

Badania spiekanych okładzin hamulcowych do pociągów dużych prędkości

Jacek KUKULSKI¹

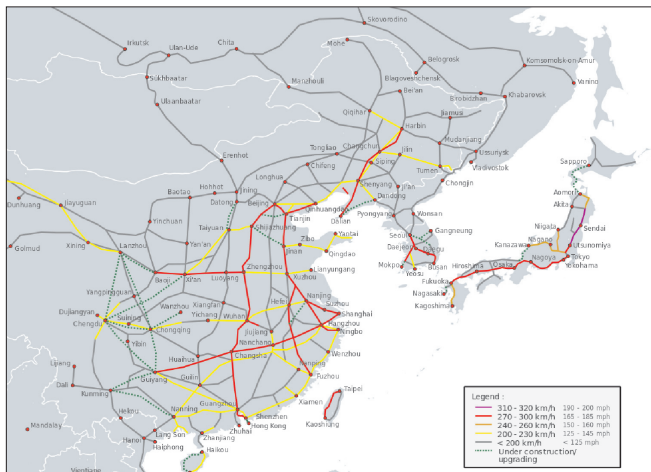
Streszczenie

W artykule opisano badania stanowiskowe spiekanych okładzin hamulcowych produkcji chińskiej przeznaczonych do pociągów dużych prędkości kolei chińskich. Przedstawiono również parametry techniczne wykorzystanego w badaniach stanowiska Instytutu Kolejnictwa do badania par ciernych hamulca kolejowego.

Słowa kluczowe: transport kolejowy, pociągi dużych prędkości, spiekane okładziny hamulcowe, stanowisko badawcze

1. Wstęp

Najbardziej dynamicznie rozwijającym się rynkiem w przewozach kolei dużych prędkości jest rynek chiński. W 2014 roku długość chińskich linii kolejowych dużych prędkości wynosiła 12 tys. km. Na rysunku 1 przedstawiono mapę chińskich linii dużych prędkości.

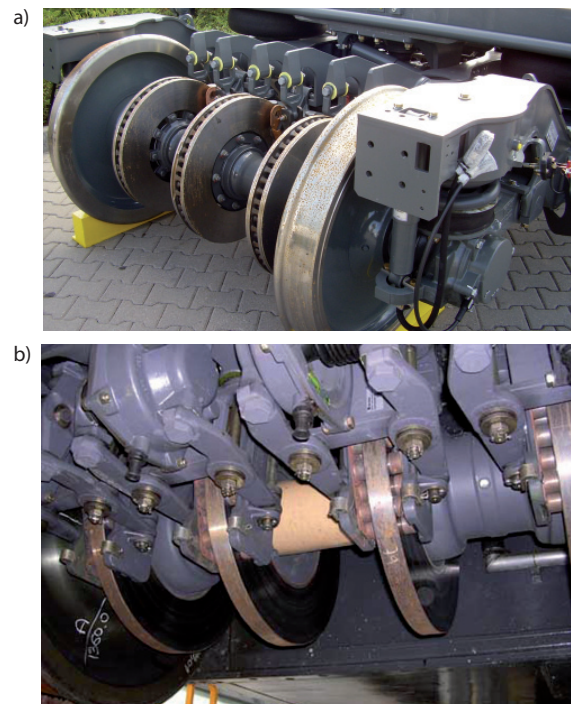


Rys. 1. Sieć linii dużych prędkości w Chinach [9]

Tak rozbudowana sieć kolejowa wymaga odpowiedniego parku taborowego przeznaczonego do dużych prędkości. Wiąże się to również z właściwym utrzymaniem i zapleczem serwisowym tych pojazdów. Oprócz układu biegowego, układ hamulcowy pojazdów dużych prędkości jest najważniejszym systemem bezpieczeństwa i w stosunku do niego sformułowano najbardziej rygorystyczne wymagania i kryteria oceny. Jest to też wyzwanie dla producentów parciernych hamulca kolejowego. Tak olbrzymi rynek wymusił

na producentach doskonalenie tych produktów i spełnianie coraz wyższych wymagań. W większości wymagania kolei chińskich opierały się na kryteriach norm europejskich [1, 2, 3] jednakże w ostatnich latach można zauważyć pewne modyfikacje tych programów w kierunku podwyższania dopuszczalnych prędkości i zwiększania sił hamowania.

Wózki toczne w pociągach dużych prędkości wyposażone są w tarcze hamulcowe montowane na osi o zmniejszonej wentylacji lub całkowicie niewentylowane (rys. 2).



Rys. 2. Wózek toczny pociągów dużych prędkości: a) ICE-3 Velaro [fot. J. Kukulski], b) TGV [10]

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

Zmniejszona wentylacja tarczy hamulcowej lub jej brak sprzyja ograniczeniu oporów aerodynamicznych.

Koleje chińskie eksploatują obecnie pojazdy dużych prędkości wyprodukowane przez firmy Alstom, Siemens, Bombardier, a także pojazdy wyprodukowane przez własny przemysł. Na rysunku 3 przedstawiono najnowsze pojazdy serii CRH380CL i CRH380BL o prędkości konstrukcyjnej $V_{max} = 380$ km/h.



Rys. 3. Pojazdy dużych prędkości kolei chińskich serii CRH380CL i CRH380BL [11]

Wysokie wymagania powodują, że producent materiałów ciernych musi optymalizować swój produkt i poddawać badaniom stanowiskowym według coraz bardziej skomplikowanych specyfikacji badawczych. Oprócz standardowych programów badawczych z kart UIC [5, 6, 7], specyfikacje te zawierają niestandardowe programy badawcze o dużych mocach hamowania, uwzględniające profile linii kolejowych, na których badany obiekt będzie eksploatowany. Instytut Kolejnictwa ma stanowisko umożliwiające kompleksowe badania par ciernych według zadanych specyfikacji badawczych, w tym specyfikacji do dużych prędkości.

2. Badany obiekt

Badaniom poddano spiekane okładziny hamulcowe do prędkości $V_{max} = 380$ km/h produkcji chińskiej. Obiekt badań był przeznaczony do układów hamulcowych chińskich pojazdów dużych prędkości. Były to segmentowe okładziny hamulcowe wykonane z materiału spiekane (rys. 4).

Pokazane na rysunku 4 rozwiązanie opatentowane przez Knorr-Bremse jako system ISOBAR, jest przeznaczone do pociągów dużych i bardzo dużych prędkości. Charakteryzuje się tym, że z tarczą hamulcową współpracują dwie okładziny, a nie jak w klasycznym układzie cztery okładziny. Należy zaznaczyć, że pole kontaktu okładzin z powierzchnią tarczy w obu systemach jest takie samo i wynosi 400 cm^2 . Na rysunku 5 przedstawiono różnice w obu systemach mocowania okładzin hamulcowych.



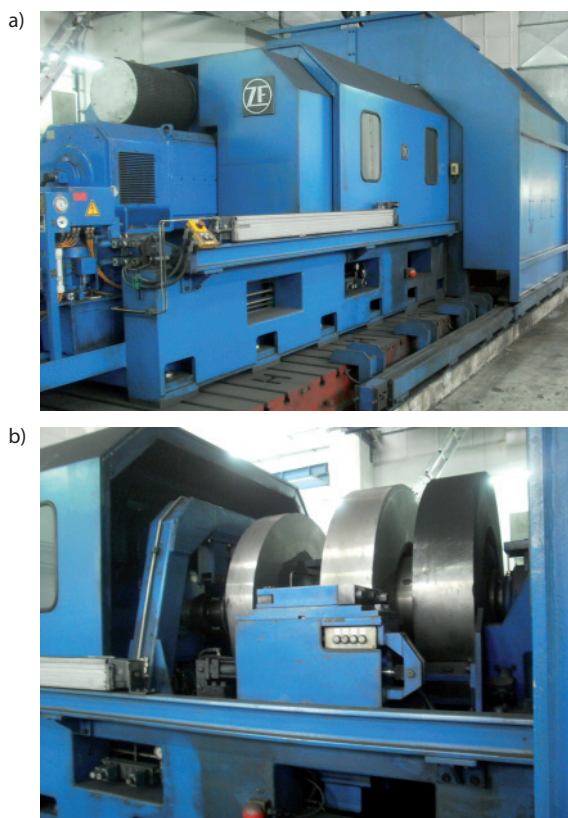
Rys. 4. Segmentowe okładziny hamulcowe [fot. J. Kukulski]



Rys. 5. Mocowanie okładzin w obszarze hamulcowej: a) system ISOBAR, b) system UIC [fot. J. Kukulski]

3. Stanowisko badawcze i aparatura pomiarowa

Badania stanowiskowe były wykonane w Instytucie Kolejnictwa na specjalnym bezwładnościowym stanowisku hamulcowym do badania par ciernych hamulców pojazdów szynowych. Stanowisko ma homologację UIC (Międzynarodowego Związku Kolei) dla uniwersalnych stanowisk hamulcowych do prędkości maksymalnej 420 km/h [8]. Wykorzystywane jest ono do testów homologacyjnych według kart UIC [5, 6, 7] i norm europejskich dotyczących badań kół kolejowych [3] i tarcz hamulcowych [1, 2]. Konstrukcja stanowiska umożliwia badanie par ciernych kolejowych hamulców pneumatycznych do pociągów zespołnych dużych prędkości, zespołów trakcyjnych, lokomotyw i autobusów szynowych w naturalnej wielkości odpowiadającej warunkom rzeczywistym. Na rysunku 6 przedstawiono stacjonarne stanowisko badawcze, jak też widok na mechaniczne masy zamachowe.



Rys. 6. Stacjonarne stanowisko badawcze: a) widok ogólny, b) mechaniczne masy zamachowe [fot. J. Kukulski]

Podstawowe parametry techniczne bezwładnościowego stanowiska badawczego przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Parametry 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] • hamowanie ciągłe [Nm]	3000 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 jezdnego) [°C]	0÷1000

4. Zakres prowadzonych badań i ocena okładzin hamulcowych

Badania przeprowadzono na opisanym w rozdziale 4 stanowisku badawczym. Program badawczy przedstawiono w tablicy 2. Obejmuje on hamowania do zatrzymania, hamowania ciągłe (ze stałą mocą) jak też określanie statycznego współczynnika tarcia.

Badania wykonywano na stalowej tarczy hamulcowej Knorr-Bremse o wymiarach 640×80 mm (rys. 7).



Rys. 7. Widok tarczy hamulcowej używanej w badaniach okładzin hamulcowych [fot. J. Kukulski]

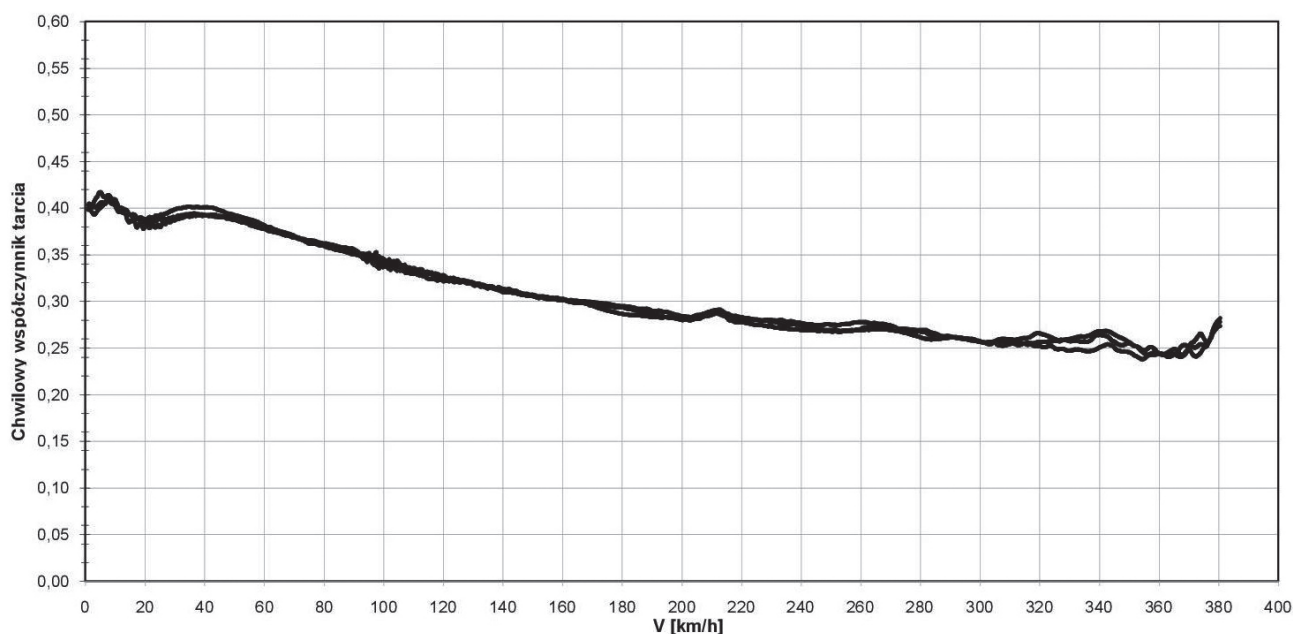
W trakcie badań rejestrowano następujące wielkości wymagane w specyfikacji badawczej:

- 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 cierniej tarczy i ich chwilową wartość średnią,
- chwilowy współczynnik tarcia,
- prędkość przepływu powietrza wentylującego parę cierną.

Na podstawie pomierzonych wielkości oraz parametrów zadanych w programie badawczym obliczono wielkości wykorzystane do analizy wyników badań. Dodatkowo w trakcie badań wykonywano pomiary zużycia masowego okładzin hamulcowych jak i pomiaru profilu zużycia tarczy.

Program badań

Okładziny spiekane				Pole powierzchni okładzin 400 cm ²
Tarcza hamulcowa				Ø 640×80 mm stalowa montowana na osi
Masa hamująca				5,7 t (5 700 kg)
Średnica koła				920 mm
Nr hamowania	Prędkość początkowa V [km/h]	Siła docisku F _B [kN]	Temperatura początkowa θ ₀ [°C]	Uwagi
R1 do Rx	120	28	20–100	× hamowań do zatrzymania, na sucho, dla dotarcia okładzin do co najmniej 85% powierzchni; pomiar masy
1 12	50	18	50–60	Hamowania do zatrzymania, na sucho, po przerwie na chłodzenie
2 13	80	18	"	
3 14	120	18	"	
4 15	160	18	"	
5 16	200	18	"	
6 17	120	8	50–60	Hamowania do zatrzymania, na sucho, po przerwie na chłodzenie
7 18	160	8	"	
8 19	200	8	"	
9 20	120	25	50–60	Hamowania do zatrzymania, na sucho, po przerwie na chłodzenie
10 21	160	25	"	
11 22	200	25	"	
23	120	25	50–60	Hamowania do zatrzymania na sucho, po 23 hamowaniu chłodzenie przed określaniem statycznego współczynnika tarcia
24–28	–	45	50–60	Określanie statycznego współczynnika tarcia – 5 powtórzeń; pomiar masy
29 38 47	50	18	20–30	Hamowania do zatrzymania, na mokro 25l/h, po przerwie na chłodzenie
30 39 48	80	18	"	
31 40 49	120	18	"	
32 41 50	160	18	"	
33 42 51	200	18	"	
34 43 52	120	12	"	
35 44 53	120	25	"	
36 45 54	160	25	"	
37 46 55	200	25	"	
56–60	120	36	50–60	
61	80	–	20–30	Hamowanie podtrzymujące z mocą 20 kW podczas 20 min. Hamowanie do zatrzymania, na sucho, wykonane bezpośrednio po hamowaniu podtrzymującym, bez przerwy na chłodzenie, pomiar masy
62	80	18	"	
63–67	120	25	50–60	5 hamowań do zatrzymania, na sucho
68 71 74	220	18	50–60	Po hamowaniu 75 a przed hamowaniem 76 postój 2 minutowy, następnie rozpędzanie tarczy hamulcowej z przyśpieszeniem 0,3 m/s ² do zadanej prędkości i rozpoczęcie hamowania pomiar masy
69 72 75	220	8	"	
70 73 76	220	25	"	
77 79 81	250	F_{B1}/F_{B2} 14/23	50–60	Po hamowaniu 81 a przed hamowaniem 82 postój 2 minutowy, następnie rozpędzanie tarczy hamulcowej z przyśpieszeniem 0,3 m/s ² do zadanej prędkości i rozpoczęcie hamowania pomiar masy
78 80 82	250	19/25	"	
83 85 87	300	F_{B1}/F_{B2} 14/18	50–60	Po hamowaniu 87 a przed hamowaniem 88 postój 2 minutowy, następnie rozpędzanie tarczy hamulcowej z przyśpieszeniem 0,3 m/s ² do zadanej prędkości i rozpoczęcie hamowania pomiar masy
84 86 88	300	19/25	"	
89 91 93	320	F_{B1}/F_{B2} 14/18	50–60	Po hamowaniu 93 a przed hamowaniem 94 postój 2 minutowy, następnie rozpędzanie tarczy hamulcowej z przyśpieszeniem 0,3 m/s ² do zadanej prędkości i rozpoczęcie hamowania
90 92 94	320	19/25	"	
95 97 99	350	14/18	50–60	Po hamowaniu 99 a przed hamowaniem 100 postój 2 minutowy, następnie rozpędzanie tarczy hamulcowej z przyśpieszeniem 0,3 m/s ² do zadanej prędkości i rozpoczęcie hamowania pomiar masy
96 98 100	350	19/25	"	
101 103 105	380	14/18	50–60	Po hamowaniu 101 a przed hamowaniem 102 postój 2 minutowy, następnie rozpędzanie tarczy hamulcowej z przyśpieszeniem 0,3 m/s ² do zadanej prędkości i rozpoczęcie hamowania pomiar masy
102 104 106	380	19/25	"	
107 108 109	120	18	50–60	Hamowania do zatrzymania, na sucho, po przerwie na chłodzenie
110	80	–	20–30	Hamowanie podtrzymujące z mocą 30 kW podczas 20 min. Hamowanie do zatrzymania, na sucho, wykonane bezpośrednio po hamowaniu podtrzymującym, bez przerwy na chłodzenie, pomiar masy
111	80	18	–	



Rys. 8. Przykładowe wykresy zmienności chwilowego współczynnika tarcia w funkcji prędkości

5. Wyniki badań

Głównym kryterium oceny badanych par ciernych w tym okładzin jest średni współczynnik tarcia, chwilowy współczynnik tarcia i zużycie masowe okładzin. Ze względu na brak kryteriów oceny w specyfikacji badawczej otrzymanej od zleceniodawcy, nie oceniano wyników badań. W raporcie końcowym zamieszczono jedynie wyniki badań i pomiarów spiekanych okładzin hamulcowych. Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe wyniki trzech badań wymienionych obiektów.

6. Podsumowanie

W artykule przedstawiono badania spiekanych okładzin hamulcowych do pojazdów dużych prędkości ($V_{max} = 380$ km/h) zrealizowane na stanowisku pomiarowym Instytutu Kolejnictwa. Omówiono program badań oraz testy tribologiczne, którym poddano okładziny hamulcowe. Ze względu na poufność wyników zamieszczono zmodyfikowane wartości mierzonych parametrów. Na przykładzie badania okładzin hamulcowych zaprezentowano parametry techniczne uniwersalnego stanowiska hamulcowego eksploatowanego w Instytucie Kolejnictwa.

Bibliografia

1. EN 14535-1: Railway applications – Brake discs for railway rolling stock – Part 1: Brake discs pressed or shrunk onto the axle or drive shaft, dimensions and quality requirements, 2011.
2. 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.
3. PN-EN 13979-1+A2:2011: Kolejnictwo – Zestawy kołowe i wózki – Koła monoblokowe – Procedura dopuszczenia – Część 1: Koła kute i walcowane.
4. prEN 16452: Railway applications – Braking – Brake blocks, 2012.
5. UIC 510-5: Technical approval of monobloc wheels – Application document for standard EN 13979-1.
6. UIC 541-3: Brakes – Disc brakes and their application – General conditions for the approval of brake pads. 7th edition, January 2010.
7. UIC 541-4: Brakes – Brakes with composite brake blocks – General conditions for certification of composite brake blocks – 4th edition, January 2010.
8. Report B 126/RP 18: Dynamometers for international approval of friction materials. Requirements.
9. https://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail#/media/File:Eastern_Asia_HSR2015.svg [dostęp z dnia 09.01.2016].
10. <http://eurailmag.com/of-trains-and-brakes> [dostęp z dnia 09.01.2016].
11. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CRH380CL_and_CRH380BL_in_Beijingnan_Railway_Station.JPG#/media/File:CRH380CL_and_CRH380BL_in_Beijingnan_Railway_Station.JPG [dostęp z dnia 09.01.2016].