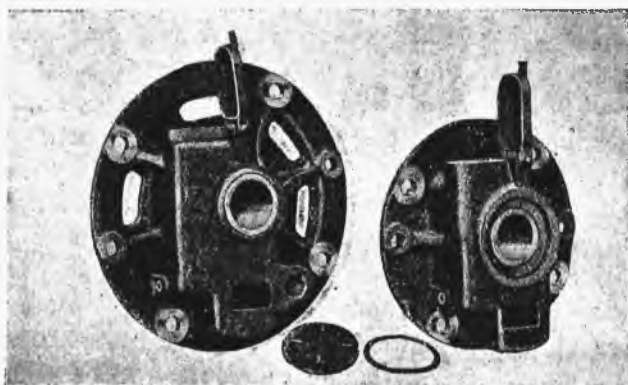
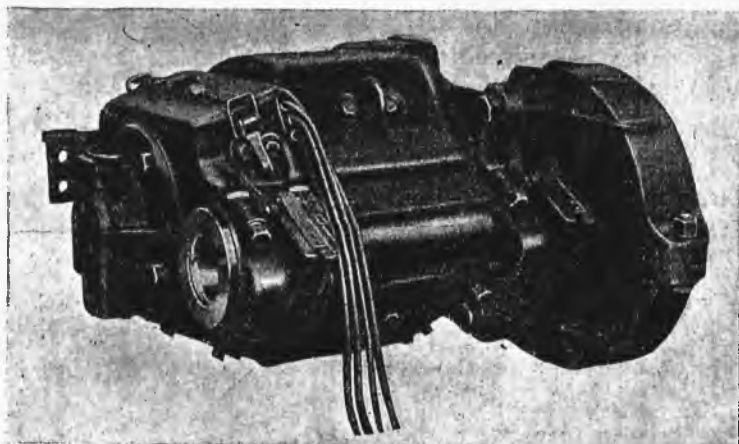
Motor Siemens-Schuckert typ D. 26, 12 Kw., moment obrotowy 23 kg. przy 490 obrotach, waga bez przekładni 560 kg., z przekł. 616 kg.

Motor Siemens-Schuckert D. 71 w/a, 41 Kw., moment obrotowy 75 kg. przy 525 obrotach, waga bez przekładni 1300 kg., z przekł. 1462 kg.

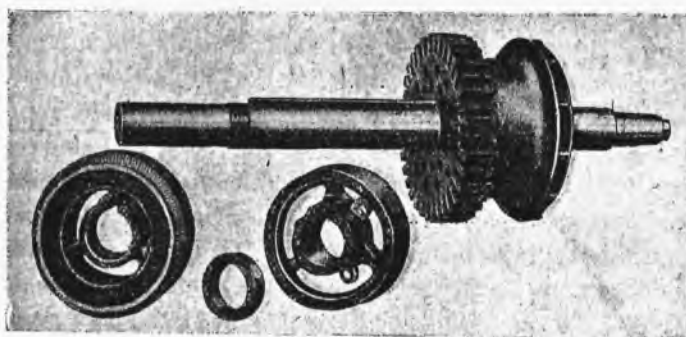
Motor Siemens-Schuckert typ. D. 97a., 66 Kw., moment obrotowy 97 kg. przy 650 obrotach waga bez przekładni 1690 kg., z przekł. 1890 kg.

Motor A. E. G. typ U. 140 c., 27,5 Kw., moment obrotowy 49 kg. przy 530 obrotach, waga bez przekładni 850 kg. z przekł. 895 kg.

Motor wentylowany General Electric Co niedwudźlelny.

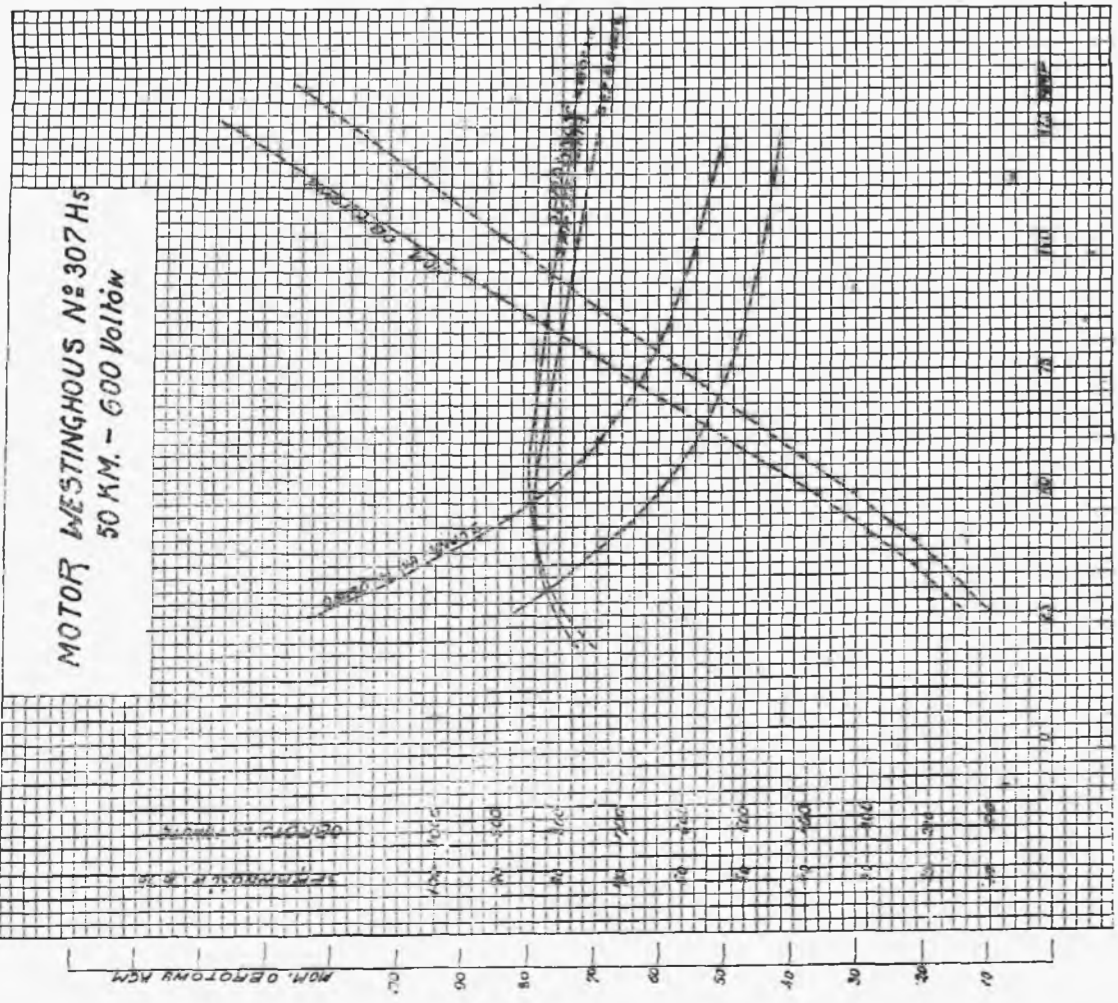


Tarcza końcowa z łożyskami.

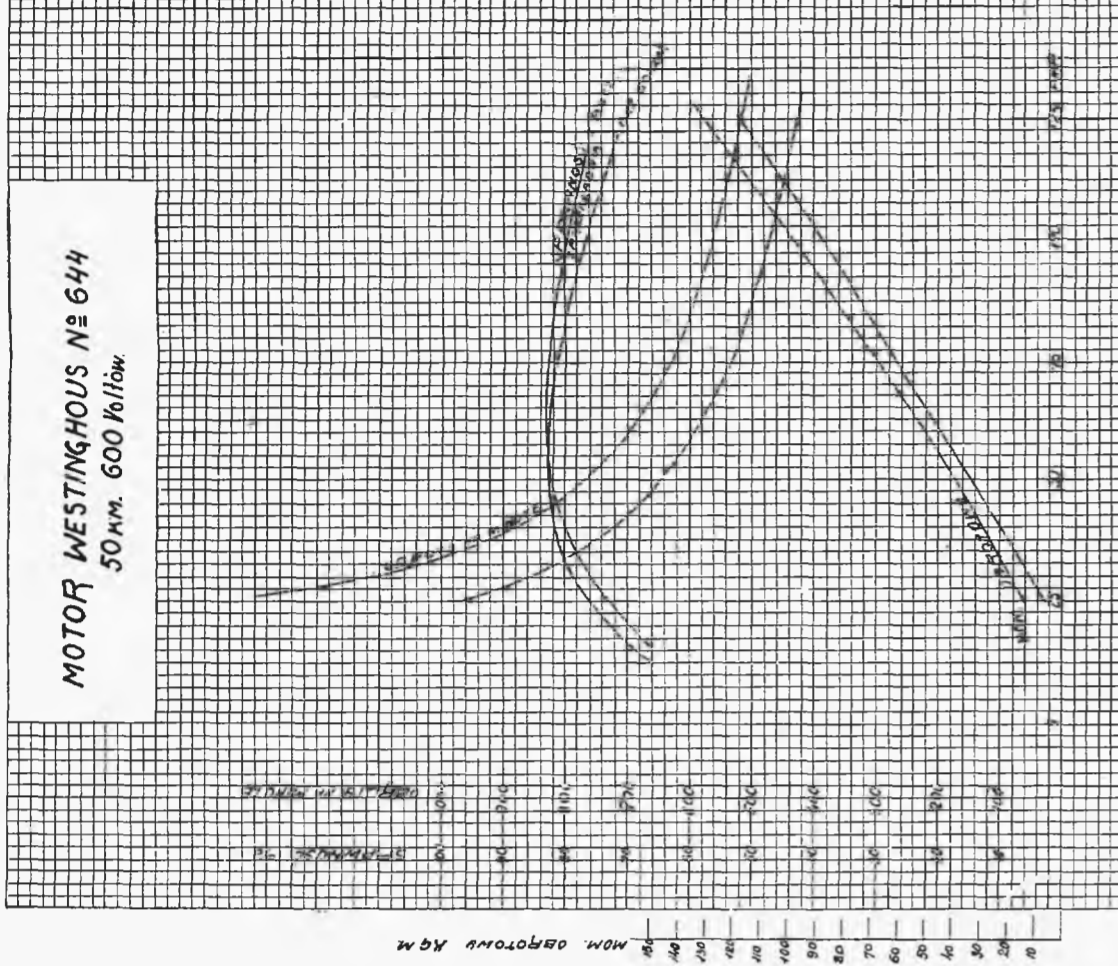
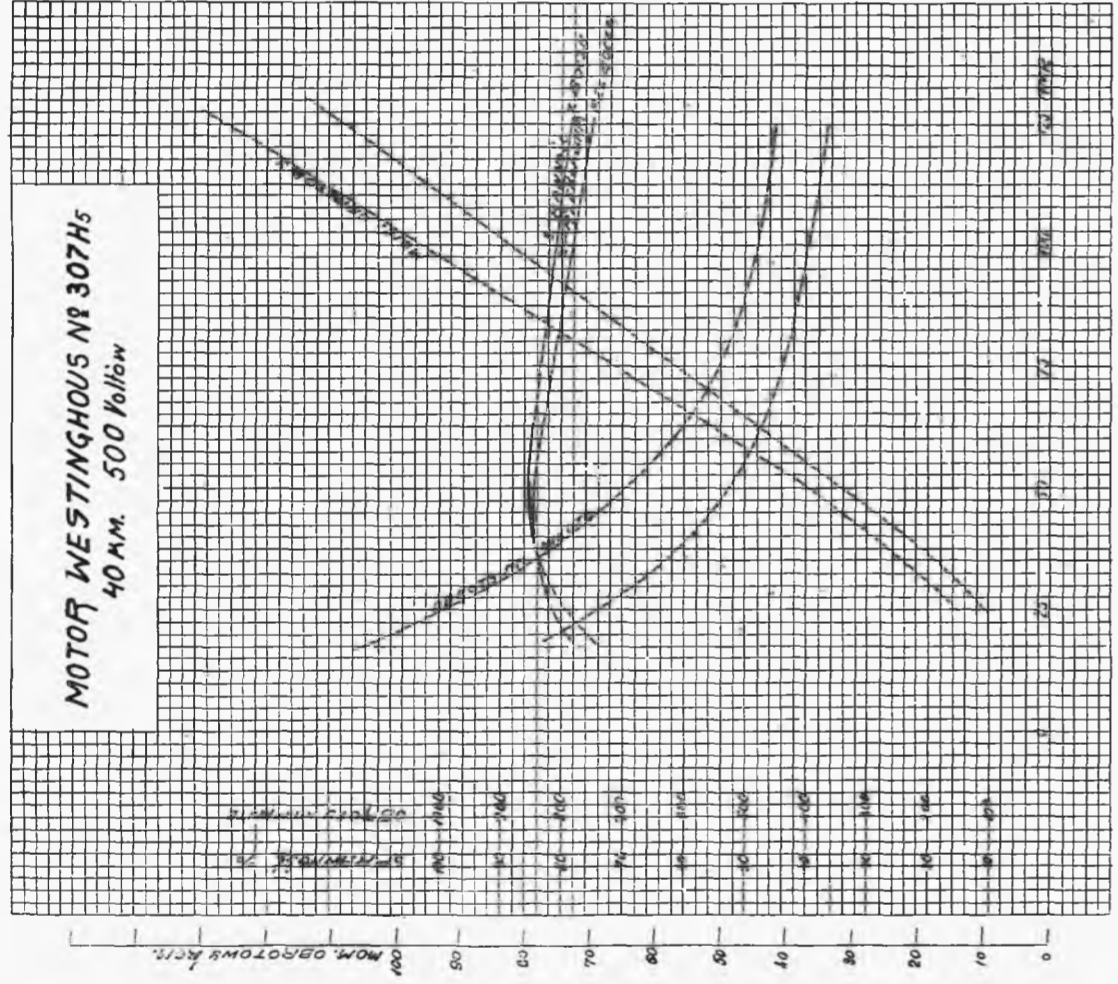


Części twornika i osi.

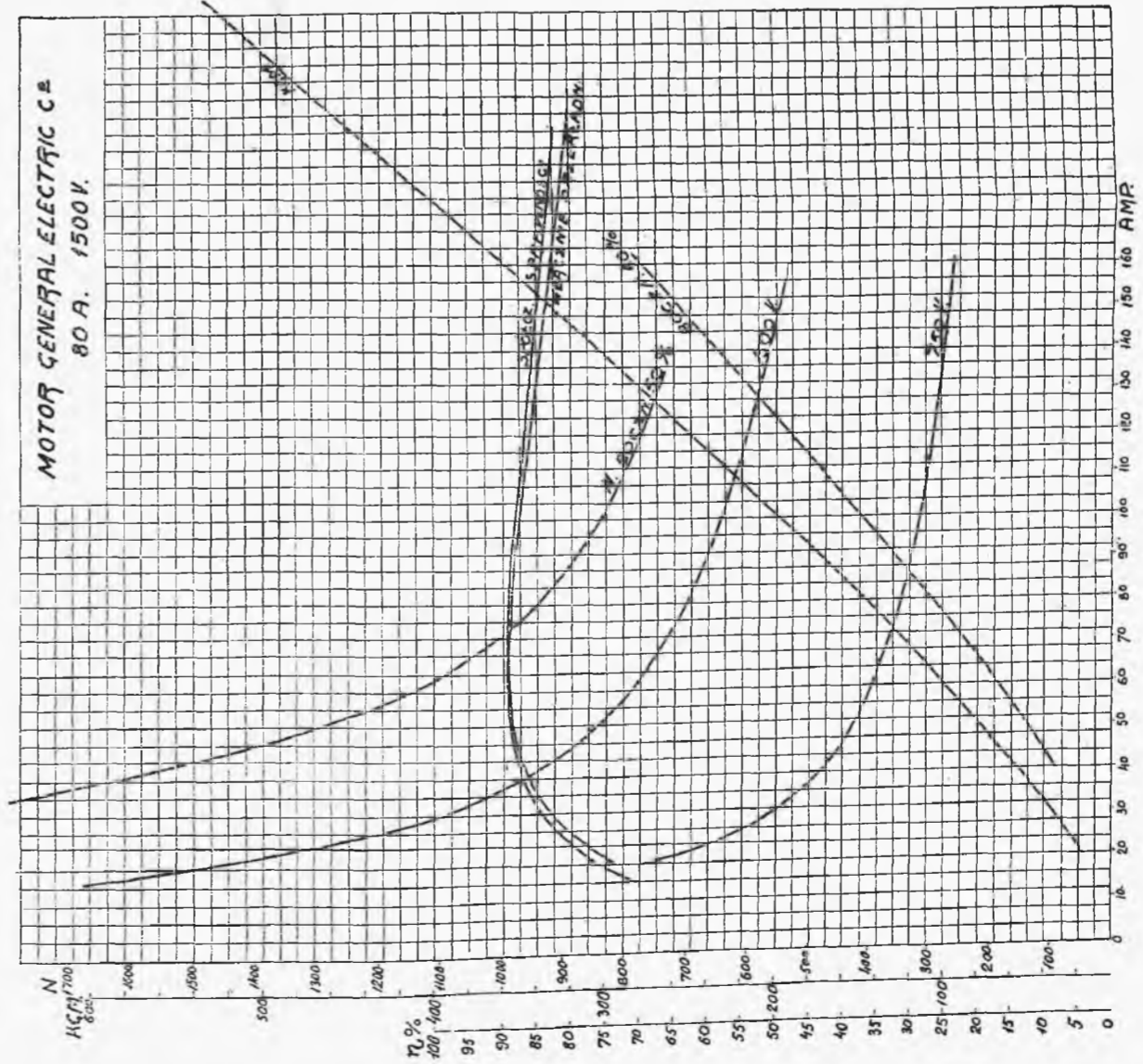
Rys. 347.



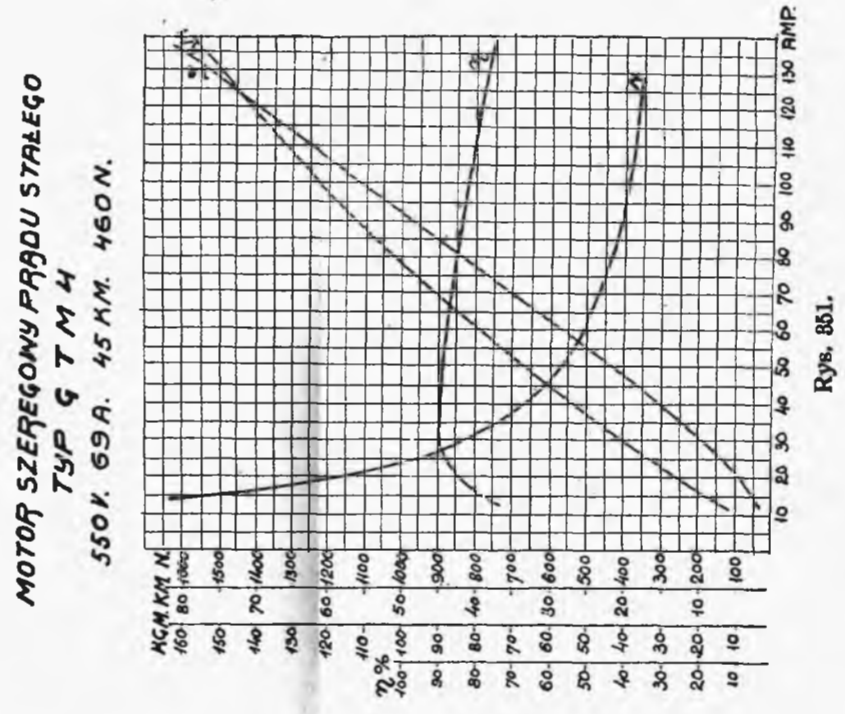
Rys. 848.



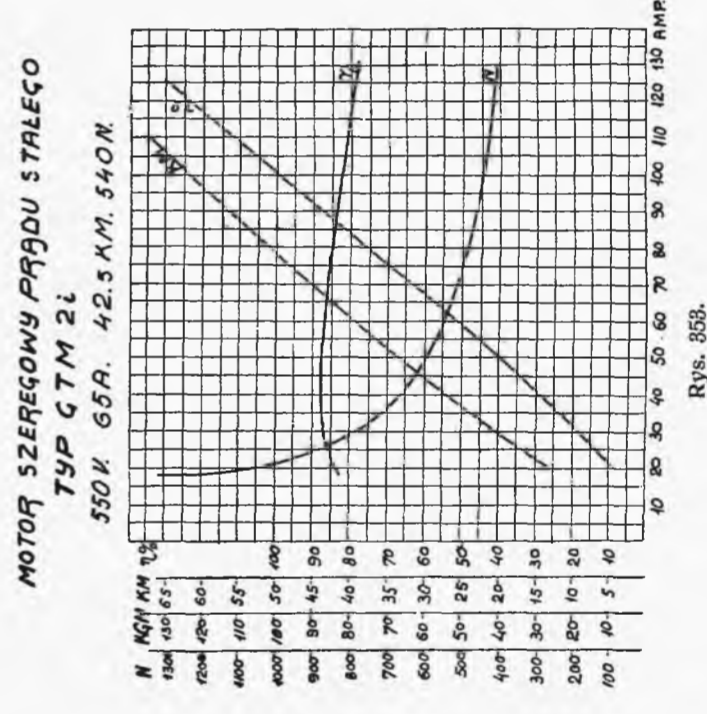
Rys. 849.



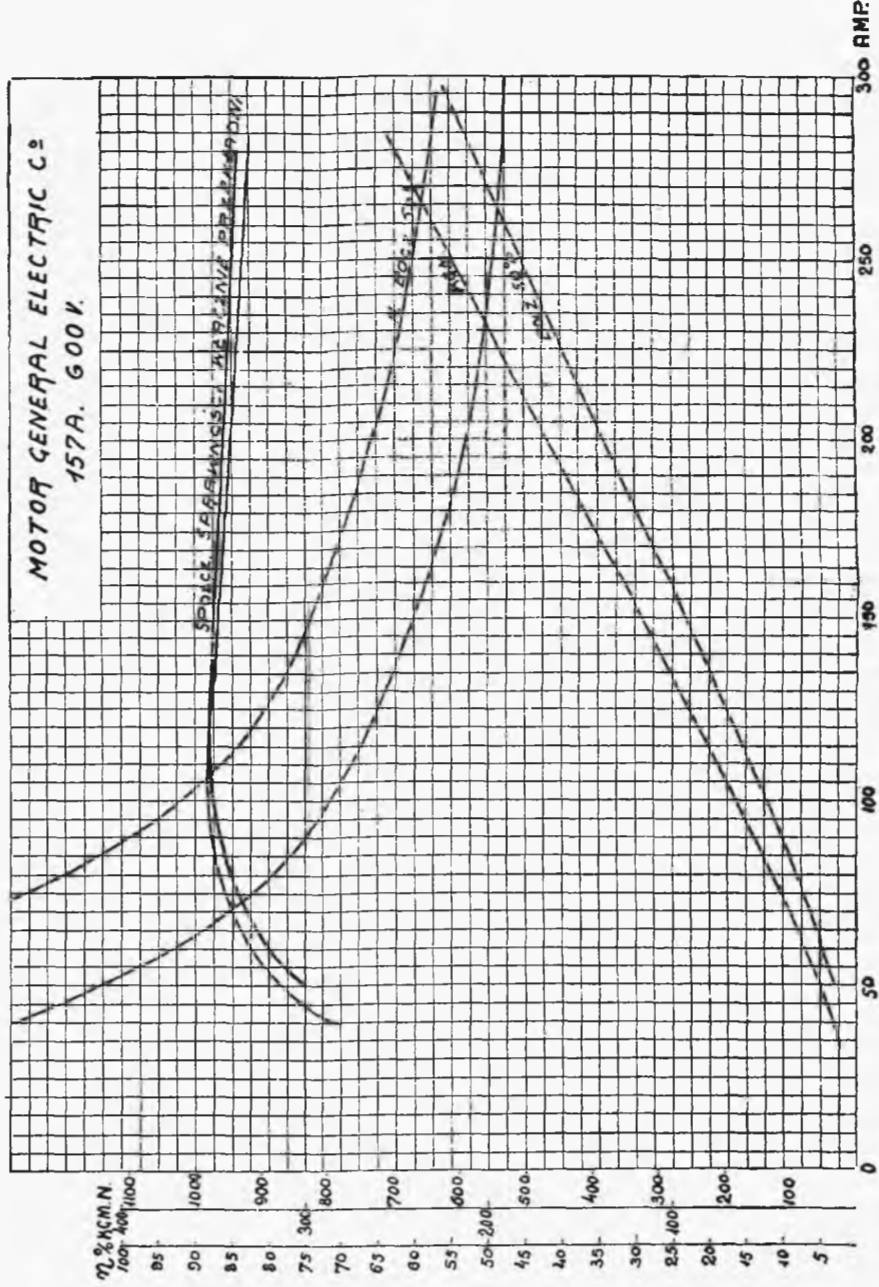
Rys. 850.



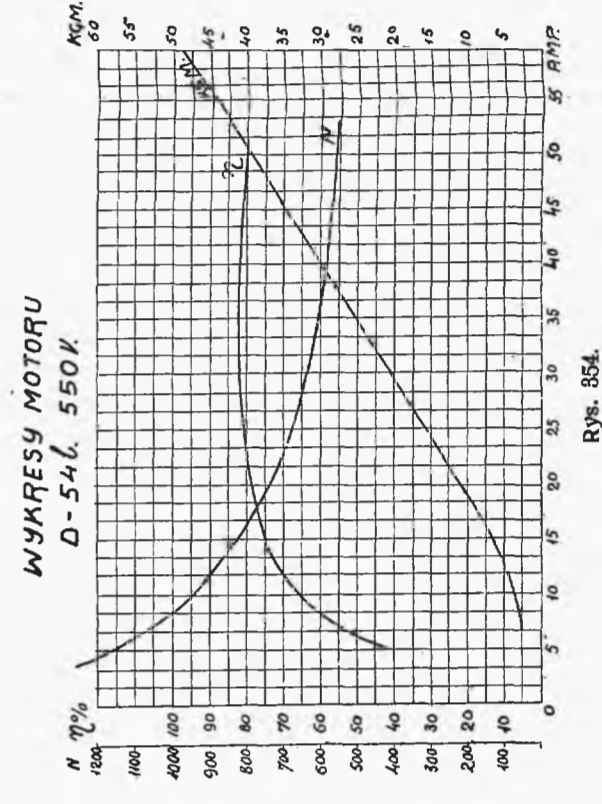
Rys. 851.



Rys. 853.



Rys. 852.



Rys. 854.

Motor A. E. G. typ. U. 108 a., 59 Kw., moment obrotowy 100 kg. przy 560 obrotach, waga bez przekładni 1525 kg., z przekł. 1610 kg.

Motor General Electric Co. typ G. E. 201, 30 Kw., moment obrotowy 40 kg. przy 720 obrotach, waga z przekładnią 940 kg.

Motor General Electric Co. typ G. E. 203, 38 Kw., moment obrotowy 58 kg. przy 610 obrotach, waga z przekładnią 1040 kg.

Motor General Electric Co. typ G. E. 247 A. lekki, 31 Kw., moment obrotowy 41 kg. przy 790 obrotach, waga z przekładnią 790 kg.

Kilka wykresów motorów widzimy na rys. 348-ym, 349-ym, 350-ym, 351-ym, 352-im, 353-im i 354-ym.

Opór elektryczny motorów zależny jest oczywiście od ich mocy, napięcia przy jakim mają pracować, oraz konstrukcji samego motoru.

Tak np. mają motory Siemens-Schuckert D. 53 w/n. o momencie obrotu 47,5 kg. przy 480 obrotach dla napięcia 550 voltów, opór całkowity około 0,8 oma.*)

Motory General Electric Co. mają następujące opory, mierzone przy temperaturze 25° C.:

Typ motru	Moc godzinna kilowatt	Twornik omów	Magnesy omów	Ogółem omów	Napięcie robocze voltów
G. E. 203-L	37	0,257	0,301	0,558	600
G. E. 203 P	37	0,239	0,2496	0,4883	600
G. E. 222-G	103	0,0601	0,0763	0,1364	600
G. E. 229-A	195 (stała)	0,1053	0,0965	0,2018	1200
G. E. 253	290 (stała)	0,0999	0,1033	0,2032	1500

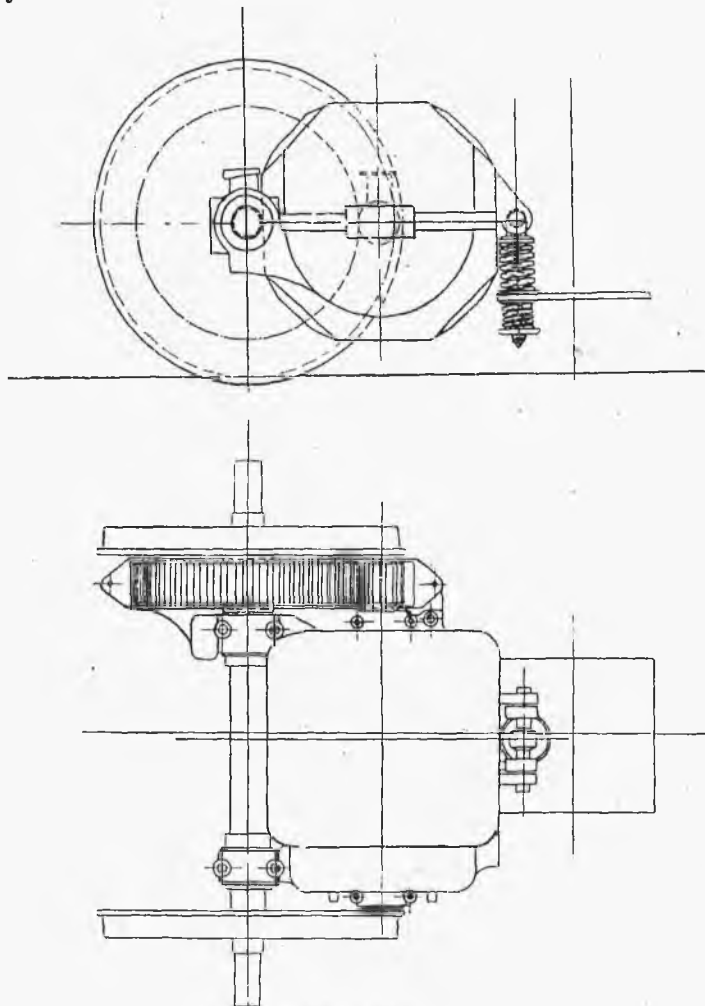
2) Zawieszenie motorów. Nieruchome, stałe przymocowanie motoru do podwozia jest wobec odsprężynowania podwozia względem osi możliwe tylko przy zastosowaniu korb i karbowodów jako przekładni od motoru do osi wagonu; stosowane to bywa tylko przy dużych motorach na lokomotywach. Przy zastosowaniu przekładni zębatej jest takie przymocowanie motoru oczywiście niemożliwe.

*) Jeżeli opór motoru nie jest znany, to można go ocenić w przybliżeniu na podstawie oporu innych podobnych motorów i następującego rozumowania: straty omiczne w motorze wynoszą $I^2 \cdot r$ watów, przyczem motor zużywa $I \cdot E$ watów. Straty więc omiczne wyrażone w procentach wynoszą:

$$\frac{I^2 \cdot r}{E \cdot I} = \frac{I \cdot r}{E}$$

Jeżeli więc motor o innej mocy, ale dla tego samego napięcia ma mieć procentowo taką samą stratę omiczną, to jego opór omiczny musi się zmniejszać proporcjonalnie do wzrastającego prądu, czyli mocy; dla dwa razy mocniejszego motoru byłby ten opór dwa razy mniejszy i t. d. Dla podwójnego napięcia będzie prąd, a zatem i opór, dwa razy mniejszy.

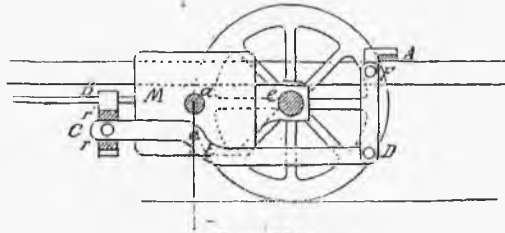
Najbardziej rozpowszechnione jest zawieszenie t. n. „pół-sprężynowe”. Kadłub motoru zaopatrzony jest w dwa łożyska które opiera się na osi wozu; z drugiej strony kadłub ma odpowiednie występy, którymi albo opiera się na poprzecznej belce zawieszony na wężkowatych sprężynach, przymocowanych do podwozia, albo też zawieszony jest bezpośrednio na sprężynie wężkowatej, przymocowanej również do podwozia, rys. 355-ty.



Rys. 355.

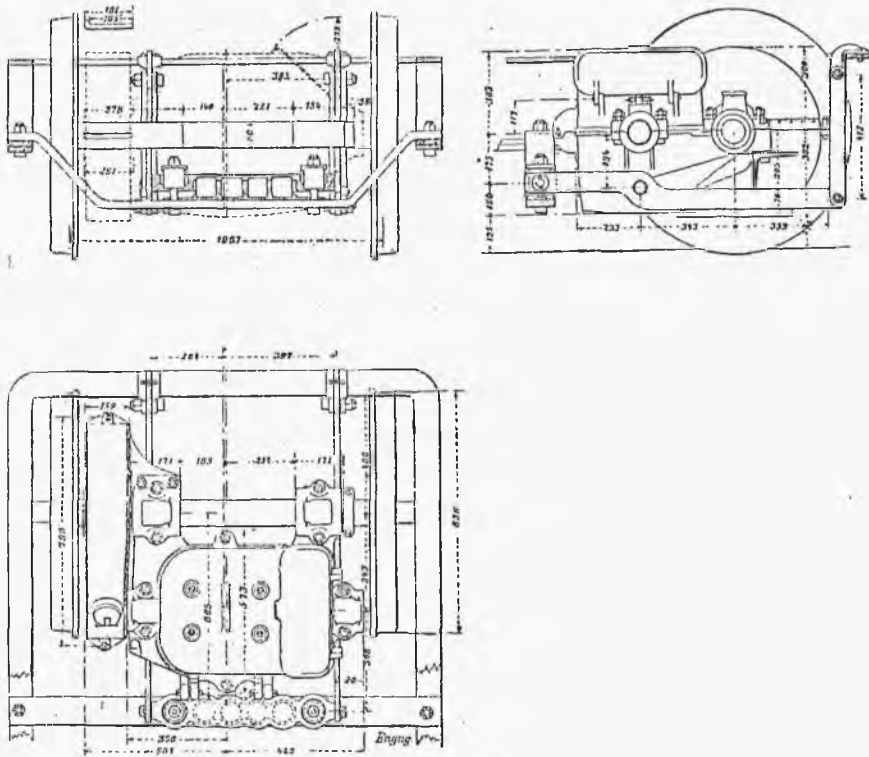
Zawieszenie takie pozwala motorowi wykonywać małe ruchy naokoło osi wozu, a zatem większego koła zębatego, nie zmieniając odległości pomiędzy osiami twornika i wozu, czyli oboma kołami zębatymi. Pozatem łagodzi ono znacznie szarpnięcia przy ruszaniu i przełączaniu,

oszczędzając tem samem przekładnię, gdyż moment obrotowy najpierw napręża sprężynę a dopiero potem działa na koła. Zawieszenie takie widoczne jest również i na rys. 346-tym.



Rys. 356.

Przy zawieszeniu pół-sprężynowem blisko połowa wagi motoru spoczywa bezpośrednio na osi wozu, co znacznie wzmacnia wszelkie



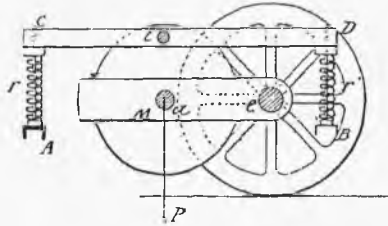
Rys. 357.

uderzenia, powstające przy przejeżdżaniu nierówności, n. p. złączy, obciążając dodatkowo tak oś, jak i tory. Motor gra tu poniekąd rolę młota,

podrzućanego do góry na każdej nierówności i spadającego następnie całą połową swej masy na tor.

Aby temu zaradzić obmyślano kilka zawieszzeń t. z. sprężynowych. Do tej kategorii należy dawniej w Ameryce rozpowszechnione zawieszenie General Electric Co. rys. 356-ty.

Kadłub motoru zaopatrzony jest w dwa czopy t , leżące w linii jego środka ciężkości; czopami tymi opiera się motor na dwu podłużnych

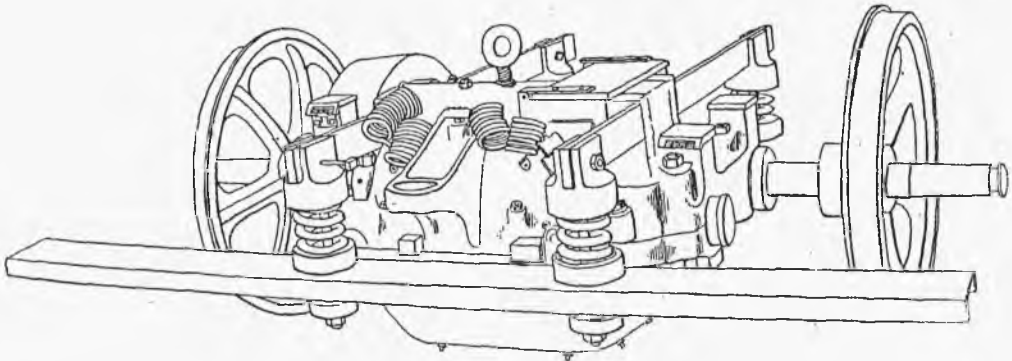


Rys. 358.

belkach żelaznych $C D$. Belki te opierają się jednym końcem na podkładkach gumowych, lub sprężynach wężykowatych, $r r'$, umocowanych na belce poprzecznej B , przytwierdzonej do podwozia, drugim zaś są zawieszzone w A przez drążki $D F$ na podwoziu; drążki te są ruchome na czopach w D i F .

W ten sposób cały ciężar motoru spoczywa na podwoziu, podczas kiedy oś jest zupełnie odciążona. Zawieszenie takie widzimy na rys. 357.

Podobne jest zawieszenie Tow. Elektrycz. Westinghous, rys. 358-my i 359-ty.



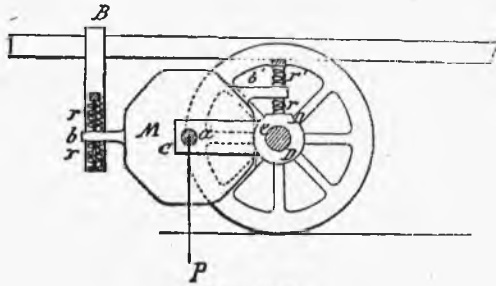
Rys. 359.

Dolne belki podłużne są tu zastąpione przez belki górne $C D$, oparte w obu swych końcach na sprężynach $r r'$, przymocowanych do poprzecznych belék podwozia $A B$.

Zawieszenia takie rzadko tylko spotyka się w Europie, gdyż są od zawieszenia pół-sprężynowego znacznie bardziej złożone i delikatne, praktyka zaś wykazała, iż zawieszenia pół-sprężynowe jednak zbyt ciężkie i torów nie przeciążają.

Teoretycznie lepsze jest zawieszenie, polegające na innej zasadzie Tow. Walker, rys. 360-ty.

Łożyska, któremi motor opiera się na osi wozu, nie stanowią tu z niem jednej całości, lecz są połączone z łożyskami osi motoru przez odlew $C D$ obejmujący oś jakby w pochwie. Motor opiera się z jednej strony występami b na sprężynach $r r'$, przymocowanych do podwozia



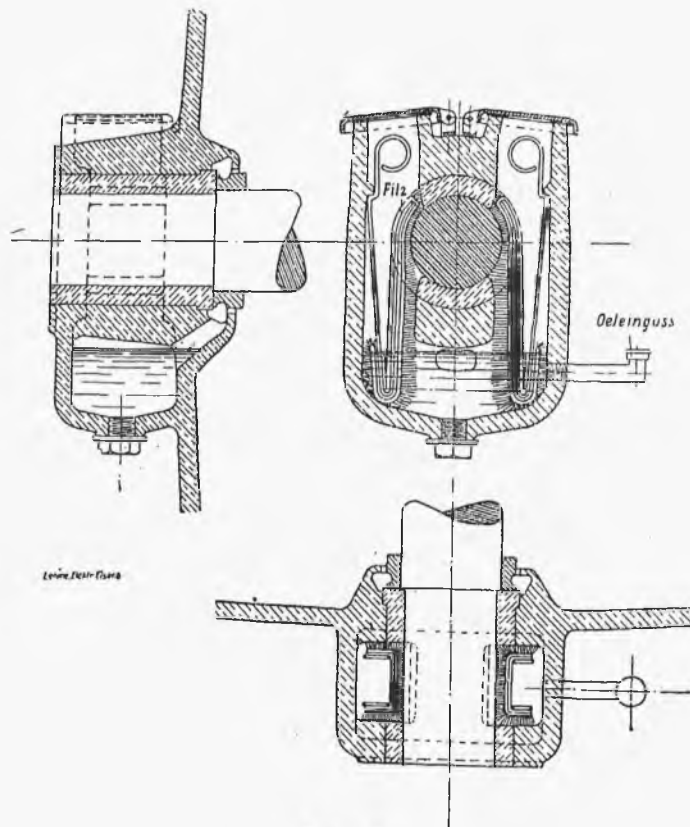
Rys. 360.

w B , z drugiej zaś występami b' również na sprężynach $r r'$, ustawionych na tej pochwie. W ten sposób masa ściśle z osią związana doprowadzona jest do minimum.

3) Łożyska, smarowanie. Panewki łożysk tak twornika, jak i osi wozu, wykonane są zwykle z brązu i wylane babitem. Nader ważną rzeczą jest dobre smarowanie tych łożysk, zwłaszcza twornikowych. Jak wielki może być wpływ smarowania, dowodzą próby przeprowadzone w Warszawie. Dla ustalenia wpływu smarowania mierzono tam opór trakcji każdorazowo tego samego wozu na jednym i tym samym kawałku toru, bezpośrednio po sobie, a zatem przy jednakowym stanie szyn i jednakowej temperaturze, oraz jednakowej prędkości, smarując raz tylko tyle, aby się panewki nie nagrzewały, drugi raz obficie. Opór trakcji mierzono elektrycznie, odczytując przy jednostajnej prędkości natężenia prądu, która ze znanych wykresów motorów pozwala odczytać odpowiednią siłę pociągową*).

*) Straty w łożyskach motoru nie wchodzą właściwie w opór trakcji, lecz są włączone w straty motoru, wpływają przeto na jego współczynnik sprawności; większe straty powodują inne pochylenie linii momentu obrotowego, czyli, że przy większych stratach pewnemu natężeniu prądu odpowiada mniejszy moment obrotowy. Dla uproszczenia pomiarów można jednak ten wpływ włączyć w opór trakcji.

Stan szyn	Tempera- tura °R.	Siła pociągowa przy smarowaniu:		Różnica %	U w a g i
		normalnem	obfitem		
Wilgotne	+ 5°	127 kg.	112 kg.	11,8	Smarowanie normalne t. j. takie, aby się panewki nie na- grzewały.
Suche	+ 5°	117 "	103 "	11,6	
Mokre	+ 1°	118,6 "	88 "	26	
Mokre	+ 1°	146,6 "	113 "	23	
Suche	+ 7°	97 "	84 "	13,4	Smarowanie obfite o 25-35% smaru więcej.
Suche	+ 7°	120 "	84 "	21	
Suche	+ 6°	113 "	100,5 "	11	
Suche	+ 6°	125 "	88,3 "	29	



Rys. 361.

Jako smary używane bywają tak smary stałe, jak i płynne. Stałe zdają się być w danym wypadku mniej odpowiednie, gdyż się łatwiej

zanieczyszczają i łatwo mogą zatykać otwory smarujące, są więc w działaniu mniej pewne. Stanowczo nieodpowiednie jest smarowanie mieszane smarami stałymi i płynnymi; smar stały zanieczyszcza tylko przeważnie poduszki smaru płynnego i tamuje dostęp tego ostatniego.

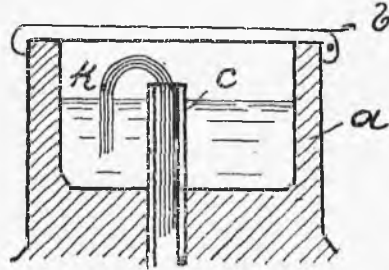
Używane bywają różne konstrukcje maźnic.

Na rys. 361-ym przedstawiona jest maźnica systemu firmy Schuckert.

Mamy tu rodzaj poduszek, zanurzonych jednym końcem w oliwie i przyciśniętych sprężynami do boku osi.

Prostem, lecz doskonale działającym jest smarowanie t. z. knotowe, rys. 362-gi.

Knot *K*, złożony z nitek bawełnianych, zanurzony jest jednym końcem w oliwie zawartej w naczyniu *a*; naczynie to bywa zwykle odlane jako całość z samym łożyskiem, u góry jest ono zamykane klapą *b*. Rurka *c* wkręcona jest w łożysko, przez panewkę aż do osi i sięga wyżej, jak poziom oliwy. Knot przeciągnięty jest przez tę rurkę i w ten sposób doprowadza oliwę do osi. Ilość oliwy można regulować w dwojaki sposób, albo zmniejszając liczbę nitek dla zmniejszenia ilości oliwy, albo też większym lub mniejszym ściśnięciem w rurce *c*; dla zwiększenia dopływu oliwy zmniejsza się w takim razie ilość nitek. Ostatni ten sposób jest lepszy, gdyż chroni on od dostawania się nieczystości i pyłu do wnętrza łożyska; do panewek dostaje się tylko przez bawełnę przefiltrowana oliwa. Pamiętać przytem należy, iż temperatura ma wielki wpływ na dopływ oliwy; im ona jest wyższa, tem knot lepiej „ciągnie”, im więc zimniej, tem bardziej należy dostęp oliwy ułatwić. Knoty winny być w pewnych odstępach czasu starannie w nafcie i benzynie przemywane.



Rys. 362.

Wadą tego rodzaju smarowania jest to, iż działa ono również i przy nieruchomych motorach; należy więc przy dłuższych postojach oraz w remizach każdorazowo wyjmować, a przed wyruszeniem w drogę, zakładać knoty.

Bardzo ważnem jest uniemożliwienie oliwie dostępu do twornika; oliwa z łożysk pełźnie po osi a dostawszy się do wnętrza motoru staje się tam dla izolacji wysoce szkodliwa. Chronią od tego stożkowate tarcze na osi twornika, które siłą odśrodkową odrzucają smar na zewnątrz.

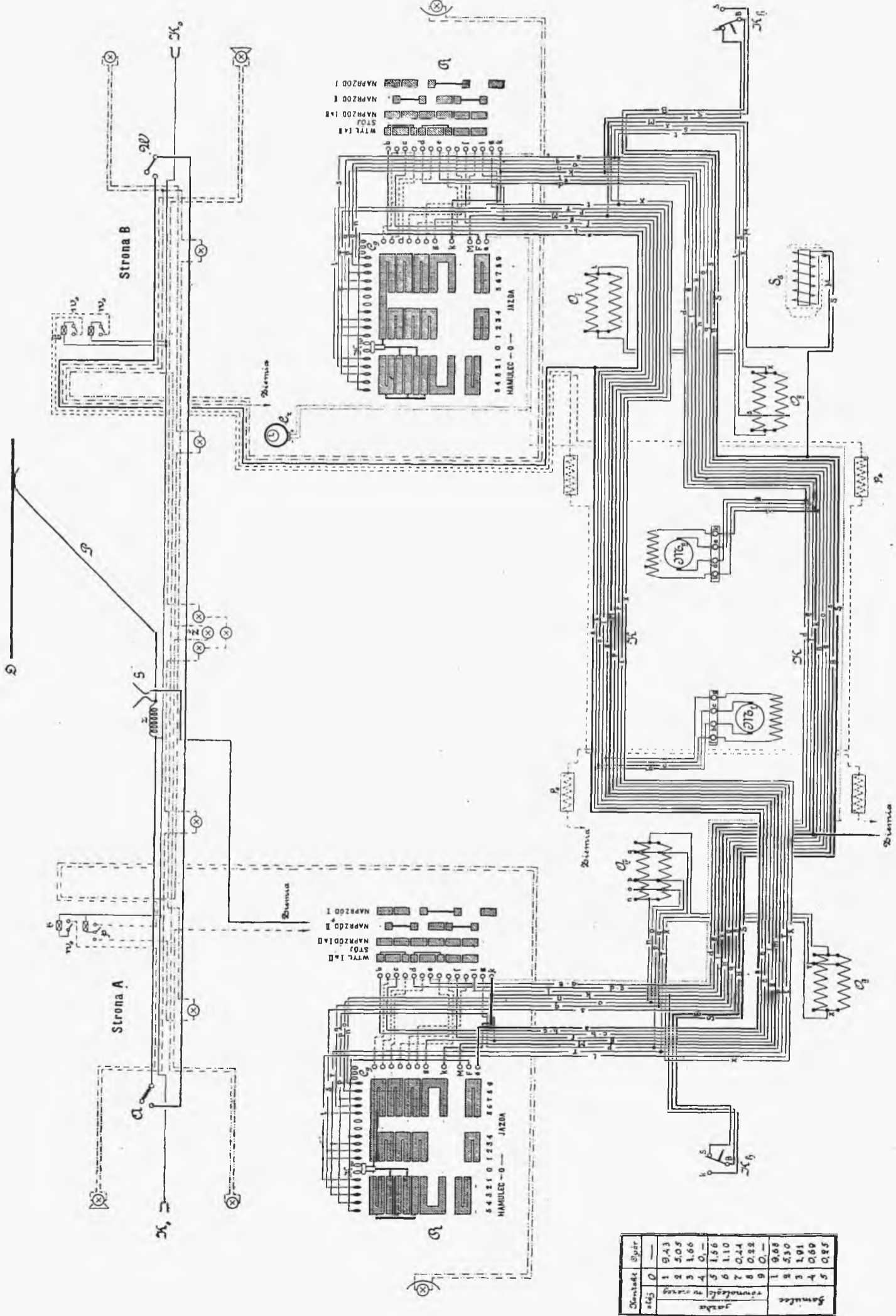
Do smarowania kół zębatych służy przeważnie smar stały, n. p. waselina, którym wypełnia się całe pudło ochronne przekładni.

4) **Regulatory.** Łączenie między sobą motorów, włączanie różnych oporów, przełączanie motorów i t. d. wymaga znacznej liczby kontaktów. Weźmy dla przykładu wóz, zaopatrzony w dwa motory, które mają być łączone między sobą w szereg i równolegle, i mają również służyć dla hamowania. Jeden kontakt musi być połączony z prądem; ponieważ motory zmieniają wzajemne swe połączenie, przeto każda ze szczotek musi być połączona z oddzielnym kontaktem, co daje 4 kontakty; tożsamo stosuje się i do magnesów, mamy przeto dalszych 4 kontakty; oporniki, których bywa zwykle 4—5 stopni, wymagają tyleż kontaktów, hamulec conajmniej 2, wreszcie połączenie z szynami 1. Ogółem więc musimy mieć conajmniej 15 — 16 kontaktów (w rzeczywistości zawsze znacznie więcej), które należy w rozmaity sposób łączyć ze sobą, zmieniając co chwila te połączenia. Oczywiście jest, iż niepodobna rozmieszczać tych kontaktów w różnych miejscach lub wykonywać przełączenia przy pomocy licznych wyłączników i przełączników, lecz przeciwnie, należy je koniecznie zebrać w jednym miejscu i obsługiwać możliwie małą ilością łączników. Służą do tego t. zw. **regulatory**, lub z angielskiego „kontrollery“, które są zatem przyrządami, służącymi do regulowania biegu wozu. Wozy motorowe zaopatruje się zawsze w dwa regulatory, po jednym na pomoście, aby w ten sposób umożliwić kierowanie wozem zawsze z przedniego pomostu, nie potrzebując do tego obracać wozu przy zmianie kierunku jazdy; tylko lokomotywy zaopatrywane bywają czasami w jeden regulator.

Kształt regulatorów przechodził liczne ewolucje i zmiany, których ślady dziś jeszcze spotkać można przy starych urządzeniach. Początkowo tedy umieszczano kontakty na płycie kołowej, odpowiednio zaś ukształtowany łącznik, obracający się na osi prostopadłej do płyty, łączył je kolejno ze sobą. Dziś płyty zupełnie zarzucono, łącznik zaś zastąpiono wałem, obracanym przy pomocy korby, obok którego znajdują się kontakty w kształcie palców, ślizgających się po wale. Na wale umieszczone są odpowiednio ukształtowane odcinki miedziane, łączące palce między sobą.

Najdogodniej dla obsługi jest ustawiać wał pionowo, przytem jednak wysokość jego nie może przekraczać jednego metra, gdyż większa wysokość utrudniałaby znowu obsługę. Z drugiej jednak strony kontakty nie mogą być zbyt małe; wobec niezawsze doskonałego przystawiania palców liczy się zwykle nie więcej nad 5 amp. na mm.² powierzchni zetknięcia; odległość między kontaktami nie może być zbyt mała ze względu na izolację, przy 600 voltach n. p. około 20 mm. Skutkiem tego umieszczenie kontaktów w jednym rzędzie, zwłaszcza przy większych napięciach i natężeniach prądu, staje się bardzo trudne.

Schemat połączeń w wagonie motorowym.



Symbol	Opis
1	9,43
2	5,05
3	1,66
4	0,0...
5	1,56
6	1,10
7	0,44
8	0,32
9	0,0...
10	1,68
11	5,30
12	1,01
13	1,069
14	0,285

Symbol	Nazwa	Opis
D	Druk roboczy	napięcie 600 woltów.
P	Prąd	sila prądu = 10 m.
S	Prędkość	siła prądu = 4 mm.
Z	Prędkość	maksimum = 200 amperów.
W	Prędkość	
R	Prędkość	
G	Prędkość	
L	Prędkość	
K	Prędkość	
M	Prędkość	
N	Prędkość	
O	Prędkość	
P	Prędkość	
Q	Prędkość	
R	Prędkość	
S	Prędkość	
T	Prędkość	
U	Prędkość	
V	Prędkość	
W	Prędkość	
X	Prędkość	
Y	Prędkość	
Z	Prędkość	

Prędkość	Prędkość
25	a, k, B, M, S.
16	n, o, p, q, r, s, t, x.
10	b, c, d, e, f, g, i.
15	2, 3
15	1, 5
15	1, 5

Rys. 868.

Rozwiązanie jest tu możliwe w rozmaity sposób, toteż spotykamy bardzo znaczną ilość różnych konstrukcji regulatorów.

We wszystkich jednak prawie bez wyjątku konstrukcjach znajdujemy zawsze obok walca głównego walec drugi, mały, obsługiwany oddzielną rączką.

Walec ten mały służy do nadawania kierunku jazdy, względnie jego zmiany, oraz do wyłączania pojedynczych motorów. Możliwość takiego wyłączania jest bardzo pożądana, gdyż ułatwia to wyszukiwanie uszkodzeń i pozwala na dokończenie kursu ewent. jednym motorem. Obecność walca bocznego zmniejsza znacznie ogólną ilość kontaktów, gdyż dla jazdy „wtył“ lub jednym motorem służą wtedy te same kontakty, co dla jazdy normalnej, a przestawia się tylko walec boczny. Ponadto bywa czasami umieszczany na walcu bocznym i kontakt hamulcowy, co jednak stanowczo nie jest dobre, gdyż w takim razie trzeba wykonać dwa ruchy dla hamowania. Jeżeli walec boczny nie wystarcza, to stosowane bywa ustawianie palców w dwa rzędy obok walców, lub umocowanie części kontaktów na nieruchomym walcu, umieszczonym nad lub pod walcem głównym, po którym ślizga się kontakt ruchomy, t. zw. „kontakt wędrowny“, połączony z wałem walca głównego.

Rys. 363-ci uwidocznia szemat połączeń dla wozu o dwu motorach systemu Siemens-Schuckert; połączenia takie zostały między innymi zastosowane w Warszawie. Na szemacie walce regulatorów są rozwinięte na płaszczyznę (dla tego rodzaju szematów jest to ogólnie przyjęty sposób przedstawiania); dla odszukania przeto połączeń, odpowiadających danemu położeniu walca, oznaczonemu cyfrą i linią pionową, idącą od niej, należy sobie wyobrazić, iż oznaczone obok walców kontakty leżą właśnie obok tej pionowej linii.

Umieszczony nad walcem głównym szereg kontaktów wskazuje, iż mamy tu do czynienia z kontaktem wędrownym. Walec boczny ma 5 położeń, mianowicie: „0“ (wszystko wyłączone), „Naprzód I i II“ (jazda normalna), „Wtył I i II“, „Naprzód I“ (motor II wyłączony) i „Naprzód II“. Walec główny ma 15 położeń, mianowicie: „0“ (motory wyłączone), 1, 2, 3, 4—motory połączone w szereg, 5, 6, 7, 8, 9—motory połączone równolegle, oraz 1, 2, 3, 4, 5 — dla hamowania. Przy walcu głównym znajduje się 11, przy bocznym 14 palców kontaktowych; walec nieruchomy ma 14 kontaktów.

Ponieważ zorientowanie się w takich szematach wymaga pewnej wprawy, przeto rozpatrzemy przebieg prądu n. p. przy położeniu walca bocznego „Naprzód I i II“, a głównego „Jazda 2“.

Prąd płynie: z drutu roboczego, przez ślizgacz i pałąk „P“, zwój indukcyjny „z“, wyłącznik samoczynny „A“, wyłącznik główny, czyli

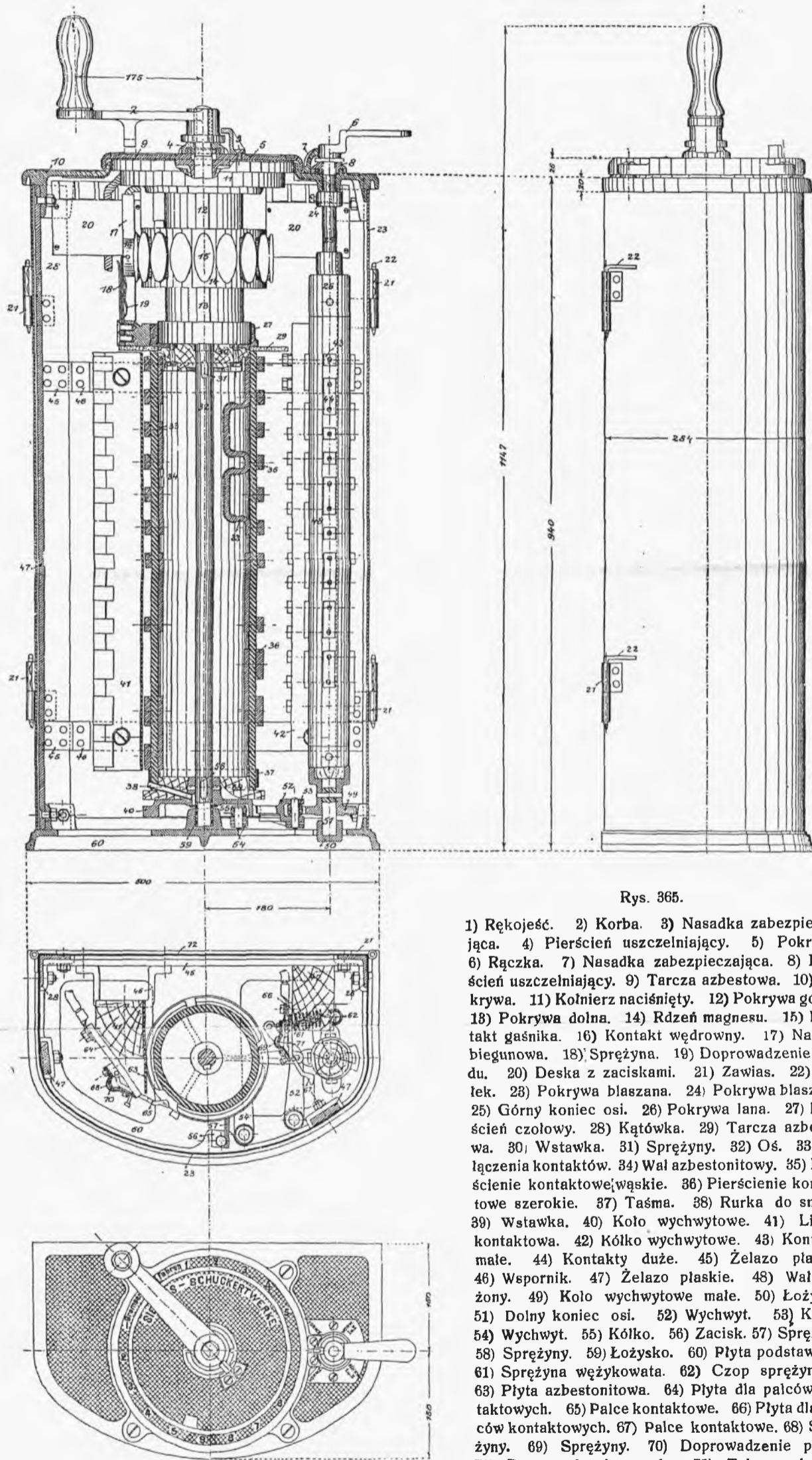
ręczny „W“, przewód „a“ do palca „a“. Ztąd przez pierwszy i połączony z nim drugi (licząc od dołu) segment walca, do palca „F“, przez cewkę gaśnikową „Cg“, przewód „n“, oporniki 0—IV, 0—III, 0—II do „x“, do „s“, kabel „s“, do kontaktu na walcu nieruchomym, a z niego przez leżący tu w tej chwili kontakt wędrowny „Kw“ do pierwszego (od góry) segmentu walca głównego. Dalej przez pierwszy palec walca głównego do drugiego (od góry) palca walca bocznego, segment walca bocznego, palec „b“, przewód „b“, twornik motoru I, przewód „c“, palec „c“, do drugiego (od góry) segmentu walca bocznego; ztąd przez czwarty palec tegoż walca, trzeci palec walca głównego, trzeci i połączony z nim stale drugi segment walca głównego, palec drugi, palec szósty walca bocznego, odpowiedni segment, palec „d“, przewód „d“, do twornika motoru drugiego. Dalej z twornika motoru II, przez przewód „e“, palec „e“, odpowiedni segment walca bocznego, palec ósmy, palec piąty walca głównego, odpowiednie segmenty, palec czwarty, palec dziewiąty walca bocznego, segment, palec „f“, przewód „f“, do cewek magnesowych motoru I; przeszedłszy te cewki przez przewód „g“, palec walca głównego „g“, segment, palec szósty, palec jedenasty walca bocznego, palec „i“, przewód „i“, cewki magnesowe motoru II i przewód „k“ do szyn.

Szemat uproszczony, rys. 364-ty, pokazuje przebieg prądu przy połączeniu szeregowem, równoległym, hamowaniu, jeździe w tył oraz jeździe jednym motorem, i ułatwia też orjentowanie się w szemacie głównym.

Przy położeniu walca bocznego „Naprzód I“ oraz „Naprzód II“ zasuwa związana z walcem bocznym nie pozwala na przesunięcie korby walca głównego poza położenie 4. U dołu walców umieszczone są kółka zębate oraz wychwyty tak ustawione, iż walce mogą się zatrzymywać tylko ściśle w położeniach, odpowiadających różnym kontaktom. Poza-tem kółka te są tak ukształtowane, iż walec główny nie może być poruszany, jeżeli boczny stoi w położeniu „0“, boczny zaś tylko wtedy, kiedy główny stoi w położeniu „0“. Na górnej części regulatora umieszczona jest tarcza z napisami, wskazującymi, w jakim położeniu znajdują się walce. Do poruszania walca głównego służy korba większa, zwana krótko „korba“, do mniejszego zaś korba mniejsza, zwana „rączką“.

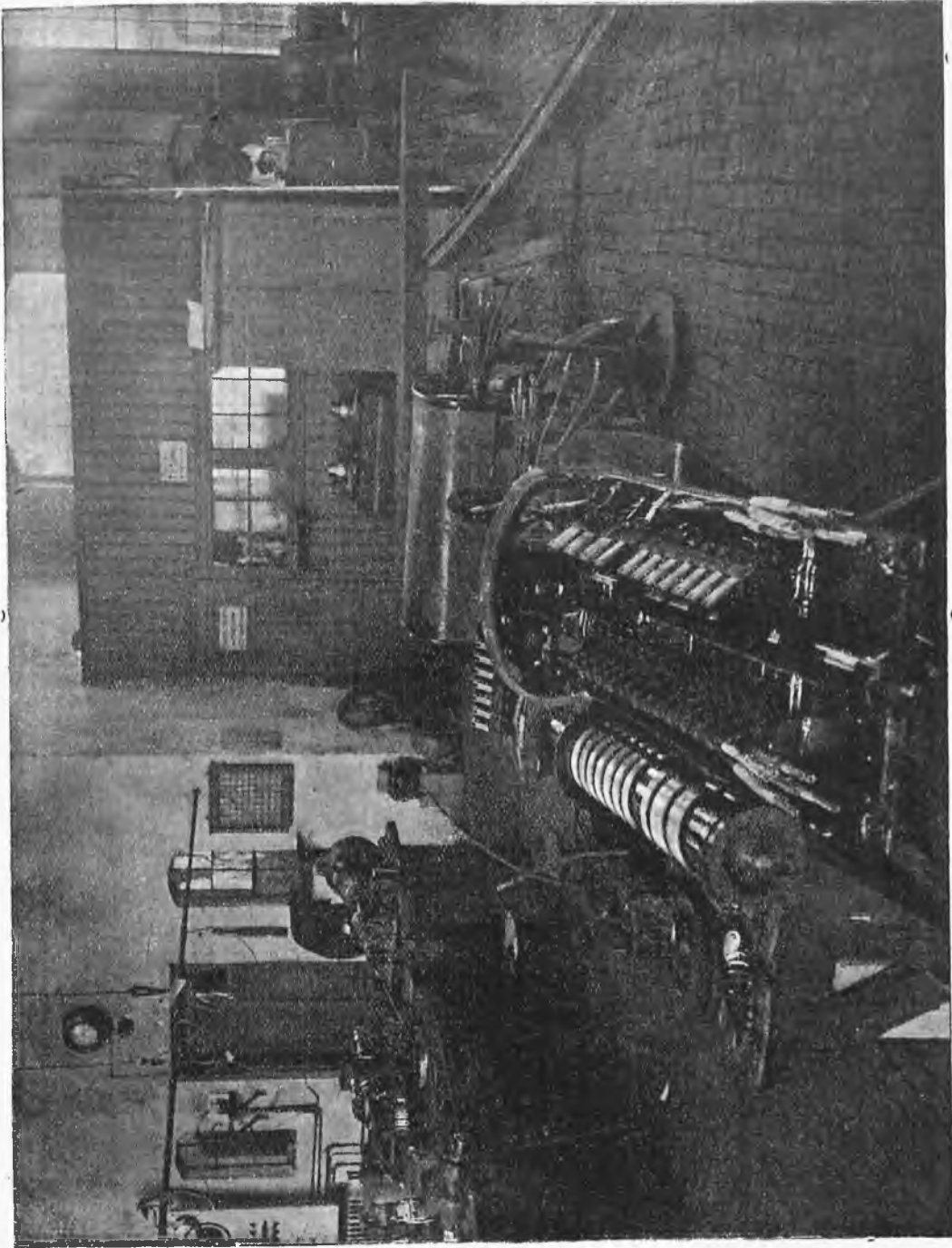
Tak korba, jak i rączka są zdejmowane, ale tak urządzone, iż mogą być zdjęte tylko w położeniu „0“. Ponieważ każdy wóz ma tylko jedną parę korb, uniemożliwia to wypadkowe włączenie regulatora tylnego przy równoczesnem włączeniu przedniego.

Wnętrze regulatora widzimy na rys. 365-tym, regulator rozebrany na rys. 366-tym, sam zaś regulator na rys. 367-ym.

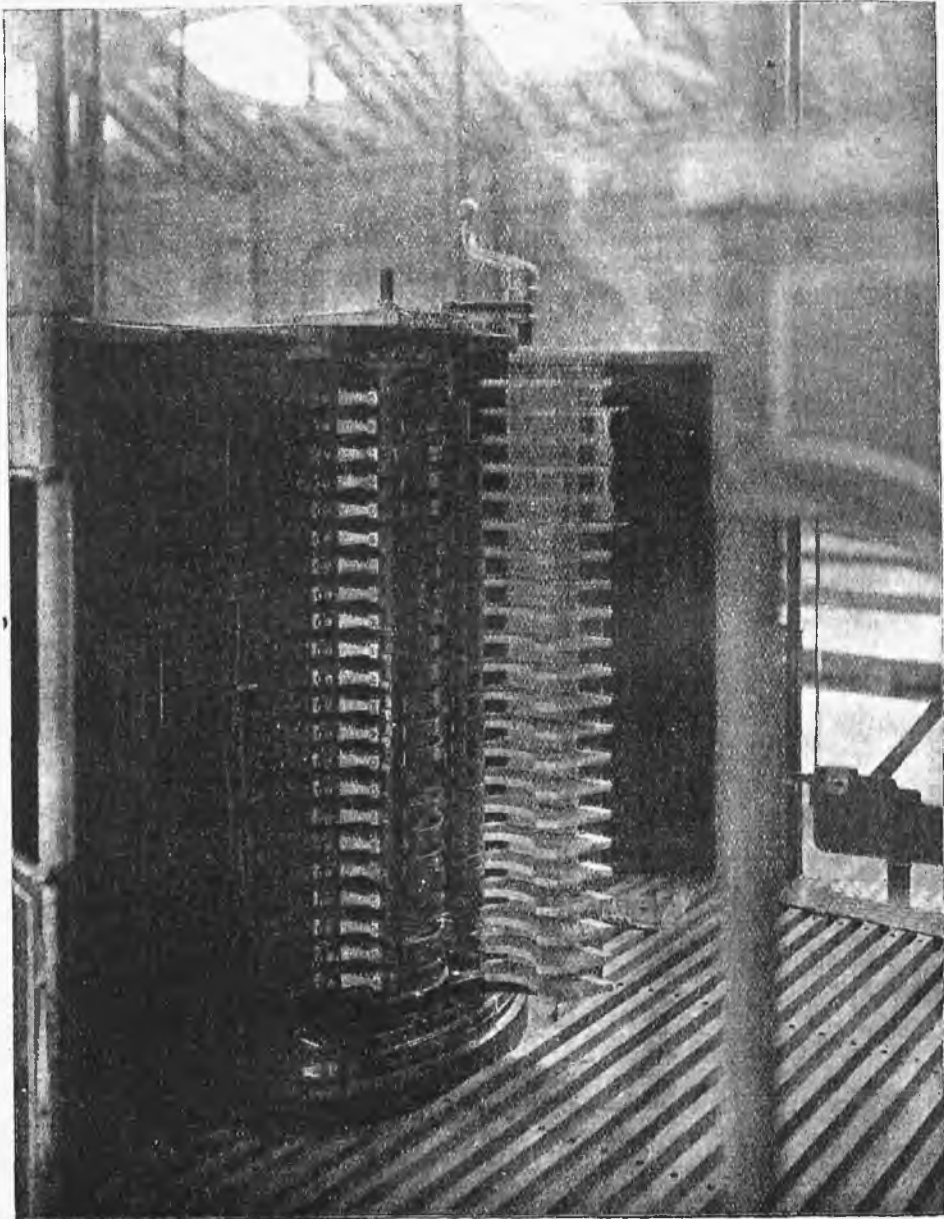


Rys. 365.

- 1) Rękojeść. 2) Korba. 3) Nasadka zabezpieczająca. 4) Pierścień uszczelniający. 5) Pokrywa. 6) Rączka. 7) Nasadka zabezpieczająca. 8) Pierścień uszczelniający. 9) Tarcza azbestowa. 10) Pokrywa. 11) Kołnierz naciśnięty. 12) Pokrywa górna. 13) Pokrywa dolna. 14) Rdzeń magnesu. 15) Kontakt gaśnika. 16) Kontakt wędrowny. 17) Nasada biegunowa. 18) Sprężyna. 19) Doprowadzenie prądu. 20) Deska z zaciskami. 21) Zawias. 22) Kółek. 23) Pokrywa blaszana. 24) Pokrywa blaszana. 25) Górny koniec osi. 26) Pokrywa lana. 27) Pierścień czolowy. 28) Kątówka. 29) Tarcza azbestowa. 30) Wstawka. 31) Sprężyny. 32) Oś. 33) Połączenia kontaktów. 34) Wał azbestonitowy. 35) Pierścienie kontaktowe wąskie. 36) Pierścienie kontaktowe szerokie. 37) Taśma. 38) Rurka do smaru. 39) Wstawka. 40) Koło wychwytowe. 41) Listwa kontaktowa. 42) Kółko wychwytowe. 43) Kontakty małe. 44) Kontakty duże. 45) Żelazo płaskie. 46) Wspornik. 47) Żelazo płaskie. 48) Wał drążony. 49) Koło wychwytowe małe. 50) Łożysko. 51) Dolny koniec osi. 52) Wychwyt. 53) Kółko. 54) Wychwyt. 55) Kółko. 56) Zacisk. 57) Sprężyny. 58) Sprężyny. 59) Łożysko. 60) Płyta podstawowa. 61) Sprężyna wężykowata. 62) Czop sprężynowy. 63) Płyta azbestonitowa. 64) Płyta dla palców kontaktowych. 65) Palce kontaktowe. 66) Płyta dla palców kontaktowych. 67) Palce kontaktowe. 68) Sprężyny. 69) Sprężyny. 70) Doprowadzenie prądu. 71) Doprowadzenie prądu. 72) Tylne pokrycie.



Rys. 365.



Rys. 367.

Przy przerywaniu prądu powstaje zawsze skutkiem samoindukcji iskra tem silniejsza, im silniejszy jest przerywany prąd. Iskry te mogą torować poniekąd drogę prądowi i wywołać stały łuk, który stapia, pali i niszczy kontakty. W regulatorach przerywa się i włącza ciągle dość silne prądy, przyczem niektóre z przerywanych obwodów mają dość znaczną samoindukcję (n. p. uzwojenia magnesów) mogą przeto powstawać mocne iskry i łuki, które byłyby dla kontaktów nader szkodliwe. Należy przeto koniecznie te łuki natychmiast przerywać, czyli „gasić”. Znaczne zmniejszenie łuku osiąga się już przez to, iż prąd przerywa się nie w jednym miejscu, a równocześnie w kilku włączonych w szereg. Tak się dzieje właśnie w regulatorach; przy przejściu n. p. na „0” przerywa się prąd równocześnie na 11 kontaktach walca głównego i kontakcie wędrownym.

Drugim, radykalnym środkiem byłoby krótkie zwarcie tego obwodu, przy przerwaniu którego łuk powstaje. Praktycznie jednak natrafia zastosowanie tego sposobu na poważne trudności. Nie mniej był i ten sposób stosowany, po raz pierwszy w roku 1895 przez O. v. Goeben, a później i przez Tow. Akc. Schuckert. W położeniu „0” zamyka specjalny segment walca uzwojenia magnesów w sobie. Wymaga to jednak dodania jeszcze jednego położenia poza „0”, w którym dopiero korby mogą być zdjęte. Dodatkowe to jednak położenie czyni skuteczność całego urządzenia w znacznej mierze illuzoryczną, gdyż przy wyłączaniu przeskakuje często motorniczki położenie „0” przechodząc odrazu na ostatnie.

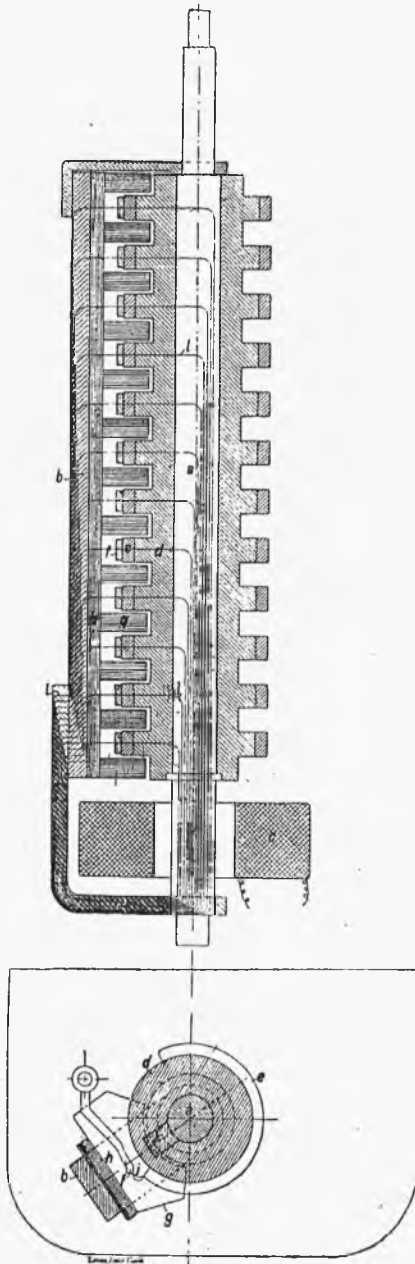
Trzecim wreszcie i powszechnie używanym sposobem jest magnetyczne wydmuchiwanie łuku, polegające na tem, iż wytwarza się pole magnetyczne, którego linje biegną prostopadle do kierunku powstającego łuku. Działanie to opiera się na znanej zasadzie, iż na przewodnik, znajdujący się w polu magnetycznym, przez który płynie prąd przecinający linje magnetyczne, działa siła starająca się go przesunąć; otóż przewodnik i prąd zastępuje tu łuk, a powstająca siła przesuwu, a temsamem i gasi takowy.

Urządzenia magnesów przeciw-łukowych, gaśnikami zwanych, bywają bardzo rozmaite. Gaśnik, rys. 368-my, firmy Thomson-Houston ma uzwojenia boczne, rys. 369-ty, budowy Schuckert uzwojenia na osi walca.

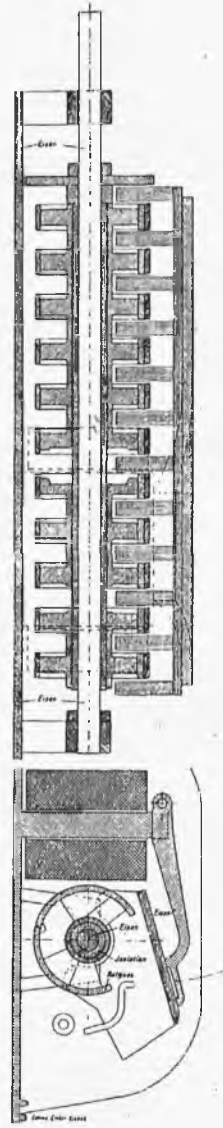
Przy regulatorach, rys. 365-ty, uzwojenie gaśnikowe jest umieszczone wewnątrz nieruchomej części walca głównego.

Ponieważ na walcu bocznym prąd się nie przerywa, przeto gaśnik jest tu zbyteczny.

Walce dawniej wykonywane z przepojonego drzewa, bywają dziś przeważnie robione ze stabilitu, wulkanitu lub innych materiałów izolacyjnych. Segmenty wykonane są zwykle z czerwonego brązu z naśrubowanymi na wierzchu kawałkami miedzi. Konstrukcja palców kontaktowych bywa nader rozmaita. Są to rodzaje szczotek ślizgających się po



Rys. 368.



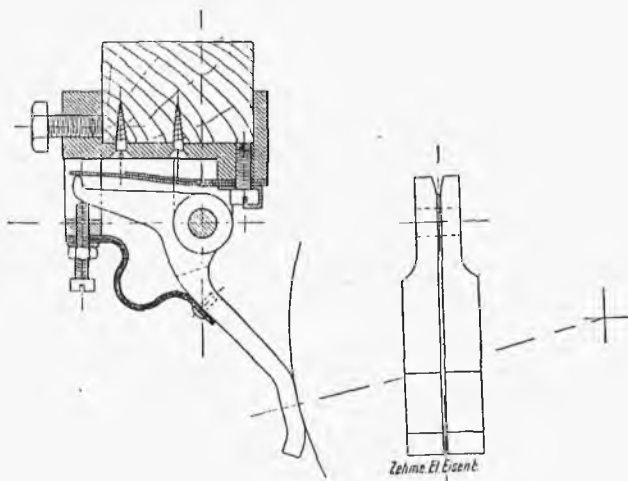
Rys. 369.

segmentach walca. Muszą one dobrze przylegać, a przytem dawać się łatwo odciągać i odejmuwać dla ułatwienia czyszczenia i dopasowywania.

Rys. 370-ty przedstawia konstrukcję palców stosowaną przez firmę Siemens-Schuckert.

Dla silniejszych prądów palce są zawsze dla lepszego przylegania dzielone na kilka części.

W wyżej opisanych układach odbywa się przełączanie motorów z połączenia szeregowego na równoległe tak, że prąd zostaje chwilowo zupełnie przerwany. Przerwanie takiego prądu jest jednak przy większych mocach czasami niepożądane. Unika się go, dodając pomiędzy ostatniem połączeniem szeregowem, a pierwszym równoległym 3 położe-

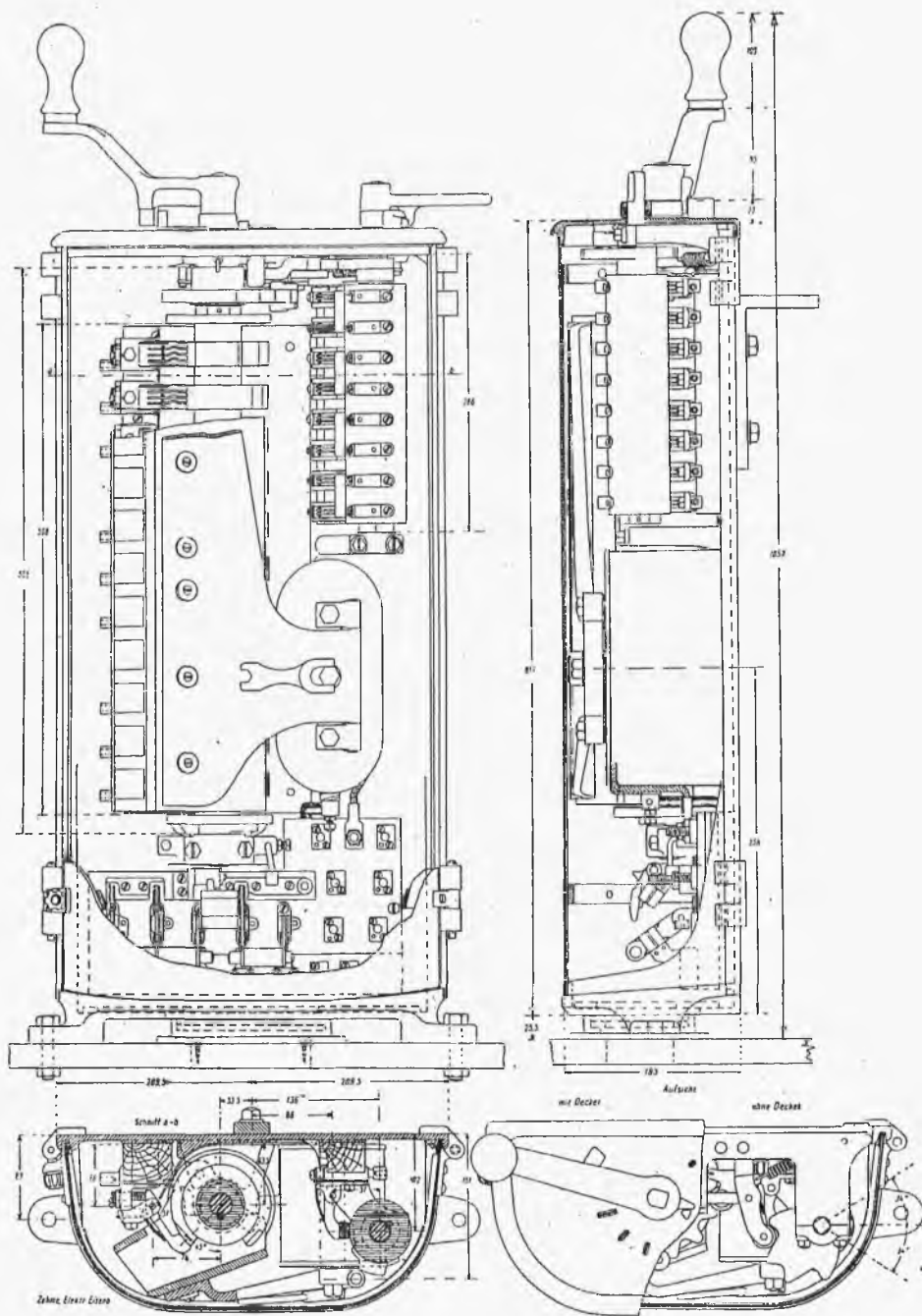


Rys. 370.

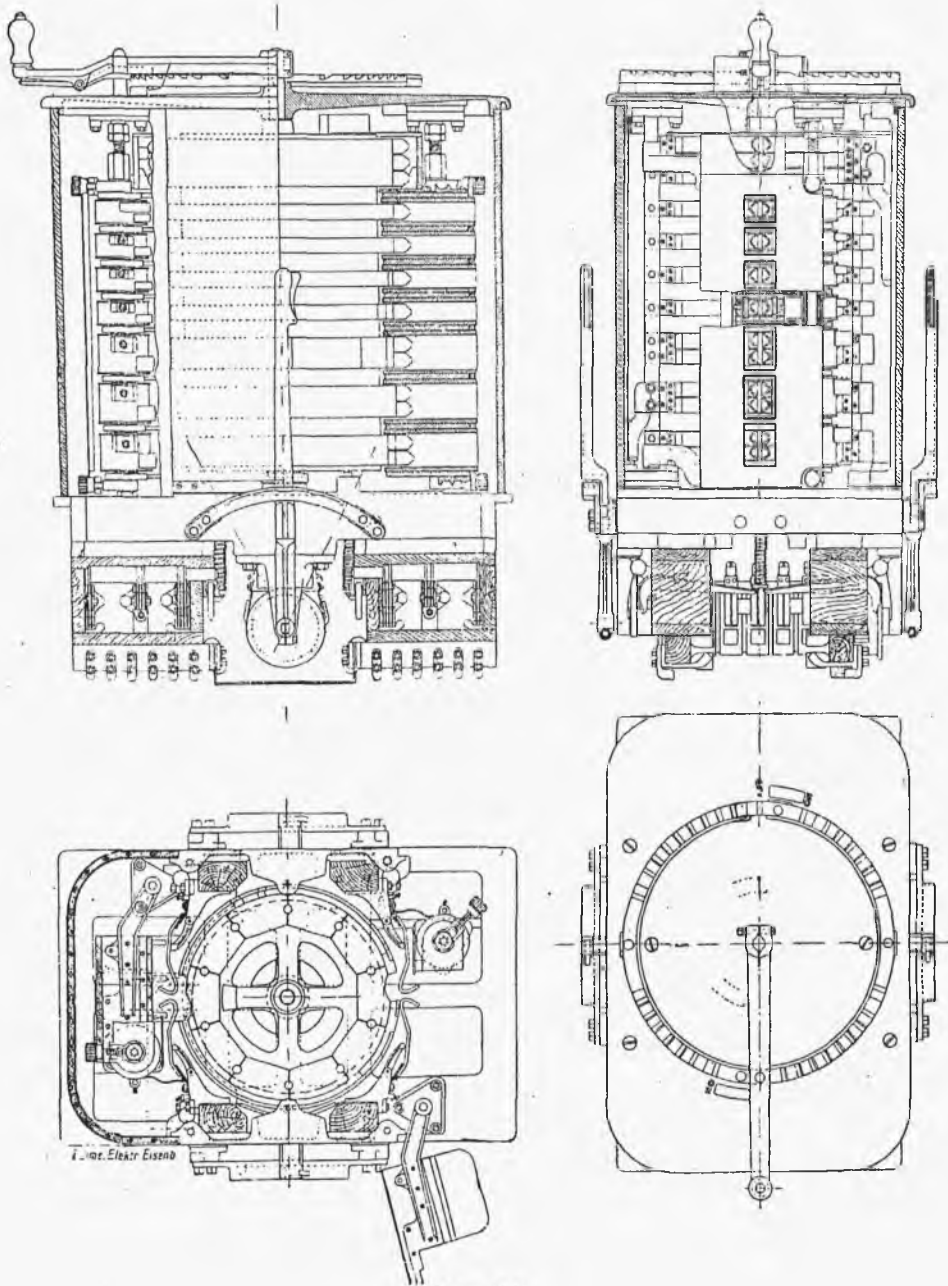
nia przejściowe, co niewiele zwiększa regulator, gdyż, jak to widać n. p. na rys. 363-cim, i bez tego pozostaje zawsze między temi położeniami miejsce na 2 inne.

W pierwszym przejściowym położeniu zostają opory włączone, w drugim zostaje jeden z motorów krótko zwarty, w trzecim wreszcie odłączony. W następnym położeniu, t. j. pierwszym połączenia równoległego, zostaje ten motor znowu przyłączony, ale już równoległe do pierwszego.

Opisane dotychczas układy połączeń i regulatory wystarczające, jeżeli idzie o kierowanie jednego wozu motorowego z doczepnymi, stają się jednak niewystarczające, jeżeli idzie o kierowanie z jednego miej-



Rys. 371.



Rys. 372.

sca pociągu złożonego z dwu lub więcej wozów motorowych w połączeniu z pewną liczbą doczepnych. Tymczasem możliwość dowolnego rozłożenia motorów w pociągu, a przez to i lepszego wyzyskania przyczepności, a zatem stosowania większych przyspieszeń i opóźnień, przewycięzania większych pochyłości i t. p., stanowi jedną z głównych zalet trakcji elektrycznej w porównaniu do parowej. Toteż spotyka się często przy kolejach dojazdowych n. p. takie składy pociągów: wóz motorowy na przedzie, dwa wozy doczepne, wóz motorowy z tyłu. Chcąc taki pociąg prowadzić z przedniego pomostu wozu motorowego, należałoby wszystkie przewody przeprowadzić przez wszystkie wozy doczepne i łączyć ze sobą przy pomocy odpowiednich kabli łącznikowych tak regulatory, jak oporniki i przewody musiałyby być obliczone na całe natężenie prądu. Oczywiście jest, iż powstałoby urządzenie bardzo kosztowne, ciężkie i złożone, a zatem niepraktyczne.

Zapobiega temu obmyślany najpierw w Ameryce sposób połączeń, zwany „Multiple-Unit System”, lub prościej „Multiple”, czyli „połączenie wielokrotne”.

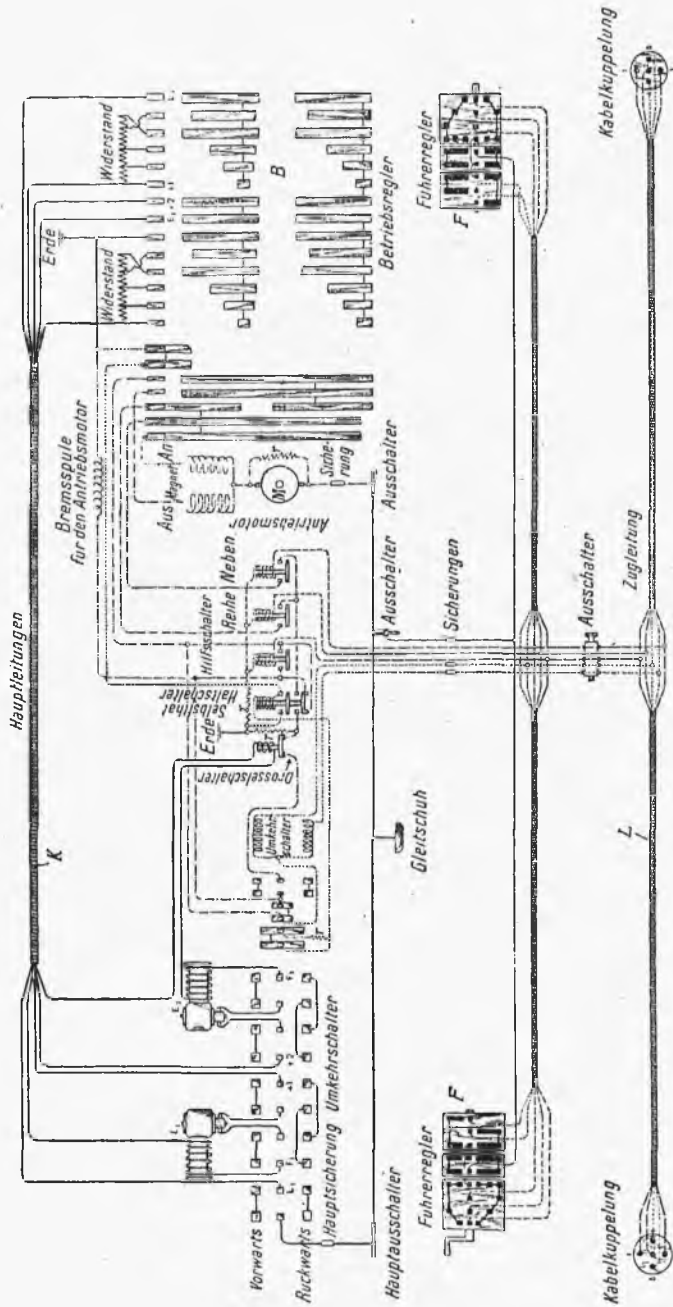
System ten, którego obecnie znane są liczne odmiany, polega w zasadzie na tem, iż każdy regulator obsługuje tylko jeden wóz motorowy, wszystkie zaś regulatory całego pociągu poruszane są jednocześnie przy pomocy odpowiedniego urządzenia, z jednego miejsca, a mianowicie z przedniego pomostu pierwszego wozu motorowego. Oczywiście jest, iż czysto mechaniczne połączenie ze sobą regulatorów jest niemożliwe; do poruszania ich stosować można sprężone powietrze lub elektryczność. Przez cały pociąg przechodzą wtedy już nie główne, grube i kosztowne przewody, ale nieliczne, cienkie przewodniki kierownicze, prowadzące słabe prądy. Do poruszania regulatorów mogą służyć np. małe motorki, włączane i wyłączane przy pomocy specjalnego małego regulatorka. Takim jest np. połączenie wielokrotne Sprague, rys. 373-ci.

Przez pociąg przechodzi tu tylko 5 cienkich przewodów.

Ale i takie urządzenia są jeszcze zbyt skomplikowane i nie bywają już obecnie stosowane.

Naturalnym dalszym rozwojem zasadniczej myśli było zastąpienie regulatorów szeregiem oddzielnych wyłączników i przełączników, rozmieszczonych w odpowiednich miejscach i sterowanych wspólnie elektrycznie lub elektro-pneumatycznie. Przy sterowaniu elektrycznym włącza mały regulator poszczególne wyłączniki w obwód sterujący, którego prąd wzbudza odpowiednie elektromagnesy; magnesy te wciągają swoje rdzenie i przez to włączają lub wyłączają wyłączniki.

Przy sterowaniu elektro-pneumatycznym, do poruszania wyłączników służy sprężone powietrze, elektromagnesy zaś otwierają lub zamykają odpowiednie zawory.



Takie urządzenia rozwiązały równocześnie kwestję wyższych napięć i wielkich mocy, dla których budowa zwykłych regulatorów przedstawia już poważne trudności.

Prąd sterujący do wzbudzania magnesów o słabem natężeniu i napięciu bierze się przytem albo wprost z sieci, włączając w obwód odpowiednie oporniki, albo też z małej baterji akumulatorów.

Szemat tego rodzaju połączenia widzimy na rys. 374-tym i 375-tym.

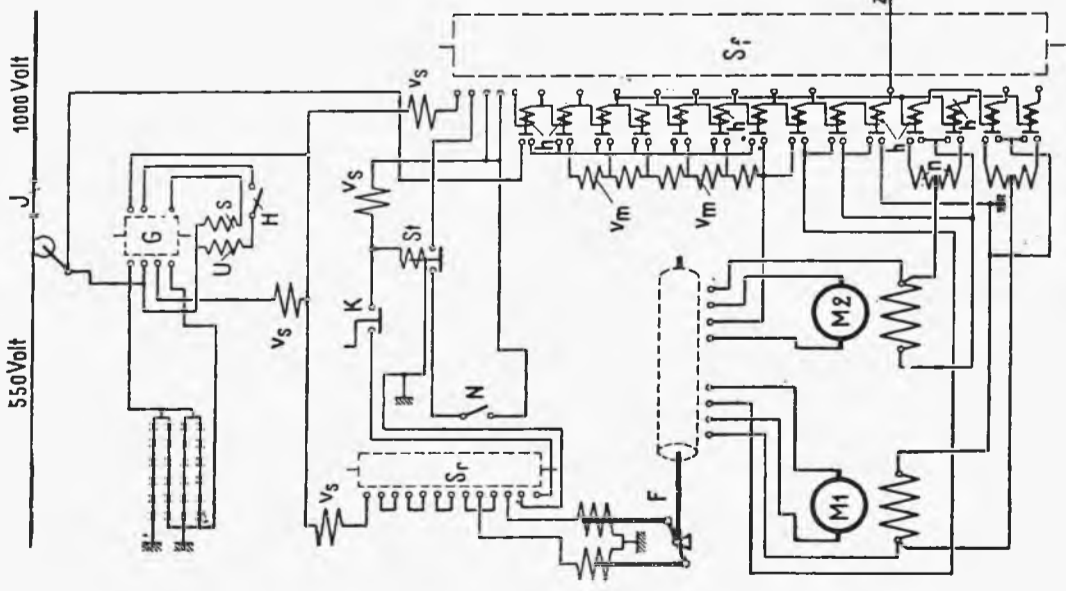
Przez wszystkie wozy, tak motorowe jak i doczepne, biegnie wielożyłowy kabel dla słabego prądu, złożony z 22 pojedynczych cienkich przewodników, zakończony na obu końcach wozu gniazdami łącznikowymi; wozy są łączone między sobą zapomocą linek łącznikowych z wtyczkami, wetkniętymi w gniazda łącznikowe. Na wozach motorowych, zwykle na podwoziu, blisko motorów i oporników, umieszczony jest szereg wyłączników elektromagnetycznych; każdy z tych wyłączników ma kontakt stały, nieruchomy, i ruchomy połączony z rdzeniem solenoidu. Jeżeli przez uzwojenia solenoidu nie płynie prąd, to kontakty nie stykają się ze sobą i prąd jest przerwany; skoro jednak przez solenoid przepływa prąd, to solenoid wciąga swój rdzeń, kontakty stykają się przyciskając się mocno do siebie i obwód zostaje zamknięty.

Pierwszy wyłącznik elektromagnetyczny łączy przyrząd odbierający prąd z wszystkimi pozostałymi wyłącznikami, których drugie kontakty połączone są z motorami i opornikami. Każdy wyłącznik elektromagnetyczny zaopatrzony jest w silny gaśnik. Uzwojenia solenoidów połączone są z poszczególnymi przewodnikami kabla. Umieszczone na obu końcach wozu regulatory, połączone również z przewodnikami kabla, pozwalają kolejno włączać i wyłączać uzwojenia solenoidów, a temsamem i zamykać względnie otwierać wyłączniki elektromagnetyczne.

Na szemacie, rys. 374-ty, prąd, wzbudzający uzwojenia solenoidów, dopływa wprost z sieci. Jest to wprawdzie prostsze, jak stosowanie oddzielnej baterji akumulatorów, ma jednak tę wadę, iż wprowadza prąd o wysokiem napięciu do regulatorów i wyłączników, względnie całego obwodu regulatorowego. System taki może przeto być stosowany tylko dla niezbyt wysokich napięć, do np. 1200 voltów; przy wyższych napięciach niezbędną staje się baterja akumulatorów.

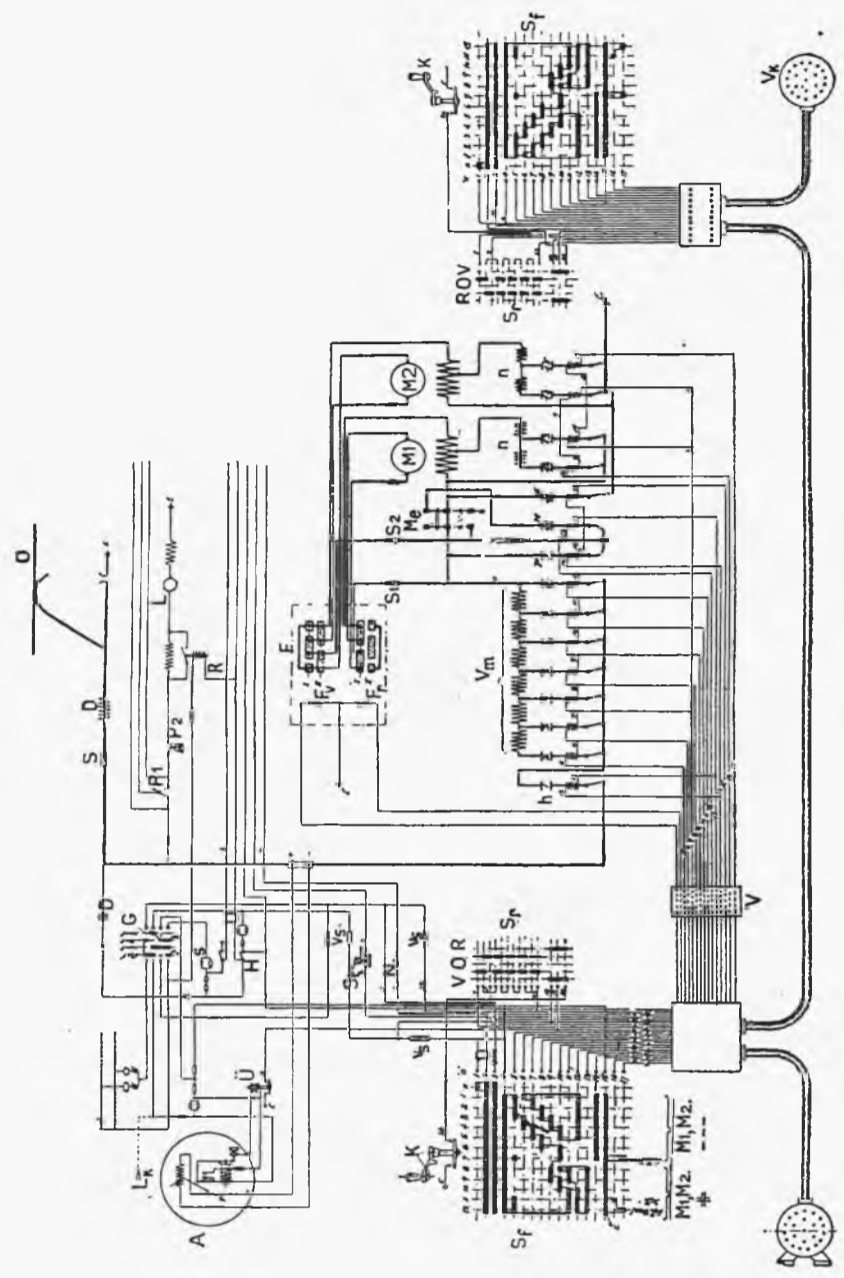
Regulatory mają budowę zupełnie podobną do normalnych regulatorów, z tą tylko różnicą, iż są znacznie mniejsze, gdyż przepływają przez nie tylko zupełnie słabe prądy.

Walec boczny służy do określania kierunku jazdy; przesunięcie jego rączki włącza uzwojenie jednego z elektromagnesów przełącznika F ,



Rys. 374.

- A = amperomierz
- D = zwój indukcyjny
- L = motor pompy pneumatycznej
- Lh = łącznik oświetleniowy
- O = drut roboczy
- P1 = wyłącznik ręczny
- P2 = samoczynny
- R = przełącznik wyłącznika
- S = bezpiecznik



Rys. 375.

Plan połączeń w wozie motorowym kolejki Bonn-Königswinter.

- S1 = bezpieczniki motorów
- S2 = przełącznik maksymalny
- U = gniazdo łącznikowe
- Sf = walec główny regulatora
- F = przełącznik kierunku jazdy
- F1 = zwój przełącznika dla jazdy wtył
- F2 = zwój przełącznika dla jazdy naprzód
- G = przełącznik dla światła
- M1, M2 = motory
- Mh = wyłącznik do motorów
- H = wyłącznik ręczny
- U = zwój przełącznika
- Vm = oporniki w głównym obwodzie motorów
- n = oporniki bocznikowe
- h1, h2 = wyłączniki elektromagnetyczne
- K = korba regulatora
- N = wyłącznik na wypadek niebezpieczeństwa
- Sf = wyłącznik elektromagnetyczny prądu regulującego
- Sr = walec boczny regulatora
- as = opornik prądu regulującego
- s = zwój zatrzymujący przełącznika oświetleniowego

który odpowiednio włącza motory. Korbę główną można poruszyć dopiero po ustawieniu rączki na jazdę wprzód lub w tył, rączkę zaś tylko po ustawieniu korby na 0.

Pierwszy kontakt regulatora włącza tylko prąd regulujący, a dopiero drugi motory szeregowo ze wszystkimi opornikami. Dalsze kontakty, których jest ogółem 12, włączając odpowiednie wyłączniki elektro-magnetyczne, wyłączają stopniowo oporniki, potem przełączają motory równolegle przez oporniki, wyłączają znowu stopniowo oporniki i wreszcie bocznikują motory dla zwiększenia prędkości.

Korba regulatora jest tak zbudowana, iż motorniczy musi stale wywierać na nią lekki nacisk. W razie przerwania tego nacisku, a zatem n. p. wypuszczenia korby z ręki w czasie jazdy, przerywa się prąd regulujący, wszystkie rdzenie wyłączników elektro-magnetycznych opadają i prąd główny zostaje przzerwany. Aby ponownie prąd włączyć, musi wtedy motorniczy korbę nastawić na 0 i dopiero włączać stopniowo.

Wyłącznik samoczynny maksymalny zastępuje uwidoczony na planie połączeń amperomierz *A*. Amperomierz ten zaopatrzony jest w kontakt; w razie przekroczenia dozwolonego natężenia prądu łączy wskazówka amperomierza ów kontakt i wzbudza przekaźnik *U*, który przerywa prąd regulujący, a temsamem i prąd główny.

Na planie zaznaczone jest również oświetlenie wozów, składające się z 24 żarówek po 85 voltów. Ponieważ wozy kolejki wjeżdżają do środka miasta Bonn na torach tramwajowych, których sieć ma napięcie 550 voltów, podczas kiedy napięcie robocze kolejki wynosi 1000 voltów, przeto niezbędne jest przełączanie. Przy napięciu 1000 voltów lampki są połączone po 12 w szereg w dwa obwody. Przy przejściu na napięcie 550 voltów przełącza się je przy pomocy przełącznika *G* w cztery obwody po 6 w szereg z dołączeniem dodatkowej lampki, pochłaniającej pozostałe 60 volty. Przełączenie to odbywa się ręcznie. Przy przejściu z 550 voltów na 1000 voltów przełączenie odbywa się automatycznie.

Regulator dla połączenia wielokrotnego widzimy na rys. 376-ym.

Guzik 14 musi być stale naciśnięty w czasie jazdy; gdyby motorniczy wypuścił korbę z ręki, to wyłącznik 13 przerwałby dopływ prądu sterującego, a temsamem i roboczego. Włączyć prąd można wtedy nie inaczej, jak powróciwszy uprzednio korbą w położenie 0.

Wyłącznik 13 składa się z dwu palców kontaktowych 14', umocowanych na bloku izolacyjnym, przytwierdzonym do drążka 17. Na drążek ten działa sprężyna tak, że normalnie palce nie stykają się z kontaktami, umieszczonymi obok nich, styk zaś następuje dopiero po naciśnięciu guzika 14. Do wydmuchiwania łuku, jakiby mógł powstać przy przzerwaniu prądu, służy gaśnik 15. Wystające ramionka drążka 17, spi-

ralna sprężyna 20 i pierścien 21 są tak urządzone, że guzik 14 można nacisnąć tylko w położeniu korby 0.

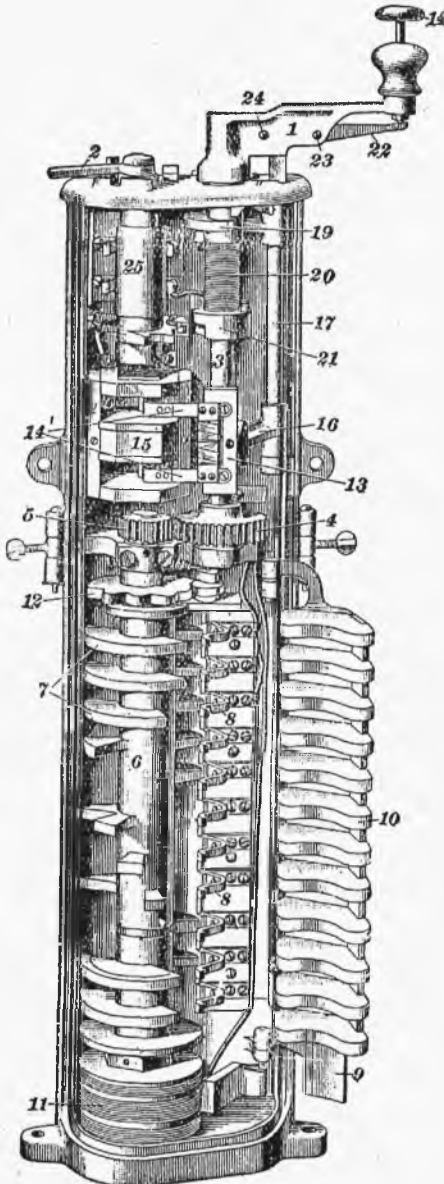
Walec 25, poruszany rączką 2, zastępuje walec boczny normalnego regulatora, służy zatem do zmiany kierunku jazdy. Walec główny 6 poruszany jest korbą 1 przez przekładnię 4, 5. Gaśnik 10 z uzwojeniem 11 wydmuchuje iskry, powstające przy przerywaniu prądu na poszczególnych kontaktach między wycinkami koła 11 a palcami kontaktowymi 8. Korba 1 jest tak związana z rączką 2 przez kółko wychwytowe 12 z odpowiednim pieskiem, że nie może być poruszana tak długo, jak rączka 2 stoi w położeniu 0.

Wyłączniki elektro-magnetyczne widzimy na rys. 377-ym i 378-ym.

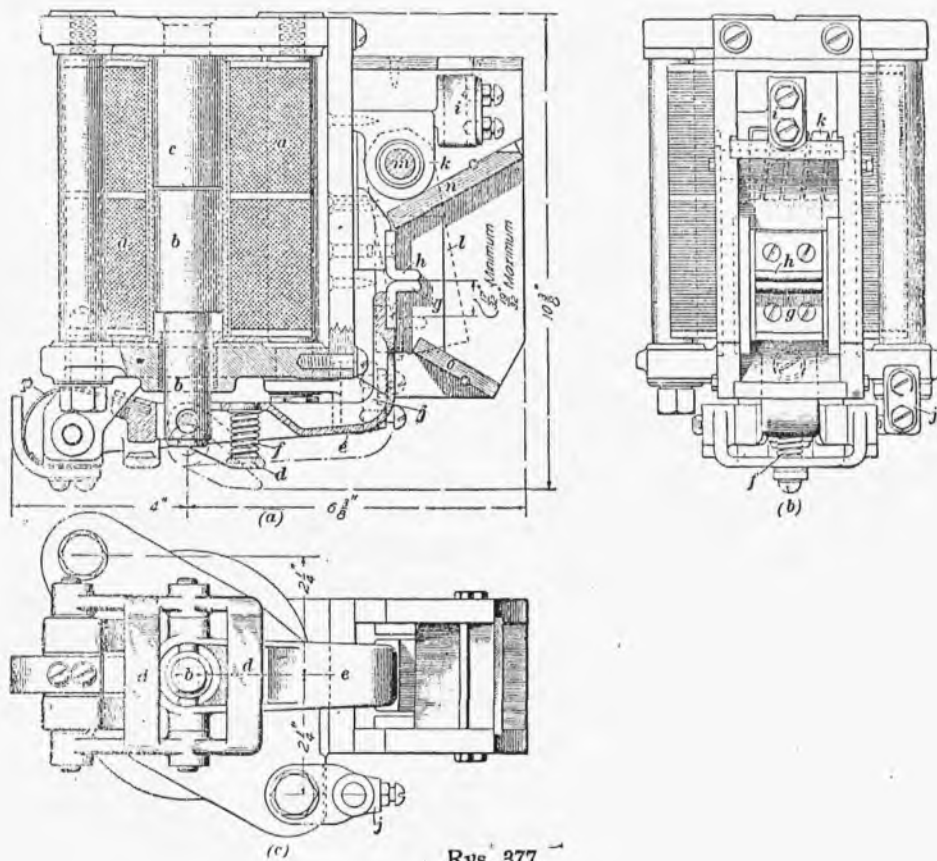
Cewka robocza *a* złożona jest z dwu części i posiada dwa rdzenie: ruchomy *b* i stały *c*. Ruchomy rdzeń *b* ma u dołu ramkę *d*, która naciska przez sprężynę *f* na ramie *e*, zaopatrzone w kontakt *g*; w położeniu uwidocznionem na rysunku kontakt ten przyciśnięty jest do stałego kontaktu *h*, przez co zamyka obwód między zaciskami *i* *j*.

Cewka *k* złożona z kilku zwoi grubego drutu, nawiniętych na rdzeniu żelaznym *m* z płytami biegunowymi *l* wytwarza silne pole magnetyczne, które wydmuchuje łuk, powstający między kontaktami *g* i *h* przy przerywaniu prądu; powstający przytem dym i gazy uchodzą przez kanał *n-o*.

Na rys. 377-ym wyłącznik jest otwarty. Skoro tylko prąd sterujący zacznie przepływać przez



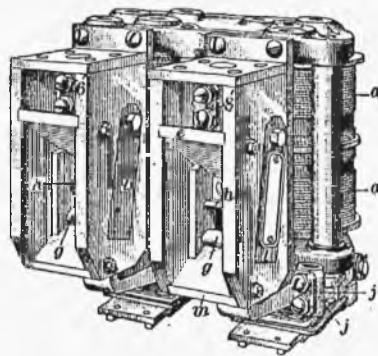
Rys. 376.



Rys. 377.

uzwojenie *a*, zostaje rdzeń *b* wciągnięty, a kontakt *g* przyciska się do kontakty *h*. Prąd roboczy przechodzi teraz od zacisku *i* przez cewkę *k* do kontaktu *h* i dalej przez kontakt *g*, ramię *e*, bocznik *p* do zacisku *j*.

Ramki *d* zaopatrzone są zwykle w małe, dodatkowe wyłączniki, przerywające prąd sterujący i zaryglowujące w ten sposób sąsiednie wyłączniki, aby zabezpieczyć od wszelkich mylnych działań. Wyłączniki te zaryglowujące bywają urządzone w miarę potrzeby albo tak, że są otwarte, kiedy wyłącznik główny jest zamknięty, lub też wraz z nim zamknięte.



Rys. 578.

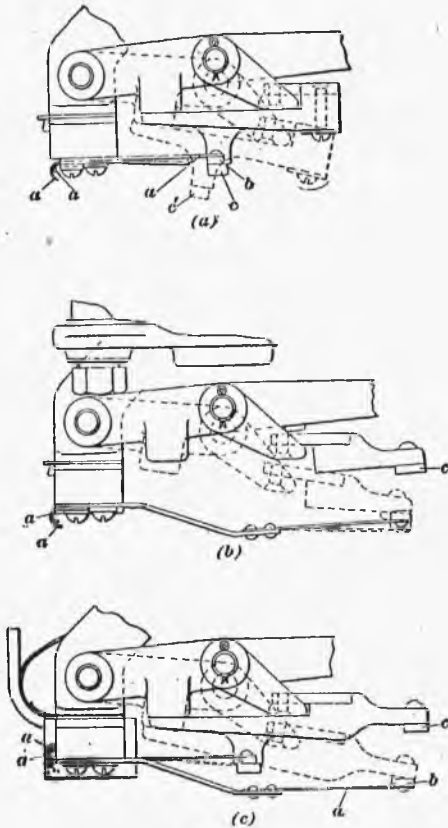
Dodatkowe wyłączniki, złożone z palców *a a* i kontaktów *b b*, widzimy na rys. 379-ym.

Na rys. (a) jest wyłącznik główny zamknięty; wyłączniki zabezpieczające są też włączone. Na rys. (b) są wyłączniki zabezpieczające włączone, kiedy wyłącznik główny jest otwarty. Na rys. (c) wreszcie widzimy dwa wyłączniki zabezpieczające, jeden włączony, a drugi wyłączony, przy włączonym wyłączniku głównym.

Umieszczenie wyłączników pod wagonem widzimy na rys. 380-ym.

Połączenia wielokrotne bywają także tak urządzone, że działają poniekąd samoczynnie, t. j. że poszczególne przełączenia następują po sobie samoczynnie przy ściśle określonym natężeniu prądu, motorniczy zaś tylko włącza regulator na połączenie szeregowe lub równoległe, w zależności od żądanej prędkości.

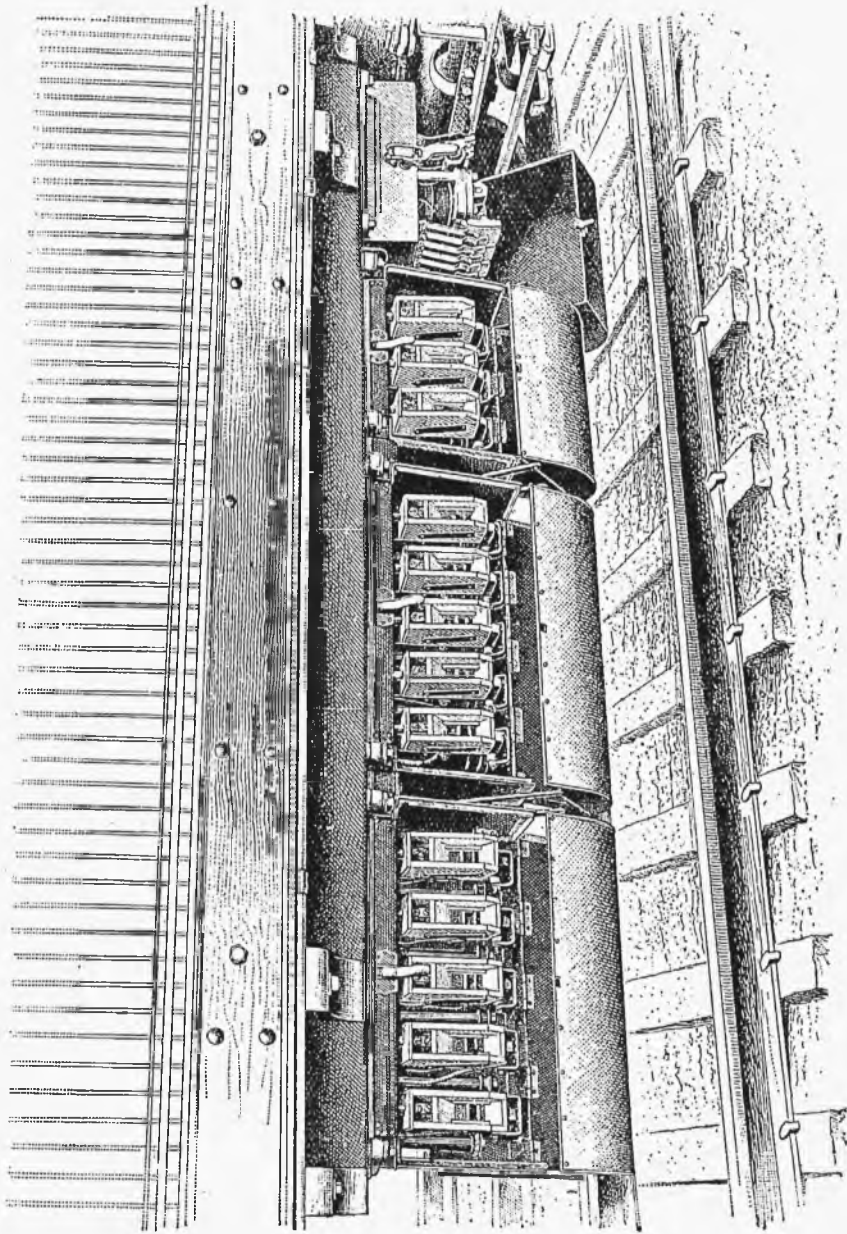
Służący do takiego urządzenia regulator, rys. 381-szy, ma tylko jeden walec główny z czterema położeniami dla jazdy naprzód i dwoma dla jazdy w tył. Położenie pierwsze odpowiada połączeniu szeregowemu motorów z włączeniem wszystkich oporników, drugie połączeniu szere-



Rys. 379.

gowemu bez oporników. W położeniu trzecim są motory połączone równoległe z włączeniem wszystkich oporników; w położeniu wreszcie czwartym, odpowiadającym największej prędkości, bez oporników. Jeżeli więc n. p. motorniczy ruszając widzi, że będzie mógł rozwinąć pełną prędkość, to przesuwając od razu korbę w położenie czwarte, a wszystkie połączenia, poczynając od szeregowego z wszystkimi oporami, aż do równoległego bez oporów, odbywają się samoczynnie jedno po drugim.

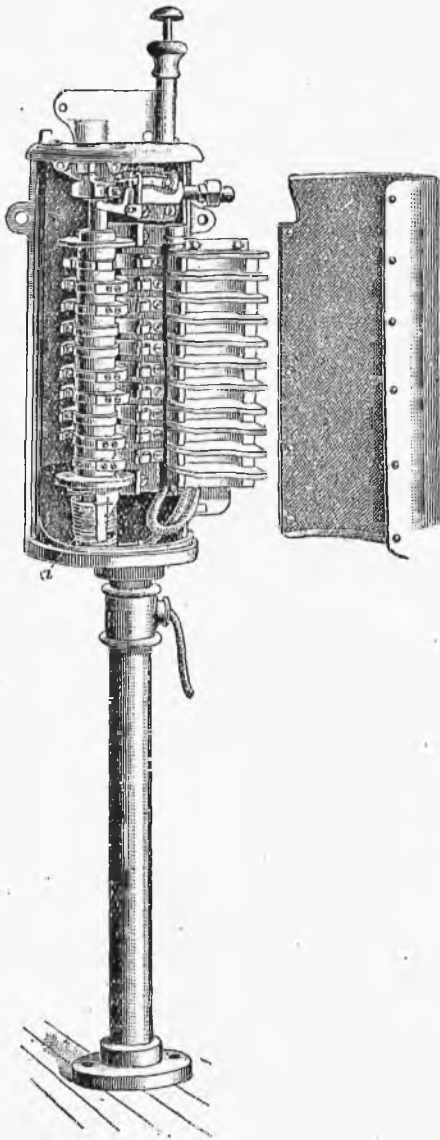
Kolejność przełączeń zapewnia szereg wyłączników zaryglowujących, ustawionych na głównych wyłącznikach elektro-magnetycznych;



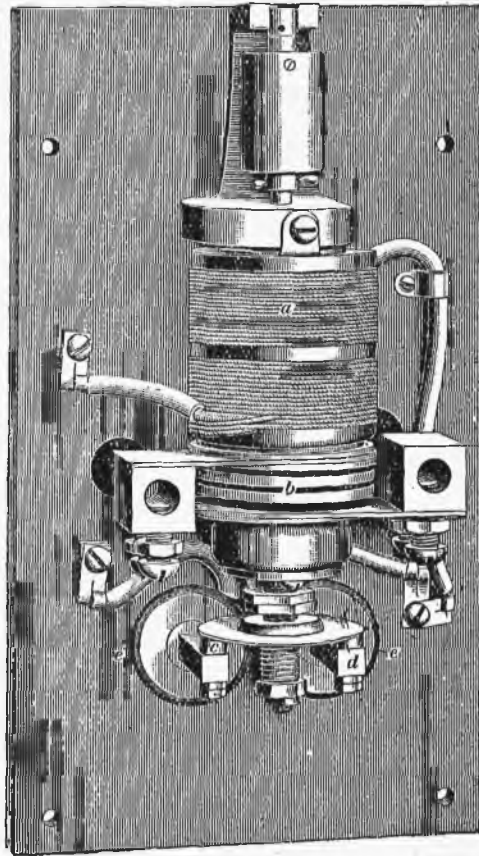
Rys. 380.

chwile, w jakiej ma nastąpić każde przełączenie, określa specjalny prze-
kaźnik, zwany przekaźnikiem ograniczenia prądu, rys. 382-gi.

Przez uzwojenie *a* przepływa
prąd sterujący, przez *b* prąd obwodu
głównego. Uzwojenie *a* wciąga swój
rdzeń i przerywa obwód sterujący
w punktach *c* i *d*. Jeżeli teraz prąd
roboczy, płynący przez uzwojenie *b*,
przekracza pewne natężenie, to rdzeń
opadć nie może i obwód sterujący



Rys. 381.



Rys. 382.

jest tak długo przerwany, aż prąd roboczy nie zmniejszy się do określo-
nej granicy; dopiero skoro to nastąpi, rdzeń opada i zamyka obwód ste-
rujący w *c* i *d*, poczem następuje dalsze przełączenie.

W ten sposób przełączenia następują zawsze przy określmem natężeniu prądu, a zatem w chwili najstosowniejszej; otrzymuje się samoczynnie największe w danych warunkach możliwe przyspieszenie i co zatem idzie, najekonomiczniejszą jazdę.

Jeżeli korba przesunięta zostanie tylko do położenia drugiego, to przełączenia zatrzymują się na połączeniu szeregowem bez oporów. Jeżeli wreszcie korbę postawić w położenie pierwsze, to dalszych przełączeń nie będzie, a pociąg ruszy tylko z motorami połączonemi w szereg i wszystkiemi oporami.

Inny przekaźnik, t. z. przekaźnik napięciowy, przerywa obwód sterujący w razie przerwania obwodu głównego, względnie braku prądu na linii. Po zamknięciu obwodu głównego wyłączniki zaczynają znowu działać kolejno od początku, a zatem tak, jakby motorniczy był prąd wyłączył, a teraz na nowo włączył.

Nie wchodząc w dalsze szczegółowe opisywanie różnych detali i zabezpieczeń, zaznaczyć jednak należy, że takie regulatory mogą oczywiście mieć i więcej połączeń, n. p. dla bocznika, hamulca elektrycznego i t. p.

System elektro-pneumatyczny różni się od wyżej opisanego tylko tem, że główne wyłączniki włączane zostają nie siłą magnetyczną, a sprężonym powietrzem.

Główne wyłączniki, np. jak na rys. 383-im, ustawione są radjalnie na wspólnej tarczy naokoło gaśnika *b*.

Na końcu ramienia *c*, osadzonego nieco ruchomie na osi *d*, umocowany jest kontakt *b'*, stykający się ze stałym kontaktem *a'*.

Ramię *c* obraca się naokoło *e* i poruszane jest przez drąg *f* i tłok *g*, chodzący w cylindrze *h*.

Łuk, powstający przy przerwaniu prądu pomiędzy *a'* i *b'*, mieści się w komorze *i*, radjalne ramiona *j* *k* stanowią bieguny gaśnika *b*.

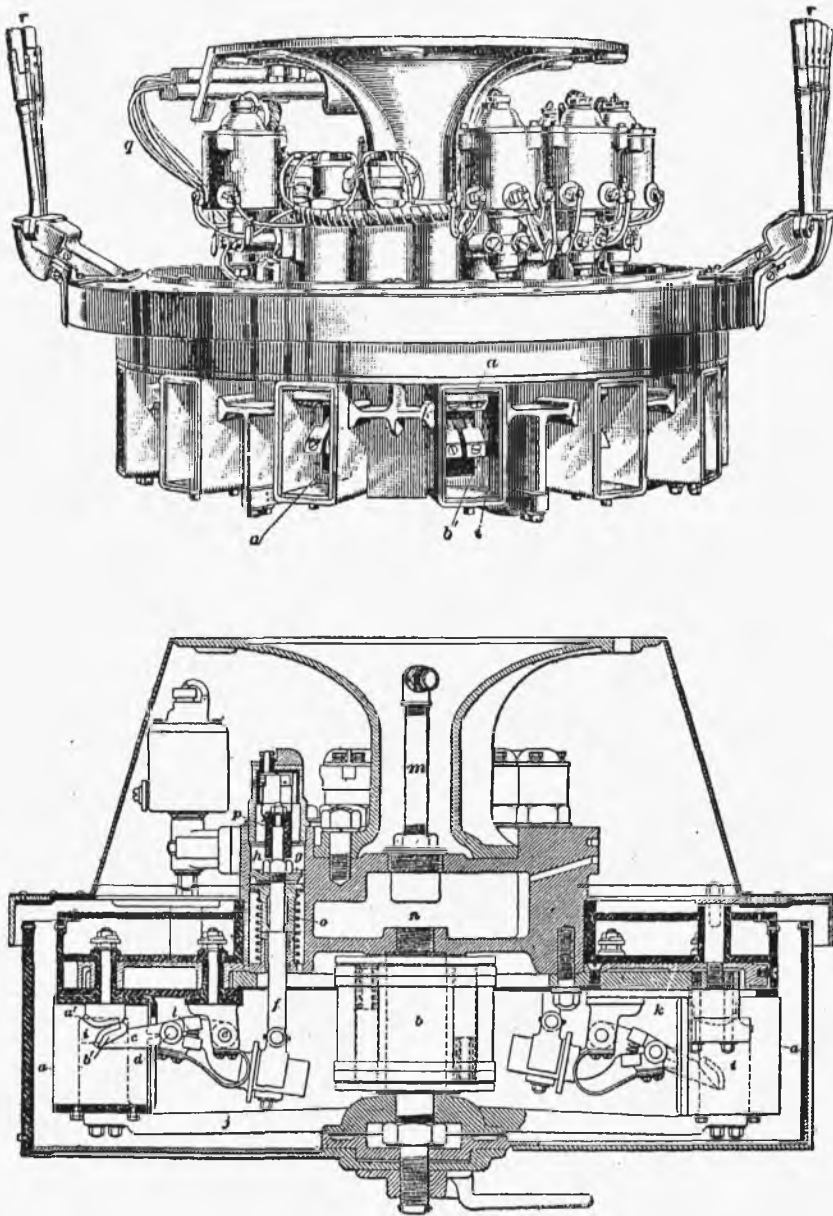
Mała ruchomość *c* naokoło *d* zapewnia wraz ze sprężyną *l* dobry styk między *a'* i *b'*

Sprężone powietrze dostaje się do zbiornika *n* rurą *m*; każdy z cylindrów *h* ma oddzielny zawór, sterowany przez elektromagnes wzbudzany przez prąd sterujący. Powietrze, dostawszy się do cylindra *h*, wtlacza tłok *g* w dół, przewyciężając opór sprężyny *o*.

Nad cylindrami umieszczone są małe wyłączniki zaryglowujące *p*. Prąd sterujący doprowadzają do zaworów przewody *q*; obwody główne przyłączone są do zacisków *r* *r*.

Umieszczenie wyłączników pod wagonem widzimy na rys. 384-tym.

Wyłączniki ustawiane też bywają nie jak wyżej opisano radjalnie, lecz obok siebie, jak na rys. 385-ym, co ułatwia ich rewizję i ewent. potrzebne naprawy.



Rys. 383.

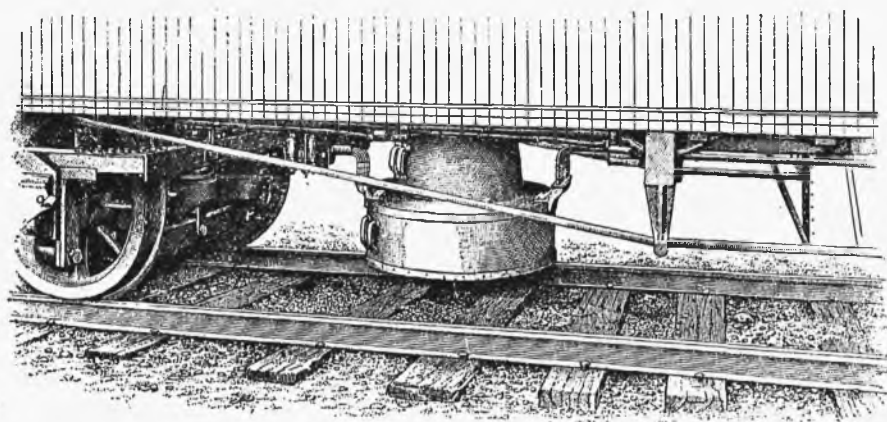
Wyłączniki elektro-pneumatyczne są dla wielkich natężeń prądu nieco lżejsze, jak elektro-magnetyczne.

Nie będąc przy połączeniach wielokrotnych związanym trudnościami budowy regulatora, stosuje się zwykle więcej kontaktów, jak przy zwy-

kłych regulatorach, w zależności od potrzeby i mocy motorów, 10 — 12 lub więcej. Im większa jest ilość kontaktów, tem równomierniejszem staje się ruszanie i stalszem przyspieszenie.

5) Bezpieczniki. Wyłączniki samoczynne. Wyłączniki ręczne. Dla zabezpieczenia motorów, regulatorów, przewodów i t. d. od zbyt silnego prądu, który może powstać w razie uszkodzeń lub nieumiejętnego włączania motorów niezbędne są przyrządy, któreby w razie zbytznego wzrostu prądu obwód samoczynnie przerwały.

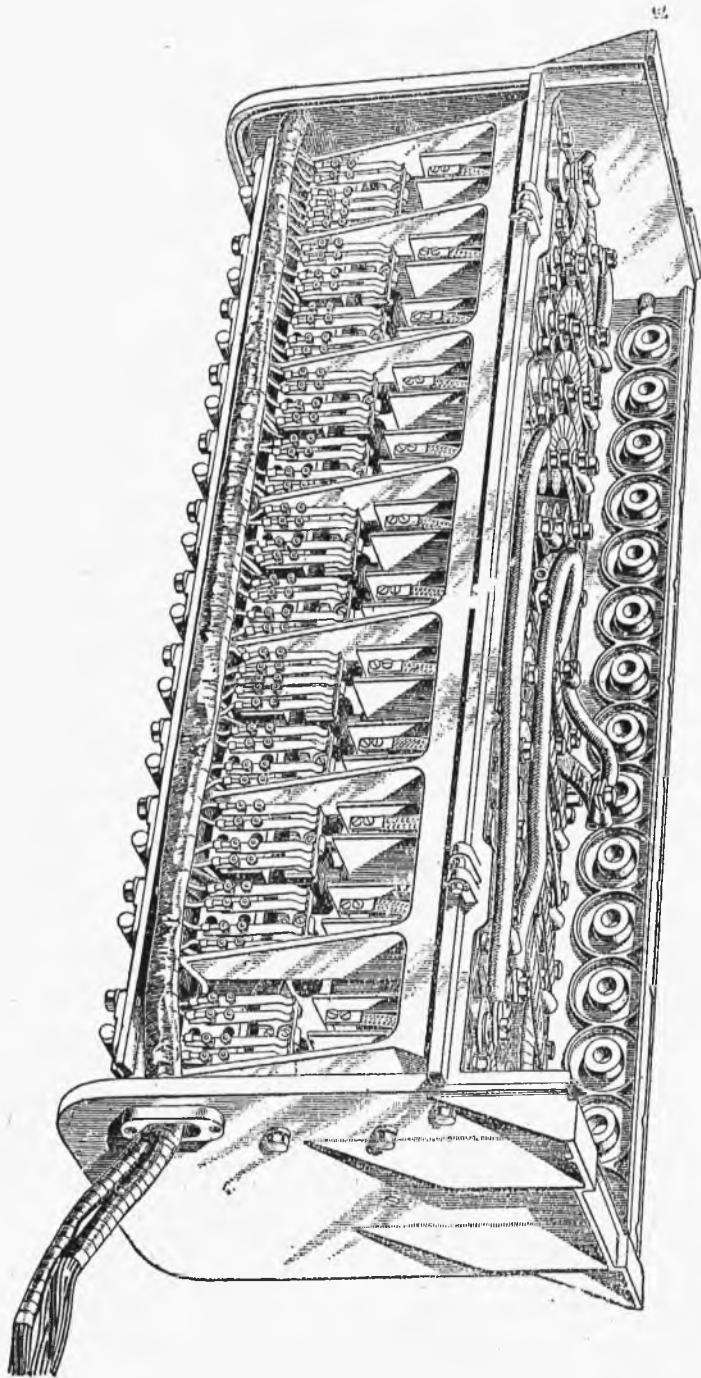
Najprostszymi tego rodzaju przyrządami są t. z. bezpieczniki, polegające na tem, iż włączony w obwód krótki kawałek łatwo topliwego



Rys. 384.

przewodnika, n. p. ołowiu, nagrzewa się silnie w razie nadmiernego wzrostu prądu, a następnie topi, przerywając obwód. Dawniej, kiedy nie znano jeszcze dość pewnie działających wyłączników samoczynnych, były bezpieczniki przy kolejach elektrycznych ogólnie używane, a i dziś spotyka się je często jako drugie zabezpieczenie. Jest to jednak przy zastosowaniu dobrego automatu zupełnie zbyteczne.

Główną wadą bezpieczników jest to, iż działają one zbyt wolno, t. j. iż potrzebują pewnego, stosunkowo dość znacznego czasu, zanim obwód przerwą. Otóż przy warunkach, w jakich koleje pracują, może prąd tak szybko wzrosnąć, iż krótki ten nawet, absolutnie biorąc, przeciąg czasu wystarczy, aby spowodować już poważne uszkodzenia. Dalszą wadą bezpieczników jest to, iż założenie nowego paska po stopieniu się jednego jest dość kłopotliwe i wymaga sporo czasu. Tymczasem zdarza się przy kolejach działanie bezpieczników bezporównania częściej, jak przy innych instalacjach elektrycznych; przeciążenie może nastąpić nie-



Rys. 385.

tylko skutkiem uszkodzeń, ale także skutkiem n. p. zbyt szybkiego włączania regulatora, włączenia prądu przy zahamowanych kołach, zbytniego obciążenia wozu i t. p. Szybkie przeto zamknięcie przerwanego obwodu staje się tu rzeczą ważną.

Znacznie lepiej odpowiadają wymaganiom trakcji elektrycznej samoczynne maksymalne wyłączniki. Przyrządy te polegają na tem, iż przy zbyt silnym prądzie elektromagnes odciąga wychwyty, przytrzymujący kontakt; ten ostatni odskakuje pod wpływem sprężyny i obwód przerywa. Działanie takich przyrządów jest od działania bezpieczników bez porównania szybsze, zamknięcie zaś przerwanego obwodu równie łatwe, jak zamknięcie zwykłego wyłącznika. Nowsze konstrukcje wyłączników samoczynnych działają tak pewnie i niezawodnie, iż, jak to już wspomnieliśmy, bezpieczniki stają się zupełnie zbyteczne.

Pomijając szczegółowy opis bardzo dziś licznych konstrukcji automatów, zaznaczymy tylko, iż i tu szybkie zgaszenie łuku, powstającego przy przerywaniu obwodu, jest rzeczą nader ważną. Długotrwały łuk mógłby stopić, a conajmniej nadpalić kontakty i uczynić automat niezdatnym do natychmiastowego powtórnego działania.

Przy wyłącznikach samoczynnych wozowych należy się liczyć nie tylko z nieuniknionem narażeniem na wilgoć i zanieczyszczenia pyłem, ale także z niezawsze umiejętnem obchodzeniem się służby wagonowej; utrzymanie również tych wyłączników nie może nigdy być tak staranne, jak automatów stacyjnych. Konstrukcja przeto wyłącznika samoczynnego wagonowego winna być możliwie prosta, mocna i wymagająca jaknajmniejszego utrzymania. Należałoby możliwie unikać kontaktów t. n. nożowych, t. j. takich, gdzie kontakt w formie noża wciska się między dwie sprężyny. Pomimo jaknajlepszych gaśników nieuniknioną jest rzeczą, iż iskry powstające przy przerywaniu prądu mniej albo więcej nadpalają, względnie nadtapiają, powierzchnie zetknięć; powierzchnie te stają się szorstkie, pokrywają się t. n. „perełkami“; szorstkość ta i perełki mogą łatwo na tyle zwiększyć tarcie między nożem a sprężynami, iż siła sprężyny odciągowej nie wystarcza już aby noż wyrwać i obwód przerwać, po paru więc kolejnych wyłączeniach odmawia automat działania. Lepszymi przeto są zawsze dobre kontakty sprężynowe, t. j. takie, przy których kontakt ruchomy przyciska się do sprężyny jedną tylko stroną. Perełki lub nadpalenia mogą tu conajwyżej powodować zły kontakt lub zupełny jego brak, ale nigdy nie wywołują zacięcia się automatu. Bardzo też skutecznie działa dodanie równoległe do kontaktu głównego kontaktów węglowych, ustawionych tak, iż rozdzielają się nieco po otwarciu kontaktu głównego; iskra i łuk powstają wtedy tylko na tych dodatkowych kontaktach i kontaktu głównego uszkodzić nie mogą; dodatkowe takie kontakty komplikują oczywiście

automat, ale są przy silniejszych prądach i wyższych napięciach prawie że niezbędne.

Wogóle zaznaczyć należy, iż dobra i pewna konstrukcja automatów jest rzeczą pierwszorzędną wagi, a większy koszt lepszych automatów zawsze sówicie się opłaci zmniejszeniem uszkodzeń i wypadków w eksploatacji.

Tak bezpiecznik, jak i wyłącznik samoczynny powinny być umieszczone możliwie blisko przyrządu doprowadzającego prąd, aby pozostawić możliwie jaknajkrótszy kawałek przewodu bez ochrony; stosowane przeto często dawniej umieszczanie bezpiecznika n. p. pod pudłem, jest zupełnie fałszywe.

Najodpowiedniejszym miejscem dla tych przyrządów jest dach wozu; wyłącznik samoczynny umieszcza się przytem zwykle na dachu pomostu i przeprowadza rączkę przez dach tak, iż można automat włączać i wyłączać z pomostu. Niezależnie od bezpiecznika, a również i wyłącznika samoczynnego, zaopatruje się zawsze przewód główny w wyłącznik ręczny, którymby można było w razie potrzeby prąd zupełnie wyłączyć. Wyłączniki ręczne umieszcza się najlepiej również na dachu nad pomostem, przepuszczając ich rączkę przez dach. Umieszczenie takie ma jeszcze i tę zaletę, iż przy zastosowaniu wyłączników samoczynnych, można prąd wyłączać z obu pomostów. Na szemacie 363-cim zaznaczone są oba te wyłączniki.

W rozdziale VIII „Obliczenie sieci“ była już o tem mowa, iż połączone w szereg wyłączniki samoczynne wyskakują w razie krótkiego zwarcia przeważnie wszystkie, t. j. iż pierwszy „ciągnie“ za sobą dalsze, co da się wytłómaczyć czasem potrzebnym do działania automatu i szybszym wzrastaniem prądu (patrz str. 179 — 181). Zaradza temu włączenie specjalnej zwojnicy indukcyjnej, opóźniającej wzrost prądu.

Zastosowanie takich zwojnic na wozach powinno by też dać jaknajlepsze rezultaty (praktycznie nie było to dotychczas wypróbowane). Pamiętać należy, iż wyskakiwanie automatu wagonowego jest rzeczą poniekąd normalną. Wyobraźmy sobie, iż na jednym z wozów powstaje uszkodzenie przewodów takie, iż stanowi ono krótkie zwarcie dopiero na dalszych kontaktach regulatora; automat danego wozu wyskakuje, ale pociąga za sobą i automat dzielnicowy na elektrowni, przez co cała dzielnica zostaje najniepotrzebniej pozbawiona prądu. Automat na elektrowni natychmiast włączają, również włącza motorniczy i automat na uszkodzonym wozie, nie wie bowiem, czy takowy wyskoczył skutkiem uszkodzenia, czy też spowodowała to jaka inna przyczyna, n. p. zbyt szybkie włączenie regulatora, przyhamowanie wozu i t. p. Wozy w danej dzielnicy ruszają, uszkodzony też, ale skoro motorniczy dojdzie do dalszych położań regulatora, powtarza się cała sprawa i powstaje zupeł-

nie zbyt znaczne zatamowanie ruchu, skupienie pociągów w danej dzielnicy, ewent. jej przeciążenie i t. d. Gdzie leży uszkodzenie, niewiadomo, podejrzewa się sieć, przewody zasilające i t. d. Zastosowanie zwojnic indukcyjnych napewno zapobiegłoby takim wypadkom, gdyż wtedy wyskoczenie automatu na elektrowni oznaczałoby już napewno uszkodzenie lub przeciążenie dzielnicy.

6) Ochrona od wyładowań atmosferycznych. Każdy wóz należy koniecznie ochronić od wpływu wyładowań atmosferycznych, któreby mogły poważnie uszkodzić jego przyrządy i przewody. Służą do tego odgromniki umieszczone na dachu. Najczęściej stosowane bywają tu odgromniki rożkowe, jako najprostsze i pewnie działające. Pozatem włącza się zwykle dla utrudnienia drogi wyładowaniu w obwód zwój indukcyjny, złożony z kilkakrotnie skręconego gołego drutu bez żelaza. Przy zastosowaniu zwojów indukcyjnych przy automatach stałyby się oczywiście zbyt znaczne zwoje odgromnikowe.

Praktyka wykazała, iż bardzo skuteczną ochronę stanowi oświetlenie elektryczne; oświetlenie daje ewent. wyładowaniu drogę wolną prawie od indukcji, którą przeto prawie zawsze wyładowanie obiera, niszcząc oczywiście przytem żarówki i przewody oświetleniowe, ale pozostawiając przewody główne i przyrządy nietknięte. Należy przeto przy zbliżającej się burzy zawsze włączać oświetlenie.

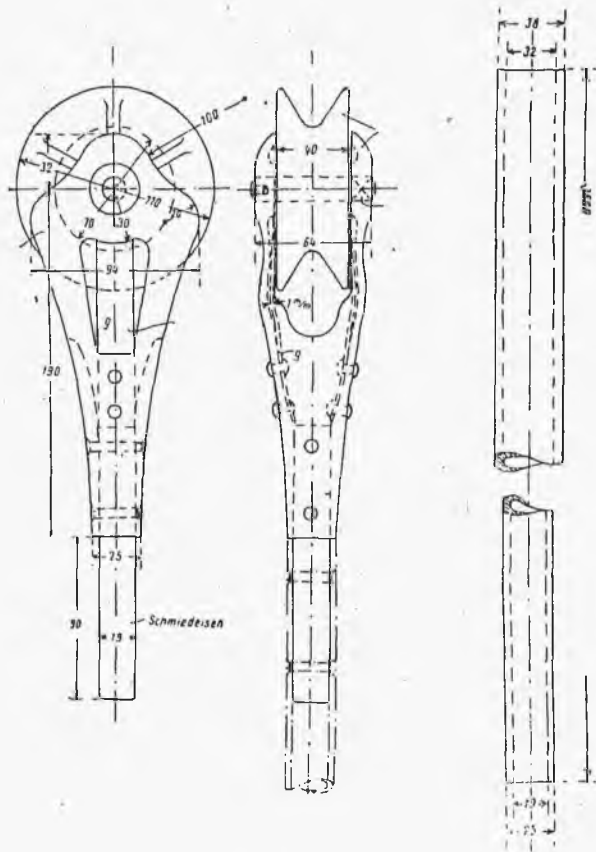
7) Zbieracz prądu. Jak to już w dziale „Sieć“ zaznaczono, pozostały obecnie ze wszelkich, zresztą dość licznych, próbowanych systemów doprowadzania prądu do wozów, dwa zasadnicze, a mianowicie krążek i pałak, oba mniej więcej równo rozpowszechnione, aczkolwiek pałak ma nad kółkiem stanowczo przewagę i winienby być przy nowo-powstających instalacjach wyłącznie stosowany.

System krążkowy polega na tem, iż osadzony na długim drążku wyźłobiony krążek przyciska się od dołu do drutu roboczego. Drążek, na którym osadzone jest kółko, musi być zawsze pochylony w tył tak, aby kółko było ciągnięte, a nie pchanie. Ponieważ wysokość drutu roboczego nie jest wszędzie jednakowa i n. p. większa w punktach zawieszania, jak pomiędzy nimi, a pod wiaduktami, mostami i t. p. bywa od normalnej znacznie niższa, przeto zmienia się i pochylenie drążka. Ważnem jest, aby ciśnienie, z jakim kółko przylega do drutu, było przy wszelkich pochyleniach jednakowe.

Pewne nierówności w druciu roboczym, n. p. przy skrzyżowaniach, zwrotnicach i t. p. są nieuniknione; nierówności te, jak również nierówności torów, powodują uderzenia i drgania krążka, które będą tem silniejsze i długotrwsze, im większa jest masa krążka wraz z drążkiem; należy przeto starać się masę tę możliwie zmniejszyć, aby tym

sposobem osiągnąć jaknajspokojniejszy bieg krążka i zmniejszyć szkodziwe zawsze iskrzenie.

Krążek, rys. 386-ty, odlany jest z bronzu i osadzony na osi stalowej, siedzącej w widłach z tombaku (około 80% miedzi, 20% cynku), przymocowanych do końca drążka. Średnica krążka wynosi 100—170 mm., wyżłobienie bywa 20—25 mm. głębokie, szerokość krążka wynosi zwykle około 40 mm. Smarowanie krążka na osi jest automatyczne, grafitowe.

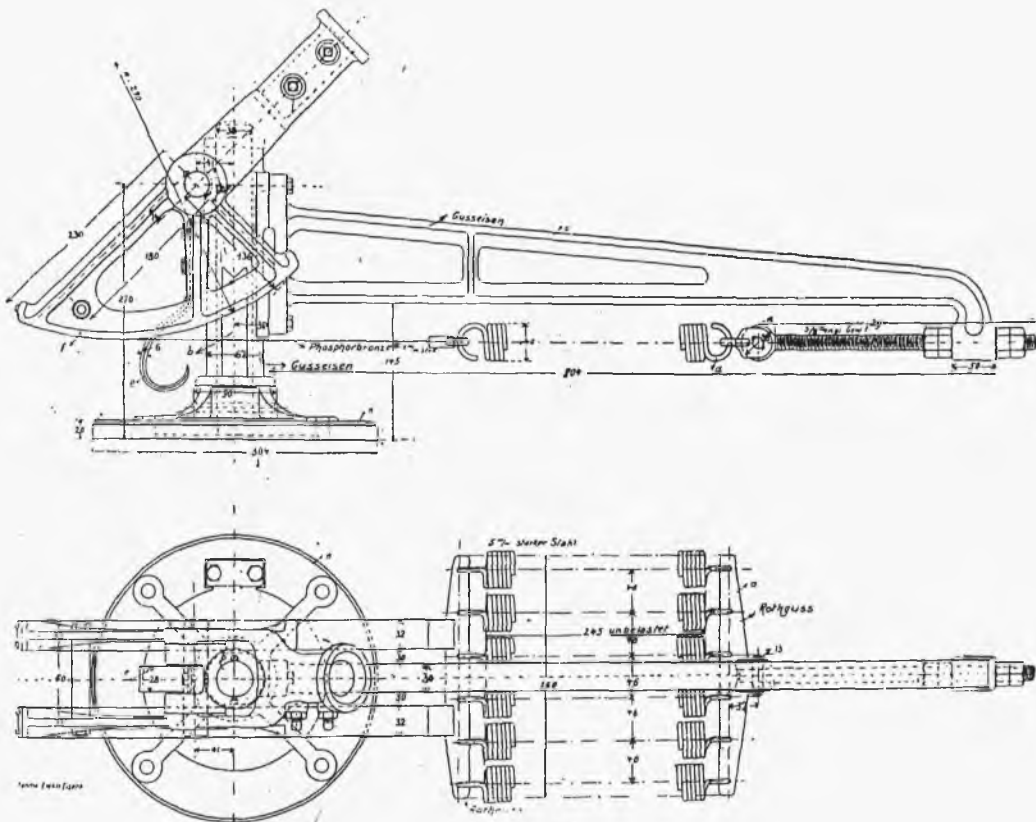


Rys. 386.

Po obu stronach krążka osadzone są blaszki mosiężne, ślizgające się po jego piaście i stanowiące rodzaj szczotek, ułatwiających przejście prądu. Jako drążek służy rura stalowa o zewnętrznej średnicy 80—95 mm. Obsada krążka przymocowana jest do trzpienia, wpasowanego w koniec rury. Przy wysokości drutu roboczego 6 m. nad szynami i normalnej wysokości wozów, długość rury do obsady wynosi około 3700 mm.

W ukształtowaniu wyźłobienia krążka, jego obsady, oraz obsady całego przyrządu na dachu wozu, panuje wielka różnorodność. Na rys. 387-mym widzimy n. p. obsadę systemu „Union“.

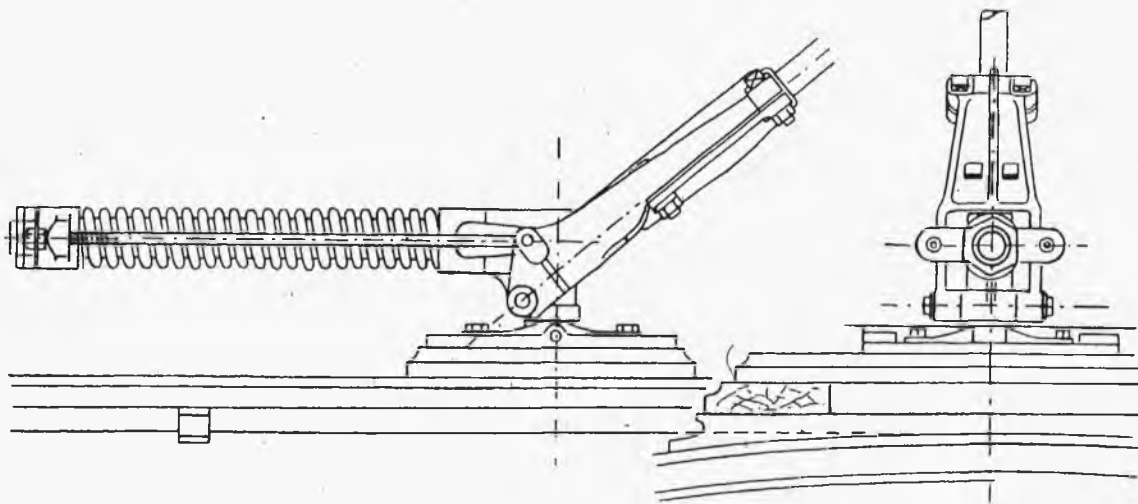
Do mocnej podstawy drewnianej na dachu przyśrubowana jest płyta z łanego żelaza „a“, zaopatrzona w oś pionową „b“, na której tkwi właściwa obsada. Do obsady tej przymocowane są widły, obraca-



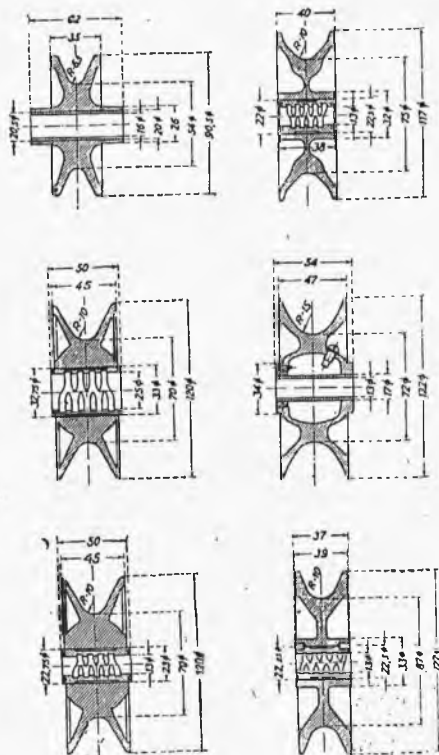
Rys. 387.

jące się na osi poziomej, złączone z rurą, podtrzymującą krządek. Rura przeto może się obracać wraz z obsadą naokoło osi pionowej, oraz nachylać więcej lub mniej, obracając się naokoło osi poziomej. Do ramienia „c“ przymocowane są sprężyny, naprężające taśmę z brzozy fosforowej, leżącą na ekscentrycznym odcinku „f“; zapewnia to możliwie równomierne ciśnienie przy wszelkich nachyleniach drążka. Sprężyna „e“ służy do tamowania uderzeń, powstających w razie wykolejenia krządeka.

W konstrukcji, uwidocznionej na rys. 388-mym, sprężyna działa nie na rozciąganie, lecz na ściskanie.



Rys. 388.



Rys. 389.

Krążek, drążek (rura) i obsada są pod prądem, muszą przeto być izolowane. Jako izolacja służą przymocowane na dachu belki drewniane, wygotowane w gorącym oleju, do których przyśrubowana jest cała obsada.



Rys. 390.

Przy zmianie kierunku jazdy musi być zmieniony kierunek nachylenia, t. j. należy cały przyrząd obrócić o 180° . Aby to skutecznie, potrzeba najpierw odciągnąć w dół krążek od drutu roboczego. Uskutecznia się to przy pomocy linki, przytwierdzonej do drążka niedaleko obsady krążka; koniec tej linki zawiesza się na haczyku, przymocowanym do dachu pomostu. Przy zmianie kierunku jazdy chwyta konduktor za ową linkę, wiszącą na tylnym pomoście, i zeszedłszy z wozu, odciąga krążek w dół, poczem przekręca go o 180° , wprowadza napowrót pod drut roboczy, przykłada do niego i zawiesza linkę na haczyku drugiego, obecnie tylnego pomostu.

Kilka typów krążków widzimy na rys. 389-tym i 390-tym.

8) Pałak. Krążek zastępuje tu łukowato wygięty t. n. ślizgacz. Ślizgacz wykonany jest z aluminium i ma na całej swej długości żłobek.



Rys. 391.

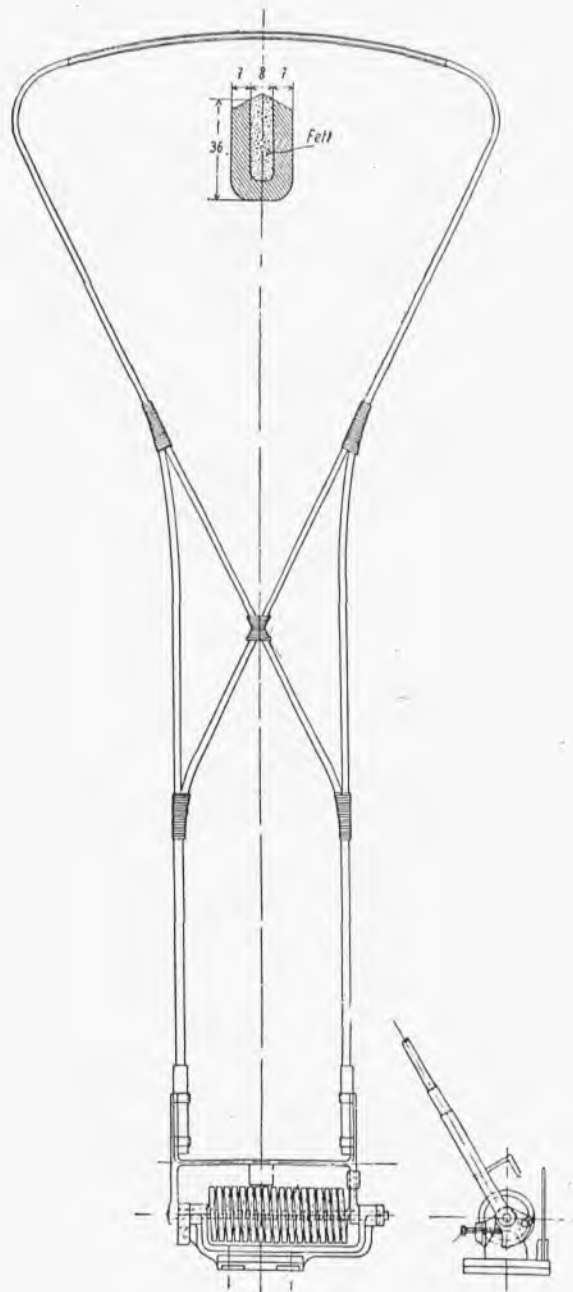
Długość ślizgacza wynosi zwykle 1000—1200 mm.; na końcach ślizgacz jest umocowany w dwu obsadach brązowych, przytwierdzonych do ramy pałakowej. Rama ta wykonana bywa zwykle z odpowiednio wygiętych i związanych rurek stalowych, rys. 392-gi.

Dla tych samych przyczyn jak krążek, winien pałak być możliwie lekki, siła zaś, przyciskająca go do drutu roboczego, przy wszelkich nachyleniach możliwie jednakowa. Rama pałakowa powinna być jednak dostatecznie sztywna, aby boczne ruchy nie stały się zbyt wielkie i aby łatwo nie ulegała deformacji.

Tak, jak i krążek, — pałak musi być zawsze pochylony w tył tak, aby ślizgacz był zawsze ciągniony, a nie pchany. Przy sieciach, zawieszonych na wysokości nie większej, jak 5—5,5 m., zmianę pochylenia pałaka skutecznia się automatycznie przy zmianie kierunku jazdy. W chwili ruszania w kierunku przeciwnym pałak jest pochylony naprzód; opór jednak, jaki stawia drut roboczy ślizgaczowi, wystarcza, aby drut nieco unieść ku górze, ślizgacz zaś zatrzymać, pałak więc prostuje się aż do położenia pionowego, poczem przekłada się w tył. Dopomódz można temu przełożeniu się przez lekkie pociągnięcie za linkę, przymocowaną do ramy pałakowej; linka taka jest zawsze niezbędna, aby móżdż w razie potrzeby pałak odciągać od sieci. W miejscach, gdzie normalnie zmienia się kierunek jazdy, dla ułatwienia



Rys. 592.



Rys. 393.

przełożenia sieć zawiesza się zwykle nieco wyżej, drut zaś roboczy napręży się nieco słabiej. Ruch pałaka naokoło osi pionowej jest tu zupełnie zbyteczny, pałak jest przeto w tym kierunku osadzony stałe.

Natomiast przy sieciach wyższych, wymagających dłuższego pałaka, takie automatyczne przełożenie staje się niemożliwe; wtedy pałak musi być osadzony ruchomo na pionowej osi i należy go również jak krążek, odciągać i przekładać, obracając o 180°. Komplikuje to oczywiście dość znacznie konstrukcję pałaka, tembardziej, że raz przełożony musi być zupełnie unieruchomiony. Zalety jednak wysokiej sieci przewyższają stanowczo niską, tak, iż, jak to wspomniano już w dziale „Sieć“, obecnie buduje się coraz więcej sieci wysokich.

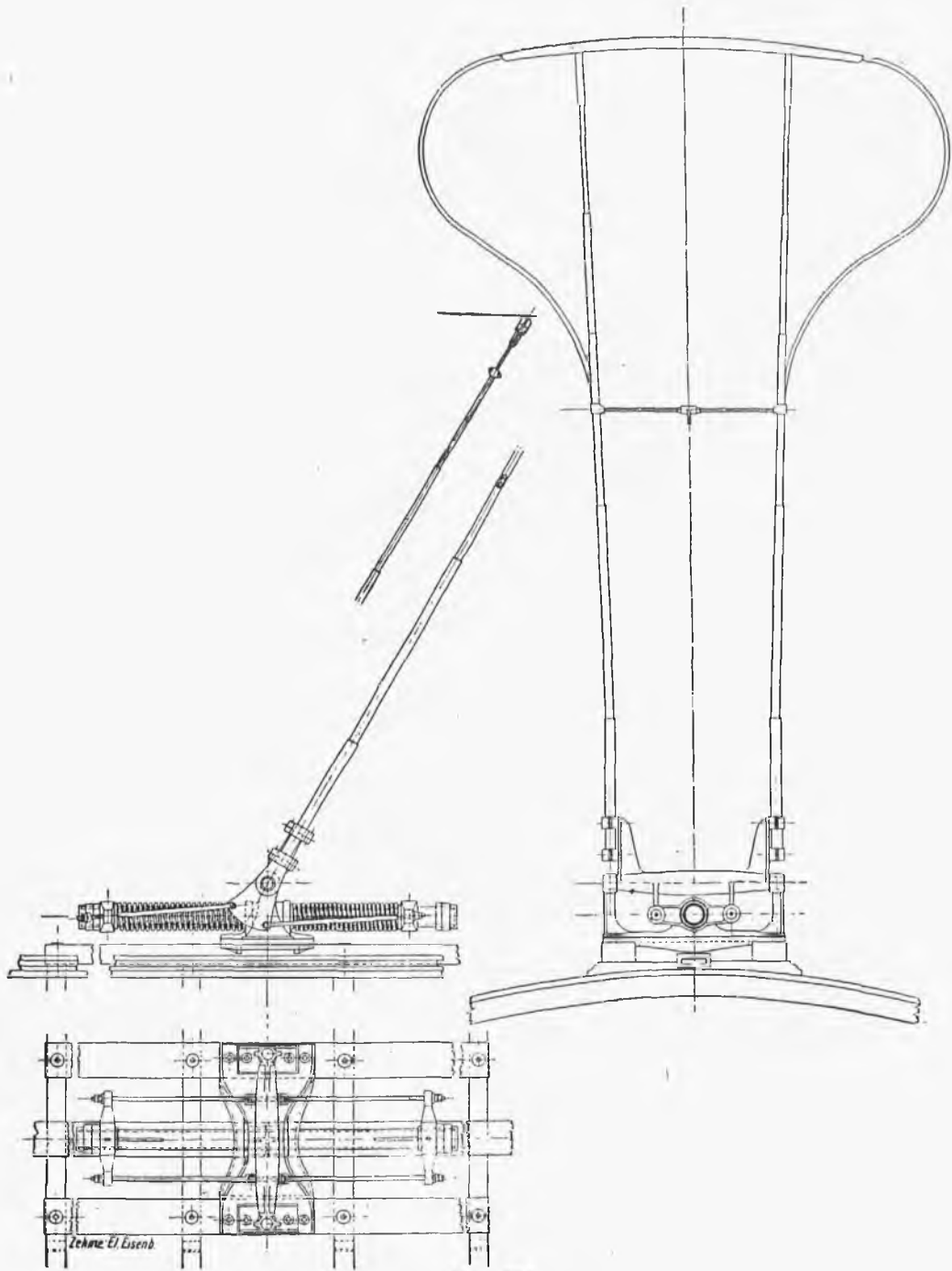
Na rys. 393-cim i 394-tym widzimy dwie konstrukcje pałaków z obsadami dla automatycznego przekładania (sieć niska). Wężykowata sprężyna, rys. 393-ci, nawinięta naokoło osi poziomej obsady, przyciska ślizgacz do sieci; siła sprężyny daje się regulować. Zaznaczyć tu należy, iż równomierność nacisku przy różnych nachyleniach pałaka jest znacznie mniej ważna, jak przy krążku, że zatem małe różnice w tej sile nie mają żadnego znaczenia. Konstrukcja, rys. 394-ty, ma dwie sprężyny dla równomierniejszego nacisku.

Na rys. 392-gim uwidoczniła jest konstrukcja przekładanego pałaka dla sieci wysokich. Rama pałaka przytwierdzona jest do tarczy obracającej się naokoło osi pionowej; tarcza ta zaopatrzona jest w dwa wycięcia, w które wpada odpowiednio ukształtowany wychwyty, przyciskany sprężyną. Wychwyty utrzymuje pałak w odpowiednim położeniu i nie pozwala pałakowi obracać się w czasie ruchu elektrowozu. Dla przełożenia pałaka odciąga się przedewszystkiem przy pomocy odpowiedniej linki wychwyty, przez co oswobadza się tarczę, następnie obraca się pałak naokoło osi tarczy ciągnąc za linkę pałakową; skoro pałak dojdzie do położenia równoległego do osi podłużnej wozu, wychwyty automatycznie zaskakuje i utrzymuje tarczę w nowym położeniu.

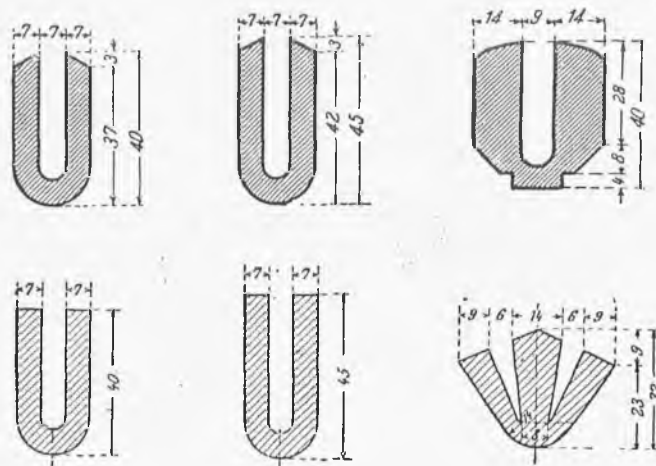
Cały pałak wraz z tarczą i wychwytem przymocowany jest do silnej ramy drewnianej, umocowanej na dachu wozu i stanowiącej zarazem izolację.

Żłobek wydrążony wzdłuż ślizgacza napełnia się wazeliną i w ten sposób zapewnia smarowanie sieci i zmniejsza tarcie między ślizgaczem a drutem roboczym. Ślizgacze wykonywane bywają w różnych profilach; kilka takich profili widzimy na rys. 395-tym.

Natężenie prądu, jakie można doprowadzić z jednego drutu jednym ślizgaczem do wozu jest ograniczone, zbyt mocny bowiem prąd zbyt szybko rozgrzewałby miejsce zetknięcia. Przeważnie liczy się 50 – 80 amp. na ślizgacz i drut. W razie silniejszego prądu należy albo zawieszać dwa druty, albo też wóz zaopatrywać w dwa pałaki. Stosuje się także czasem dwa ślizgacze na jednym pałaku, ale jest to niedobre, gdyż czyni pałak nadmiernie ciężkim. Czasem stosowane bywają też ślizgacze miedziane,



Rys. 394.



Rys. 395.

które pozwalają na zwiększenie prądu, kosztem jednak zwiększenia ciężaru pałaka i starcia drutu roboczego.



Rys. 396.

Dla prędkości większych od 30 – 35 km. godz. są już zwykle pałaki nieodpowiednie, gdyż podlegają łatwo zbyt silnym drganiom, powodującym szkodliwe iskrzenie. Stosowane wtedy bywają pałaki nożycowe. Pałak taki widzimy np. na rys. 396-ym.

9) Oporniki. Jako oporniki służą zwykle druty lub taśmy z odpowiedniego materiału, np. „Nowego srebra” („Neusilber“) odpowiednio ułożone, zwinięte wężykowato lub zygzakowato, falisto, i przytwierdzone przy pomocy izolatorów porcelanowych do żelaznych ram. Ramy te umieszcza się najlepiej pod wozem lub na dachu i ochrania odpowiednimi pokrywami blaszanymi; pokrywy te należy zawsze zaopatrywać w otwory wentylacyjne. Stosowane też bywają często oporniki z lanego żelaza; oporniki te są bardzo trwałe i tanie, mają jednak tę wadę, że opór ich zwiększa się znacznie ze wzrostem temperatury.

10) Przewody. Wobec zmienności i niestałości obciążenia, przekroje przewodów wozowych mogą być nieco mniejsze, aniżeli tego wymagało normalnie natężenie prądu. Związek Niemieckich Elektrotechników podaje np. następujące przepisy:

Przekrój mm.	Obciążenie amp.	Przekrój mm.	Obciążenie amp.	Przekrój mm.	Obciążenie amp.	Przekrój mm.	Obciążenie amp.
1	11	10	60	70	200	240	450
1,5	14	16	80	95	240	310	540
2,5	20	25	100	120	280	400	640
4	30	35	130	150	325	500	760
6	31	50	165	185	380		

Przewody wozowe zawsze są narażone na wilgoć, niezbędną przeto rzeczą jest dobra i trwała ich izolacja. Należy stosować wyłącznie izolację z nieprzerwanej powłoki gumowej, otoczonej warstwą materji włóknistej; należy przytem również pamiętać o wytrzymałości mechanicznej na tarcie, drgania, przegięcia i t. p. Przewody na dachu, od pałaka lub kółka do wyłączników, układa się jeden obok drugiego i przykrywa płótnem żaglowem nieprzemakalnym, przybitem gwoździami do dachu; płótno pokrywa się pozatem jeszcze warstwą farby dachowej. Z dachu w dół sprowadza się przewód w żłobku wyżłobionym w jednym ze słupów narożnych pudła. Żłobek ten przykrywa się listewką z drzewa takiego, jak wewnętrzne oszalowanie pudła.

Poszczególne kontakty obu regulatorów łączy się ze sobą przy pomocy nieprzerwanych przewodów; przewody te zaopatruje się w odpowiednich miejscach w odgałęzienia wiodące do motorów, oporników, podwozia (uziemiaenie), zbieracza prądu i t. d.

Przewody pomiędzy regulatorami, dla układu n. p. rys. 363-go, w liczbie 17, połączone bywają w jedną lub dwie t. zw. kieszki kablowe, t. j. kieszki z nieprzemakalnego żaglowego płótna. Kieszki te układa się jużto pod pudłem wozu, np. wzdłuż jednej z głównych belek żelaznych, jużto wewnątrz pudła pod ławkami (przy ławkach podłużnych). Tak pojedyncze przewody jak i kieszki winny być przytwierdzone tylko do drzewa; w razie prowadzenia ich wzdłuż belki żelaznej, należy do niej przytwierdzać najpierw podkładki z drzewa, przepojonego przeciwgnilnym płynem, a dopiero do tych podkładek kieszki i to za pomocą również drewnianych zacisków.

Słabym miejscem są zawsze wszelkie odgałęzienia; nieprzerwana powłoka gumowa musi tu z konieczności być przerwana, również jak i kieszka. Należy przeto zwracać jaknajbardziej uwagę na staranne odizolowanie tych miejsc i odpowiednie zabezpieczenie od wsiąkania wilgoci. Dalszym słabym miejscem są końcówki, gdyż wilgoć i tędy mogłaby się dostawać do wnętrza kieszki; należy więc i te miejsca starannie zabezpieczać. Ukrywanie kieszki pod wozem w drewnianych rynnach lub blaszanych osłonach jest rzeczą stanowczo nieodpowiednią, gdyż wilgoć zawsze dostanie się do wnętrza tych osłon, a nie mogąc wyciekać i ulatniać się, zbiera się tam i przewody psuje. Pamiętać należy, iż ma się tu do czynienia nie z czystą wodą, ale zawsze mniej albo więcej kwaśnym błotem ze znacznymi domieszkami soli (zwłaszcza w zimie, kiedy szyny bywają solone). Domieszki te względnie szybko przegryzają i uszkadzają najlepszą izolację.

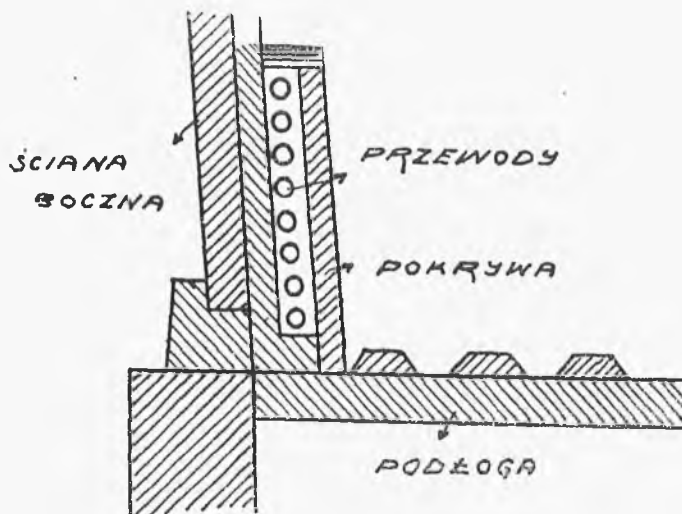
Wogóle układanie przewodów pod wozem nie jest nigdy pewne; znacznie lepiej jest układać je wewnątrz wozu, wzdłuż kantów ścian i podłogi i to nie w kioskach, ale pojedynczo, na specjalnej deszczulce, względnie w żłobku, zakrytym z wierzchu pokrywą, jak na szkicu, rys. 397-my.

Odgałęzienia do motorów i oporników muszą oczywiście być przeprowadzone przez podłogę, co wymaga starannego zabezpieczenia ich w tem miejscu od tarć mechanicznych. Również muszą przewody być ułożone pod podłogą pomostów, gdyż na pomostach miejsca dla nich niema. Natomiast jednak są wszelkie miejsca odgałęzień zupełnie od wilgoci zabezpieczone. W ten sposób zostały np. ułożone przewody w nowych wozach tramwajów warszawskich (dawne wozy pod podłogą).

11) Oświetlenie. Do oświetlenia wozów służą żarówki, a w ostatnich czasach również i metalówki. Wobec nieustających wstrząśnień muszą lampki te być specjalnie mocno zbudowane. Ponieważ napięcie sieci wynosi zwykle 500—550 voltów, przeto włącza się lampki po 5—6 w szereg, dostosowując ilość obwodów do wymaganej siły oświe-

tlenia. Z przodu wozu motorowego, zwykle na fartuchu, umieszcza się reflektor, który oświetla tor przed pociągiem. Ponadto niezbędne są lampki na dachu wozu, na obu jego końcach. Lampki te służą jako sygnałowe i mogą być zaopatrzone z przodu w szkła kolorowe; z tyłu miewają szkła białe i oświetlają tablicę z oznaczeniem kierunku linii, numeru i t. p.

Przy jednym więc obwodzie o 5 lampkach, do oświetlenia wnętrza wozu mogłyby służyć co najwyżej 3 lampki, gdyż dwie muszą być umieszczone na dachu; pomosty w takim razie nie miałyby specjalnego oświetlenia. Toteż zaopatruje się zwykle wozy motorowe w dwa obwo-



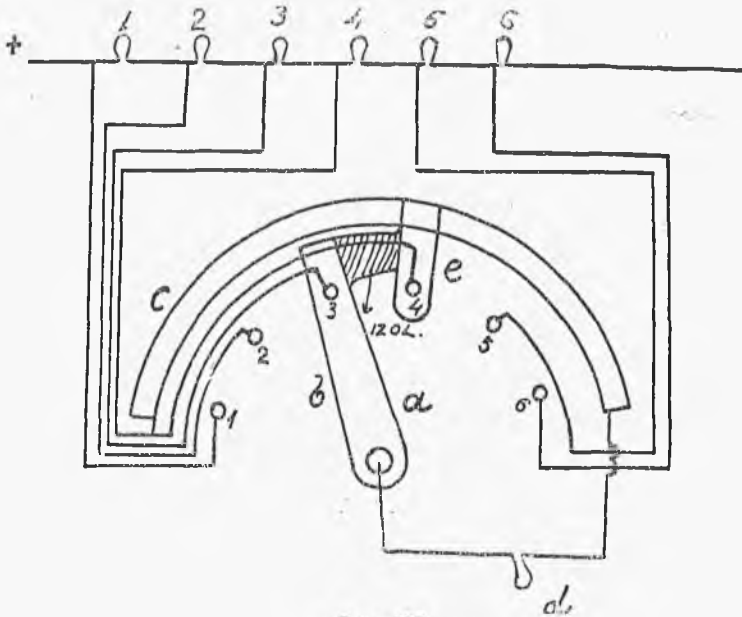
Rys. 397.

dy; dla doczepnych, nie potrzebujących oświetlenia zewnętrznego, wystarcza przeważnie jeden obwód.

Wozy motorowe tramwajów warszawskich są n. p. zaopatrzone w 14 lampek każdy, włączonych w dwa obwoady, jeden o 6 lampkach, a drugi o 8, z których jednak pali się równocześnie tylko 6. Obwód pierwszy zapala się przy pomocy wyłącznika, drugi zaś odpowiedniego przełącznika. Schemat oświetlenia uwidoczniiony jest na rys. 363-cim. Na dachu wozu znajduje się 4 lampki, po dwie na każdym końcu; jedna z nich (patrzac w kierunku jazdy prawa) t. n. „numerowa”, umieszczona jest w blaszanej latarni zaopatrzonej u przodu w okrągłą mleczną szybę, na której przymocowany jest wycięty z blachy numer linii; przez otwór w tyle oświetla ona wraz z lampką lewą, tablicę czołową. Dwie lampki umieszczone są w reflektorach na fartuchach przednim i tylnim, dwie na sufitach pomostów, 6 wewnątrz wozu. Lampki,

tylnia reflektorowa i przednia pomostowa są zawsze zgaszone. Trzeci obwód prowadzi do 2 kontaktów łącznikowych i służy do oświetlenia wozów doczepnych. Każdy obwód winien być zaopatrzony w oddzielny bezpiecznik; przewody oświetleniowe winny być odgałęzione od przewodu głównego zaraz za odgromnikiem, a zatem przed wyłącznikami tak, aby wyskoczenie automatu lub wyłączenie prądu nie powodowało zgaszenia światła.

Przepalenie się jednej lampki powoduje przy połączeniu szeregowym gaśnięcie całego obwodu, przez co wynalezienie uszkodzonej lampki staje się trudnym. Dla ułatwienia tego odszukania zaopatruje się oprawę każdej lampki w gniazdko konatktowe. W każdym elektrowozie znaj-



Rys. 398.

duje się lampka probiercza ze sznurem zakończonym odpowiednią wtyczką; przez wetknięcie wtyczki w gniazdko łączy się lampkę probierczą równoległe z daną lampką. Skoro więc lampka probiercza przyłączona zostanie do uszkodzonej, to obwód cały natychmiast się zapala.

Próbowanie jednak takie i wyszukiwanie uszkodzonej lampki jest, zwłaszcza w czasie jazdy i przy obecności podróźnych, dość kłopotliwe. Lepszy jest znacznie t. z. „Wyszukiwacz lamp“ F. Uppenborna. Schemat takiego wyszukiwacza uwidoczniiony jest na rys. 398 ym.

Stała lampka probiercza „d” połączona jest z osią „a” i segmentem „c”. Naokoło osi „a” obraca się ramię „b”, do którego przytwierdzony

jest łącznik „e”. Łącznik „e” jest od „b” izolowany, zaś „b” łączy oś „a” z tym z kontaktów 1 — 6, na którym w danej chwili stoi.

Z kontaktami 1 — 6 połączone są lampki danego obwodu. Jeżeli n. p. zepsuta jest lampka 3, to skoro ramię „b” przesunięte zostanie na odpowiadający jej kontakt, a zatem 3, prąd z lampki 2 przechodzi przez ramię „b”, oś „a”, lampkę probierczą „d”, segment „c”, łącznik „e” na kontakt 4 a ztąd do lampki 4 i dalej drogą normalną. W razie zatem zgaśnięcia obwodu wystarczy przesunąć ramię „b” po kontaktach, a skoro się natrafi na kontakt odpowiadający zepsutej lampce, to zamiast niej włącza się lampkę probierczą i obwód się zapala.

Wadą tego przyrządu jest to, iż wymaga on dość znacznej liczby przewodów dodatkowych, jest więc od zwykłych gniazd i przenośnej lampki kosztowniejszy; zato jednak wyszukiwanie lampki jest znacznie łatwiejsze.

Na wypadek przerwania prądu w całej dzielnicy należy zawsze zaopatrzyć wozy w zapasową latarkę świecową lub inną, którąby można było zapalić w razie niedziałania oświetlenia.

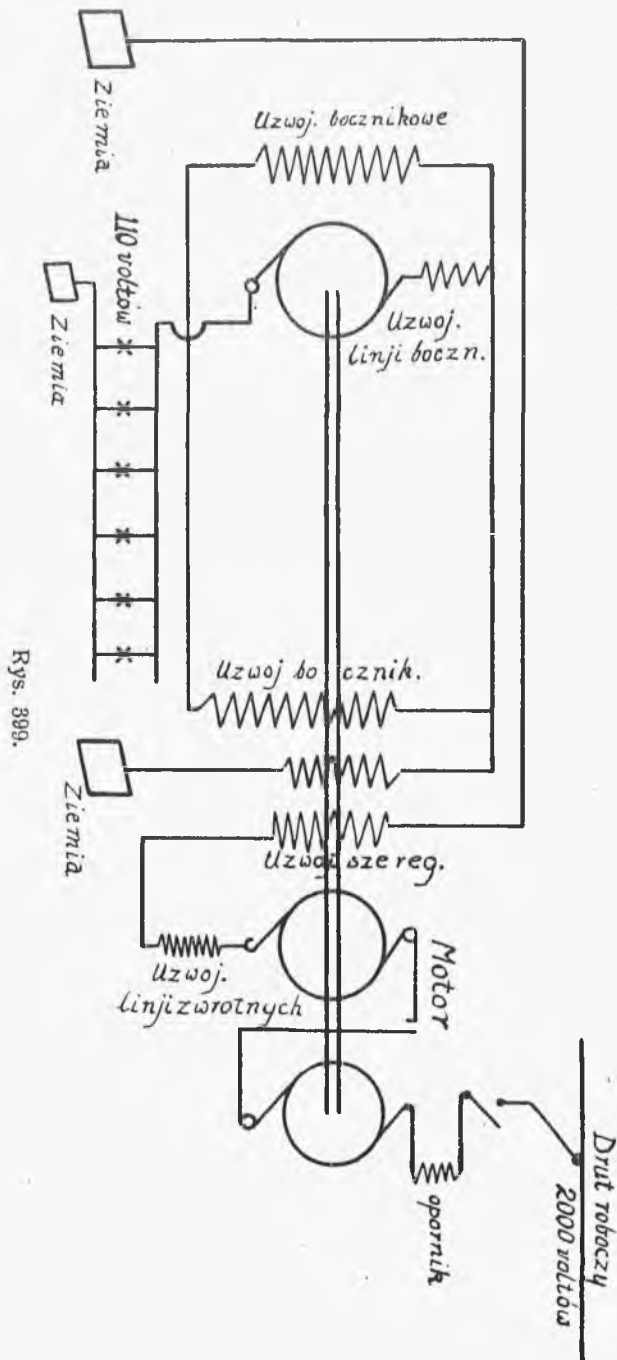
Przy napięciach wyższych jak 600 voltów, jakie bywają stosowane na kolejach dojazdowych, 1000 — 1500 voltów, umieszcza się albo odpowiednio większą liczbę lampek w obwodzie, albo też włącza w obwód odpowiedni opornik, aby nie mieć zbyt wysokiego napięcia w lampkach.

Przy jeszcze wyższych napięciach staje się niezbędnym zastosowanie przetwornic. Doskonale działające tego rodzaju przetwornice pomysłu P. Amslera buduje fabryka Brown, Boveri i Co w Szwajcarji.

Przetwornica pomysłu P. Amslera składa się z motoru dla wysokiego napięcia i osadzonej na wspólnym z nim wale prądnicy, stanowiących jedną całość o wspólnym korpusie.

Motor zaopatrzony jest w dwa kolektory i dwa w szereg połączone uzwojenia twornika, co ułatwia nawinięcie go dla wysokich napięć. Wzbudzenie jest bocznikowe, prąd dla wzbudzenia daje prądnica, ma on więc niskie napięcie. Wzbudzenie motoru niezbędne w chwili włączania daje kilka zwojów szeregowych, przez które przepływa prąd główny; później, w czasie biegu, kiedy prądnica oddaje już prąd, działanie tych zwojów równoważy kilka zwojów, przez które przepływa prąd oświetleniowy. Schemat takiej przetwornicy widzimy na rys. 399-ym. Przetwornica może być łatwo umieszczona pod pudłem wagonu n. p. na podwoziu.

Przetwornice tego systemu pracują n. p. już od lat kilku z powodzeniem na kolejach elektrycznych Wendelstein w Bawarji, Tavan-Noirmont w Szwajcarji i innych; w obwód prądnicy włączone bywają przytem oprócz oświetlenia także i ogrzewanie, wentylatory, pompy powietrzne i t. p., oraz, gdzie idzie o wielką stałość napięcia, regulator automatyczny napięcia. Moc przetwornic dochodzi przytem do 40 kw.



Próby zastosowania do przedniego reflektora (dla linii zamiejskich) odpowiednio zbudowanej lampy łukowej zawiodły i nie dały praktycznych rezultatów. Kwestja ta zresztą zupełnie upada wobec wynalezienia wysokoświecowych metalówek.

12) **Przyrządy pomiarowe.** Umiejętność motorniczego wywierać może bardzo wielki wpływ na zużycie pracy (osięgnięcie możliwie największego przyśpieszenia, wyzyskanie biegu z rozpędu, prawidłowe włączanie i t. p.). Dobry motorniczy może dać oszczędności, dochodzące do 30% i więcej. Ważną przeto jest rzeczą móc stale kontrolować zużycie energii każdego wozu, względnie umiejętność motorniczego.

Służyć do tego mogą liczniki kilowatt-godzin, lub też prostsze od nich liczniki ampero-godzin, gdyż napięcie jest przecie mniej-więcej stałe tak, iż ampero-godziny dają również i kilowatt-godziny. Przyrządy te jednak, same przez się dość delikatne i kosztowne, narażone na ciągłe wstrząśnienia jazdy, wysoce nierównomierne obciążenie i częste przeciążenia, łatwo się psują i powodują znaczne koszta utrzymania. Pozatem ścisłość ich wskazań pozostawia bardzo wiele do życzenia. Wszelkie, najlepsze liczniki, dają dokładność około 2% normalnego obciążenia. W normalnym dwu-motorowym elektrowozie prąd osiąga łatwo wysokości 100 amp., podczas kiedy natężenie jego nie przekracza przy pełnym biegu 20 amp. Licznik musi być oczywiście obliczony na 100 amp., a dodawszy niekorzystny wpływ wstrząśnień i szybkość zmian obciążenia, stanie się łatwo zrozumiałem, iż niedokładności 10—15% nie będą wcale anormalne. Dodać do tego należy, iż odczytywanie wskazań liczników jest, przynajmniej dla personelu wagonowego, rzeczą dość trudną, obliczenia zaś wymagają dość znacznej pracy.

Tymczasem nie idzie przecie wcale o określenie absolutnej wartości zużytej energii. Oczywiście jest, iż motorniczy, któryby przejechał pewną linię bez zatrzymań, zużyłby znacznie mniej energii, jak drugi, któryby tę samą linię przejechał zatrzymując się na wszystkich przystankach. Również mniej by zużył energii motorniczy, któryby wyzykiwał prawie do ostatka bieg z rozpędu, ale zato motorniczy ten nie utrzymałby przepisanego czasu jazdy. Idzie więc nie o absolutne zużycie energii, ale o zużycie jaknajmniejsze, przy równoczesnem utrzymaniu przepisów jazdy; w tych warunkach najmniej energii zużyje ten motorniczy, który najlepiej wyzykiwać będzie bieg z rozpędu wozu, a zatem najkrócej trzymać będzie prąd włączony. Fakt ten daje możność zastosowania daleko od liczników prostszych i tańszych **czasomierzy**.

Czasomierzem zwany jest zwykły zegar, zaopatrzony w elektromagnes z kotwicą, działający tak, iż kotwica normalnie zatrzymuje mecha-

nizm zegarowy, a oswoadza go dopiero wtedy, kiedy przez uzwojenia magnesu przepływa prąd.

Szemat połączenia czasomierza widoczny jest na rys. 363-cim. Uzwojenie elektromagnesu odgałęzia się od obwodu głównego, ale już za regulatorem tak, iż prąd przepływa przez nie tylko wtedy, kiedy motory prąd zużywają. Elektromagnes odciąga wtedy swą kotwicę, która oswoadza mechanizm zegarowy; ten ostatni zaczyna iść, ale zostaje przez kotwicę natychmiast zatrzymany, skoro tylko prąd przez uzwojenia magnesu płynąć przestanie. W ten sposób wskaże czasomierz ile czasu motory prąd zużywały. Porównanie tego czasu z czasem odczytanym na czasomierzu wozu, prowadzonego przez dobrego motorniczego na tejżesamej linii, daje miarę umiejętności motorniczego. Czasomierze są przyrządami nader prostymi i mało kosztownymi, urządzenie ich jest proste, a koszt utrzymania minimalny; odczytywanie jest bardzo łatwe i dla każdego motorniczego zupełnie zrozumiałe. Toteż praktyka wykazała, iż wprowadzenie takich czasomierzy daje prawie zawsze jak-najlepsze rezultaty. Wozy motorowe tramwajów warszawskich są wszystkie zaopatrzone w czasomierze.

Inne przyrządy miernicze, jako to ampero i woltomierze, szybkościomierze i t. p. są na wozach motorowych rzeczą zupełnie zbyteczną, a spotyka się je wyłącznie tylko na większych lokomotywach.

13) Waga wozów motorowych. Waga wozów motorowych zależna jest oczywiście nie tylko od ich wielkości, ale i od budowy i ściślej określić się z góry nie da; na ogół waha się ta waga dla wozów dwuosiowych pomiędzy 7 a 12 tonnami. Odniesiona na ilość miejsc wynosi waga: na miejsce siedzące około 500 kg, na miejsce w wagonie wogóle średnio około 275 kg. W dużych cztero-osiowych wozach na miejsce siedzące około 390—400 kg.

Aczkolwiek większa waga powoduje oczywiście większe zużycie energii, to jednak należy być bardzo ostrożnym z ubieganiem się o zbytnią lekkość, gdyż lekkość ta bywa często osiągnięta kosztem mocy całej budowy i może wtedy spowodować nie tylko wielkie koszty utrzymania i reperacji, ale nawet fatalnie się odbić na samem zużyciu energii, a to skutkiem zwiększenia oporu trakcji. Lepsza więc będzie zawsze, aczkolwiek cięższa, ale zato solidna budowa. Pamiętać dalej należy, iż cięższy wóz ma zawsze bieg równiejszy i spokojniejszy od biegu wozu lekkiego, co jest rzeczą ważną, zwłaszcza przy większych prędkościach.

ROZDZIAŁ XII.

Wozy doczepne, lokomotywy, wozy specjalne.

1) **Wozy doczepne.** Wszystko, co było powiedziane o wozach motorowych stosuje się i do wozów doczepnych, z tą tylko różnicą, iż konstrukcja ich, a zwłaszcza podwozia, może być znacznie lżejsza. Często spotyka się tu konstrukcje bez oddzielnych podwozi, podobną do konstrukcji wozów konnych. Kilka konstrukcji wozów doczepnych widzimy na rys. 400, 401, 402 403 i 404-tym.

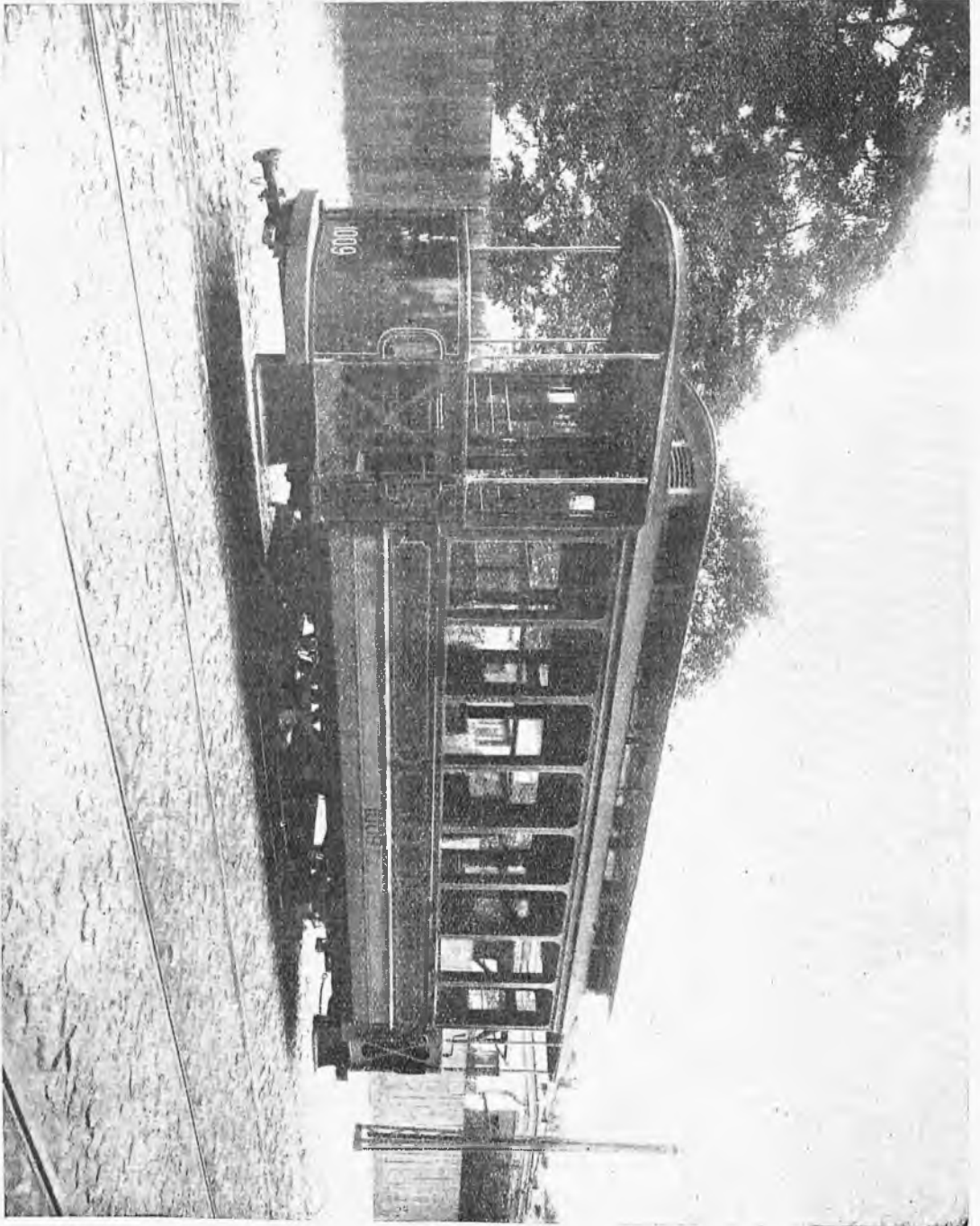
2) **Wozy towarowe.** Ruch towarowy na liniach śródmiejskich dotychczas mało jest rozwinięty, aczkolwiek n. p. tramwaje Hannoverskie, mające do 300 wozów towarowych, otrzymują z tego ruchu świetne wyniki. Na słaby rozwój tego ruchu wpływają przeważnie miejscowe warunki, które rzadko tylko sprzyjają wprowadzeniu ruchu towarowego. W dzień jest oczywiście ruch towarowy na liniach śródmiejskich prawie że wyłączony, gdyż pociągi towarowe, musząc się zatrzymywać dla ładowania i wyładowania towarów, tamowałyby zupełnie ruch osobowy. Gdyby nawet dla tych pociągów pobudować specjalne rozjazdy, to i tak nie mogłyby pociągi te utrzymywać przepisanej średniej prędkości jazdy i ruch osobowy niemniejby tamowały. Ruch przeto towarowy normalnie musi odbywać się w nocy, co znowu wymaga całonocnej pracy na elektrowni.

Natomiast ruch towarowy daje się zwykle z korzyścią zaprowadzić na liniach kolei dojazdowych i podmiejskich. Budowa wozów, przeznaczonych do przewożenia towarów bywa tak różnaita, dostosowana do rodzaju towarów, warunków miejscowych i t. p., iż opisywanie jej i podawanie odnośnych rysunków byłoby zupełnie bezcelowe. Zasady zresztą pozostają oczywiście te same, co i dla wozów osobowych.

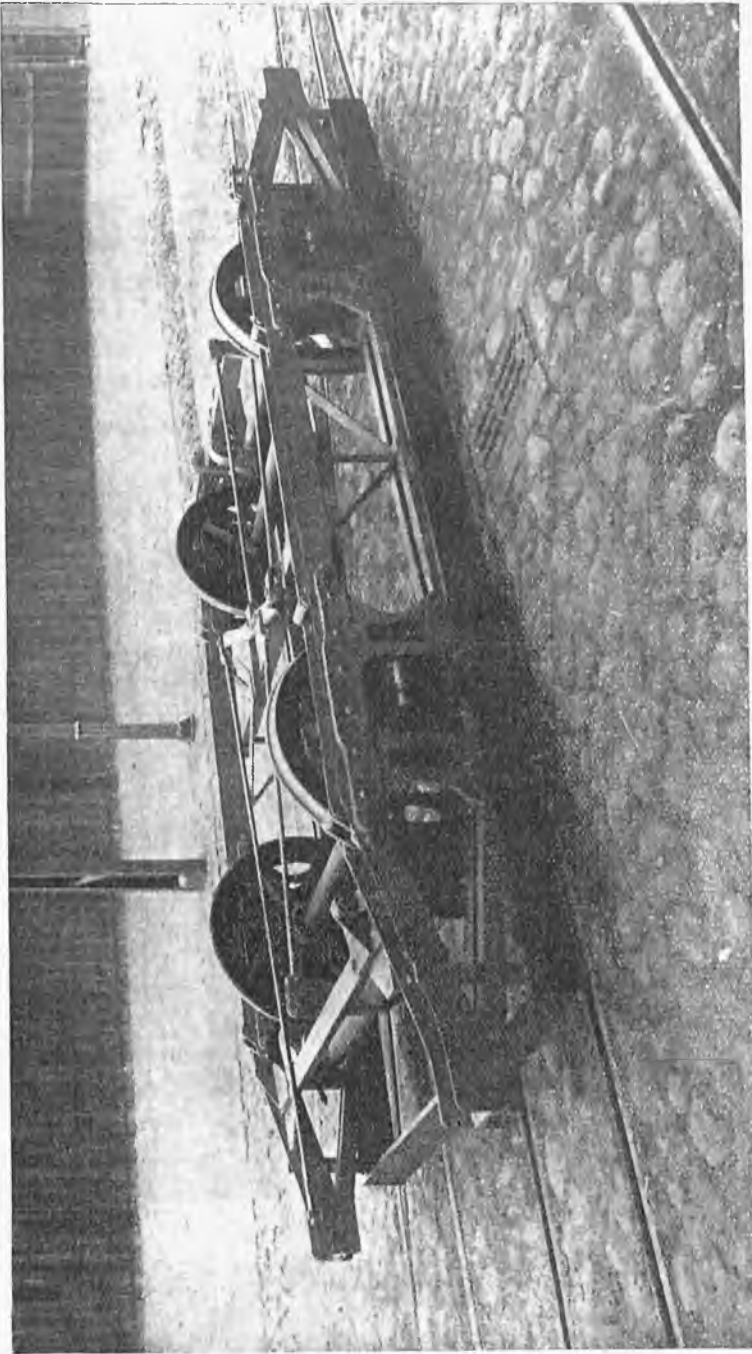
3) **Lokomotywy.** Do ciągnięcia wozów towarowych stosowane bywają lokomotywy. O obliczaniu sprawności i siły pociągowej lokomotyw mówiliśmy już w dziale „Zużycie pracy”, co zaś do wykonania i budowy, to i tu wobec zmienności warunków i przystosowania do potrzeb, nie dadzą się ustalić żadne normalne typy.

Często nie wystarcza waga lokomotywy dla osiągnięcia dostatecznej siły przyczepności; wagę tę zwiększa się wtedy przez dodanie balastu (płyty żelazne, piasek i t. p.).

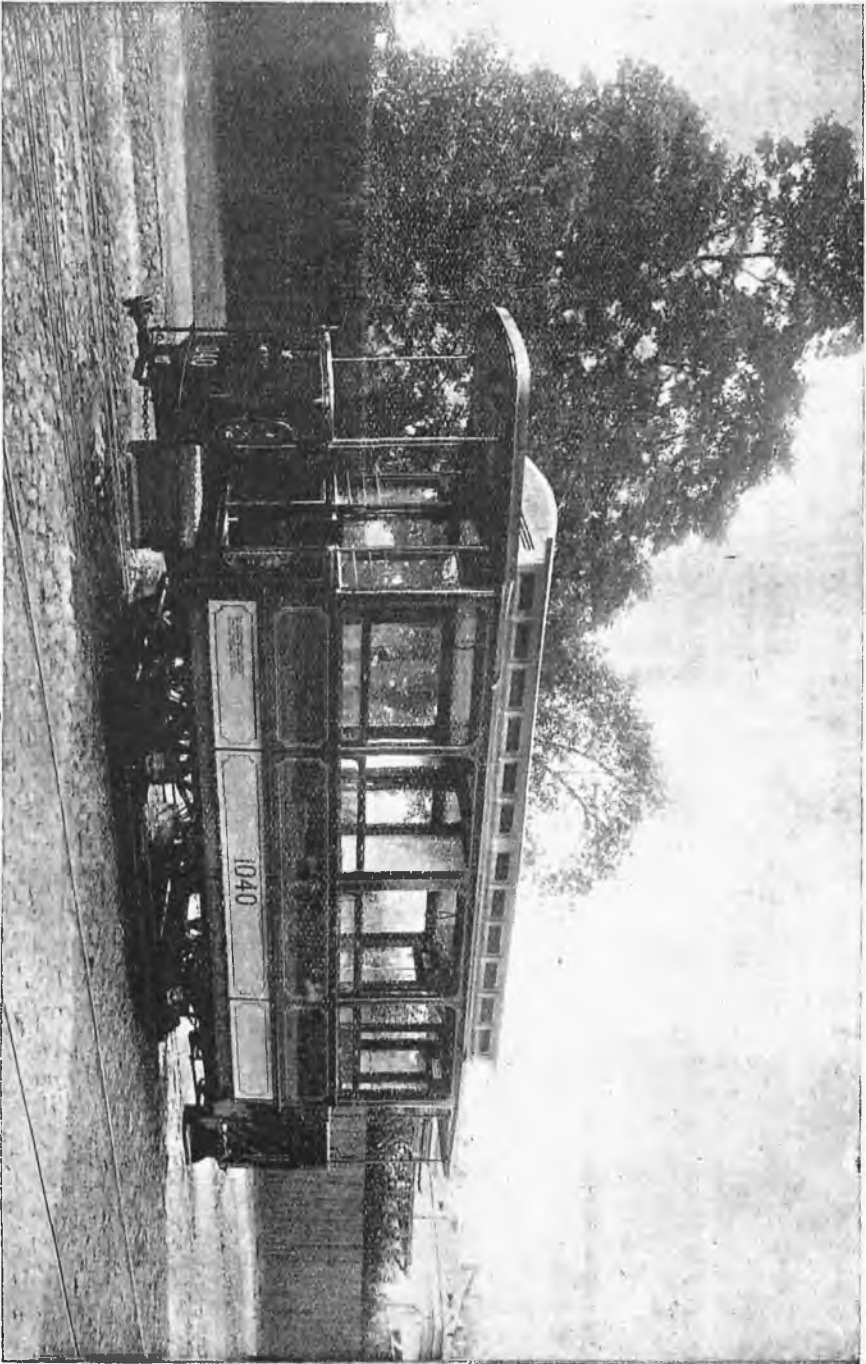
Rys. 405-ty uwidacznia dwuosiową lokomotywę Tow. Akc. Schuckert i S-ka o sile pociągowej na obwodzie kół 1200 kg., wadze przyczepności 8 ton i maksymalnej prędkości 20 km. na godz.



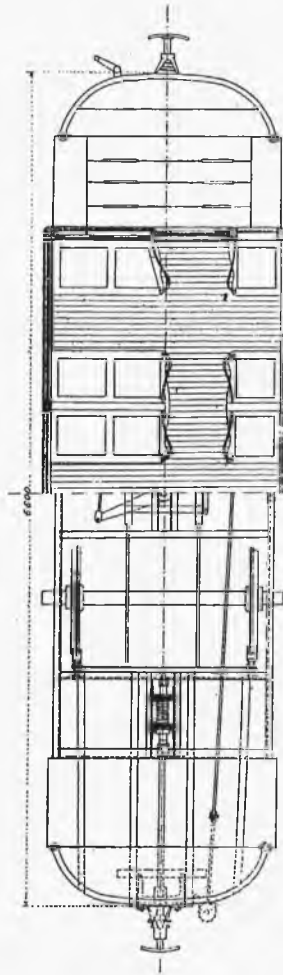
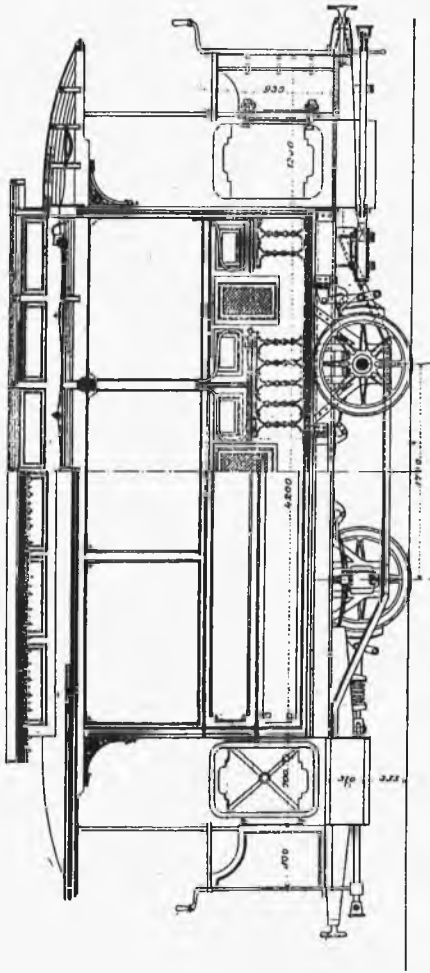
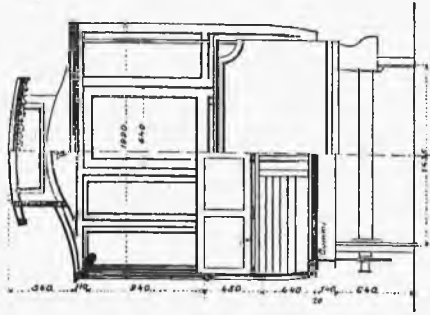
Rys. 400.
Wóz doczepny tramwajów warszawskich na 40 miejsc, waga 7000 kg.



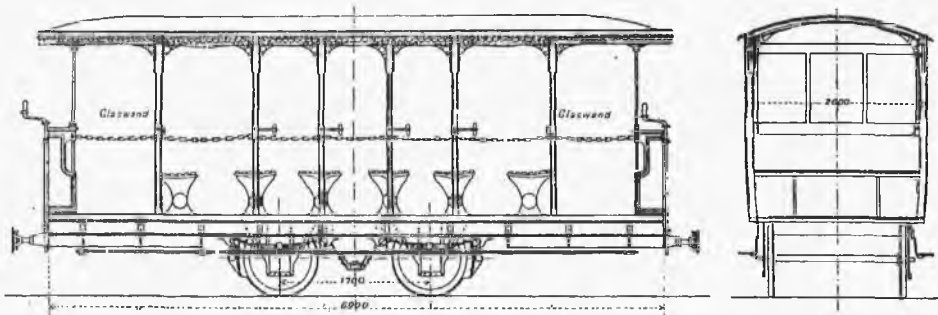
Rys. 401.
Podwozie wozu doczepnego tramwajów warszawskich.



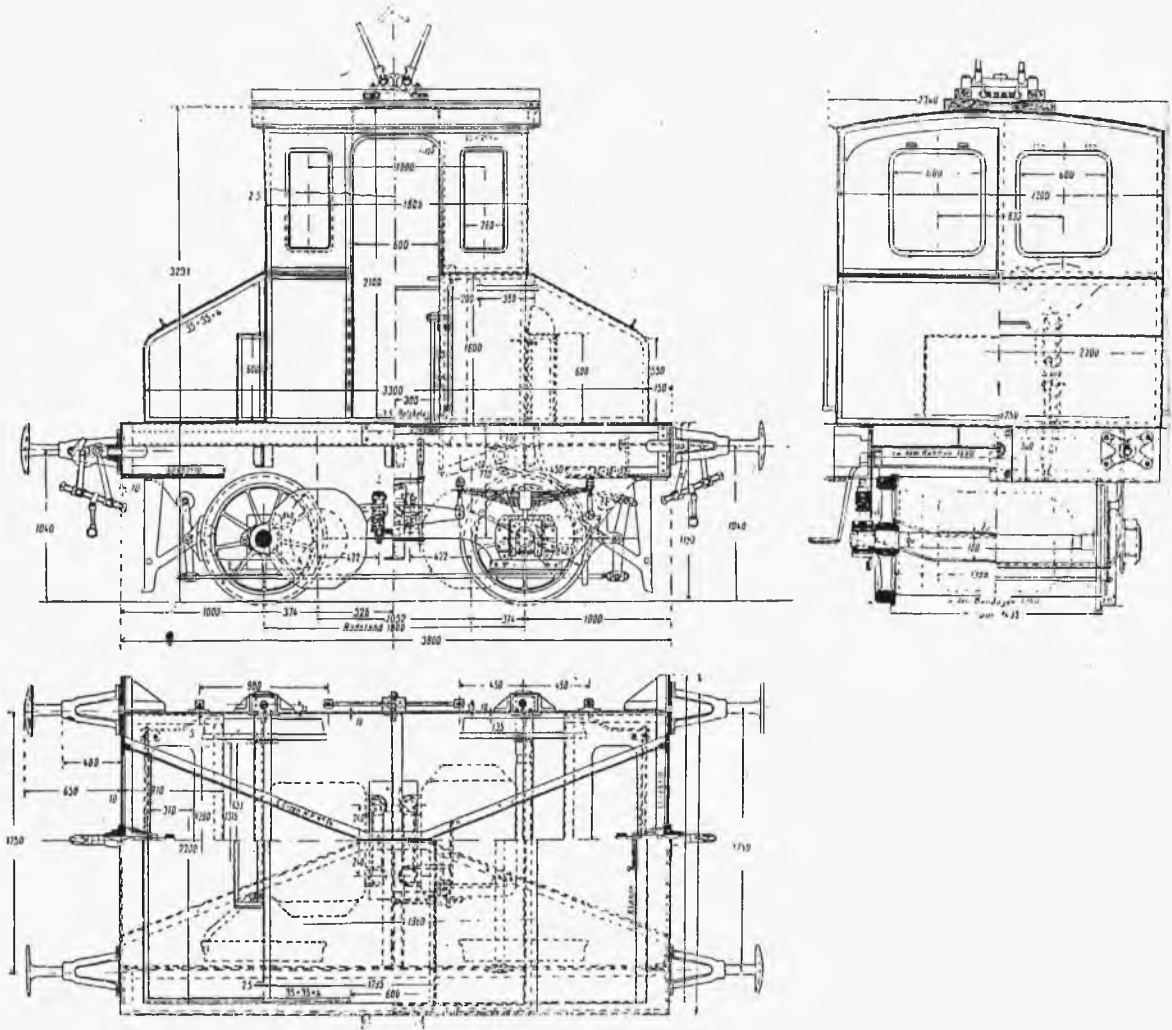
Rys. 402.
Wóz doczepny tramwajów warszawskich przerobiony z wozu konnego, waga 4600 kg, bez oddzielnego podwozia.



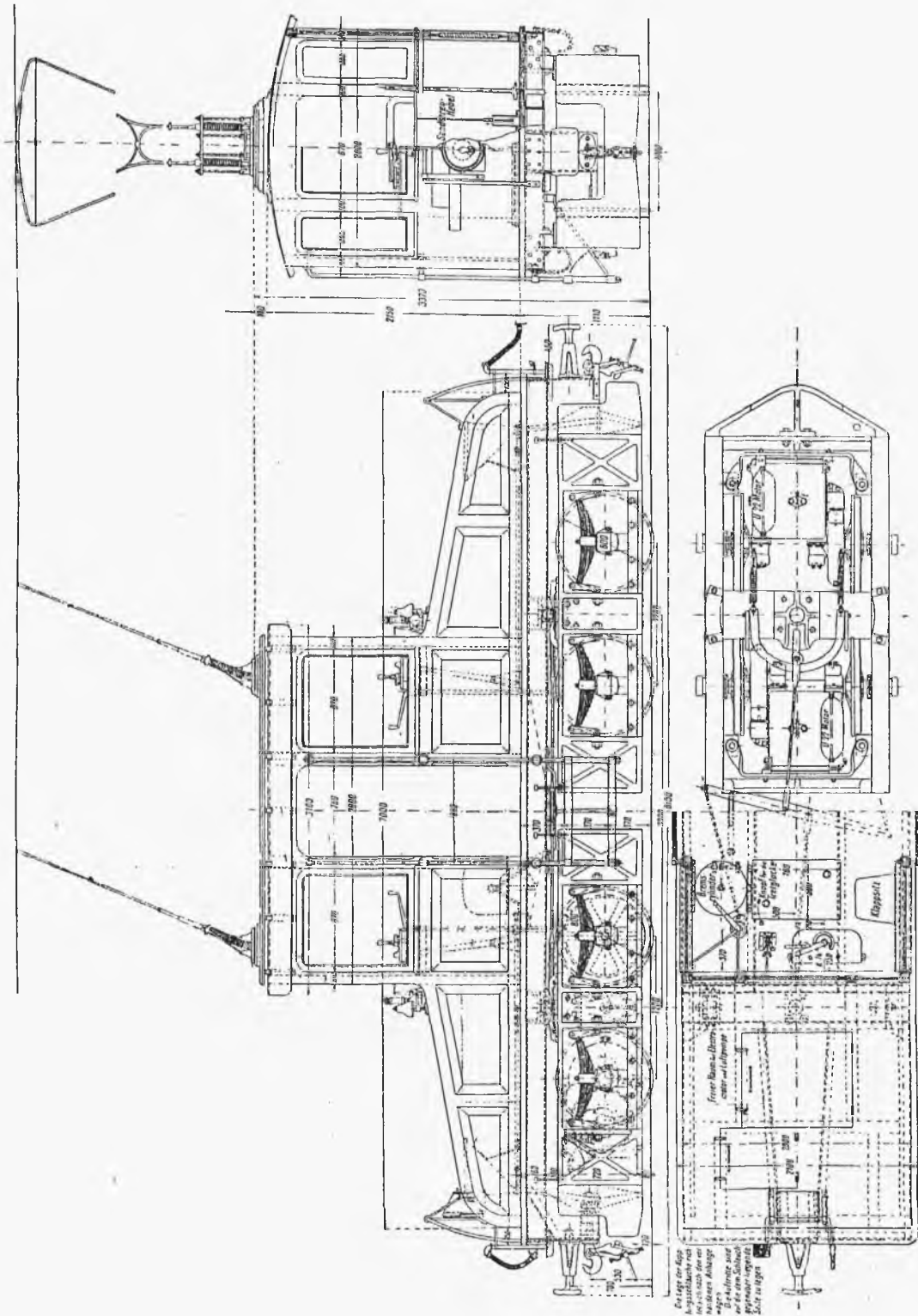
Rys. 403.
Wóz doczepekny kolei Hamburg-Altona, 18 miejsc siedzących, 10 stojących.



Rys. 404.
Wóz doczepy letni, otwarty.



Rys. 405.

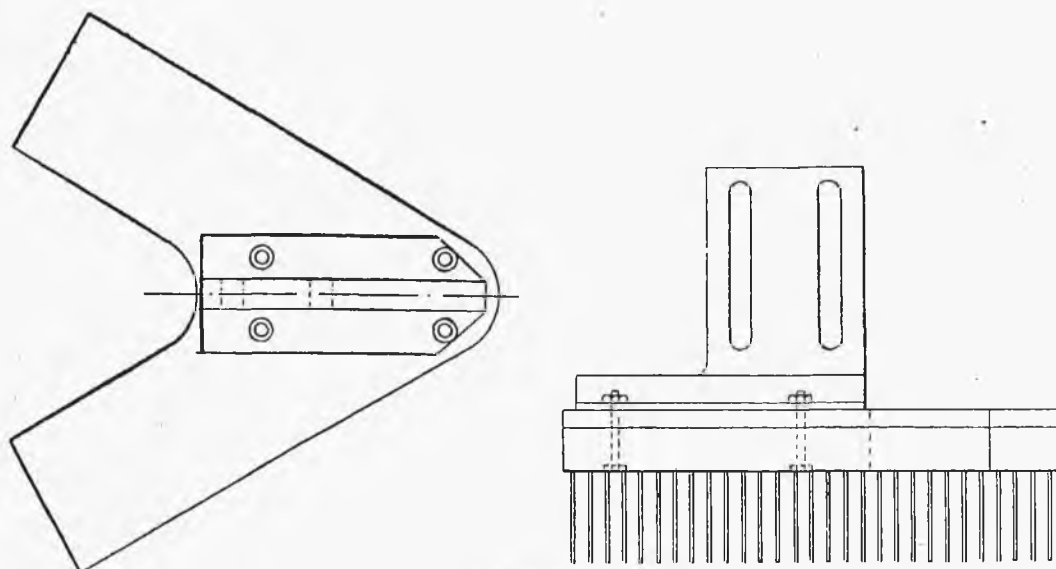


Rys. 406.

Rys. 406-ty przedstawia większą cztero-osiową lokomotywę kolejki Karlsruhe—Ettlingen, zbudowaną przez Tow. Akc. Union. Siła pociągowa na obwodzie kół wynosi 2000 kg., waga przyczepności 14 tonn, maksymalna prędkość 30 klm. godz. Lokomotywa zaopatrzona jest w 4 motory prądu stałego i dwa paląki; jako balast służą boczne płyty podwozia z lanego żelaza.

O lokomotywach kolei głównych pomówimy obszerniej w dziale „Koleje główne“.

4) Wozy specjalne. Wozy do odgarniania śniegu. Najprostszym przyrządem do odgarniania śniegu są deski ochronne, umieszczone przed kołami; szczególnie, jeżeli są ustawione klinowato, odgarniają



Rys. 407.

dość dobrze niewielkie ilości śniegu. Dla oczyszczania rowków szyn zaopatrjuje się parę wozów w odpowiednio ukształtowane, opuszczalne łopatkę, względnie szczotki.

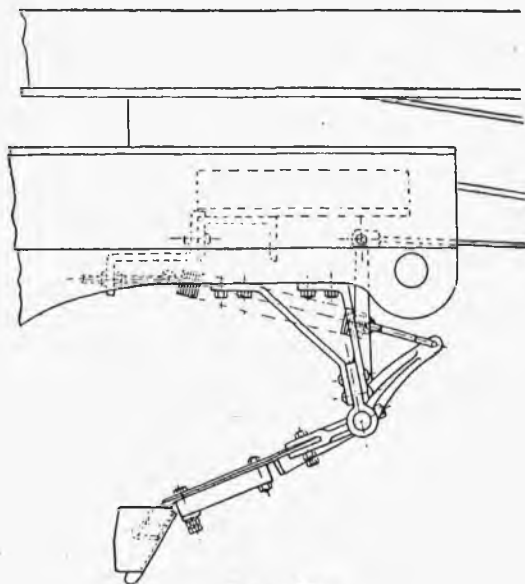
W Brukseli stosowany jest tego rodzaju przyrząd, rys. 407-my

Są to stalowe, w trójkąt ustawione szczotki, tak przymocowane do podwozia, iż mogą być dowolnie opuszczane lub podnoszone przez poruszenie dźwigni.

Rys. 408-my uwidoczni skrobaczkę, stosowaną z powodzeniem w Hamburgu.

Przyrządy takie działają doskonale, ale tylko przy nieznacznych ilościach nie stwardniałego śniegu. Skoro jednak śniegu bywa więcej i takowy twardnieje, to konieczne stają się przyrządy, działające energiczniej.

Skrobaczki działają dobrze, ale tylko dopóty, dopóki profil ich jest ściśle dopasowany do profilu rowka szyn; przy małym już starciu łopatki, pozostawia ona cienką, ale niemniej szkodliwą warstwę lodu,



Rys 408.

względnie zmarzniętego śniegu. Niezbędna przeto jest częsta zmiana łopatek.

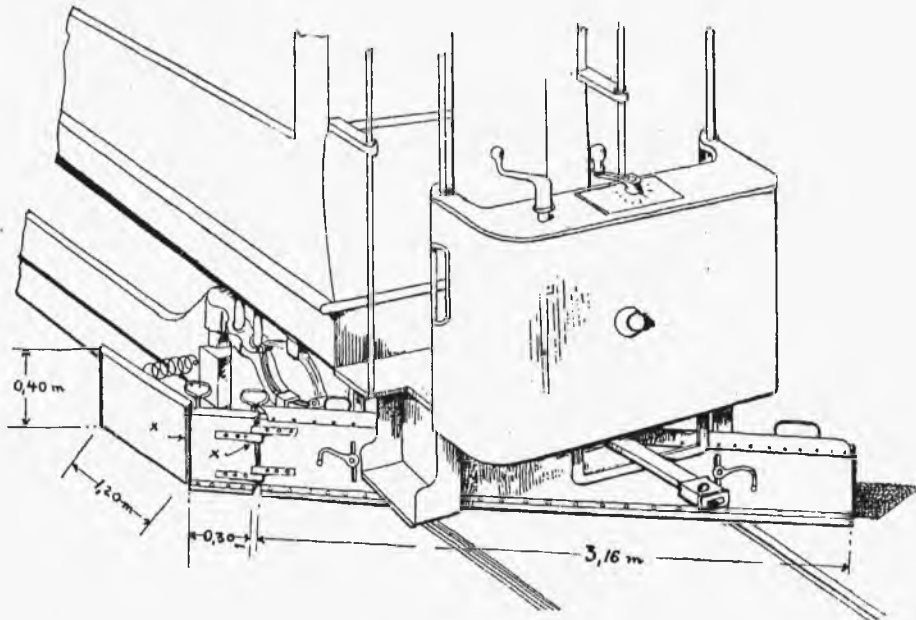
W Berlinie stosowane bywa z powodzeniem urządzenie, uwidocznione na rys. 409-ym.

Jestto deska, której wysokość nad szynami można dowolnie regulować; dolny brzeg deski obity jest wołłokiem, co zmniejsza hałas i chroni deskę od uderzeń o wystające kamienie. W deski takie zaopatrzone bywają specjalnie silne elektrowozy.

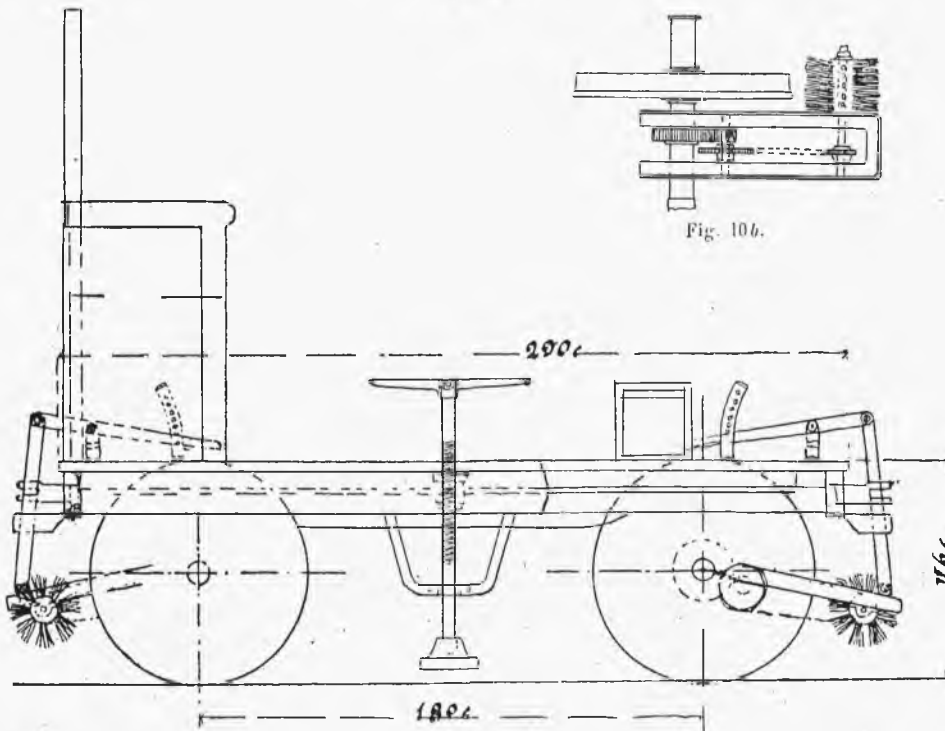
Stosowanie bardziej skomplikowanych i energiczniej działających przyrządów przy elektrowozach, aczkolwiek gdzieś, n. p. w Monachjum, stosowane, z punktu widzenia ekonomicznego jest nieracjonalne. Lepiej jest w takich wypadkach stosować wozy specjalne. Wóz taki, stosowany w Piotrogradzie, widzimy na rys. 410-tym.

Wóz ten jest pchany przez wóz motorowy i oczyszcza tylko tory.

Do oczyszczania szyn ze śniegu i lodu stosowana też bywa sól, jużto stała, roztartą, którą się szyny posypuje, jużto w roztworze wo-



Rys. 409.

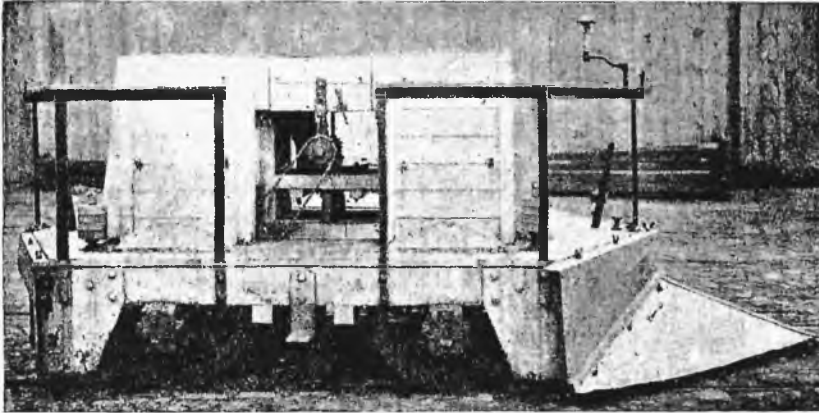


Rys. 410.

dnym, polewając nim szyny. Sól taka powoduje topnienie śniegu i lodu, a raczej nie pozwala na zamarznięcie powstałej mieszaniny. Sposób ten, bardzo skuteczny i niedrogi, ma jednak swe poważne wady. Sól działa bardzo szkodliwie na izolację, powodując częste uszkodzenia przewodów wozowych; pozatem sprzyja ona w bardzo wysokim stopniu powstawaniu prądów błędzących i potęguje ich szkodliwe działanie, ułatwiając elektrolizę. Sól rozpuszczona w wodzie i śniegu jest dla kopyt końskich bardzo szkodliwa i niszczy również wszelkie obuwie.

Używanie soli nie da się jednak całkowicie usunąć, a conajwyżej zredukować; tak n. p. niepodobna zapobiedz zamarzaniu zwrotnie inaczej, jak sypaniem soli. Zużycie soli wynosi zwykle 60—120 kg. rocznie na kilometr toru.

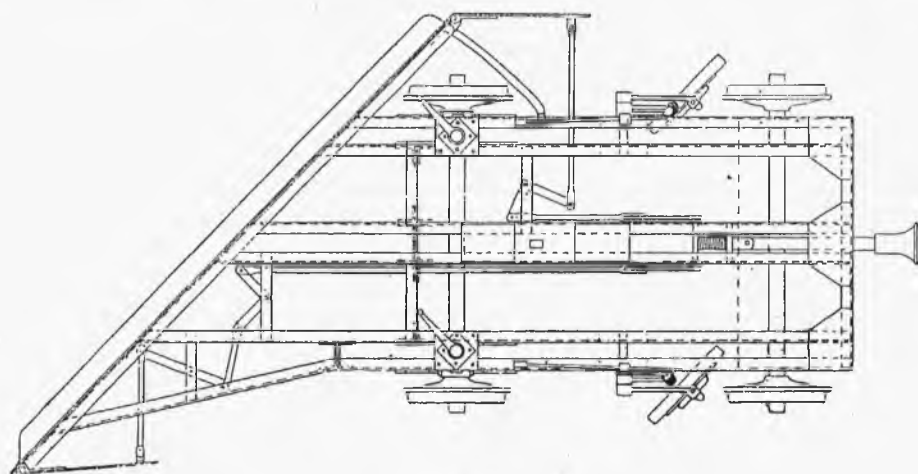
Do sypania soli służą specjalnie wozy-solarki, zwykle połączone z pługami. Taki pług-solarkę, stosowany w Warszawie, widzimy na rys. 411-tym.



Rys. 411.

Pług-solarka składa się z następujących części:

- a) pług właściwy z blachy żelaznej; wysokość pługu nad szynami daje się regulować, cały zaś pług można łatwo zdejmować i nakładać; używany on bywa tylko w razie wyjątkowo wielkiego śniegu;
- b) radełka profilowe, dostosowane do profilu szyn;
- c) szczotki z drutu stalowego, czyszczące główki szyn; tak radełka, jak i szczotki mogą być przy pomocy odpowiedniej przekładni opuszczane lub podnoszone;
- d) solarka, czyli młynek, poruszany z osi wózka przez przekładnię. U spodu młynka znajdują się dwa otwory, prowadzące do lejów, kończących się o parę centymetrów nad główkami szyn.

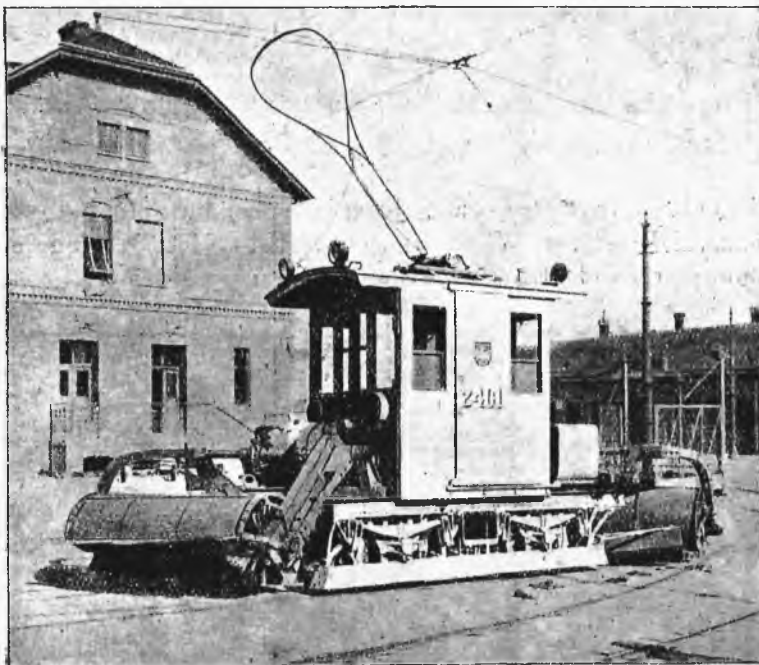


Rys. 412.

Cały przyrząd pcha przed sobą wóz motorowy. Jeden pług-solarka oczyszcza około 8—10 kilom. toru pojedynczego na godzinę. Przyrządy te okazały się bardzo praktyczne.

Rys. 412-ty uwidoczniła pług, stosowany w Chrystjanji. Pługi te okazały się nader praktyczne nawet przy bardzo wielkich ilościach śniegu. Przemawia za tem i to, iż i inne miasta, gdzie zdarzają się większe ilości śniegu, doszły po dłuższych próbach do zupełnie podobnych konstrukcji (n. p. Lozanna, gdzie warstwa śniegu dochodzi do grubości 1 metra, Helsingfors, Kopenhaga). Pług, przedstawiony na rysunku, przeznaczony jest dla linii dwutorowych.

Sam pług składa się z płyty stalowej zaopatrzonej u dołu w obrzeże drewniane. Na obu końcach płyty znajdują się ruchome krótkie płytki; kąt, jaki te płytki tworzą z płytą główną może być dowolnie regu-



Rys. 413.

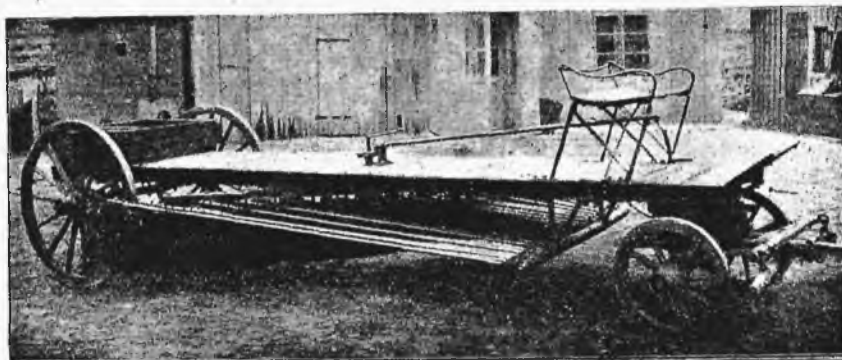
lowany. Płytką przednią odrzuca śnieg z międzytorza na tor drugi, z którego go potem pług na bok odrzuca; płytką tylną służy do odsuwania śniegu na żadaną odległość od toru. Pługi takie są zupełnie wystarczające dla warstw śniegowych do 1, a nawet więcej m.

Jeszcze skuteczniejsze od wszelkich pługów są szczotki rotacyjne. Szczotki jednak takie, jak wogóle wszelkie przyrządy rotacyjne stosowane na kolejach, przeważnie nie mogą być zastosowane na wąskich i ruchliwych ulicach, gdyż odrzucają śnieg zbyt daleko i wysoko, sprawiając przytem wielki hałas.

Maszynę taką, stosowaną w Wiedniu, widzimy na rys. 413-ym.

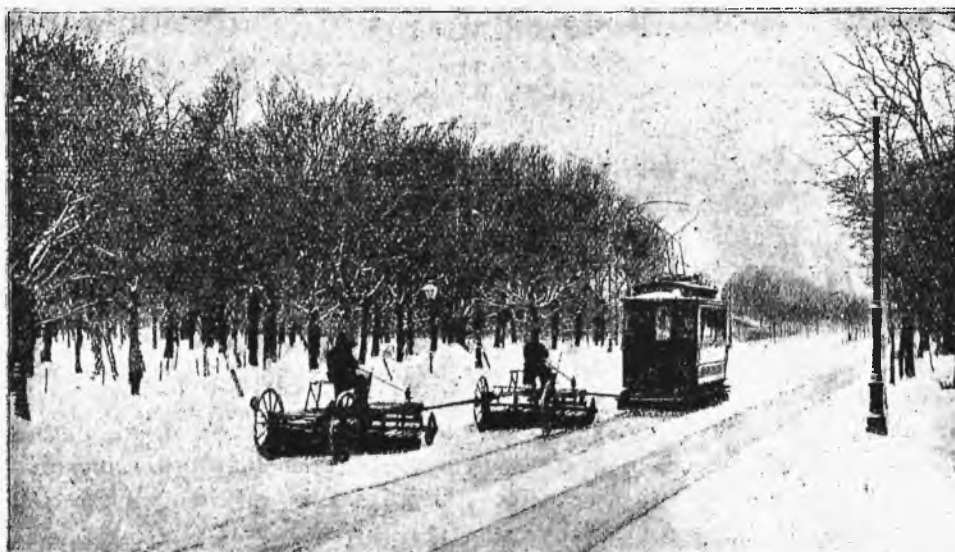
Do poruszenia szczotek służą oddzielne silne elektromotory.

Często obowiązkiem towarzystw tramwajowych bywa nie tylko oczyszczanie torów i międzytorza, ale i pewnej przestrzeni obok torów,



Rys. 414.

lub całej ulicy. Wtedy stosowane bywają specjalne pługi i szczotki, jużto konne, jak n. p. w Warszawie, rys. 414-ty, jużto ciągnięte na linie stalowej przez elektrowóz, jak w Wiedniu, rys. 415-ty.



Rys. 415.

Oprócz przyrządów do usuwania śniegu stosowane bywają przy tramwajach jeszcze różne inne maszyny specjalne, jako to: maszyny do zamiatania i polewania ulic i t. p.; są to jednak przyrządy tak specjalne

i do każdorazowych potrzeb dostosowane, iż bliższe opisywanie byłoby tu zupełnie zbyteczne.

Natomiast wspomnieć tu musimy jeszcze o wozach mierniczych, w jakie powinny być zaopatrzona każda poważniejsza eksploatacja.

Podwozie i elektryczne urządzenia wozu mierniczego nie powinny w niczem się różnić od podwozia i urządzeń normalnego wozu danej eksploatacji, aby otrzymane tym wozem wyniki odpowiadały rzeczywistości. Najlepiej jest, jeżeli pudło wozu mierniczego może być osadzone na każdym podwoziu.

Wewnętrzne urządzenie pudła może oczywiście być dowolne; potrzebna jest tylko elastycznie zawieszona deska marmurowa na której zebrane by były instrumenty miernicze, oraz stół do pisania.

Niezbędne są następujące przyrządy:

1) Dwa liczniki kilowatt-godzin, większy dla mierzenia energii, zużytej przez wóz i mniejszy dla mierzenia energii, zużytej na oświetlenie lub ogrzanie;

2) Dwa amperomierze, po jednym dla każdego z motorów;

3) Mały amperomierz dla mierzenia prądu oświetleniowego i ogrzewalnego;

4) Dwa voltomierze, po jednym dla każdego z motorów z przełącznikiem, pozwalającym przełączać jeden z nich tak, aby wskazywał napięcie sieci;

5) Amperomierz samopiszący z przełącznikami, pozwalającymi włączyć go tak w obwód każdego z motorów, jak i w obwód obu motorów razem;

6) Samopiszący voltomierz z przełącznikiem, pozwalającym mierzyć tak napięcie sieci, jak i na szczotkach każdego z motorów;

7) Samopiszący watomierz;

8) Samopiszący szybkościomierz, czyli przyrząd, rejestrujący prędkość wozu;

9) Miernik oporu, którymby można było mierzyć opór każdego z tworników lub uzwojeń magnesowych (dla określenia nagrzania).

Przyrządy samopiszące winny mieć szybki ruch taśmy papierowej, najmniej jakie 2 mm. na sek. i możliwie małą bezwładność. Najlepiej nadają się przyrządy iskrowe. Przyrządy te polegają na tem, iż pomiędzy końcem wskazówki a umieszczoną pod nią płytą żelazną przeskakuje iskra wywołana induktorem, która przepala taśmę cienkiego papieru przesuwaną się nad płytą. Ponieważ unika się w ten sposób tarcia przyrządu piszącego na papierze i nie zwiększa masy igły przez dołączenie tego przyrządu, są mierniki iskrowe równie czułe i dokładne, jak nie-samopiszące.

Jako szybkościomierz nadaje się doskonale mała prądnica napędzana przy pomocy pasa z osi wozu i wzbudzana stałym natężeniem prądu z małej baterji akumulatorów. Napięcie tej prądnicy jest wtedy proporcjonalne do ilości obrotów osi wozu, a zatem i jego prędkości i wystarczy napięcie to pomnożyć przez pewien współczynnik, aby otrzymać prędkość w metrach na sek. lub na godz. Współczynnik określa się przez próby. Współczynnik ten należy wobec ścierania się bandaży od czasu do czasu sprawdzać.

Oczywiście, iż rodzaj i ilość wyżej wyliczonych przyrządów może być zmieniana i dostosowywana do zamierzonych pomiarów, powyższe jednak przyrządy pozwalają wykonać wszelkie pomiary, niezbędne w normalnej eksploatacji.

KONIEC TOMU PIERWSZEGO.

SPIS RZECZY TOMU PIERWSZEGO.

C Z E J Ś Ć I.

Rozdział I.

Zużycie pracy.

§§		Str.
1	Opór trakcji	1
2	Opór powietrza	4
3	Opór na pochyłościach i opór łuków	7
4	Opór trakcji przy większych prędkościach	9
5	Przyśpieszenie	15
6	Przyczepność (Adhezja)	18
7	Obliczenie siły i pracy dla danej linji	22

Rozdział II.

Motory elektryczne.

1	Rodzaj prądu	24
2	Motory elektryczne (Prąd stały)	28
3	Motor bocznikowy	30
4	Motory szeregowo	31
5	Wzbudzenie szeregowo-bocznikowe	34
6	Połączenie motorów w elektrowozach	34

Rozdział III.

Regulowanie natężenia prądu i prędkości.

1	Sposoby regulowania	36
2	Regulowanie przy pomocy oporników	38
3	Regulowanie przez zmianę połączenia motorów	40
4	Regulowanie przez zmianę pola magnetycznego	56

Rozdział IV.

Określenie wielkości motorów. Praca zużyta przez pociąg. Moc elektrowni.

§§		Str.
1	Wielkość przyspieszenia i moc motorów	63
2	Obliczenie pracy zużytej przez pociąg	73
3	Graficzny rozkład jazdy i jego zastosowanie do określenia mocy elektrowni	78
4	Dokładne obliczenie pracy zużytej na danej linii	82
5	Porównanie sposobów obliczania zużytej pracy	95

C Z E J Ś C II.

Rozdział V.

T o r y.

1	Szyny	97
2	Złącza	104
3	Szyny spajane	107
4	Szerokość toru	113
5	Zwrotnice i skrzyżowania	114
6	Tory prowizoryczne	121

Rozdział VI.

Ułożenie i prowadzenie torów na ulicach.

1	Tor pojedynczy lub podwójny	122
2	Międzytorze	123
3	Miejsce ułożenia torów na ulicy	127
4	Łuki	130
5	Rozjazdy, odgałęzienia, wjazdy, zakończenia linii	134

Rozdział VII.

Budowa spodnia.

.	137
-----------	-----------	-----

C Z E J Ś C III.

Rozdział VIII.

Sieć zasilająca.

1	Obliczenie sieci	144
2	Wykonanie sieci	154
3	Drut roboczy.	163
4	Wyznaczenie punktów zawieszenia	163
	Napężenie drutu roboczego	169

§§	Str.
5 Druty poprzeczne, wysokość punktów zawieszenia	181
6 Druty poprzeczne i odciągowe na łukach	188
7 Izolatory sekcyjne, druty kotwowe	192
8 Wielkie rozpiętości	198
9 Przymocowanie i izolacja drutu roboczego, wieszaki, zaciski	199
10 Izolacja drutów poprzecznych, naprężniki	204
11 Doprężniki	206
12 Łączniki	207
13 Końcówki	207
14 Zwrotnice i skrzyżowania	207
15 Materiały specjalne	210
16 Słupy	210
17 Wysięgi	216
18 Obciążenie słupów	216
19 Ustawianie słupów	220
20 Przymocowanie drutów	221
21 Haki i rozety ściennie	221
22 Odgromniki	222
23 Ochrona sieci prądów słabych	227
24 Zabezpieczenie od przerwania drutu roboczego	233
25 Przewody zasilające	236
26 Ochrona od przeciążenia	238
27 Wyłączniki samoczynne międzydzielnicowe	238

Rozdział IX.

Sieć powrotna.

1 Łączniki	243
2 Prądy błędzące	249
3 Przewody powrotne	253
4 Przepisy o prądach błędzących	259

P r z e p i s y .

1 Zakres działania	266
2 Tory jako przewodniki	268
3 Napięcie w szynach	270
4 Opór przejściowy	275
5 Gęstość prądu	277
6 Nadzór	279

C Z Ę Ś C IV.

Rozdział X.

Tabor, część mechaniczna.

1 Uwagi ogólne	281
2 Podwozie	282
3 Osie ruchome	291

ss		Str.
4	Wózki ruchome	293
5	Koła	295
6	Osie	298
7	Łożyska	301
8	Resory	305
9	Hamulce. Uwagi ogólne	306
10	Hamulce ręczne	309
11	Hamulce pneumatyczne	317
12	Hamulce elektryczne	323
13	Hamulce elektro-magnetyczne	330
14	Hamowanie przeciw-prądem	339
15	Połączenie hamulców między sobą	339
16	Porównanie różnych hamulców	342
17	Przyrządy do ciągnięcia i pchania wozów	352
18	Piasecznice	353
19	Przyrządy ochronne	356
20	Pułdo wozowe	359
21	Dzwonki	375
22	Ogrzewanie	376

Rozdział XI.

Tabor. Część elektryczna.

1	Motory	378
2	Zawieszenie motorów	387
3	Łożyska, smarowanie	391
4	Regulatory	394
5	Bezpieczniki. Wyłączniki samoczynne. Wyłączniki ręczne	415
6	Ochrona od wyładowań atmosferycznych	419
7	Zbieracz prądu	419
8	Pałak	423
9	Oporniki	429
10	Przewody	429
11	Oświetlenie	430
12	Przyrządy pomiarowe	435
13	Waga wozów motorowych	436

Rozdział XII.

Wozy doczepne, lokomotywy, wozy specjalne.

1	Wozy doczepne	437
2	Wozy towarowe	437
3	Lokomotywy	437
4	Wozy specjalne. Wozy do odgarniania śniegu	444

