

Badania tarcz hamulcowych do pojazdu Desiro Rosja

Jacek KUKULSKI¹

Streszczenie

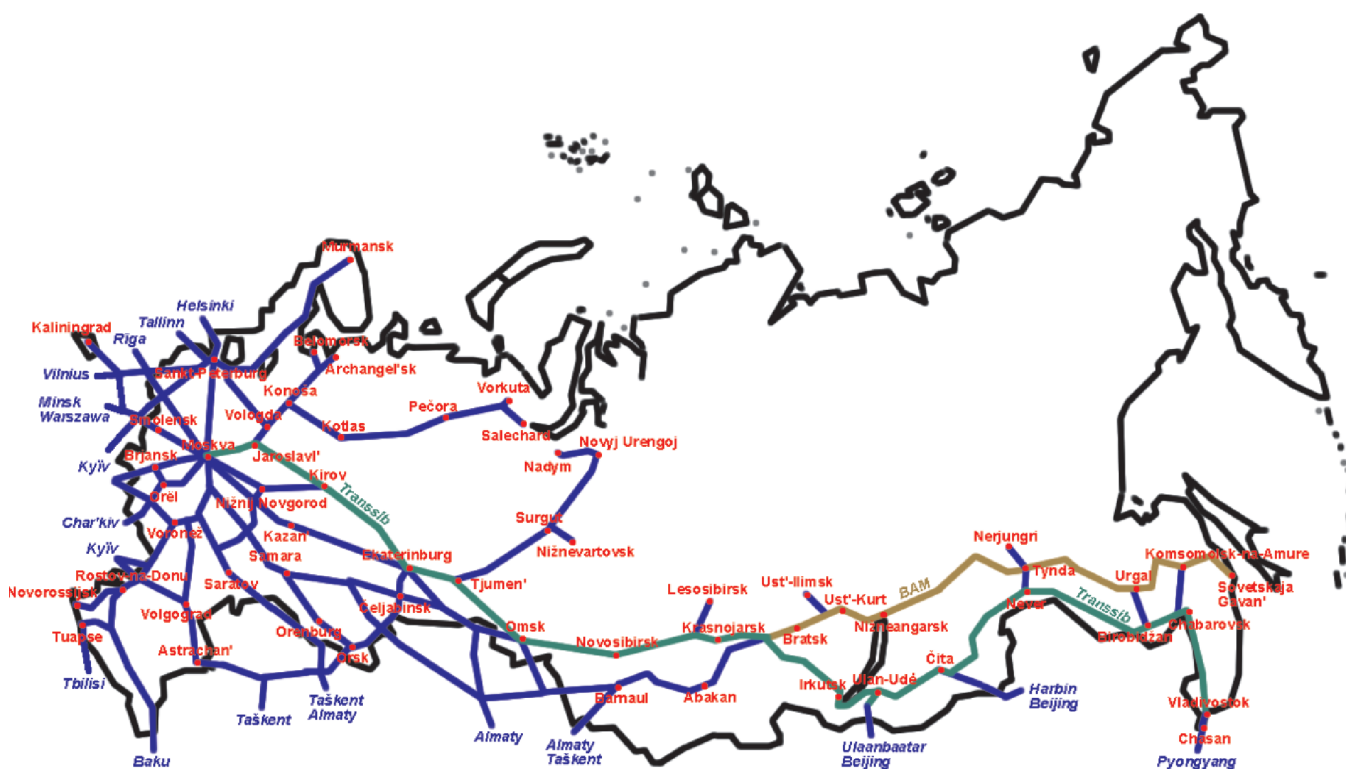
Opisano badania stanowiskowe dotyczące doboru par ciernych hamulca tarczowego do pojazdu Desiro Russia. Badania obejmowały standardowe programy tribologiczne według Karty UIC 541-3 oraz sprawdzenie zgodności z wymaganiami normy EN 14535-3. Określono średni i chwilowy współczynnik tarcia, zużycie okładzin oraz zachowanie się pary ciernej w ekstremalnych warunkach eksploatacji. Scharakteryzowano parametry homologowanego przez UIC stanowiska badawczego Instytutu Kolejnictwa do badania par ciernych hamulców pojazdów szynowych.

Słowa kluczowe: transport kolejowy, tarcza hamulcowa, stanowisko dynamometryczne

1. Wstęp

Rosyjski rynek kolejowy jest jednym z największych zarówno pod względem obszaru, jak i długości linii kolejowych. Jest również rynkiem, na którym są podejmowane prace modernizacyjne infrastruktury kolejowej, jak też inwestycje

w nowy tabor. Długość linii kolejowych na obszarze Federacji Rosyjskiej wynosi około 87 tys. km, co daje drugie miejsce na świecie po Stanach Zjednoczonych. Udział linii zelektryfikowanych stanowi 47% ze wskaźnikiem podobnym jak w krajach europejskich. Na rysunku 1 przedstawiono mapę z eksploatowanymi liniami kolejowymi na obszarze Rosji.



Rys. 1. Sieć linii kolejowej Rosji [9]

¹ Dr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Taboru; e-mail: jkukulski@ikolej.pl.

Najistotniejszym, a zarazem najbardziej interesującym rozwiązaniem pod względem sztuki inżynierskiej jest linia kolejowa łącząca Moskwę z Władywostokiem nazywana „Koleją Transsyberyjską”. Jest to zarazem najdłuższa linia kolejowa na świecie o długości 9259 km, której budowa rozpoczęła się jeszcze w XIX wieku. Szczegóły dotyczące budowy, jak też jej infrastruktury opisano w licznych publikacjach naukowych i przewodnikach.

Warto podkreślić, że transportem kolejowym w Rosji przewozi się około 80% wszystkich ładunków. Również przewozy pasażerskie mają duży udział w rynku przewozowym. Przy tak rozbudowanej i rozległej sieci kolejowej jest wymagany odpowiedni park taborowy. Do niedawna w przewozach pasażerskich i towarowych wykorzystywany był jedynie tabor rodzimej produkcji.

Na pierwszej linii kolejowej dużych prędkości pomiędzy Sankt Petersburg – Moskwa – Niżny Nowogród, koleje rosyjskie RZD eksploatują od 2009 r. zakupione od firmy Siemens pociągi z rodziny *Velaro* o przyjętej rosyjskiej nazwie „Sokół” (*Sapsan*). Obecnie pojazdy te jeżdżą z maksymalną prędkością 250 km/h (rys. 2), chociaż konstrukcyjnie są przystosowane do prędkości 300 km/h.



Rys. 2. Pociąg dużych prędkości Siemens Velaro w barwach kolei rosyjskich [10]

Ważnym wydarzeniem będącym impulsem do modernizacji infrastruktury i budowy nowych linii kolejowych były organizowane przez Rosję w 2014 r. Zimowe Igrzyska Olimpijskie w Soczi. Do obsługi uczestników Olimpiady wybudowano nową linię kolejową Soczi – Adler – Alpika (Krasnaya Polana), rysunek 3. Linia o prędkości maksymalnej 140-160 km/h przebiega w trudnych warunkach terenowych z pochyleniem podłużnym profilu do 40‰.

Do obsługi ruchu pasażerskiego wykorzystano tabor produkcji Siemens typu ES1 (*Desiro Russia*) o nazwie „Lastochka”. Kontrakt z firmą Siemens obejmuje docelowo zakup 38 pociągów z opcją na kolejne pojazdy budowane przez Siemens w Jekaterynburgu (rys. 4).



Rys. 3. Lokalizacja linii kolejowej Adler – Alpika (Krasnaya Polana) [11]



Rys. 4. Pociąg produkcji Siemens typu ES1 (*Desiro Russia*) o nazwie „Lastochka” [12]

2. Badane obiekty

W Instytucie Kolejnictwa badaniom poddano dwa typy tarcz hamulcowych żeliwnych, przeznaczonych do pojazdu *Desiro Russia*. W celu optymalizacji i doboru pary ciernej, badania wykonano na tarczy montowanej na osi (*axle mounted disc*) i tarczy montowanej na kole (*wheel mounted disc*). Tarcze montowane na kole są wykorzystywane w części napędowej pociągu, gdyż ze względu na umiejscowienie silników trakcyjnych na osi nie ma możliwości zamocowania klasycznych tarcz hamulcowych. Badania stanowiskowe były realizowane w 2015 i 2016 roku według specyfikacji opracowanej przez firmę Siemens Graz z Austrii.

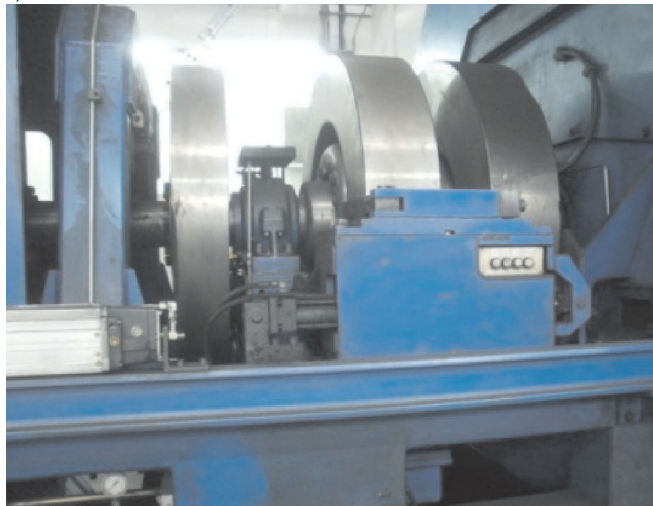
3. Stanowisko badawcze i aparatura pomiarowa

Badania wykonano w Instytucie Kolejnictwa na bezwładnościowym stanowisku hamulcowym do badania par ciernych hamulców pojazdów szynowych. Stanowisko ma homologację UIC (Międzynarodowy Związek Kolei) dla uniwersalnych stanowisk hamulcowych do prędkości maksymalnej 420 km/h [4]. Wykorzystywane jest do testów homologacyjnych materiałów ciernych według kart UIC [7, 8] oraz norm europejskich dotyczących badań kół kolejowych [2, 3, 6] i tarcz hamulcowych [1]. Konstrukcja stanowiska umożliwia badanie par ciernych hamulców pneumatycznych kolejowych do pociągów zespolonych dużych prędkości, zespołów trakcyjnych, lokomotyw i autobusów szynowych w naturalnej wielkości odpowiadającej warunkom rzeczywistym. Na rysunku 5 przedstawiono stacjonarne stanowisko badawcze oraz widok na mechaniczne masy zamachowe, a w tabelicy 1 podano podstawowe parametry stanowiska.

a)



b)



Rys. 5. Stacjonarne stanowisko badawcze: a) widok ogólny, b) mechaniczne masy zamachowe [fot. J. Kukulski]

Tablica 1

Podstawowe parametry techniczne bezwładnościowego stanowiska badawczego

Parametr	Wartość
Zakres prędkości pojazdu (dla koła \varnothing 890 mm) [km/h]	3,5÷420
Maksymalna prędkość obrotowa [obr./min.]	2500
Moc silnika napędowego przy 1150 obr./min [kW]	536
Moment obrotowy w zakresie do 1150 obr./min. [Nm]	4450
Maksymalny moment hamowania:	
• hamowanie do zatrzymania [Nm]	3000
• hamowanie ciągłe [Nm]	4450
Zakres momentów bezwładności mas z elektryczną symulacją [kgm ²]	150÷3000
Maksymalna symulowana masa przypadająca na parę cierną [t]	15
Zakres regulacji sumarycznej siły docisku szczęk hamulcowych w hamulcu tarczowym [kN]	0÷60
Zakres pomiarowy temperatury tarczy hamulcowej (koła jezdne) [°C]	0÷1000

Oprócz standardowego wyposażenia pomiarowego stanowiska na potrzeby badań wykorzystano dodatkową aparaturę do pomiaru hałasu i do rejestracji termowizyjnej (tablica 2).

Tablica 2

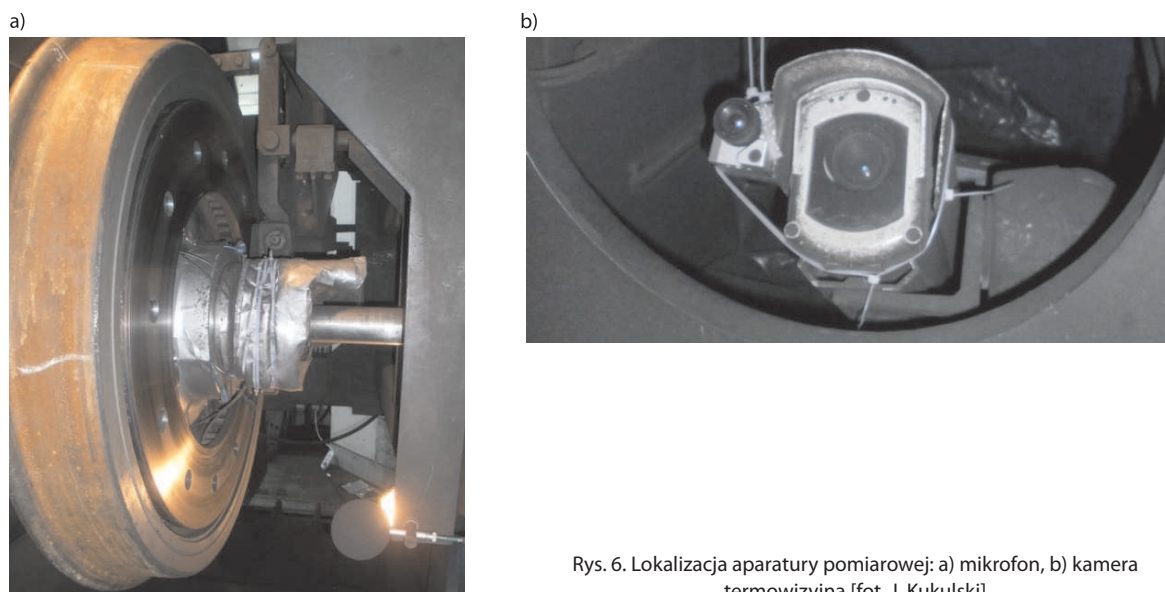
Parametry aparatury badawczej

Aparatura pomiarowa	Producent	Typ
Mikrofon 1/2"	Brüel&Kjaer	4189
System pomiarowy	01dB-Metravib	Orchestra
Kamera termowizyjna	Optris	PI200 z soczewką 41×31

Lokalizację dodatkowej aparatury badawczej przedstawiono na rysunku 6. Ze względu na ograniczenia kabiny badawczej, mikrofon umieszczono w odległości około 0,5 m, kamerę zaś w odległości 0,7 m.

4. Zakres prowadzonych badań

Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym opisanym w rozdziale 3. W badaniach użyto 4 tarcze montowane na osi i 2 tarcze hamulcowe montowane na kole. Programy badawcze opracowano na podstawie karty UIC [7] i normy [1]. Zakres badawczy poszczególnych programów był następujący:



Rys. 6. Lokalizacja aparatury pomiarowej: a) mikrofon, b) kamera termowizyjna [fot. J. Kukulski]

4.1. Program badawczy 2B1

Jest to podstawowy program badawczy wykorzystywany przy badaniach certyfikacyjnych materiałów ciernych. Obejmował on 84 hamowania badawcze do $V_{max} = 200$ km/h w warunkach na sucho i mokro. Umożliwia on sprawdzenie podstawowych właściwości tribologicznych obejmujących m.in.: średni i chwilowy współczynnik tarcia oraz zużycie masowe okładzin hamulcowych.

4.2. Program badawczy 3A1

Podobnie jak w przypadku programu 2B1, program jest wymagany przy badaniach certyfikacyjnych materiałów ciernych. Różnica polega na tym, że w programie są symulowane warunki mokre (opady deszczu, śniegu) z wydatkiem 25 l/h, przez natrysk na tarczę hamulcową wody ze specjalnych dysz usytuowanych po obu stronach tarczy. Głównym celem badania, oprócz sprawdzenia właściwości tribologicznych w warunkach mokrych, jest sprawdzenie czy nie występuje zjawisko *aquaplaningu* (poślizgu wodnego).

4.3. Program badawczy 3B

Badania w tym programie miały na celu sprawdzenie współpracy pary ciernej w przypadku wystąpienia ostrych warunków zimowych. Podobnie jak w przypadku programu badawczego 3A1 warunki symulowano przez natrysk na tarczę hamulcową wody ze specjalnych dysz z wydatkiem 49 l/h.

4.4. Program sprawdzający wydajność i wytrzymałość

Celem testu było sprawdzenie własności wytrzymałościowych pary ciernej w trakcie symulowania warunków eksploatacyjnych. Program składał się z 10 cykli badawczych po 100 hamowań przy różnych obciążeniach i prędkościach początkowych hamowania.

4.5. Program sprawdzający rozpraszanie ciepła

Badania miały na celu sprawdzenie skuteczności rozpraszania ciepła tarczy hamulcowej w trakcie 10 hamowań ciągłych ze stałą mocą hamowania. Czas trwania hamowania wynosił 30 min., a prędkość 80 km/h. Badania tego typu symulują przypadki zjazdu ze wzniesienia o dużym nachyleniu, a także w skrajnych przypadkach awarię hamulca po ciągu.

4.6. Test odśrodkowy

Celem tego testu jest sprawdzenie odporności tarczy hamulcowej i jej elementów mocujących na działanie siły odśrodkowej. Badanie wykonuje się z prędkością 1,2 razy większą od przyjętej dla klasy tarczy hamulcowej. Badany obiekt wiruje z tą prędkością przez 3 min., a następnie sprawdza się integralność piasty tarczy, śrub mocujących i innych elementów, które mogły zostać poluzowane w trakcie tej próby.

4.7. Sprawdzenie wentylacji tarczy hamulcowej

Badanie polega na sprawdzeniu mocy wentylacji tarczy hamulcowej. Na klasę techniczną wentylacji wpływa konstrukcja i położenie żeber wentylacyjnych umożliwiających właściwy przepływ powietrza wewnątrz tarczy. Odpowiednia moc wentylacji wpływa na właściwe studzenie pary ciernej po hamowaniu.

4.8. Pomiar generowanego hałasu

Test jest przeprowadzany w celu zapewnienia, że konstrukcja tarczy hamulcowej w trakcie wirowania nie wytwarza zbyt dużego hałasu. Badania wykonuje się dwuetapowo: robi się pomiar z tarczą i bez zamontowanej tarczy, aby wyeliminować hałas generowany przez stanowisko badawcze.

4.9. Program porównawczy

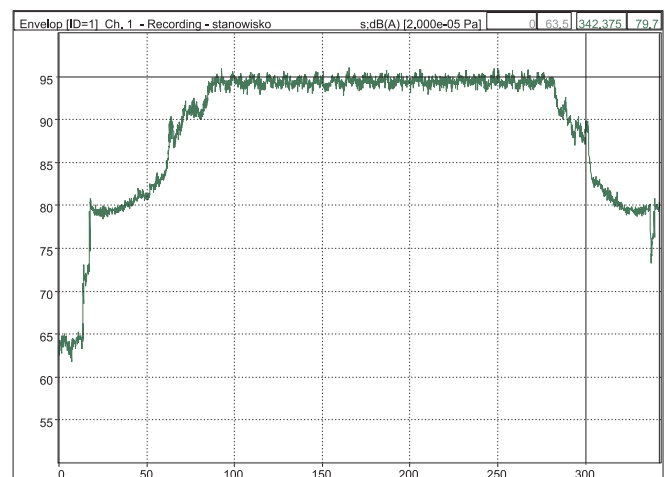
Program badawczy składał się z kilkunastu cykli badawczych obejmujący m.in.: hamowania awaryjne z $V_{max} = 160$ km/h, symulacje przejazdu na linii Adler – Alpika z uwzględnieniem profilu linii, różnych obciążeń pociągu (mas hamujących, sił docisku okładziny do tarczy hamulcowej). W trakcie wszystkich badań rejestrowano następujące parametry wymagane w specyfikacji badawczej:

- moment uzyskania 95% nominalnej łącznej siły nacisku okładzin,
- prędkość kątową i obrotową koła,
- prędkość liniową dla zadanej średnicy koła,
- drogę hamowania,
- czas hamowania,
- ciśnienie w cylindrze hamulcowym,
- łączną siłę nacisku okładzin hamulcowych,
- moment hamujący,
- symulowaną masę hamowania,
- temperatury w sześciu punktach powierzchni ciernej tarczy i ich chwilową wartość średnią,
- chwilowy współczynnik tarcia,
- prędkość przepływu powietrza wentylującego parę cierną,
- wybrane parametry rejestrowane w formie ciągłej z częstotliwością 1 Hz obejmującą hamowanie i okres między hamowaniami.

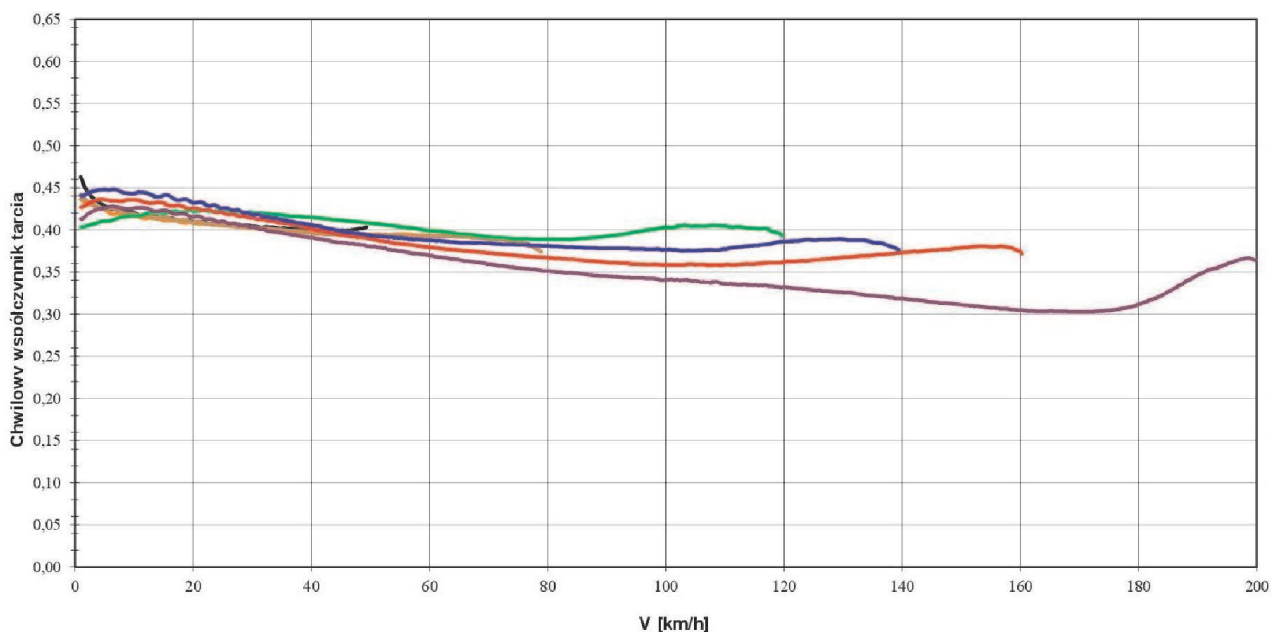
Na podstawie tych parametrów oraz parametrów zadanych w programie badawczym, obliczono wielkości wykorzystane do analizy wyników badań. Dodatkowo w trakcie badań wykonywano pomiary zużycia masowego okładzin hamulcowych oraz pomiary profilu zużycia tarczy, hałasu i zjawiska z wykorzystaniem kamery termowizyjnej.

5. Wyniki badań

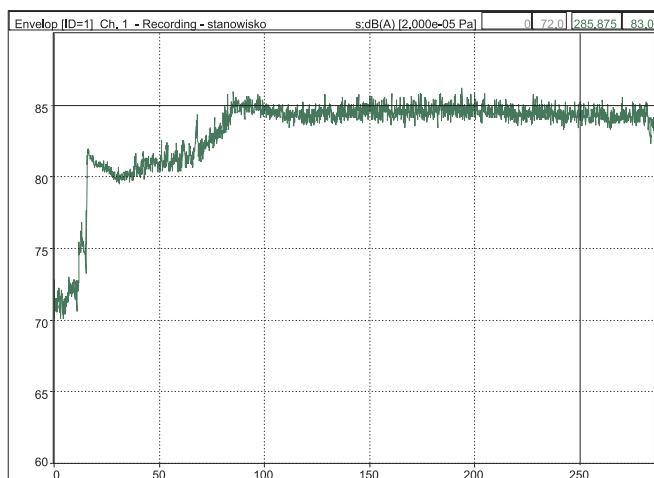
Głównym kryterium oceny badanych par ciernych, w tym okładzin, był średni i chwilowy współczynnik tarcia i zużycie masowe okładzin. Dotyczy to głównie programów badawczych 2B1, 3A1 i 3B z karty UIC 541-3. Pozostałe programy badawcze miały na celu sprawdzenie zachowania się pary cierniej w ekstremalnych warunkach, które mogą wystąpić w eksploatacji. Ze względu na brak kryteriów oceny w specyfikacji badawczej otrzymanej od zleceniodawcy, nie oceniano pozostałych wyników badań. W raporcie końcowym zamieszczono jedynie wyniki badań i pomiarów badanej pary cierniej. Na rysunkach 7–10 przedstawiono przykładowe wyniki badań wymienionych obiektów.



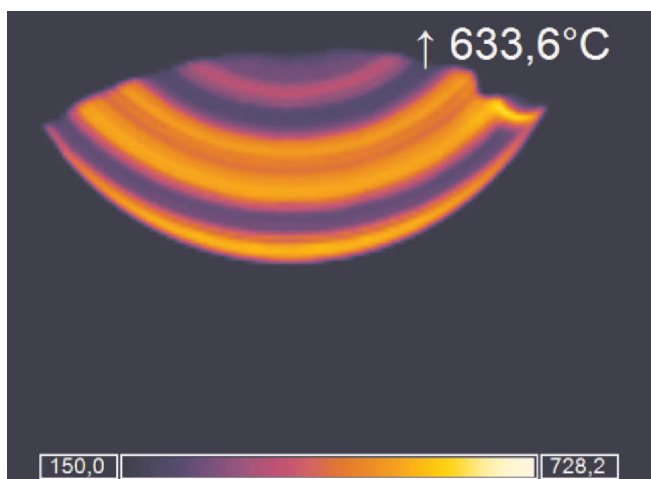
Rys. 7. Pomiar hałasu generowanego przez wirującą tarczę hamulcową z $V_{max} = 200$ km/h; opracowanie własne na podstawie [5]



Rys. 8. Przebieg chwilowego współczynnika tarcia w funkcji prędkości; opracowanie własne na podstawie [5]



Rys. 9. Pomiar hałasu generowanego przez stanowisko badawcze przy prędkości $V_{max} = 200$ km/h; opracowanie własne na podstawie [5]



Rys. 10. Obraz termowizyjny na koniec hamowania ciągłego; opracowanie własne na podstawie [5]

6. Podsumowanie

W artykule przedstawiono badania kilku tarcz hamulcowych do elektrycznych zespołów trakcyjnych przystosowanych do $V_{max} = 200$ km/h zrealizowane na stanowisku badawczym Instytutu Kolejnictwa. Docelowo badane obiekty mają być przeznaczone do pojazdów na rynek rosyjski. Omówione programy badawcze oraz testy tribologiczne, którym poddano badane obiekty, pokazują olbrzymi zakres i dużą liczbę badań, które musi przejść para cierna w celu dobrania do danego typu pojazdu. Coraz częściej spotyka się przypadki indywidualnego doboru par ciernych do konkretnego pojazdu kolejowego przeznaczonego do poruszania się po wybranych liniach kolejowych.

Na przykładzie badań tarcz hamulcowych zaprezentowano parametry techniczne i możliwości techniczne uniwersalnego stanowiska hamulcowego eksploatowanego w Instytucie Kolejnictwa.

Bibliografia

1. EN 14535-3: Railway application – Brake discs for railway rolling stock – Part 3: Brake discs, performance of the disc and the friction couple, classification, 2012.
2. PN-EN 13979-1+A2:2011: Kolejnictwo – Zestawy kołowe i wózki – Koła monoblokowe – Procedura dopuszczenia – Część 1: Koła kute i walcowane.
3. prEN 16452: Railway applications – Braking – Brake blocks, 2012.
4. Report B 126/RP 18 Dynamometers for international approval of friction materials. Requirements.
5. Report No. LW/104.01/15: Dynamometer tests of brake discs according to the program test specification A6Z00034531866. Warszawa 2015.
6. UIC 510-5: Technical approval of monobloc wheels – Application document for standard EN 13979-1.
7. UIC 541-3: Brakes – Disc brakes and their application – General conditions for the approval of brake pads. 7th edition, January 2010.
8. UIC 541-4: Brakes – Brakes with composite brake blocks – General conditions for certification of composite brake blocks – 4th edition, January 2010.

Źródła Internetowe

9. https://pl.wikipedia.org/wiki/Koleje_Rosyjskie [dostęp z dnia 26.07.2016].
10. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Sapsan> [dostęp z dnia 26.07.2016].
11. www.tempus-projekt.com%25252Fen%25252Fadleralpika-servis-combined-route-motorway-and-railway-line [dostęp z dnia 27.07.2016].
12. https://en.wikipedia.org/wiki/Siemens_Desiro [dostęp z dnia 27.07.2016].