

Emil Onderka

## Metody likwidacji sadzi i oblodzenia sieci trakcyjnej

*Sadź i oblodzenie, występujące na przewodach jezdnych sieci trakcyjnej, są źródłem zakłóceń w jej normalnej pracy, powodując pogorszenie warunków współpracy odbieraka prądu z siecią oraz wpływa ujemnie na samą sieć. Efektem pogorszenia warunków odbioru prądu jest intensywne iskrzenie, które w konsekwencji prowadzi do zwiększenia zużycia zarówno przewodów jezdnych, jak i ślizgów odbieraków prądu oraz miejscowe nagrzewanie się przewodów jezdnych, prowadzące niejednokrotnie do ich przepalenia. Szczególne zagrożenie dla sieci stwarza sadź, a tym bardziej osad lodowy w miejscach rozruchu pojazdów trakcyjnych (np. w rejonie semaforów), tj. w miejscach dużego poboru prądu z sieci przez tabor.*

Dodatkowe mechaniczne obciążenie sieci osadem lodowym nie jest na tyle duże, aby spowodować zerwanie lin nośnych czy przewodów jezdnych. Z pewnością może jednak zakłócić pracę urządzeń naprężających, a także spowodować znaczne kołysanie się sieci pod wpływem wiatru, zwłaszcza że lód według badań francuskich układa się w sprzyjający ku temu kształt, a mianowicie w kształt skrzydeł samolotu.

Wywianie sieci powyżej określonej wartości prowadzi do jej uszkodzenia, a nawet zerwania przez odbierak prądu. W warunkach sieci PKP przypadki oblodzeń przewodów występowały stosunkowo rzadko, jednak skutki tam, gdzie zjawisko wystąpiło, były dość groźne (przepalenia sieci). Oblodzenie sieci jezdnej, które wystąpiło w styczniu 2010 r. w sposób zdecydowany zakłóciło ruch pociągów.

Istnieje kilka sposobów usuwania sadzi i lodu z przewodów jezdnych stosowanych przez zagraniczne zarządy kolejowe na terenach, na których zjawisko występowania sadzi i oblodzeń występują znacznie częściej i na większych obszarach.

### Koleje francuskie

Przy trakcji elektrycznej prądu zmiennego nie są stosowane środki zaradcze, gdyż zjawisko sadzi i oblodzenia nie powoduje większych trudności eksploatacyjnych.

Przy trakcji elektrycznej prądu stałego (1500 V) stosowane są trzy rodzaje środków łagodzących działanie sadzi na sieci trakcyjnej:

- sygnalizowanie (przez wskazówki przy torze) stref podlegających oszronieniu, zobowiązujące maszynistów do jazdy z użyciem dwóch odbieraków prądu;
- podgrzewanie całych odcinków zasilania lub smarowanie środkami antyszronowymi krótkich odcinków przewodów w strefach, gdzie występują częste rozruchy pojazdów trakcyjnych;
- grzanie sieci przez dokonywanie kilkunastominutowych zwarć obwodu.

### Koleje japońskie

W sieci o przekroju 170 mm<sup>2</sup> przy prądzie stałym 3000 V stwierdzono doświadczalnie, że w zależności od temperatury i prędkości wiatru potrzeba natężeń prądu przedstawionych w tabeli 1, aby zapobiec zjawisku oblodzenia przewodu jezdnego.

Tabela 1

Temperatura [°C]	Prędkość wiatru [m/s]	Natężenie prądu [A]
-3	0	310
-3	4	420
-3	8	500
-5	0	330
-5	4	550
-5	8	600
-8	0	370
-8	4	680
-8	8	700

### Koleje słowackie

Stosowany jest tu większy nacisk odbieraków prądu na sieć 120 N oraz jazda na dwóch pantografach. Sposób ten stosowany powszechnie powoduje bardzo szybkie zużycie przewodów jezdnych, a co za tym idzie częstą ich wymianę.

### Koleje rosyjskie

Z uwagi na duże obszary o ostrym klimacie zjawisko oszronienia i oblodzenia występuje tu powszechnie, stąd najwięcej doświadczeń oraz metod usuwania oblodzenia i oszronienia, co znajduje swoje odbicie w literaturze technicznej.

Rozróżnia się tu dwa rodzaje metod usuwania oblodzenia i sadzi, tj. metody:

- mechaniczne,
- elektryczne.

Przy większych prędkościach jazdy pociągów, z uwagi na powstawanie silnych drgań przewodów, usuwanie sadzi z przewodów sieci trakcyjnej nie nastęrcza większych kłopotów. Jej struktura (blaszki lodowe, kryształy szkieletowe) powoduje łatwość jej odpadania pod wpływem działania odbieraków prądu. Przy mniejszych prędkościach drgania powodowane odbierakami nie są wystarczające. W tych przypadkach sadź usuwa się wytwarzając sztuczne drgania, nawet uderzając w nie drągami. Są to drągi izolacyjne o odpowiednio dużej wytrzymałości dielektrycznej, umożliwiające uderzenie w sieć będącą pod napięciem. Sposoby te nie są skuteczne do usuwania osadu lodowego (odmienna struktura fizyczna).

Oblodzenie usuwane jest przy użyciu drezyn z zamontowanymi na nich specjalnymi urządzeniami.

Urządzenie takie składa się z odpowiedniej ramy z zamontowanym na niej wirującym bębniem napędzanym silnikiem elektrycznym lub sprężonym powietrzem. Bęben dociskamy jest do sieci zespołem sprężyn poprzez ramę z siłą 70 do 140 N. Prędkość wirowania bębna wynosi 2000 obr./min. Urządzenie to kru-

szy osad lodowy grubości do 15 mm przy prędkości 50 km/h poruszania się drezyny. Kierunek wirowania bębna musi być zgodny z kierunkiem obrotu kół drezyny. Urządzenie takie odizolowane jest elektrycznie od konstrukcji drezyny i pracuje przy sieci pod napięciem.

Drugim sposobem mechanicznego usuwania osadów lodowych z przewodów sieci trakcyjnej jest stosowanie specjalnej płyty wibrującej, montowanej na pierwszym pantografie. Płota jest wykonana z dwóch elementów stalowych, zwróconych ostrą krawędzią w kierunku przewodów jezdnych.

Do każdego z tych elementów przymocowane są po dwa wibratory pneumatyczne, podłączone do układu powietrznego lokomotywy elektrycznej.

W celu zapewnienia normalnej pracy tłoka popychacza wibratora podaje się, równocześnie z powietrzem, olej maszynowy. Częstotliwość pracy wibratorów wynosi 4 do 5 tys. uderzeń na minutę. Uderzenia te są przenoszone poprzez płyty na przewody jezdne, krusząc w ten sposób osad lodowy i sadź.

W trakcie pracy wibratorów odbierak prądu z zamontowanym na nim wibratorem, winien być odłączony od obwodu głównego lokomotywy. Zasilanie wibratorów sprężonym powietrzem odbywa się za pomocą dielektrycznego przewodu pneumatycznego. Przy prędkości jazdy lokomotywy 60 km/h, urządzenie to zdolne jest skruszyć osad lodowy grubości do 10 mm. Kruszenie osadów lodowych tą metodą odbywa się przy sieci będącej pod napięciem.

Przy usuwaniu osadów na małych odcinkach torów (strefy rozruchu przy semaforach) stosuje się jeszcze skrobaki ręczne, którymi można usuwać oblodzenie z poziomu torowiska. Skrobak zamocowany jest na drążku izolacyjnym. Prowadzony jest on po przewodzie jezdnym za pomocą rolki. Skrobak wymaga obsługi dwóch osób. Jego wadą jest to, że wymaga on przekładania przy każdym uchwycie i zacisku zamontowanym na oczyszczonym przewodzie.

Przy grubszych osadach lodowych, jakie występują na terenach Rosji (rzędu 40 do 50 mm), wymagany jest kilkakrotny przejazd drezyn z wibrującym bębniem. Niszczenie oblodzenia utrudnia duża przyczepność lodu do przewodów, wynosząca ok. 200 N/cm<sup>2</sup>. Przyczepność ta staje się znacznie mniejsza, jeżeli przewody jezdne pokryte są w okresie poprzedzającym powstawanie oblodzenia tłuszczem (np. olej transformatorowy) lub specjalnymi środkami chemicznymi.

Pokrycie powierzchni metalowych (np. samoloty) związkami krzemooorganicznymi zmniejsza siłę przyczepności lodu do powierzchni od 95 do 98%. Do tego celu w Rosji stosowane są różne substancje hydrofobowe. Zmniejszyły one przyczepność lodu do metalu, lecz nadal przyczepność ta była dość duża i wynosiła 80–150 N/cm<sup>2</sup>, w zależności od zastosowanej substancji.

Bardzo dobre wyniki dla zmniejszenia przyczepności lodu do przewodów uzyskano przez ich smarowanie płynem składającym się z 40 części wagowych gliceryny i 60 części wagowych wody. Płyn taki ma punkt zamarzania –15°C. Przyczepność lodu przez pokrycie przewodów wymienionym roztworem zmniejszyła się do 5 N/cm<sup>2</sup>. Przy stosowaniu smarowania przewodów metody mechanicznego usuwania oblodzenia są bardzo skuteczne.

W przypadkach dużych oblodzeń metody mechanicznego ich usuwania są mało skuteczne i czasochłonne. Stosuje się wtedy metody elektryczne polegające na grzaniu sieci przez przepływ prądu o dużym natężeniu.

W zależności od wielu czynników, jak np. linia jednotorowa, dwutorowa, prąd stały, zmienny, przekrój sieci, rodzaj przewodów itp. stosowane są różne układy polegające na tworzeniu zamkniętych obwodów, w których płyną prądy o wymaganych do osiągnięcia potrzebnej temperatury natężeniach.

W trakcie takiego grzania ruch trakcją elektryczną musi być wstrzymany, a sieć musi być obserwowana.

Czas topienia osadu zależy od grubości powłoki lodowej i temperatury przewodu. Gęstość prądu w czasie topienia lodu dopuszcza się 5–6 A/mm<sup>2</sup>. Bardzo dobre wyniki uzyskuje się przez profilaktyczne podgrzewanie przewodów przez utrzymywanie prądu o gęstości 2–3 A/mm<sup>2</sup> w przewodach w warunkach sprzyjających powstawaniu oblodzenia. Nie wymaga się w tym przypadku wstrzymania ruchu trakcją elektryczną.

Zalecenia OSŻD są następujące:

- profilaktyczne podgrzewanie przewodu;
- grzanie sieci przez dokonywanie zwarć określonych obwodów, przy wstrzymaniu ruchu pociągów;
- mechaniczne oczyszczanie przewodów jezdnych z osadów lodowych;
- w celu ułatwienia mechanicznego usuwania oblodzenia zaleca się smarowanie przewodów płynami zapobiegającymi oblodzeniu;
- przy oblodzeniu sieci lokomotywy elektryczne powinny jechać z dwoma podniesionymi pantografami.

W zaleceniach tych podano wartości dopuszczalnych prądów zarówno dla profilaktycznego podgrzewania, jak i topienia oblodzenia, przy prędkości wiatru 1 m/s dla różnych temperatur otoczenia przewodu i różnych przekrojów przewodu.

Przykładowo przy  $t = -5^{\circ}\text{C}$  dla drutu miedzianego o przekroju 100 mm<sup>2</sup>, dopuszczalne natężenie prądu w trakcie podgrzewania wynosi 270 A, przy  $t = -10^{\circ}\text{C}$  – 330 A.

W trakcie topienia oblodzenia przy temperaturze –5°C prąd podgrzewania powinien wynosić od 330 A do 745 A, natomiast przy temperaturze –10°C prąd podgrzewania powinien być od 370 A do 760 A.

Do określenia wartości prądu w celu usunięcia oblodzenia z sieci jezdnej C120-2C przeprowadzono następujące obliczenia:

$$S_L = 120 \text{ mm}^2 \quad D_L = 1,4 \text{ cm} \quad R_L = 1,7 \cdot 10^{-6} \Omega/\text{cm}$$

$$S_{df} = 100 \text{ mm}^2 \quad D_{df} = 1,2 \text{ cm} \quad R_{df} = 1,86 \cdot 10^{-6} \Omega/\text{cm}$$

Do odpadnięcia oblodzenia potrzeba, aby część powierzchni nie zakreskowana uległa topieniu. Przyjęto, że wynosi ona:

$$\frac{D}{2} \cdot d \cdot 1,25 = 0,625 D \cdot d$$

Ilość ciepła potrzebna do stopienia lodu na długości  $L = 1$  cm przewodu wynosi:

$$Q = 0,625 \cdot D \cdot d \cdot \gamma \cdot C \cdot L$$

gdzie:

$D, d$  – średnica [cm],

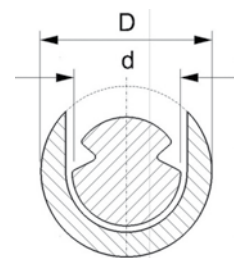
$\gamma$  – ciężar właściwy oblodzenia,  $\gamma = 0,9 \text{ g/cm}^3$ ,

$C$  – ciepło topienia lodu,  $C = 334,864 \text{ J/g}$ ,

$L$  – długość [cm],

$R$  – [ $\Omega/\text{cm}$ ].

$$Q = 187,5 D \cdot d \text{ [J] na 1 cm długości}$$



[1]

Potrzebna ilość energii elektrycznej

$$A = J^2 \cdot R \cdot L \text{ [J]} \quad [2]$$

Zakładając 20% strat na nagrzewanie otaczającego powietrza

$$J^2 \cdot t = 1,2 \cdot 187,5 \cdot \frac{D \cdot d}{R} = 225 \cdot \frac{D \cdot d}{R} \quad [3]$$

Zakładając natężenie prądu, grubość warstwy lodu i parametry przewodu możemy obliczyć czas topnienia tego oblodzenia, lub zakładając czas topnienia znajdujemy konieczne natężenie prądu.

Dla nowego drutu jezdnego

$$s = 100 \text{ mm}^2$$

$$R_{dj} = 1,86 \cdot 10^{-6} \Omega/\text{cm}$$

$$D = 1,2 \text{ cm}$$

Otrzymamy:

$$J^2 \cdot t = 145 \cdot 10^{-6} \cdot D$$

Odpowiednio dla liny nośnej

$$R_L = 1,7 \cdot 10^{-6} \Omega/\text{cm}$$

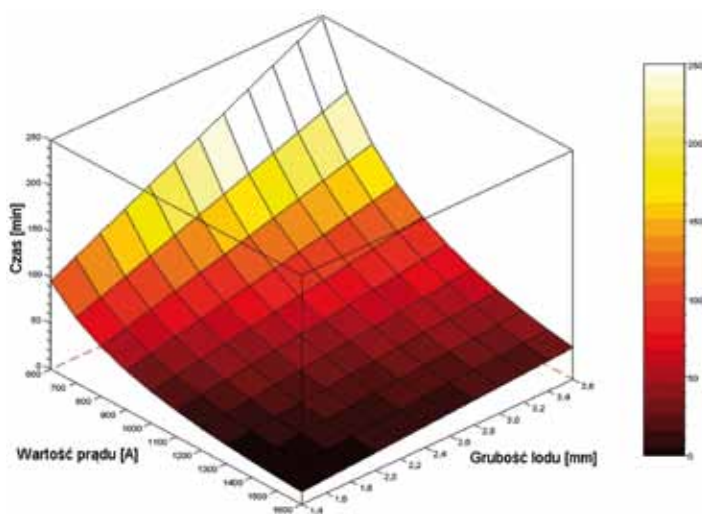
$$s = 120 \text{ mm}^2$$

$$d = 1,4 \text{ cm}$$

otrzymamy:

$$J^2 \cdot t = 185,3 \cdot 10^{-6} \cdot D$$

Na podstawie tych wzorów można graficznie przedstawić zależności czasu topnienia od grubości warstwy lodu przy określonych prądach.



Rys. 1. Likwidacja olodzenia, sieć C120-2C

Z uwagi na to, że oblodzenie nie jest likwidowane jednocześnie, to przewody, z których warstwa lodu odpada, będą nagrzewać się intensywniej.

Górna granica nagrzewania przewodów wolnych od lodu, przy niezmiennym natężeniu prądu, z uwzględnieniem oddawania ciepła otaczającemu powietrzu wyniesie:

$$Q_1 = \frac{0,0057 \sqrt{P \cdot V} \cdot S(t_2^o - t_1^o) \cdot t}{T^{0,123} \cdot \sqrt{d}} \quad [4]$$

gdzie:

$Q_1$  – ciepło odprowadzane przez konwekcję [J],  
 $P$  – ciśnienie [1 atm],

$V$  – prędkość wiatru;  $V = 0,6 \text{ m/s}$ ,  
 $S$  – powierzchnia przewodu;  $S = 1,1\pi d \cdot 1$ ;  $L = 1 \text{ cm}$ ,  
 $D$  – średnica przewodu [cm],  
 $T^{0,123}$  – średnia temperatura przewodu i otaczającego powietrza w skali absolutnej;  $T^{0,123} = 2$   
 $t_2^o$  – temperatura przewodu  
 $t_1^o$  – temperatura powietrza;  $t_1^o = 0^\circ\text{C}$

stąd

$$Q_1 = 0,0076 \sqrt{d} \cdot t_2^o \cdot t \quad [5]$$

porównując wzór [2] i [4] otrzymamy

$$0,24 J^2 \cdot R \cdot t = 0,0076 \sqrt{d} \cdot t_2^o \cdot t$$

stąd:

$$t = \frac{0,24 J^2 \cdot R}{0,0076 \sqrt{d}} \quad [6]$$

dla drutu jezdnego  $100 \text{ mm}^2$

$$t_2^o = 0,536 \cdot 10^{-4} \cdot J^2$$

dla liny nośnej  $120 \text{ mm}^2$

$$t_2^o = 0,454 \cdot 10^{-4} \cdot J^2$$

Ze wzoru [6] znajdujemy temperatury do jakich nagrzeją się przewody wolne od lodu, np. dla:

$$J_g = 200 \text{ A}; J_L = 270 \text{ A}; t_{dj} = 2,14^\circ\text{C}; t_L = 3,31^\circ\text{C}$$

$$J_g = 310 \text{ A}; J_L = 425 \text{ A}; t_{dj} = 5,16^\circ\text{C}; t_L = 7,83^\circ\text{C}$$

$$J_g = 450 \text{ A}; J_L = 600 \text{ A}; t_{dj} = 10,85^\circ\text{C}; t_L = 16,32^\circ\text{C}$$

Przy miejscowym zużyciu przewodu o 40% temperatura nagrzania punktu o zmniejszonym przekroju  $t_{dj} = 21,06^\circ\text{C}$  przy  $J_{dj} = 450 \text{ A}$

## Wnioski

W warunkach PLK oblodzenie w znacznym stopniu wprowadza ograniczenie w ruchu kolejowym.

## Przykłady zastosowania ogrzewania sieci jezdnej prądem

Parametry linii: sieć C120-2C, tor z nawierzchnią S49 dla linii zakopiańskiej.

Proponuje się stosować profilaktyczne podgrzanie sieci. Do przykładu podgrzewania przyjęto odcinek od podstacji w Chabówce do stacji Zakopane, długość ok. 45 km (linia jednotorowa). Przy zasilaniu z podstacji w Chabówce (podstacja Lasek i Poronin wyłączona, odłączniki nr 101 przy wyłączonych podstacjach – zamknięte). Wykonując zwarcie w sieci jezdnej w Zakopanym natężenie prądu wyniesie:

$$R = R_s + R_{sz} = 2,7 \Omega + 0,5 \Omega = 3,2 \Omega \text{ (przewody nowe)}$$

$$J = 3300 \text{ V}/3,2 \Omega = 1031 \text{ A} \quad (930 \text{ A przy 20\% zużycia } d_j)$$

$$(800 \text{ A przy 40\% zużycia } d_j)$$

$$J_{dj} = 310 \text{ A przy 20\% zużyciu przewodów } J_{dj} = 280 \text{ A}; J_L = 370 \text{ A}$$

$$J_{in} = 310 \text{ A przy 40\% zużyciu przewodów } J_{dj} = 210 \text{ A}; J_L = 380 \text{ A}$$

Dokończenie na s. 72 >