

Eksperymentalna ocena bezstykowej metody ogrzewania w systemie elektrycznego ogrzewania rozjazdów kolejowych

Dariusz BRODOWSKI¹, Mateusz FLIS²

Streszczenie

W warunkach zimowych rozjazdy kolejowe są elementem infrastruktury kolejowej, który jest szczególnie narażony na działanie warunków atmosferycznych, takich jak opady i nawiewanie śniegu, opady marznącego deszczu oraz niskie temperatury. Aby zachować ich pełną sprawność, podczas niekorzystnych warunków atmosferycznych stosuje się systemy ogrzewania rozjazdów. Podstawowym systemem używanym od dziesięcioleci na kolejach europejskich jest elektryczne ogrzewanie rozjazdów. System ten wykorzystuje grzejniki oporowe, charakteryzuje się dużym zużyciem energii i niską wydajnością. W wielu krajach europejskich, zarządcy infrastruktury kolejowej poszukują nowych rozwiązań w zakresie elektrycznego ogrzewania rozjazdów. W niniejszym artykule przedstawiono eksperymentalną ocenę nowej koncepcji elektrycznego ogrzewania rozjazdów. Nowa metodologia wykorzystuje grzejniki bezstykowe zamiast tradycyjnych i opiera się na innowacyjnym sposobie wykorzystania rozkładu ciepła. Za referencyjny obiekt dla grzejnika bezstykowego przyjęto standardowy system elektrycznego ogrzewania rozjazdu. Badania eksperymentalne w warunkach rzeczywistych przeprowadzono w rozjazdach eksploatowanych w sieci PKP. Badania przeprowadzono w różnych warunkach pogodowych. W czasie badań wykonano pomiary termowizyjne, pomiary czujnikami termoparowymi oraz obserwacje szybkości wytopiania. W każdym przypadku przeprowadzono badania porównawcze. Wyniki zostały zebrane, przeanalizowane, podsumowane i przedstawione w artykule.

Słowa kluczowe: elektryczne ogrzewanie rozjazdów, optymalizacja systemu elektrycznego ogrzewania rozjazdów, bezstykowe elektryczne ogrzewanie rozjazdów

1. Wstęp

Celem stosowania ogrzewania rozjazdów kolejowych jest zapewnienie ich niezawodnej pracy w warunkach zimowych, podczas opadów śniegu, nawiewania śniegu przez wiatr i pociągi, opadów marznącego deszczu i silnych mrozów. Czynniki atmosferyczne mogą prowadzić do problemów z bezpieczeństwem transportu kolejowego w wyniku blokady rozjazdów kolejowych uniemożliwiającej ich przekładanie.

W celu zapewnienia sprawności rozjazdów kolejowych w okresie zimowym ogrzewane są nierzalniczne elementy rozjazdu kolejowego:

- obligatoryjnie – opornice i siodełka ślizgowe oraz krzyżownice z ruchomym dziobem,
- opcjonalnie – iglice, zamknięcia nastawcze, kanały podzamknięciowe.

W artykule przedstawiono eksperymentalną ocenę zastosowania izolacji grzejnika od opornicy w aspekcie zwiększenia wydajności ogrzewania.

2. Ogrzewanie opornic za pomocą grzejników elektrycznych – standardowe rozwiązanie powszechnie stosowane w Europie

Najważniejszym elementem w procesie ogrzewania zwrotnic kolejowych jest wytopienie śniegu z przestrzeni pomiędzy opornicą a iglicą rozjazdu, a także z siodełek ślizgowych. Grzejniki prętowe o przekroju płaskoowalnym są najczęściej stosowane jako elementy grzejne. Są mocowane za pomocą

¹ Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki; e-mail: dbrodowski@ikolej.pl.

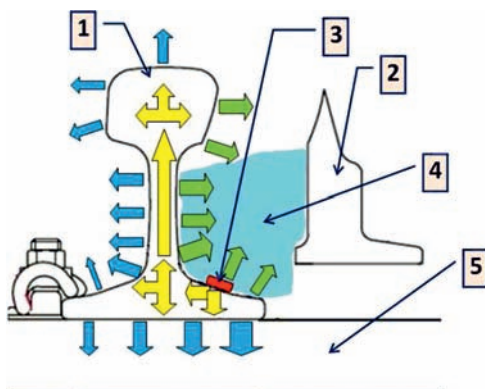
² Dr inż.; Instytut Energetyki, Instytut Badawczy; e-mail: m.flis@ien.gda.pl.

uchwytów mocujących do stopki opornicy w sposób umożliwiający ich kontakt z siodełkiem ślizgowym. Ma to zapewnić dobre przenikanie ciepła z grzejnika do opornicy. Obszar roboczy nagrzewania opornicy składa się z dwóch rodzajów stref wytapiania śniegu (rys. 1): strefa między siodełkami ślizgowymi – zwana dalej strefą A, strefa przy siodełkach ślizgowych – zwana dalej strefą B.



Rys. 1. Strefy wytapiania śniegu w obszarze roboczym ogrzewania opornic [fot. D. Brodowski]

Jak wspomniano, wytapianie śniegu i oblodzeń w strefie A polega na nagrzaniu opornicy przez źródło ciepła, jakim jest elektryczny grzejnik mocowany na opornicy. Ciepło jest przekazywane z grzejnika do opornicy rozjazdu głównie przez kondukcję (przewodzenie). Dlatego tak ważne jest, aby zapewnić jak najlepszy kontakt grzejnika z opornicą rozjazdu. Dodatkowo, ciepło jest przekazywane z grzejnika do opornicy rozjazdu również przez promieniowanie i konwekcję, jednak w znacznie mniejszym stopniu niż przez dyfuzję. Ogrzewana opornica rozjazdu pracuje jak radiator i oddaje ciepło, którego



Rys. 2. Przepływ ciepła pomiędzy grzejnikiem a opornicą w strefie A między siodełkami oraz kierunki wypromieniowania ciepła z opornicy: 1) opornica, 2) iglica, 3) grzejnik elektryczny, 4) śnieg w przestrzeni roboczej do wytapiania, 5) podrozjazdница; żółte strzałki: kierunki obiegu ciepła w opornicy, zielone strzałki: ciepło użyteczne wypromieniowane przez opornicę i grzejnik, niebieskie strzałki: ciepło nieużyteczne (tracone) wypromieniowane przez opornicę [fot. D. Brodowski]

część promieniuje w kierunku obszaru roboczego, tj. w przestrzeni pomiędzy opornicą a iglicą, co skutkuje wytopieniem gromadzonego tam śniegu.

Część śniegu zalegająca pomiędzy opornicą a iglicą jest również wytapiana przez ciepło wypromieniowane bezpośrednio z powierzchni grzejnika w kierunku strefy A obszaru roboczego. Przepływ ciepła w strefie A (pomiędzy siodełkami) z grzejnika do opornicy przedstawiono na rysunku 2.

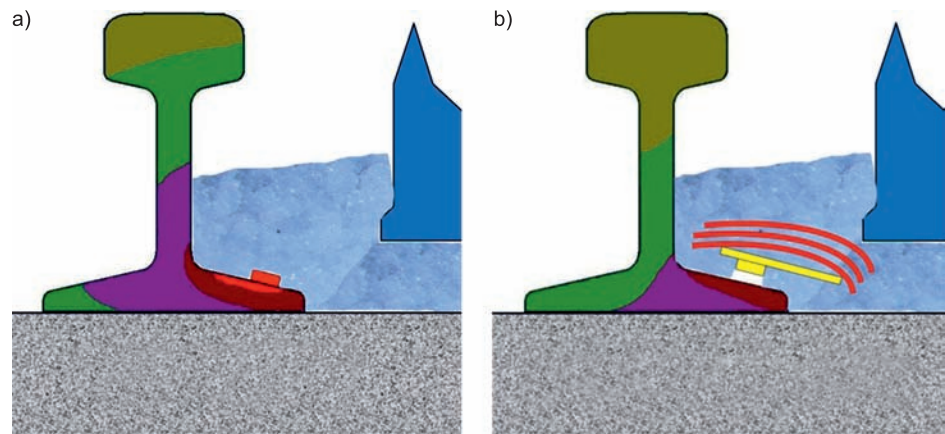
3. Wady obecnie stosowanej metody wytapiania śniegu

Pomimo zastosowania systemów ogrzewania, podczas ostatnich zim, a także intensywnych opadów śniegu, wiele europejskich kolei doświadczyło problemów z działaniem zwrotnic kolejowych. W ekstremalnych warunkach obfitych opadów śniegu i niskich temperatur, elektryczne nagrzewanie rozjazdów nie było w stanie skutecznie wytopić zalegającego śniegu. Zjawisko to występowało przede wszystkim przy ostrzu iglicy, gdzie odległość pomiędzy iglicą i opornicą jest największa (rys. 3). Dotychczasowa metoda wytapiania śniegu między opornicą a iglicą, w której opornica z rysunku 2, stanowi radiator wypromieniowujący ciepło, ma następujące wady:

- znaczne straty ciepła wypromieniowanego przez opornicę we wszystkich kierunkach, ponieważ tylko ciepło wypromieniowane w kierunku iglicy zwrotnicy jest ciepłem użytecznym, nadającym się do wytapiania śniegu;
- ciepło wypromieniowane w pozostałych trzech kierunkach jest ciepłem traconym;



Rys. 3. Nieefektywne wytapianie śniegu przy ostrzu iglicy podczas intensywnych opadów śniegu; widoczna nierównomierność wytapiania się śniegu wzdłuż opornicy [PKP PLK S.A., styczeń 2011 r.]



Rys. 4. Grzejnik standardowy (a), grzejnik bezstykowy z radiatorem (b) [fot. D. Brodowski]

- duża bezwładność, czyli długi czas nagrzewania opornicy, a co za tym idzie długi czas potrzebny do wytopienia śniegu ze strefy roboczej.

4. Wytapianie śniegu z przestrzeni roboczej za pomocą grzejników bezstykowych

W tym rozwiązaniu najwięcej ciepła z grzejnika jest kierowane na obszar pomiędzy opornicą a iglicą z pominięciem opornicy rozjazdu. Wymaga to oddzielenia grzejnika od opornicy. W nowej koncepcji wytapiania śniegu między opornicą a iglicą zastosowano grzejniki bezstykowe (rys. 4) i przyjęto następujące założenia:

- 1) element grzejny szyny musi być odsunięty od szyny, najlepiej o 2 mm; dzięki temu grzejnik osiągnie wyższą temperaturę, gdyż ciepło nie przepływa przez szynę (rys. 4b).
- 2) sposobem na uzyskanie bezstykowego grzejnika jest bezstykowy radiator, który montuje się na obecnie stosowanych elementach grzejnych płaskoowalnych (rys. 4b); w ten sposób zwiększa się powierzchnię grzewczą.

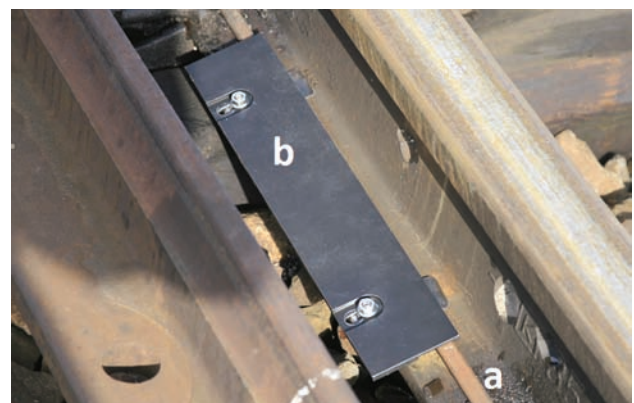
W latach 2010/2011 firma TERMORAD (Grupa BACKER, od 2016) opracowała różne koncepcje bezstykowych elementów grzejnych, bazujące na rozwiązaniu przedstawionym na rysunku 5. Konstrukcja elementu grzejnego nie odbiega od dotychczas stosowanych grzejników rezystancyjnych do odgrzewania opornic. Jest to grzejnik ze spiralą grzewczą z drutu oporowego w metalowym płaszczu, wymaga odizolowania grzejnika od opornicy. Jest to więc całkowite odwrócenie zasady ogrzewania opornicy w stosunku do obecnie stosowanej. Nowy sposób ogrzewania dotyczy wyłącznie strefy pomiędzy siodełkami (strefy A). Zasady ogrzewania w strefach przy siodełkach (strefy B) pozostają bez zmian.



Rys. 5. Prototypowe grzejniki bezstykowe firmy TERMORAD: a) grzejnik bezstykowy, b) radiator [fot. D. Brodowski]

5. Radiator bezstykowy montowany do grzejnika prętowego o przekroju płaskoowalnym

Najprostsza metoda uzyskania grzejnika bezstykowego oparta jest na bezstykowym radiatorze, który jest montowany na obecnie stosowanych grzejnikach płaskoowalnych (rys. 6). Rozwiązanie to zwiększa efektywność wytapiania śniegu i rozmrażania lodu na rozjazdach.



Rys. 6. Radiator bezstykowy montowany do grzejnika prętowego o przekroju płaskoowalnym: a) grzejnik o profilu płaskoowalnym, b) radiator [aut. D. Brodowski]

Montaż radiatora bezстыkowego do płaskiego elementu grzejnego jest bardzo szybki i prosty, bez konieczności demontażu elementu grzejnego opornicy rozjazdu. Standardowe uchwyty mocujące, instalowane na grzejniku płaskoowalnym zostały zastąpione przez uchwyty bezстыkowe, do których jest przykręcony radiator. Bezстыkowe uchwyty tworzą przestrzeń pomiędzy stopką szyny i grzejnikiem, skupiając energię cieplną w radiatorze, który również nie styka się z szyną. Radiator przekazuje energię cieplną bezpośrednio do strefy pomiędzy siodełkami ślizgowymi.

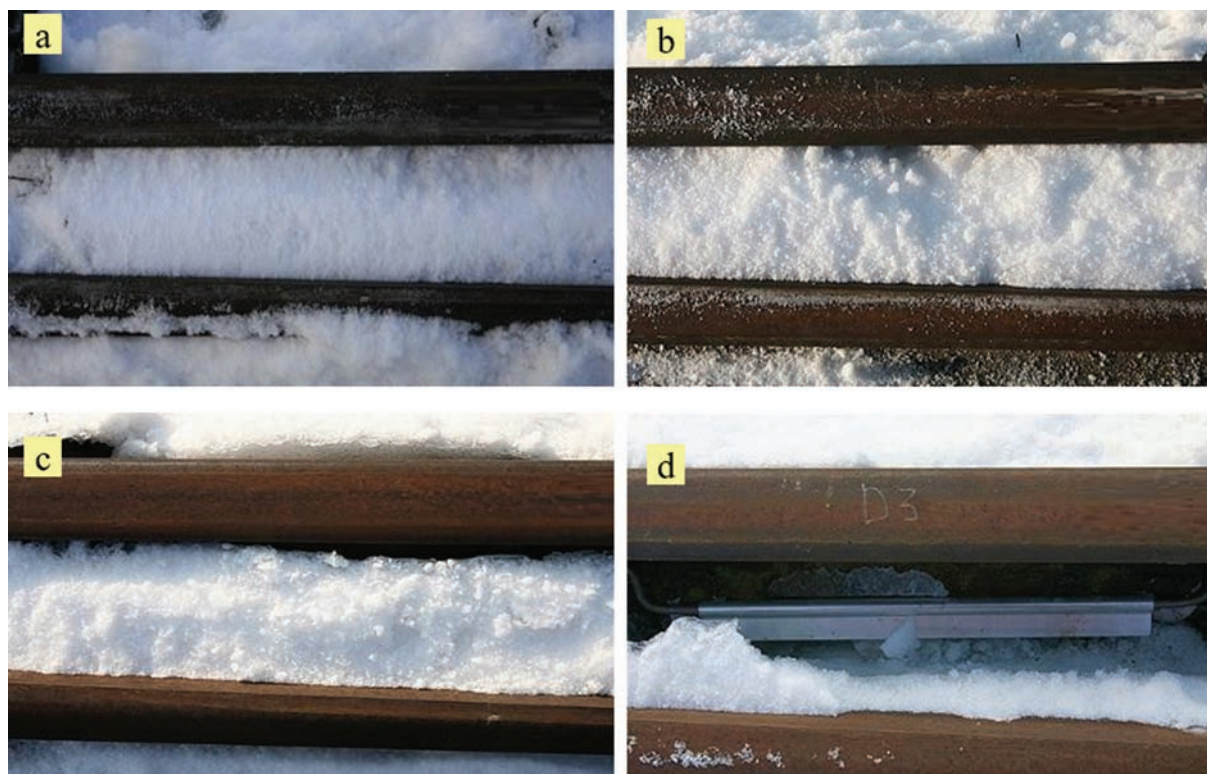
6. Testy grzejników bezстыkowych na liniach kolejowych PKP w sezonach zimowych 2010/2011 i 2011/2012

Badania nowych grzejników bezстыkowych były przeprowadzone przez Instytut Kolejnictwa w Warszawie na zlecenie firmy TERMORAD, producenta elementów grzejnych. Podstawowym obiektem doświadczalnym była stacja Prostki, położona w północno-wschodniej Polsce, niedaleko granicy z Litwą i Białorusią. Region ten jest znany z długich i surowych zim, z obfitymi opadami śniegu i z temperaturą spadającą do -30°C .

Porównanie wytapiania śniegu przez grzejniki standardowe i grzejniki bezстыkowe z radiatorem aluminiowym 35 mm, w temperaturze otoczenia -24°C , czas nagrzewania 4 godziny, bez opadów atmosferycznych i wiatru

Na początku badań oba rozjazdy z grzejnikami standardowymi i grzejnikami bezстыkowymi z radiatorami były całkowicie pokryte śniegiem do wysokości główki szyny (rys. 7a, 7b). Po 4 godzinach grzania w temperaturze otoczenia -24°C , standardowy grzejnik praktycznie nie wytopił śniegu (rys. 7c), podczas gdy nowy grzejnik bezстыkowy, z pełnym aluminiowym grzejnikiem o szerokości 27 mm, wytopił około 2/3 objętości śniegu z przestrzeni pomiędzy opornicą a iglicą. Rysunek 7d przedstawia widoczne różnice w stopniu wytopienia śniegu.

Podczas nagrzewania standardowym grzejnikiem o mocy 330 W/m , po 4 godzinach ciągłego nagrzewania, temperatura główki szyny wynosiła $+18^{\circ}\text{C}$, a temperatura stopki osiągnęła $+20,7^{\circ}\text{C}$. Zatem wzrost temperatury wyniósł $\Delta T = 44,8^{\circ}\text{C}$. Tymczasem w przypadku nagrzewania grzejnikiem bezстыkowym o mocy 308 W/m , po 4 godzinach nagrzewania temperatura główki szyny wynosiła zaledwie 0°C .



Rys. 7. Porównanie skuteczności wytapiania śniegu przez grzejniki standardowe i grzejniki bezстыkowe z radiatorem aluminiowym. Pomiar w warunkach bez opadów atmosferycznych i wiatru, temperatura otoczenia -24°C ; a) grzejnik standardowy przed rozpoczęciem grzania, b) grzejnik bezстыkowy z radiatorem przed rozpoczęciem grzania, c) grzejnik standardowy po 4 godzinach grzania, d) grzejnik bezстыkowy z radiatorem po 4 godzinach grzania [fot. D. Brodowski]

Porównanie wytapiania śniegu przez grzejniki standardowe i grzejniki bezstykowe z radiatorem aluminiowym 35 mm, w temperaturze otoczenia -6°C , czas nagrzewania 3 godziny, bez opadów atmosferycznych i wiatru

Podobnie jak w poprzedniej próbie wychłodzone rozjazdy pokryte były warstwą śniegu do wysokości główki szyny. Po 3 godzinach grzania w temperaturze otoczenia -6°C , bez opadów atmosferycznych i wiatru, grzejnik standardowy wytopił około 20% objętości śniegu, natomiast grzejnik bezstykowy z radiatorem wytopił cały śnieg między opornicą a iglicą. Resztki śniegu widoczne na rysunku 8b znajdują się poniżej ruchomej iglicy i nie kolidują z nią. Rysunek 8a i 8b przedstawia widoczne różnice w stopniu wytopienia śniegu.

7. Pomiary termiczne

Testy przeprowadzono na stacji Szklarska Poręba Górna. Na zlecenie firmy TERMORAD, Instytut Kolejnictwa przeprowadził pełne badania zamontowanych w rozjazdach stacyjnych płaskich grzejników kolejowych produkcji Termorad, a także Svend A. Nielsen. Celem badań było przeprowadzenie analizy porównawczej efektywności wytapiania śniegu przy zastosowaniu tradycyjnych grzejników oraz proponowanej metody wykorzystującej grzejniki wyposażone w radiatory bezstykowe.

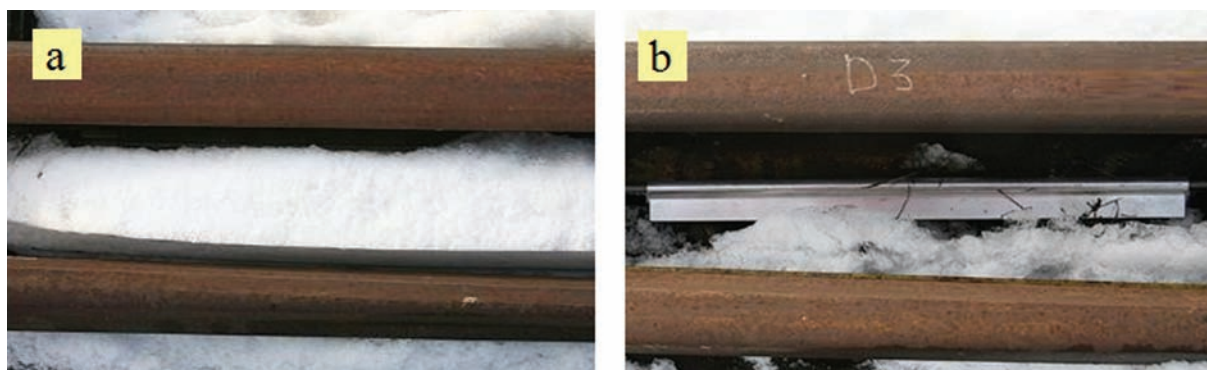
Badania temperaturowe przeprowadzono kamerą termowizyjną FLIR-E50 oraz termoparowym miernikiem temperatury. Warunki atmosferyczne w czasie badań: temperatura otoczenia od -7°C do -8°C , bez opadów atmosferycznych, z lekkim wiatrem. Temperatury mierzone przez 30–40 minut po włączeniu nagrzewania. Obrazy temperatury z kamery termowizyjnej przedstawiono na rysunku 9.

Z rozkładu temperatury zmierzonej na płytach ślizgowych (siodełkach) wyraźnie widać, że przyrosty temperatury uzyskane na powierzchniach siodełek są wyraźnie większe przy nagrzewaniu za pomocą grzejników bezstykowych z radiatorami. Średnia temperatura na powierzchni siodełek w stanie zimnym, przed włączeniem ogrzewania, wynosiła $-0,5^{\circ}\text{C}$. Z rysunków wynika, że wzrost temperatury w siodełku z grzejnikiem bezstykowym wyniósł $16,5^{\circ}\text{C}$, a podczas ogrzewania grzejnikami standardowymi, wyniósł $10,5^{\circ}\text{C}$. Temperatura na powierzchni radiatora ze standardowymi grzejnikami wynosiła 150°C , na powierzchni radiatora bezstykowego od 125°C do 132°C .

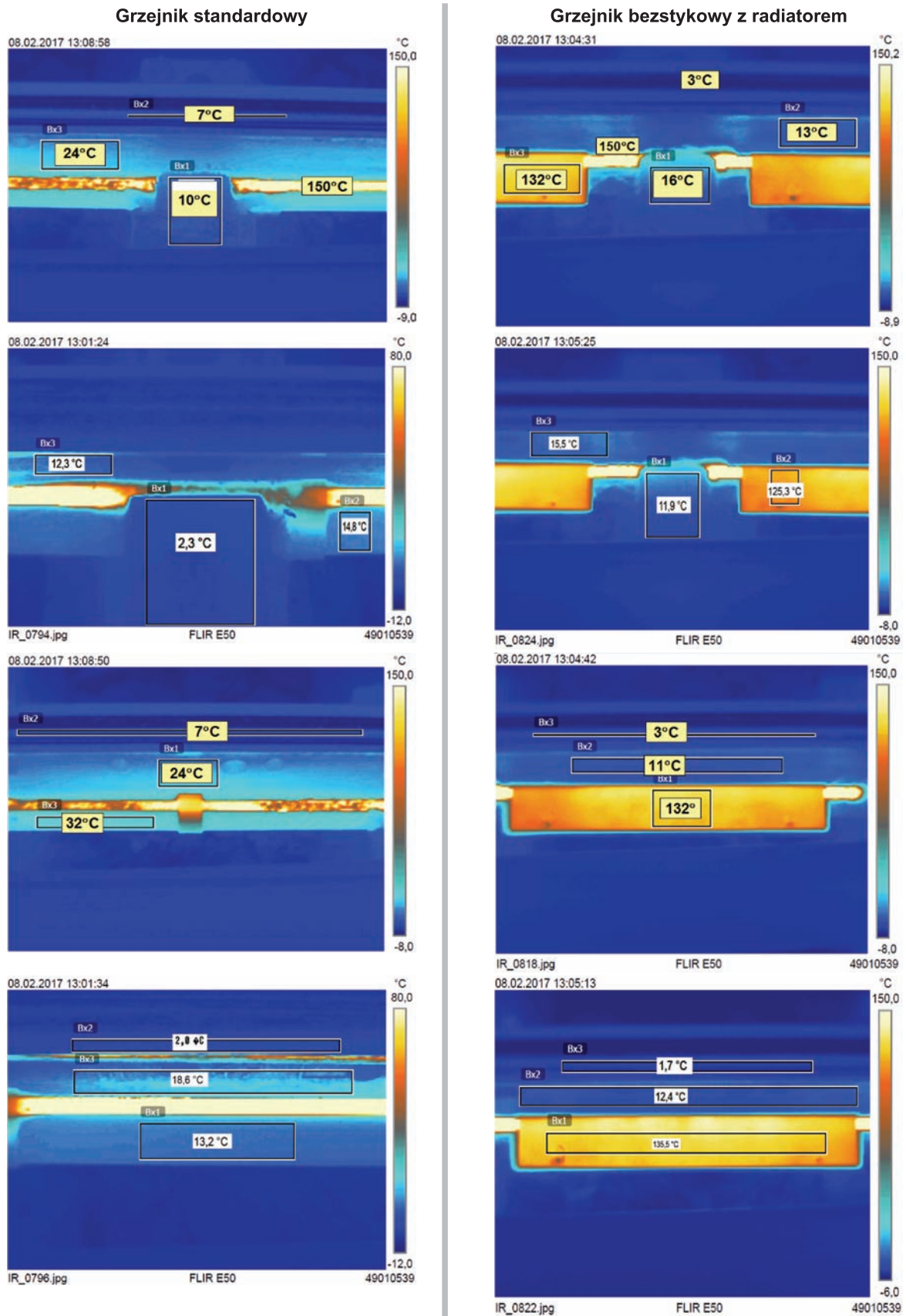
Średnie temperatury osiągnięte przez główkę i szyjkę szyny, która jest ogrzewana standardowymi grzejnikami są około 2 razy wyższe niż temperatury przy nagrzewaniu grzejnikami z radiatorami bezstykowymi. Potwierdza to słuszność zastosowania nagrzewania bezstykowego, gdzie mniej ciepła kierowane jest na szynę (opornicę), a więcej do przestrzeni roboczej między iglicą a opornicą oraz do siodełek ślizgowych, a więc tam, gdzie jest najbardziej potrzebne. Należy zwrócić uwagę na szybki czas nagrzewania radiatorów. Temperatura ustalona jest osiągnięta po około 15–20 minutach.

8. Wnioski

Tradycyjny system ogrzewania rozjazdów kolejowych charakteryzuje się dużym zużyciem energii. Często jego wydajność nie jest wystarczająca, aby w pełni wytopić zalegający w rozjazdach śnieg. Wytopienie śniegu zalegającego wewnątrz obszaru roboczego wymaga znacznej ilości energii. Dzieje się tak dlatego, że grzejnik nagrzewa szynę, a ciepło jest rozpraszane dookoła szyny i tylko część ciepła powoduje wytopienie śniegu. Dzięki izolacji termicznej



Rys. 8. Porównanie skuteczności wytapiania przez grzejnik standardowy (a) i grzejnik bezstykowy z radiatorem aluminiowym 35 mm (b); stan wytopienia śniegu po 3 godzinach grzania w temperaturze otoczenia -6°C , bez opadów atmosferycznych i wiatru [fot. D. Brodowski]



Rys. 9. Temperatury w rozjazdach ogrzewanych grzejnikami standardowymi i grzejnikami z radiatorami bezstykowymi, obrazy z kamery termowizyjnej FLIR-E50 [opracowanie własne D. Brodowski]

między opornicą i grzejnikiem (opcjonalnie z radiatorem) ciepło jest rozprowadzane bezpośrednio do obszaru roboczego. Zastosowanie nowego rozwiązania pozwoliłoby na zmniejszenie mocy zainstalowanych grzejników przy jednoczesnym zwiększeniu wydajności ogrzewania. Zakłada się, że wdrożenie bezstykowego elektrycznego systemu ogrzewania może radykalnie obniżyć jego koszty eksploatacji.

Badania wykazały, że nowe rozwiązanie ma znacznie większą wydajność w porównaniu do tradycyjnego systemu ogrzewania elektrycznego. Przy tej samej mocy grzejników w obu przypadkach, bezstykowy system ogrzewania elektrycznego charakteryzuje się: wyższym poziomem wytopionego śniegu, skróceniem czasu ogrzewania aż dwukrotnie. Badania eksperymentalne potwierdziły, że wzrost wydajności ogrzewania może być osiągnięty przez zmianę kierunku przepływu ciepła w rozjeździe. Stwierdzono, że nowe rozwiązanie grzejnika bezstykowego wyraźnie szybciej wytapia śnieg nagromadzony pomiędzy opornicą a iglicą w porównaniu do metody tradycyjnej. Dzięki temu jest możliwe skrócenie czasu wytapiania o połowę w porównaniu do obecnie stosowanego rozwiązania. Przyczyną wzrostu wydajności jest zmiana dystrybucji ciepła. W systemie ogrzewania przez zastosowanie radiatora bezstykowego można w znacznym stopniu poprawić wydajność procesu ogrzewania. Największa ilość energii cieplnej jest odprowadzana do strefy pomiędzy opornicą a iglicą. Straty energii cieplnej są minimalizowane przez szczelinę powietrzną lub materiał izolacyjny, niezbędny w metodzie bezstykowej.

O szybkości wytapiania śniegu decydują przede wszystkim dwa czynniki: temperatura powierzchni płaszcza grzejnika lub radiatora i jego powierzchni. Temperatury grzejników bezstykowych osiągane na powierzchni radiatora, pomimo niższego poziomu mocy, są znacznie wyższe od temperatur osiąganych na płaszcach standardowych grzejników. Niższe temperatury standardowych grzejników wynikają ze znacznego odbioru ciepła przez szynę. Z tego powodu, w pobliżu uchwytów mocujących kontakt grzejnika z szyną jest najlepszy, temperatury na płaszcach grzejników są najniższe.

Stosunkowo niskie temperatury uzyskiwane na powierzchni standardowego grzejnika wynikają z dużej

ilości ciepła odbieranego przez opornicę, z którą grzejnik styka się na całej długości. Z drugiej strony brak styku grzejnika z radiatorem skutkuje wyższymi temperaturami na jego powierzchni. Jednocześnie prawie trzykrotnie większa powierzchnia grzewcza grzejnika bezstykowego w stosunku do radiatora przyczynia się do znacznie większej wydajności wytapiania śniegu.

Literatura

1. Brodowski D.: *Raport z badań grzejników eor z radiatorami bezstykowymi GKA na stacji Szklarska Poręba Górna*, Instytut Kolejnictwa, Warszawa, 2017.
2. Übersichtsstudie Energieeffiziente Weichenheizung. Grüniger GmbH: A. Grüniger H. Luzern, Technik&Architektur Kompetenzzentrum Thermische Energiesysteme&Verfahrenstechnik, Lucern, 2014.
3. Jana S., Ray S., Durst F.: *A numerical method to compute solidification and melting processes*, Elsevier, Applied Mathematical Modeling 31 (2007).
4. Kloow L.: *Eksploatacja pociągów dużych prędkości*, KTH Railway & Transrail, Sztokholm, 2011.
5. Flis M.: *Analiza efektywności energetycznej systemów ogrzewania elektrycznego*, Politechnika Gdańska Wydział Elektrotechniki i Automatyki. (po polsku).
6. Prezentowane rozwiązanie grzejników bezstykowych do wytapiania śniegu na kolei [patent nr 2677079], opublikowanym przez Europejski Urząd Patentowy w dniu 27 kwietnia 2016 roku.
7. Brodowski D.: *Ogrzewanie rozjazdów kolejowych*, Problemy kolejnictwa, 2002, z. 135.
8. Dutil Y. et.al.: *Przegląd materiałów zmiennofazowych: Modelowanie matematyczne i symulacje* (2011).
9. Flis M.: *Przegląd metod wytapiania śniegu w rozjazdach kolejowych*, Zeszyty Naukowe – Poznański Uniwersytet Techniczny, Elektrotechnika nr 83, Poznań, 2015.
10. Flis M., Wołoszyn M.: *Analiza efektywności energetycznej ogrzewania rozjazdów kolejowych z wykorzystaniem uproszczonego modelu śniegu*, 8. Warsztaty Doktoranckie, Materiały z konferencji, Polska.