

## Opracowanie modelu rozptyłu prądu w sieciach jezdnych dla innowacyjnego systemu odladzania

Marek SKRZYNIARZ<sup>1</sup>, Włodzimierz KRUCZEK<sup>2</sup>, Kamil MIKE<sup>3</sup>, Piotr STYPUŁKOWSKI<sup>4</sup>

### Streszczenie

Oblodzenie sieci trakcyjnej uniemożliwia skuteczne i efektywne odbieranie prądu z sieci trakcyjnej. Na skutek oblodzenia mogą wystąpić straty u przewoźników z powodu opóźnienia lub odwołania pociągów. Zdarzają się także przypadki uszkodzenia infrastruktury trakcyjnej oraz pantografów. Istniejące metody odladzania sieci trakcyjnej (mechaniczne, chemiczne i elektryczne) są obecnie nieefektywne. Z tego względu konieczne jest opracowanie nowej, elektrycznej metody, która uwzględni szczegółowy rozptył prądu w sieci trakcyjnej. W artykule zaprezentowano model do obliczeń rozptyłu prądu w sieci trakcyjnej oraz zmierzone, na podstawie rzeczywistych pomiarów, rezystancje wieszaków, elementów podwieszonych oraz uchwyty odległościowych do przewodów jezdnych.

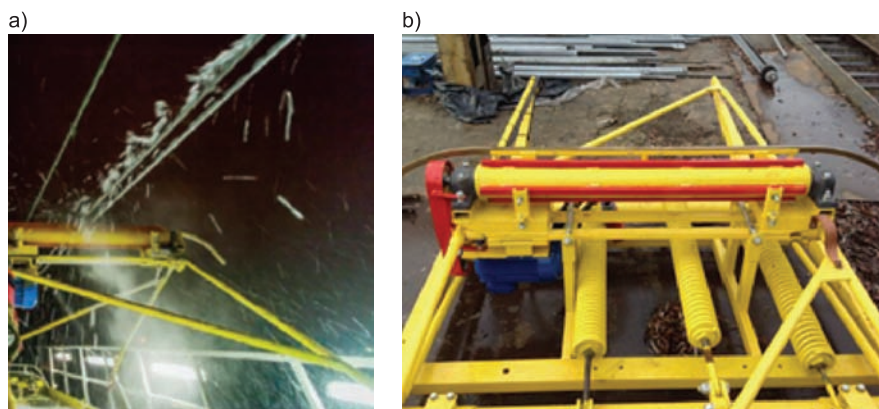
**Słowa kluczowe:** model symulacyjny, odladzanie sieci jezdnej, rozptył prądu w sieci trakcyjnej

### 1. Wstęp

Oblodzenie sieci jezdnej niesie ze sobą wiele negatywnych skutków. Pośród nich można wyróżnić opóźnienia lub całkowite odwołania ruchu pociągów, przeciążenia i wywiania sieci trakcyjnej, palenie się łuku elektrycznego między pantografem i przewodem jezdny po najbardziej kosztowne i niebezpieczne dla życia ludzkiego zawalenie konstrukcji wsporczych.

Istniejące metody odladzania można podzielić na: mechaniczne, chemiczne i elektryczne. Do pierwszych z nich zalicza się: odladzanie za pomocą specjalnego urządzenia (rys. 1) lub odladzanie za pomocą izolowanego drąga (rys. 2). Metody mechaniczne są niezwykle pracochłonne oraz niebezpieczne dla osób wykonujących te czynności. Ponadto, układ geometryczny sieci trakcyjnej może zostać naruszony.

Rys. 1. Urządzenie odladzające typu USO-1A [1]: a) widok urządzenia w trakcie pracy, b) widok zdemontowanego urządzenia



<sup>1</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Elektroenergetyki; e-mail: mskrzyniarz@ikolej.pl.

<sup>2</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Elektroenergetyki; e-mail: wkruczek@ikolej.pl.

<sup>3</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Elektroenergetyki; e-mail: kmike@ikolej.pl.

<sup>4</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Elektroenergetyki; e-mail: pstypulkowski@ikolej.pl.



Rys. 2. Mechaniczne odładzanie sieci trakcyjnej za pomocą izolowanego drąga [2]

Chemiczne metody odładzania polegają na nanoszeniu substancji chemicznych, które w znaczący sposób utrudniają powstawanie oblodzenia sieci jezdnej. Wadami metod chemicznych jest krótkotrwały czas działania oraz znaczne zanieczyszczenie środowiska. Istniejące metody elektryczne są albo nieefektywne, albo nie mają regulacji prądem grzewczym lub nie dostosowują wartości prądu grzewczego do istniejących warunków pogodowych.

W celu stworzenia nowego oraz innowacyjnego systemu odładzania sieci jezdnej, konieczne jest stworzenie modelu rozptywu prądu w sieciach trakcyjnych z uwzględnieniem takich parametrów jak: elementy podwieszenia, lina nośna oraz przewód jezdny, uchwyty odległościowe elementy podwieszeń (ukośnik, wysięg, ramiona odciągowe) oraz inne połączenia elektryczne i mechaniczne wykonane z materiałów przewodzących.

Autorzy publikacji [3] opracowali model rozptywu prądu z pokazaniem miejsc, gdzie dochodzi do nadmiernych wzrostów temperatur przy przejeździe pociągów towarowych.

Autorzy artykułu [4] wykonali testy i badania rzeczywiste obciążalności prądowej sieci trakcyjnej. Zostały obliczone przyrosty temperatur dla poszczególnych typów przewodów jezdnych i lin nośnych w różnych warunkach atmosferycznych.

Autorzy referatu [5] stworzyli model matematyczny uwzględniający równania kinematyczne, zagadnienia sterowania ruchem kolejowym, napięcie w sieci trakcyjnej, zapotrzebowanie na moc i jej zużycie na podstawie rzeczywistych pomiarów.

Autorzy publikacji [6, 7] stworzyli model do obliczeń asymetrycznego prądu wstecznego dla systemu zasilanie AC.

Po analizie powołanej literatury, pojawiła się konieczność stworzenia modelu symulacyjnego do obliczeń rozptywu prądu w sieci trakcyjnej systemu DC.

## 2. Model symulacyjny sieci trakcyjnej do obliczeń rozptywu prądów

Elementy górnej sieci trakcyjnej są połączone ze sobą elektrycznie stanowiąc układ, w którym przewody jezdne i lina nośna są głównymi nośnikami energii elektrycznej. Przewody jezdne i lina nośna pracują równolegle i są połączone poprzecznie przez wieszaki, uchwyty odległościowe, elementy podwieszeń (ukośnik, wysięg, ramiona odciągowe) oraz inne połączenia elektryczne i mechaniczne wykonane z materiałów przewodzących.

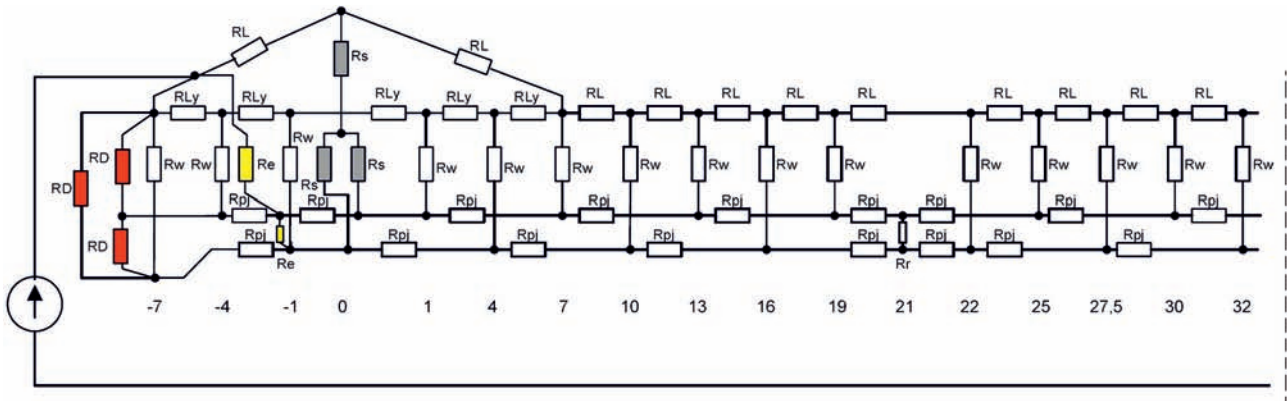
Model do badań symulacyjnych rozptywu prądu w górnej sieci trakcyjnej powinien uwzględniać wszystkie te elementy i połączenia. Powinien również uwzględniać parametry elektryczne elementów i połączeń między nimi. Sieć trakcyjna składa się z pręseł o jednakowej długości normalnej i konstrukcji dla całej sieci określonego typu, dlatego w celu ograniczenia wielkości modelu zdecydowano się na odwzorowanie jednego pręśla. Model ten ma służyć do badań symulacyjnych rozptywu prądu w typach sieci z linami o przekroju  $150 \text{ mm}^2$  i  $120 \text{ mm}^2$ . Z tego względu przyjęto rozpiętość pręśla 62 m, która występuje w obydwu typach modelowanej sieci. Dodatkowo, odstęp między wieszakami są jednakowe dla obydwu typów. Ponieważ rozważany jest układ sieci trakcyjnej pracujący w systemie prądu stałego, w modelu występują tylko elementy rezystancyjne. Układ opracowanego modelu przedstawiono na rysunku 3.

Wartości elementów modelu określono metodą obliczeniową lub pomiarową. Rezystancje odcinków liny nośnej (RL), linki uelastyczniającej „Y” (RLy) oraz przewodów jezdnych (Rpj) obliczono jako iloczyn rezystancji 1 m przewodu lub liny oraz długości przewodu lub liny pomiędzy węzłami. Ze względu na występowanie połączeń mechanicznych, do wyznaczenia rezystancji wieszaków (Rw) posłużono się metodą pomiarową, aby uniknąć skomplikowanych obliczeń. Zmierzono rezystancję przejścia pomiędzy liną nośną i wieszakiem oraz wieszakiem i przewodem jezdny, natomiast obliczono rezystancję linki wieszakowej. W podobny sposób wyznaczono rezystancję połączeń elektrycznych (Re). Wszystkie obliczenia wykonano przyjmując wartości jednostkowe rezystancji lin i przewodów przedstawionych w tabelicy 1.

Rezystancje pozostałych elementów: elementów podwieszeń (Rs) i uchwytów odległościowych (Rr)

wyznaczono na podstawie pomiarów w laboratorium Zakładu Elektroenergetyki Instytutu Kolejnictwa. Wszystkie pomiary wykonano na trzech próbkach dla czterech wartości prądu, a jako końcowy wynik

pomiarów przyjęto wartość średnią wszystkich pomiarów. Wyniki wykonywanych pomiarów przedstawiono w tablicach 2–4, natomiast rezystancje wieszaków w tablicy 5.



Rys. 3. Fragment modelu górnej sieci trakcyjnej

Tablica 1

## Wartości jednostkowe rezystancji lin i przewodów

Rodzaj liny lub przewodu		Rezystancja jednostkowa [mΩ/m]
Symbol	Nazwa lub funkcja	
DjpS150	Przewód jezdny o przekroju 150 mm <sup>2</sup>	0,1167
L10	Linka wieszakowa o przekroju 10 mm <sup>2</sup>	1,77
L35	Linka uelastyczniająca „Y” o przekroju 35 mm <sup>2</sup>	0,5159
L120	Lina nośna o przekroju 120 mm <sup>2</sup>	0,1540
L150	Lina nośna o przekroju 150 mm <sup>2</sup>	0,1183
L <sub>2</sub> 185	Lina do połączeń elektrycznych o przekroju 150 mm <sup>2</sup>	0,1015

[Opracowanie własne].

Tablica 2

## Wyniki pomiarów rezystancji przejścia lina nośna – wieszak i wieszak – przewód jezdny

Prąd [A]	Rezystancja przejścia lina nośna – wieszak [mΩ]	Rezystancja przejścia przewód jezdny – wieszak [mΩ]	Sumaryczna rezystancja przejścia [mΩ]
<b>Próbka 1</b>			
5	0,46	0,48	0,94
10	0,42	0,45	0,87
15	0,39	0,45	0,84
50	0,40	0,50	0,90
<b>Próbka 2</b>			
5	0,41	0,51	0,92
10	0,44	0,49	0,93
15	0,45	0,54	0,99
50	0,43	0,51	0,94
<b>Próbka 3</b>			
5	0,44	0,47	0,91
10	0,45	0,45	0,90
15	0,42	0,51	0,93
50	0,47	0,48	0,95

[Opracowanie własne].

W opracowanym modelu zastosowano dwa źródła umożliwiające symulację rozptywu prądów przy jedno- i dwustronnym zasilaniu. Odbiór prądu z sieci następuje przez rezystor  $R_0$ , którego wartością jest regulowany całkowity prąd obciążenia sieci. Rezystory RD odwzorowują sąsiednie przęsła.

Tablica 3

## Wyniki pomiarów rezystancji elementów podwieszenia

Prąd [A]	Rezystancja ramion odciągowych wraz z mocowaniem przewodu jezdnego [mΩ]	Rezystancja pomiędzy ramieniem odciągowym a liną nośną [mΩ]
<b>Próbka 1</b>		
5	6,94	1,54
10	6,85	1,60
15	6,86	1,55
50	6,89	1,45
<b>Próbka 2</b>		
5	6,83	1,56
10	6,85	1,52
15	6,89	1,59
50	6,90	1,48
<b>Próbka 3</b>		
5	6,77	1,51
10	6,86	1,48
15	6,88	1,50
50	6,89	1,51

[Opracowanie własne].

Tablica 4

## Wyniki pomiarów rezystancji uchwytów odległościowych

Prąd [A]	Próbka 1 [mΩ]	Próbka 2 [mΩ]	Próbka 3 [mΩ]
5	0,061	0,048	0,051
10	0,048	0,049	0,056
15	0,052	0,051	0,049
50	0,048	0,053	0,050

[Opracowanie własne].

Tablica 5

## Rezystancja wieszaków wraz z połączeniami [mΩ]

Lokalizacja wieszaka – odległość od słupa [m]	Sieć z liną nośną o przekroju 150 mm <sup>2</sup>	Sieć z liną nośną o przekroju 120 mm <sup>2</sup>
-7	2,513	2,325
-4	2,122	1,934
-1	1,933	1,745
1	1,933	1,745
4	2,122	1,934
7	2,513	2,325
10	2,678	2,473
13	2,458	2,227
16	2,273	2,019
19	2,121	1,849
22	2,003	1,716
25	1,917	1,620
27,5	1,872	1,569
30	1,850	1,544
32	1,850	1,544
34,5	1,872	1,569
37	1,917	1,620
40	2,003	1,716
43	2,121	1,849
46	2,273	2,019
49	2,458	2,227
52	2,678	2,473
55	2,513	2,325
58	2,122	1,934
61	1,933	1,745
63	1,933	1,745
66	2,122	1,934
69	2,513	2,325

[Opracowanie własne].

### 3. Wnioski

W artykule wykazano, iż stosowane obecnie metody odładzania sieci trakcyjnej są nieefektywne. Metody mechaniczne są czasochłonne i niebezpieczne dla załogi, które je wykonują. Metody chemiczne są szkodliwe dla środowiska i nie są skuteczne w stu procentach. Metody elektryczne zaś nie mają regulacji prądem grzewczym, nie uwzględniają stopnia zużycia przewodu jezdnego oraz nie uwzględniają warunków pogodowych. Z tego powodu konieczne jest opracowanie innowacyjnej metody. W tym celu stworzono model symulacyjny do rozptywu prądów. Autorzy

przedstawili wyliczone oraz otrzymane w wyniku rzeczywistych pomiarów wartości rezystancji jednostkowych przewodów jezdnych i lin nośnych, rezystancje elementów podwieszenia, wieszaków oraz uchwytów odległościowych. Zaprezentowane wyniki są jednym z etapów tworzenia nowej, innowacyjnej metody odładzania sieci jezdnej. Następne wyniki badań będą przedstawione w kolejnych publikacjach naukowych.

## Literatura

1. Przybylska K., W. Sawczuk W.: *Problematyka oblodzeń sieci trakcyjnej*, *Logistyka*, 2015, nr 3, s. 4020–4028.
2. Heyun L., Xiaosong G., T. Wenbin T.: *Icing and Anti-Icing of Railway Contact Wires*, Edited by Xavier Perpinya, DOI: 10.5772/37141.
3. Żurek Z.H., Duka P.: *Obciążalność prądowa sieci trakcyjnej systemu 3 kv w świetle zwiększania mocy i prędkości*, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport, Rocznik 2017, Tom z. 119*, s. 529–539.
4. Rojek A. et.al.: *Obciążalność prądowa górnej sieci trakcyjnej*, *Czasopismo techniczne*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2007, z. 1-E.
5. Tian Z. et.al.: *Traction Power Substation Load Analysis with Various Train Operating Styles and Substation Fault Modes*, *Energies*, 2020, T. 13, nr 11, s. 2788.
6. Makasheva S.I.: *Simulation of a Return Current System for AC Power Traction Network*, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, t. 272, nr 2, s. 022071, czerwiec. 2019.
7. Isaicheva A.G. et.al.: *Simulation of the process of current distribution in a traction rail network*, *J. Phys. Conf. Ser.*, t. 2094, nr 5, s. 052058, lis. 2021.

## Podziękowania

Artykuł napisano w ramach projektu nr.: POIR.01.01.01-00-0052/20 współfinansowanego z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju pt.: „Opracowanie prototypu innowacyjnego systemu zapobiegającemu obładzaniu i oszranianiu kolejowej sieci trakcyjnej z wykorzystaniem automatycznej stacji pogodowej”.