

Zbigniew ŻUREK

Politechnika Śląska

Instytut Transportu

Katowice, ul. Krasińskiego 8

OBCIĄŻALNOŚĆ PRĄDOWA KOLEJOWEJ SIECI JEZDNEJ

Streszczenie. Celem artykułu jest wykazanie konieczności zmiany sposobu liczenia obciążalności prądowej sieci jezdnej o wpływ nierównomierności rozpięty prądu pomiędzy linią nośną a przewodami jezdny. W chwili obecnej kolejowe sieci jezdne projektowane są pod kątem dynamiki współpracy z odbierakiem, przy zaniedbywaniu jednej z ważnych jej funkcji - bezpośredniego zasilania.

Rozdzielenie toków prądowych (lina nośna - przewody jezdne) wieszakowaniem, bez zapewnienia skutecznych połączeń prądowych pomiędzy nimi, jest przyczyną powstawania dodatkowych przeciążeń termicznych przewodów jezdnych.

W artykule zaproponowano sposób wyznaczania rozpięty prądu w sieci jezdnej dla różnych typów wieszakowania w sąsiedztwie punktu styku z odbierakiem oraz podano metodę liczenia temperatur przewodu jezdnej. Omówiono sposób zbliżenia obciążalności prądowej sieci jezdnej do tej, jaka wynika z jej przekroju łącznego (liny nośnej i przewodów jezdnych), przez zastosowanie dodatkowych połączeń prądowych. Podano wydruki komputerowe nagrzewania przewodu jezdnej sieci C95-2C przed i po wzmocnieniu dodatkowymi połączeniami prądowymi dla ustalonych poborów prądu w szerokim zakresie prędkości jazdy. Wykazano możliwość podwyższenia obciążalności prądowej dla sieci obecnie eksploatowanych o 20 do 30% przy minimalnych nakładach inwestycyjnych.

1. WPROWADZENIE

Wobec zwiększenia zasięgu i znaczenia trakcji elektrycznej, a także wzrostu masy pociągów towarowych, nabiera znaczenia problem określenia obciążalności prądowej kolejowej sieci jezdnej. W systemie zasilania kolei jest to element bez rezerwy, a nie o wysokiej wymaganej niezawodności i trwałości.

Specyfika sieci jezdnej w porównaniu do innych sieci elektrycznych polega na tym, że odbierak (obciążenie elektryczne) przemieszcza się ślizgowo wzdłuż sieci, przy jednoczesnym występowaniu zmienności prądu. Prąd płynący od sąsiednich podstacji (zasilanie dwustronne) linią nośną i przewodami jezdny, w miarę zbliżenia się do punktu odbioru, spływa do przewodów. Podczas ruchu lokomotywy występują zatem zmienności prądu

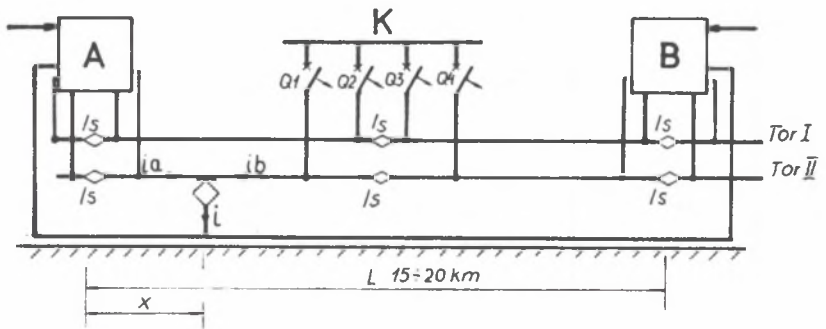
w przewodach jezdnych, zależnie od jej lokalizacji pomiędzy podstacjami i te, wywołane odpływem prądu z linii nośnej.

Dotychczasowe metody obliczenia sieci jezdnej uwzględniają ten fakt w sposób niewystarczający, operując w obliczeniach rezystancją sumaryczną linii nośnej i przewodów jezdnych oraz sumarycznym obciążeniem. Tymczasem w sieci jezdnej głównie przewód jezdny jest narażony na przeciążenie prądowe i cieplne. Nie bez znaczenia dla nagrzewania przewodu jezdnego są również zjawiska zachodzące w zestyku utworzonym przez przewody jezdne i odbierak.

2. MODEL ELEKTRYCZNY SIECI JEZDNEJ

Celem modelu jest obliczenie rozpływu prądu sieci jezdnej dla wyznaczenia jej nagrzewania.

Pomiary rozpływu prądu w warunkach poligonowych (na sieci rzeczywistej) ze względów czasowych, technicznych i technologicznych są bardzo utrudnione i praktycznie niemożliwe.



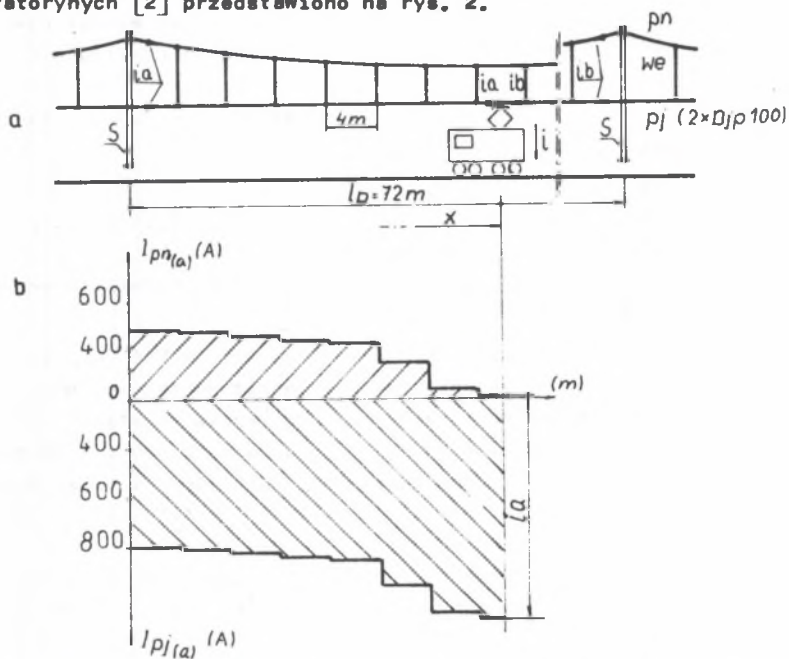
Rys. 1. Dwutorowy odcinek zasilania z kabiną sekcijną pośrodku: A i B - współpracujące podstacje, K - kabina sekcyjna, Q - wyłączniki, Is - izolator sekcyjny

Fig. 1. Biline supply interval with a section cab inside: A and B cooperating substations, K - section cab, Q - switches, Is - section insulator

Sieci jezdne PKP są zwykle zasilane dwustronnie (rys. 1). Przy zasilaniu dwustronnym z kabiną sekcijną pośrodku, prąd do lokomotywy płynie od podstacji "A" oraz poprzez kabinę sekcijną - z podstacji "B" linią nośną i przewodami jezdnymi. W dostatecznej odległości od lokomotywy występuje ustalony rozpliw prądu pomiędzy przewodem nośnym i przewodami jezdnymi (sieć typu C95-2C), zaś w miarę zbliżenia się do lokomotywy układ ten

ulega niekorzystnej zmianie. Maleje prąd przewodu nośnego, a wzrasta przewodu jezdnych. Zasięg występowania tych zmian zależy od odległości i skuteczności połączeń prądowych [6], a jest tym mniejszy, im gęściej są one rozmieszczone. Do połączeń prądowych łączących linię nośną z przewodami jezdnymi zaliczyć można między innymi połączenia elektryczne przejść międzyprzesłowych, połączenia mechaniczne kotwienia środkowego, wieżakowanie elektryczne oraz niezamierzone przypadkowe połączenia prądowe wieżakowania zwykłego i połączenia do konstrukcji podwieszenia słupów trakcyjnych.

Rozdział prądu pomiędzy linię nośną a przewodami jezdnymi w warunkach laboratoryjnych [2] przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Chwilowy rozdział prądu pomiędzy linię nośną a przewody jezdne w sieci typu C-95-2C z wieżakowaniem elektrycznym [2], gdy odbierak znajduje się w punkcie x :

a) schemat przęsła zawieszenia z lokalizacją punktu odbioru prądu, b) wykres prądu linii nośnej i przewodów jezdnych w chwili $x(t)$, pn - przewód nośny, pj - przewody jezdne ($2Djp100$), we - wieżakowanie elektryczne, S - słup trakcyjny, i_a oraz i_b - prądy do podatek A i B, i - prąd lokomotywy ($i = i_a + i_b$)

Fig. 2. Instantaneous distribution of current between a catenary and contact wires in the C95-2C contact system with electrical dropper [2] in the case of a current collector placed in x :

a) a scheme of the span with a localization of the receiving point, b) a diagram of the catenary and contact currents in the time $x(t)$

Wieszakowanie elektryczne dla powyższego wykonania [2] zapewnia wyrównanie rozpiętości prądu już w odległości kilkunastu metrów od punktu odbioru prądu. Wieszakowanie zwykle wskutek utleniania się ruchomych punktów styku wieszaków nie zapewnia niezawodnego przewodzenia. Zwiększa zasięg zmian rozpiętości prądu na odległość wynikającą z lokalizacji stałych połączeń prądowych, w miejscach przejść międzyprzesłowych i kotwienia środkowego, równą 650 m (dla sieci skompensowanej C95-2C).

Odłączniki sekcyjne i odgromniki występujące na drodze przepływu prądu nie mogą być uwzględnione w budowanym modelu, ze względu na brak systematyczności ich występowania na długości prześła naprężenia. Przyjęto ponadto, że konstrukcja podwieszenia sieci na słupach trakcyjnych, będąca podobnie podatna na działanie warunków atmosferycznych jak wieszakowanie zwykle, nie posiada cech połączeń prądowych i nie bierze udziału w rozpiętości prądu.

W eksploataowanej sieci, po uwzględnieniu założeń, wyodrębniono do analizy trzy przypadki:

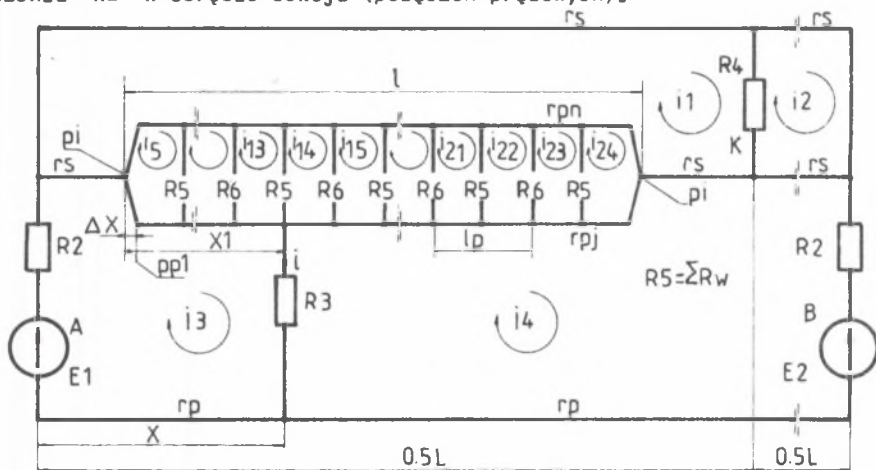
- 1 - sieć z wieszakowaniem elektrycznym (nieutleniona),
- 2 - sieć z wieszakowaniem zwykłym (nieutleniona) i połączeniami prądowymi co 650 m (w rozpatrywanym modelu co 600 m),
- 3 - sieć z połączeniami prądowymi co 72,144 i 650 m (w rozpatrywanym modelu co 75,150 i 600 m).

Przypadek 1 i 2 ujęto w model elektryczny (rys. 3), w którym dla zmniejszenia liczby równań rezystancje wieszakowania R_w jednego prześła podwieszenia zastąpiono rezystancją skupioną R_5 . Użytkowano układ 25 równań liniowych, które rozwiązano przy wykorzystaniu gotowego programu komputerowego i maszyny Mera 400. Otrzymano zależności opisujące rozdział prądu między przewody - nośny i jezdny w funkcji położenia punktu odbioru na odcinku od podstacji do kabiny sekcyjnej.

Na rys. 4 podano wykresy chwilowego rozdziału prądu od podstacji "A" oraz z kierunku kabiny sekcyjnej "K", dla przypadków 1, 2, i 3 i przyjętego punktu odbioru prądu.

Dla przypadku trzeciego, w którym stosuje się tylko trwałe połączenia prądowe, zbudowano odrębny model elektryczny przedstawiony na rys. 5. Założono tu, że cały prąd z linki nośnej spływa do przewodów jezdnych poprzez sąsiadujące z odbierakiem połączenia prądowe. O przyjęciu przez autora pracy tego założenia zdecydowały wyniki badań symulacyjnych, które wykazały (dla prawidłowo wykonanych połączeń prądowych) niewielkie, praktycznie pomijalne zmiany prądu w połączeniach prądowych sąsiednich sekcji. Równania opisujące ten model (rys. 5) - rozwiązano dla odległości połączeń prądowych co 600, 150 i 75 m. Dla każdej z wymienionych odległości wykres prądu w przewodach jezdnych ma przebieg piłokształtny. W momencie nałożenia się punktów odbioru prądu i połączenia prądowego występuje w przewodach jezdnych gwałtowna zmiana ciągłości funkcji, wywołana włączeniem w proces przewodzenia prądu liny połączenia prądowego.

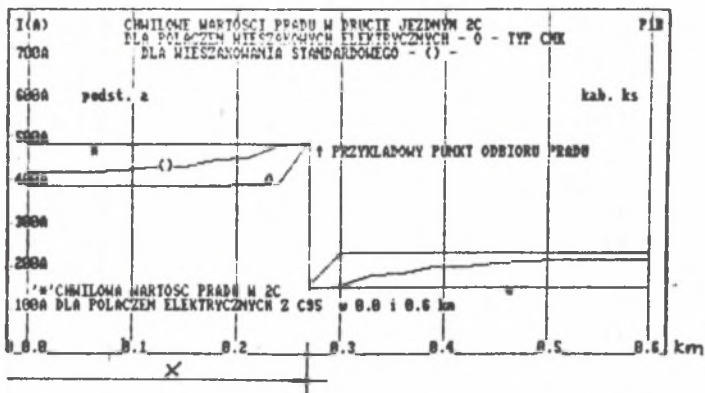
Prąd w przewodach jezdnych przy każdym dowolnym położeniu punktu odbioru prądu zależy od odległości x tego punktu od podstacji (rys. 5) oraz położenia x_1 w obrębie sekcji (połączeń prądowych).



Rys. 3. Model elektryczny zasilania sieci trakcyjnej:

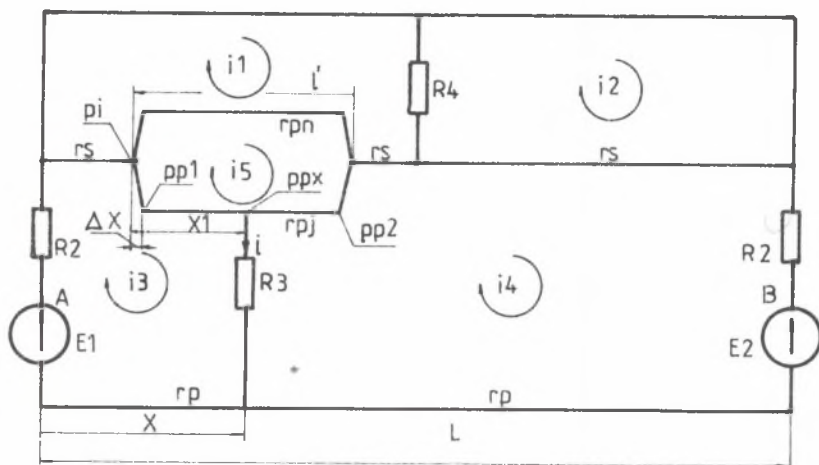
(E1, E2, R2) - parametry układu zasilania, R4 - rezystancja kabiny sekcyjnej, R3 - rezystancja odbiornika (lokomotywy), rpn oraz rpj - rezystancja jednostkowa przewodów nośnych i jezdnych, rp - rezystancja jednostkowa sieci powrotnej, R5 - rezystancja łączna wieszakowania jednego przęsła podwieszania, x oraz x_1 - szczegółowa lokalizacja punktu odbioru prądu, Δx - odległość pierwszego punktu pomiarowego pp1 od punktu połączenia prądowego pi (< 5 cm)

Fig. 3. Electrical model of the contact system supply



Rys. 4. Wydruk komputerowy chwilowego rozdziału prądu w przewodach jezdnych dla punktu zlokalizowanego w odległości x od podstacji A. Obliczenia wykonano dla sieci typu C95-2C z wieszakowaniem zwykłym, prądowym i połączeniami prądowymi co 600 m. Oznaczenia objaśniono na wydruku

Fig. 4. Computer plot of the instantaneous distribution of the current in the contact wires for a point localized in the distance x from station A. Computing has been performed for the C95-2C contact system with an ordinary current dropper and current junctions every 600 m



Rys. 5. Uproszczony model elektryczny zasilania sieci trakcyjnej, uwzględniający tylko połączenia prądowe wykonane z odstępami l' :

(E_1 , E_2 , R_2) - parametry układu zasilania, R_4 - rezystancja kabiny sekcyjnej, R_3 - rezystancja odbiornika, (r_s, r_p) - rezystancja sieci jezdnej, powrotnej, (r_{pn}, r_{pj}) - rezystancja jednostkowa przewodów nośnych, jezdnych, L - odległość pomiędzy podstacjami, l' - odstęp połączeń prądowych, (x, x_1) - szczególowa lokalizacja punktu odbioru prądu pp_x, p_i - połączenia prądowe, (pp_1, pp_2) - pierwszy i ostatni punkt pomiarowy sekcji połączenia prądowego

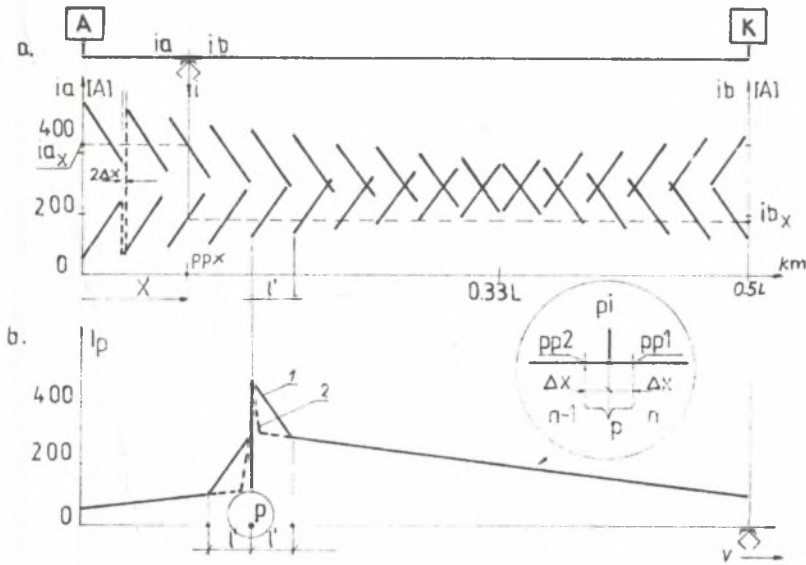
Fig. 5. A simplified electrical model of the contact system supply taking current junctions distant every l' interval into account

Przykładowe wykresy rozplywu prądu w przewodach jezdnych dla całej długości sieci (A-K) podczas przejazdu lokomotywy oraz wykres prądu w wybranym punkcie przewodu w funkcji drogi przejazdu lokomotywy (A-K) przedstawiono na rys. 6.

Rozważana sieć typu C95-2C posiada linkę nośną $95 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$, dwa przewody jezdne ($2 \times D_{jp} 100$). Z punktu widzenia zjawiska przepływu prądów z przewodów do odbieraka, jest mało prawdopodobne, aby prąd rozdzielał się równomiernie na dwa przewody. Obserwacje zużycia przewodów jezdnych na drodze zwisów międzywieszakowych, przeprowadzone z pociągu sieciowego, wykazały niejednakowe ich zużycie w wyniku nierównomiernego nacisku na płytki odbieraka. Zauważono ponadto, iż zużycie ma charakter cyklicznie przemienne, uwarunkowany odstępami wieszakowania.

Z przeprowadzonych badań [2] dotyczących nierównomierności rozdziału prądu w płytkach odbieraka można wnioskować o zmienności rozdziału prądu w przewodach jezdnych.

Asymetria w rozdziale prądu jest przyczyną dodatkowej straty mocy wydzielanej w przewodzie w postaci ciepła. Przewidziano przeprowadzenie obliczeń temperatur przewodów jezdnych z uwzględnieniem nierównomierności rozdziału prądu celem wykorzystania ich w obliczeniach cieplnych sieci jezdnej.



Rys. 6. Przebiegi prądów podczas przejazdu lokomotywy na drodze podstacja - kabina sekcyjna

a) chwilowe wartości prądów i_a oraz i_b w punkcie ppx , zlokalizowanym pomiędzy połączeniami prądowymi, na tle prądów i_a oraz i_b w funkcji drogi przejazdu A-K,

b) wykres prądu dla wybranego punktu sieci jezdnej w funkcji drogi przejazdu A-K:

1 - dla sieci z połączeniami prądowymi co 600 m, 2 - dla sieci z połączeniami prądowymi co 150 m, 1 - prąd lokomotywy ($i=i_a+i_b$) x - ok. 1cm

Fig. 6. Plots of the currents during a passage of the engine via substation - section cab

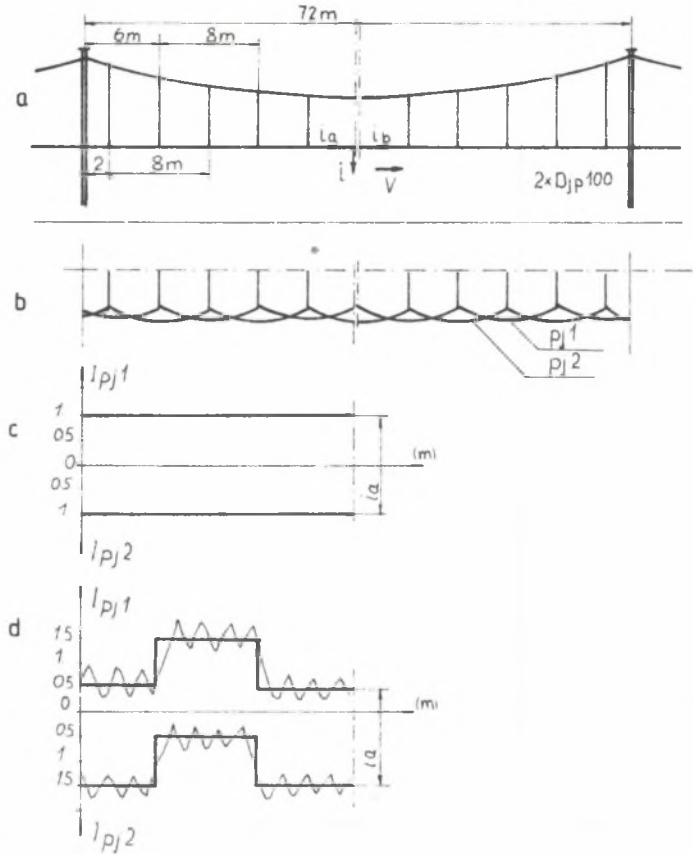
a) instantaneous values of currents i_a and i_b in the point ppx localized between current junctions with currents i_a and i_b as functions of the overpassed distance in the background

b) a graph of the current for a chosen point of the contact system in the function of the overpassed distance A-K

Na rys. 7 zamieszczono ilustracje i wykresy wyjaśniające powstawanie nierównomierności rozdziału prądu między dwa równoległe przewody jezdne.

3. MODEL CIEPLNY PRZEWODU JEZDNEGO

Model cieplny wycinka przewodu jezdnej skonstruowano przy występowaniu analogii elektryczno-ciepłych. Warunki wymiany ciepła między przewodami sieci a otoczeniem ujęto za pomocą rezystancji termicznej.



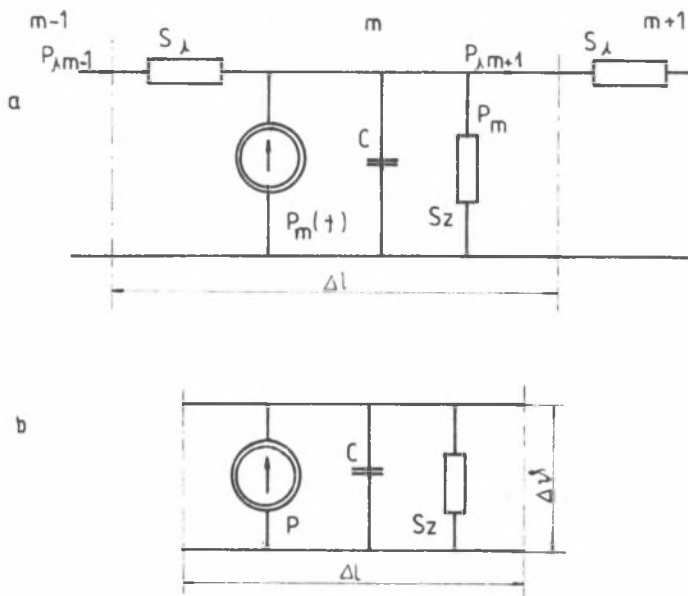
Rys. 7. Nierównomierność rozdziału prądów w przewodach jezdnych (2Djp100) na drodze przemieszczania punktu odbioru prądu, wywołana zwisami międzywieszakowymi

a) schemat struktury przęsła, b) ilustracja powstawania zwisów międzywieszakowych, c) obliczeniowy rozdział prądów, d) oczekiwany rozdział prądów wskutek niejednorodnej komutacji wywołanej zwisami międzywieszakowymi

Fig. 7. Nonuniformity of the current distribution in the contact wires (2Djp100) on the way of transmission of the receiving current point

a) a scheme of the span structure, b) an illustration of the interdropper sags, c) computed distribution of currents, d) expected distribution of currents because of the nonuniform commutation resulted from the interdropper sags

Dla odcinka przewodu można podać schemat cieplny zastępczy w postaci obwodu pokazanego na rys. 8. Schemat zastępczy uproszczony zamieszczony na rys. 8 stwarza warunki zaostrome, ponieważ nie uwzględnia wzdłużnego przepływu ciepła. Dla tak skonstruowanego uproszczonego schematu zastępczego przebieg dowolny mocy strat $P(t)$ można zastąpić sumą przebiegów składowych $P(m)$ (rys. 9).

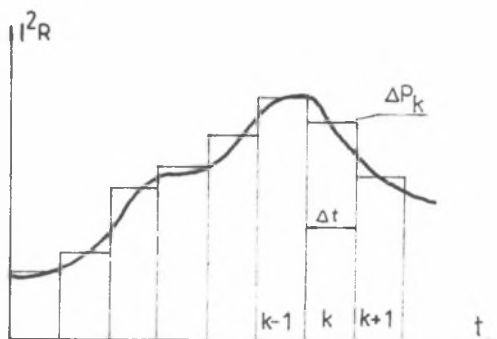


Rys. 8. Schemat cieplny wycinka przewodu jezdnego

a) schemat uwzględniający wzdłużny przepływ ciepła S , b) schemat uproszczony ($P_{m-1} = 0, P_{m+1} = 0$)

Fig. 8. A thermal scheme of the sector of the contact wire

a) a scheme taking into account a longitudinal heat transport S , b) a simplified scheme



Rys. 9. Ilustracja zastąpienia dowolnego przebiegu strat mocy wybranego punktu sieci przebiegami schodkowymi

Fig. 9. An illustration of the substitution of stepwise signal for an arbitrary transient of the power loss in the chosen point of the system

Wyznaczenie przyrostu temperatury przewodu dla dowolnego przebiegu mocy strat sprowadza się do rozwiązania następującego wzoru:

$$\Delta t \approx \sum_{m=1}^u P_m \cdot Sz \cdot (1 - e^{(-t_m)T}) \quad (1)$$

gdzie:

- P - moc elektryczna wydzielona w przewodzie,
- Sz - zastępcza rezystancja termiczna,
- T - stała czasowa.

Termiczna rezystancja zastępcza obliczana jest ze wzoru:

$$Sz = \frac{1}{(\alpha_E + \alpha_K) \cdot F} \quad (2)$$

gdzie współczynnik rozpraszania ciepła dzięki promienioraniu obliczany jest za pomocą wzoru [5]:

$$\alpha_E = \frac{5.7 \cdot ((t_1/100)^4 - (t_0/100)^4)}{(t_1 - t_0)}$$

natomiast współczynnik rozpraszania ciepła dzięki konwekcji obliczany jest wzorem [5]:

$$\alpha_K = A' \cdot ((t_1 - t_0)D)^{(1/4)}$$

Oznaczenia współczynników we wzorach:

- D - wymiar charakterystyczny (średnica przewodu),
- ε - współczynnik emisyjności,
- A' - współczynnik dla przewodu płasko rozwieszonoego [5],

$$A' = A \cdot \frac{0.47}{0.54}$$

$$A = f \left(\frac{t_1 + t_0}{2} \right) = f(t_m)$$

- F - powierzchnia przekroju wzdłużnego,
- t₀ - temperatura otoczenia,
- t₁ - temperatura przewodu.

Zależność opisana wzorem [2] słuszna jest dla prędkości wiatru

$$v_w = 0 \text{ m/sek}$$

Peter Schmidt [4] proponuje przyjmować do obliczeń rezystancję termiczną zastępczą uśrednioną dla całego zakresu temperatur, uzyskaną na podstawie przeprowadzonych badań poligonowych i laboratoryjnych przewodu jezdne go Djp 100. Postać wzoru [4] dla V wiatru 0 m/sec jest następująca:

$$S_{1z} = \frac{1}{13 \cdot F} \quad (3)$$

Wykresy nagrzewania przewodu jezdne go wyliczone wzorem 1 - dla rezystancji termicznej wg wzoru [2] i [3] są zgodne z pomiarami do temperatury 125°C. Stwierdzona zbieżność dla większych mocy wydzielonych w przewodach jezdnych wynika z faktu, że wzór [2] wprowadzony został dla przewodu o przekroju okrągłym, natomiast wynik uzyskany dla rezystancji termicznej opisanej wzorem [3] odnosi się do przekroju przewodu jezdne go Djp 100, posiadającego charakterystyczne wcięcia tworzące węzły cieplne.

Rozbieżność temperatur powyżej 130°C nie zmniejsza praktycznego znaczenia obu wzorów, ponieważ temperatura ta jest graniczną dopuszczalną w eksploatacji ze względu na wytrzymałość mechaniczną przewodu jezdne go. Dopuszczalne przyrosty temperatury pracy przewodu Djp 100 zawierają się w granicach 65 - 85°C. Przekroczenie przedziału dopuszczalnych temperatur powoduje niepokój bez względu na dokładność obliczeń.

W warunkach rzeczywistych prędkość wiatru jest większa od 0 m/sec. Uwzględniając zawirowania powietrza wywołane przejazdem pociągu, PKP, jak i inne zarządy kolejowe, przyjęły jako prędkość minimalną wiatru 1 m/sec.

Dla tej prędkości zgodnie z zaleceniami zawartymi w pracy [4] rezystancja termiczna zastępcza dla $V_w = 1$ m/sec opisana jest wzorem:

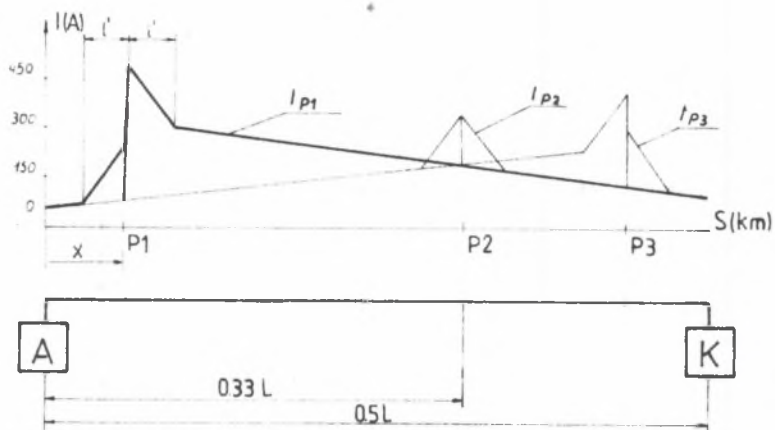
$$S_{2z} = \frac{1}{(21 + 0,9 \cdot V_w) \cdot F} \quad (4)$$

4. PRZYKŁADY OBLICZEŃ

4.1. Obliczenia prądu w wybranych punktach sieci jezdnej

Na przebieg prądu dowolnych punktów przewodów jezdnych w funkcji drogi przejazdu składają się przebiegi składowe prądów płynących od podstacji "A", dopływającej z kierunku kabiny "K" oraz prądy w połączeniach prądowych występujące w sąsiadujących z rozpatrywanym punktem sekcjach. Maksymalne wartości prądu przypisane są punktom zlokalizowanym w pobliżu połączeń prądowych. Przedstawiony na rys. 6 sposób budowy wykresu prądu dla przyjętego punktu P ma charakter uniwersalny. W podobny sposób otrzymujemy wykresy prądu dla innych punktów sieci jezdnej (znajdujących się w pobliżu połączenia prądowego). Na rys. 10 przedstawiono przebiegi prądu

w kilku punktach przewodów jezdnych sieci z połączeniami prądowymi co 600 m na trasie przejazdu lokomotywy od podstacji do kabiny sekcyjnej. Dla połączeń prądowych mniejszych od 600 m część wykresu prądu o stromych zboczach jest proporcjonalnie większa.



Rys. 10. Przebieg prądu w wybranych punktach przewodów jezdnych w funkcji drogi przejazdu, dla modelu z rys. 5

Fig. 10. A transient of the current in the chosen point of the contact wires in the function of the overpassed distance for the model (fig. 5)

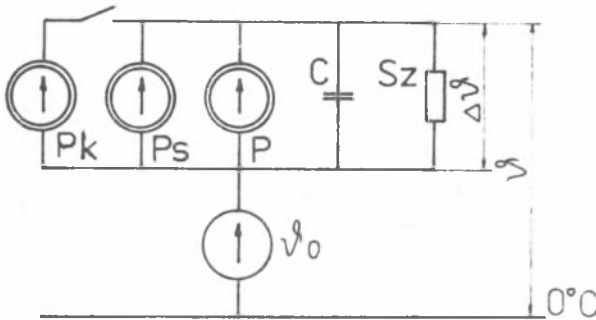
4.2. Obliczenia cieplne przewodu jezdnego

Złożoność funkcji przebiegu prądu podczas przejazdu lokomotywy podyktowała wybór metody liczenia temperatur. Zastosowano całkowanie przybliżone - dzieląc rzeczywisty przebieg wykresu prądu na szereg prostokątnych wycinków, dla których czas przejazdu lokomotywy spełnia warunek:

- czas przejazdu poprzez wycinek $\Delta t \ll T$, gdzie T jest stałą czasową.

Na temperaturę rozpatrywanego punktu przewodu jezdnego poza mocą elektryczną traconą na rezystancji przewodu ma wpływ temperatura otoczenia t_0 , promieniowanie ciepłe słońca P_s oraz chwilowy wzrost temperatury przewodu jezdnego od strat mocy P_k na rezystancji styku z odbiornikiem [2].

Model cieplny wycinka przewodu jezdnego, po uwzględnieniu dodatkowych czynników, jest bardziej rozbudowany, lecz wierniej oddaje stan faktyczny (rys. 11). Odłącznik w obwodzie mocy wydzielonej na rezystancji styku przewodu jezdnego z odbierakiem świadczy o krótkotrwałym charakterze tych strat.



Rys. 11. Zastępczy schemat cieplny wycinka przewodu jezdnego uwzględniający wpływ promieniowania słonecznego (źródło P_s) oraz moc wydzieloną na zestyku sieci z odbierakiem (źródło P_k) v_0 - temperatura otoczenia, $\Delta\psi$ - przyrost temperatury, ψ - temperatura wycinka przewodu

Fig. 11. A substitute thermal scheme of the sector of the contact wire taking into account an effect of solar radiation (source P_s) and a power emitted in the contact of the system and the collector (source P_k)

4.3. Wykresy temperatur maksymalnych przewodu jezdnego.

Obciążalność termiczna przewodu jezdnego

Warunki eksploatacji przewodu jezdnego określone są przez trzy zakresy przyrostów temperatur pracy:

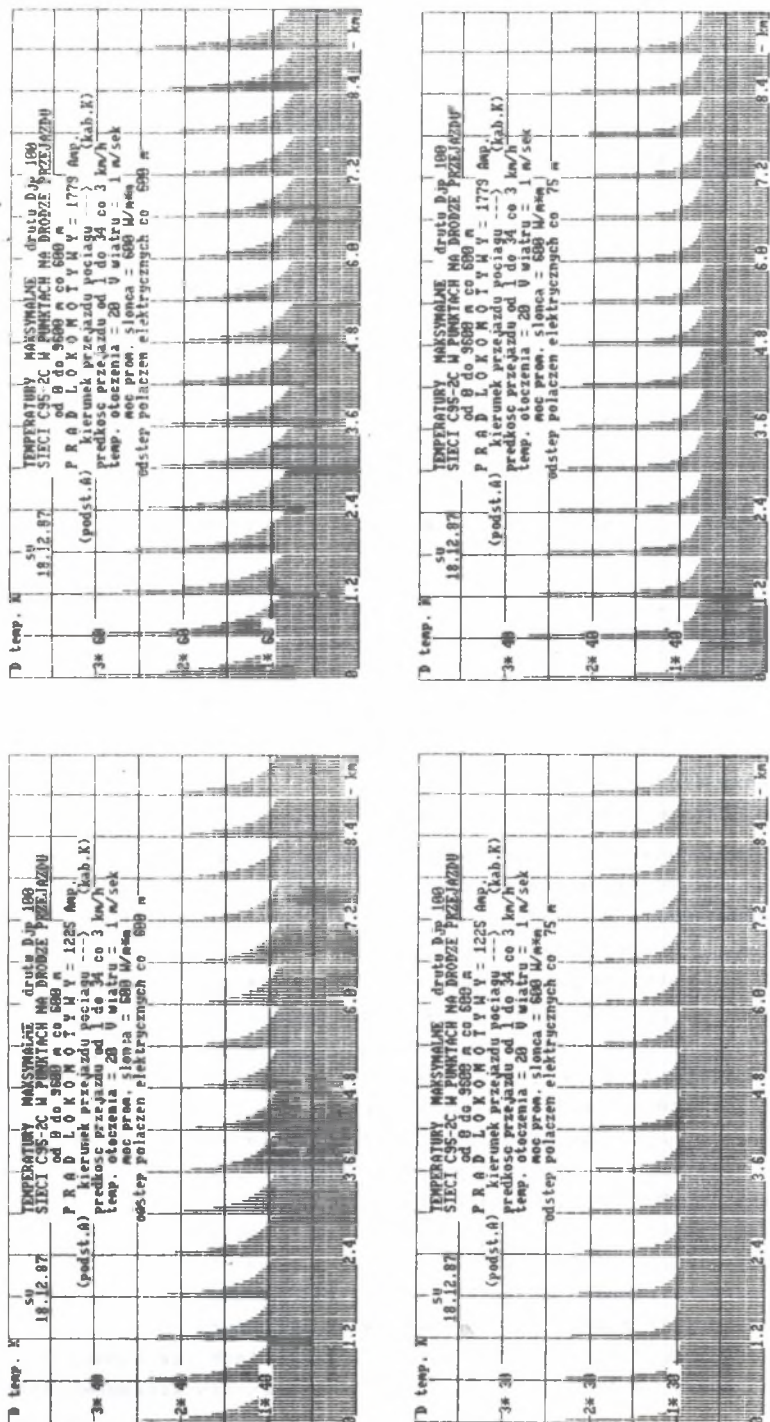
- a) dla nagrzewania długotrwałego - 65°C ,
- b) dla nagrzewania krótkotrwałego - 85°C ,
- c) dla warunków ekstremalnych - 130°C .

Temperatury te warunkują dopuszczalną obciążalność prądową sieci jezdnej, a co za tym idzie, i nagrzewanie.

W eksploatowanej sieci jezdnej nie należy przekraczać żadnej z dopuszczalnych temperatur. Ocena obciążalności termicznej sieci jezdnej (przewodu) sprowadza się zatem do porównania temperatur przewodu jezdnego występujących podczas przejazdu lokomotywy przez zadany odcinek z jedną z temperatur dopuszczalnych. Szerokość przedziału czasowego, w którym temperatury osiągnęły wartości wyższe, wskazuje na warunki i charakter przeciążenia sieci (krótkotrwałe czy długotrwałe).

Wykresy temperatur przewodu jezdnego sporządzono dla sieci typu C95-2C oraz dla prądów maksymalnych mogących wystąpić podczas przejazdu lokomotywy dwuczłonowej $Bo-Bo+Bo-Bo$. W sieci natomiast uwzględniono jedynie połączenia prądowe istniejące jak i dodatkowe, tak by odległość między nimi wynosiła odpowiednio 75, 150 i 600 m. Przewidziano także możliwość wzrostu prądu rozruchu silnika do $150\% I_h$ [7]. Dla lokomotywy dwuczłonowej uzyskano następujące pobory prądu w zakresach prędkości:

- a) do 25 km/h , prądy od $800-1200 \text{ A}$ (silniki w połączeniach szeregowych),
- b) pow. 25 km/h , prądy od $1600-1800 \text{ A}$ (silniki w połączeniu szeregowo-równoległym).



Rys. 12. Wydruki komputerowe temperatur maksymalnych przewodów jezdnych sieci w funkcji drogi przejazdu lokomotywy (A-K) dla wybranych punktów

a i c - temperatury maksymalne dla połączeń prędkości 600 m, b i d - temperatury maksymalne dla połączeń prędkości 75 m

Fig. 12. Computer printout of the maximal temperatures in the contact wires of the overpassed distance of the engine for the chosen points

Obliczenia temperatur maksymalnych podczas przejazdu lokomotywy przez odcinek zasilania od podstacji "A" do kabiny sekcyjnej "K" wykonano dla prędkości jazdy 1-34 km/h. Jazdy z małymi prędkościami są krótkotrwałe, ale w istotny sposób wpływają na temperaturę przewodu jezdnego. Wykresy temperatur maksymalnych dla małych prędkości jazdy wskazują na nierównomierne obciążenie sieci jezdnej na odcinku podstacja - kabina sekcyjna. Na rys. 12 przedstawiono wydruki komputerowe widma temperatur maksymalnych przewodu jezdnego w funkcji lokalizacji punktu odbioru prądu dla prędkości jazdy od 1 do 34 km/h, połączeń prądowych co 600 i 75 m oraz pobieranych prądów - ok. 1200, 1800 A (wydruki a, b, c i d).

W wykresach temperatur maksymalnych występujących podczas przejazdu lokomotywy na drodze A - K uwzględniono współczynnik W wzrostu strat mocy pochodzących od nierównomierności rozdziału prądu między przewodami jezdnyymi, równy $1,36$ ($1 \leq w \leq 2$). Najwyższe temperatury przewodu jezdnego występują w okolicach punktów zasilania (podstacji), nieco niższe w sąsiedztwie kabiny sekcyjnej oraz najniższe w odległości $2/3$ od podstacji. Zależności te są niezmiennie tak dla rozpatrywanej sieci C95-2C, jak i dla pozostałych typów sieci jezdnych.

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wskazują wpływ odległości między połączeniami prądowymi linki nośnej z przewoda i jezdnyymi na straty mocy wydzielone w przewodach jezdnych. Wyznaczone nierównomierności rozplywu prądu oraz wywołane nimi dodatkowe przyrosty temperatur mogą wyjaśnić niektóre przyczyny przepaleń i zerwań przewodów jezdnych.

Celowe staje się uściślenie metod projektowania sieci przy uwzględnieniu nierównomierności rozplywu prądu między linią nośną a przewodami jezdnyymi.

Stwierdzono możliwość wydatnego wzmocnienia sieci jezdnej przez zastosowanie dodatkowych połączeń prądowych, jeżeli nie na całej długości, to w miejscach najbardziej obciążonych (okolice podstacji i kabiny sekcyjnej) przyjmując odpowiednie odległości połączeń prądowych.

Przedstawiony sposób obliczeń sieci jezdnej może służyć do prognozowania dopuszczalnej gęstości ruchu pociągów ze względu na nagrzewanie sieci.

LITERATURA

- [1] Fidrych Z., Żurek Z.; Badanie rozplywu prądu w łańcuchowej sieci trakcyjnej. ZN Pol.Sl., seria: Transport, t. 1. Gliwice 1989.
- [2] Roman Z.; Współpraca dynamiczna odbieraka prądu z siecią trakcyjną i jej wpływ na warunki odbioru prądu poprzez silnie obciążony zestyk prądowy. Praca COBiRTK, Z-75/76 WKiŁ, Warszawa 1980.

- [3] Podoński J., Kacprzak J., Myszek J.: Zasada trakcji elektrycznej. WKiŁ, Warszawa 1980.
- [4] Schmidt P.: Erwärmung und thermische Belastbarkeit von Fahrleitungen. Wissenschaftl. Zschr. d. Hochschule für Verkehrswesen "Friedrich List" in Dresden. 27(1980) H.1.
- [5] Hobler T.: Ruch ciepła i wymienniki. WNT, Warszawa 1986.
- [6] Określenie trwałości i niezawodności sieci trakcyjnej. Prace COBiRTK. Z-71, WKiŁ, Warszawa 1978.
- [7] Frontczak F., Adamiak S.: Wpływ dużej szybkości jazdy na układ zasilania trakcji elektrycznej. Problemy kolejnictwa, Z-58/59, WKiŁ, Warszawa 1973.

НАГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ
КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Р е з ю м е

Целью статьи является уточнение способа расчета нагрузочной способности контактной сети, благодаря учету неравномерности распределения тока между тросом и контактными проводами. В настоящее время проектирование цепных конструкций контактной сети ведется по динамике взаимодействия с токоприемником, пренебрегая одной из важнейших ее функций – непосредственным питанием.

Распределение тока в конструкции подвешивания между несущим тросом и контактными проводами, при отсутствии надежного контакта между ними, является причиной возникновения дополнительных тепловых проводов.

В статье предложен метод определения способа распределения тока в контактной сети для разных типов контактных подвесок, вблизи токоприемника и в более отдаленных точках, а также метод расчета температуры контактного провода. Описан способ приближения величины нагрузочной способности контактной сети к величине, определяемой ее суммарным сечением несущего троса и контактных проводов, путем применения дополнительных токонесущих соединений. Представлены результаты компьютерного расчета нагрева контактных проводов С95-2С до и после усиления, для установленного потребления тока в широком диапазоне скоростей движения.

Указана возможность увеличения на 20 – 30% допускаемой токовой нагрузки для эксплуатируемой в настоящее время контактной сети, при минимальных капитальных затратах.

CURRENT-CARRYING CAPACITY
OF RAILWAY CONTACT SYSTEM

S u m m a r y

The purpose of this article is to show the necessity of change of the calculation procedure of current-carrying capacity of contact system taking into account non-uniform distribution of current between the catenary and trolley wires.

Nowadays the railway contact systems are designed from the point of view of dynamic cooperation with current collector omitting one of more important functions of the system, viz. direct supply.

A separation of current circuits (catenary wire-trolley wires) by means of droppers without effective current connections between them results in additional thermal overloads in trolley wires.

In this article a calculation procedure of current distribution in the contact system for various type of droppers in the proximity of current collecting point is proposed and the calculation method of trolley wire temperature is given.

Taking full advantage of total cross-section area of contact system wires (catenary + trolley wires) by use of additional current connections is also discussed.

Computer printouts of heating the trolley wire of C95-2C contact system for steady current input within the wide range of travelling speed are given without and with additional current connections. Possibility of increasing the current-carrying for existing contact systems by 20 to 30 percent at minimum capital outlays has been proved.