

Badania tribologiczne par ciernych hamulca kolejowego według istniejących regulacji prawnych

Jacek KUKULSKI¹

Streszczenie

W artykule przedstawiono wymagania norm i istniejących regulacji prawnych dotyczących badań stanowiskowych par ciernych hamulca kolejowego do pojazdów kolejowych. Dokonano syntezy wymagań i kryteriów oceny stosowanych w przywołanych regulacjach prawnych. Przedstawiono również zakres badawczy i parametry techniczne stanowiska do badania par ciernych hamulca kolejowego oraz aparaturę pomiarową Instytutu Kolejnictwa używaną w tych badaniach.

Słowa kluczowe: para cierna, stanowisko dynamometryczne, badania, regulacje prawne

1. Wstęp

Jednym z istotnych podzespołów kolejowych pojazdów szynowych odpowiedzialnych za bezpieczeństwo, jest układ hamulcowy. Właśnie w stosunku do niego stosuje się bardzo wymagające kryteria oceny w procesie dopuszczeniowym oraz certyfikacyjnym. Te zagadnienia są szczególnie istotne dla producentów układów hamulcowych i materiałów ciernych, stosowanych w tych układach (systemach).

Właściwości tribologiczne w badaniach par ciernych hamulca kolejowego mają istotny wpływ na późniejsze bezpieczeństwo i sprawność układu hamulcowego, dlatego w stosunku do materiałów ciernych stosowanych na współpracujące ze sobą pary cierne, są stosowane bardzo rygorystyczne wymagania. Istnieje kilka dokumentów w postaci norm europejskich, Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności (TSI) [1–4, 6, 7] i Kart UIC (Międzynarodowy Związek Kolei) [8–10], w których określono zarówno wymagania dotyczące sposobu przeprowadzania badań, jak i kryteriów ich oceny. Zakres badań obejmuje sprawdzenie właściwości ciernych (współczynnik tarcia, zużycie), a także naprężenia własne w kołach monoblokowych, generowany hałas, zjawiska termiczne zachodzące na powierzchni tarcz ciernych i kół kolejowych przy znacznych obciążeniach cieplnych.

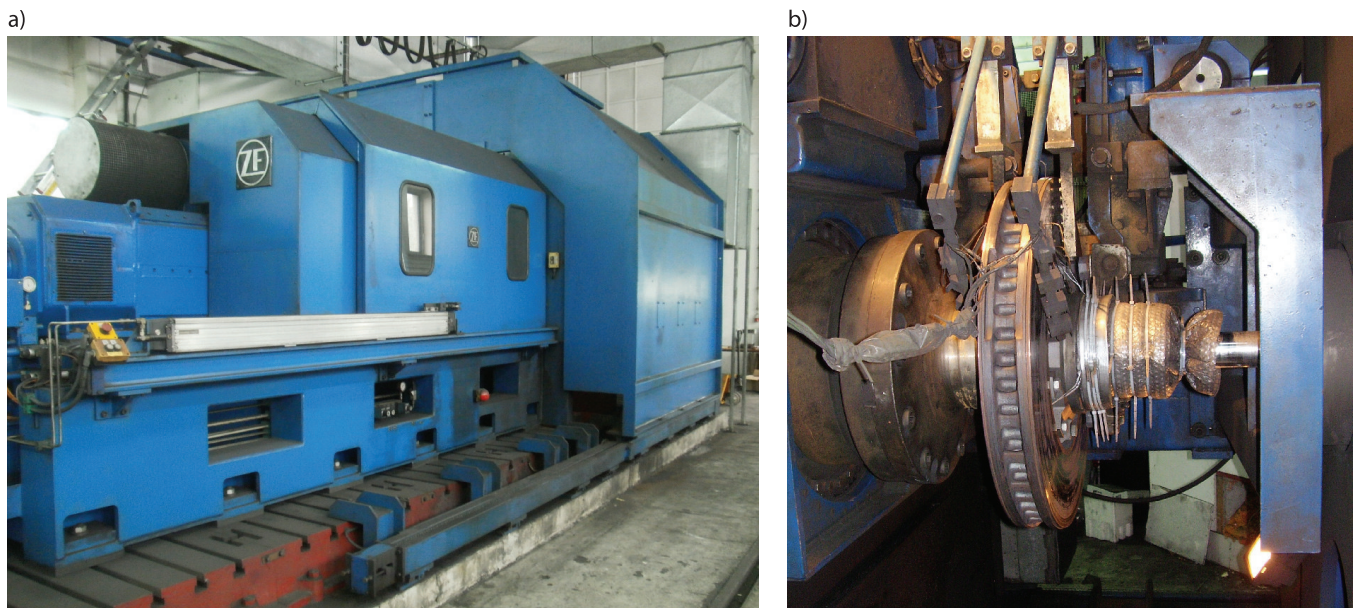
Wysokie wymagania powodują, że producenci materiałów ciernych muszą optymalizować swój produkt oraz poddawać go badaniom stanowiskowym według coraz bardziej skomplikowanych specyfikacji badawczych. Specyfi-

kacje te, oprócz standardowych programów badawczych z dokumentów normatywnych, zawierają niestandardowe pro-gramy badawcze o dużych mocach hamowania, jak też uwzględniające profile linii kolejowych, na których badany obiekt będzie eksploatowany.

2. 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 (Międzynarodowego Związku Kolei) dla uniwersalnych stanowisk hamulcowych do prędkości maksymalnej 420 km/h [5, 11]. Wykorzystywane jest ono do testów homologacyjnych materiałów ciernych według kart UIC [9, 10] i norm europejskich dotyczących badań kół kolejowych, wstawek hamulcowych [1, 2, 4] oraz tarcz hamulcowych [3]. Konstrukcja stanowiska umożliwiła 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 1 przedstawiono stacjonarne stanowisko badawcze oraz widok kabiny badawczej. Podstawowe parametry techniczne bezwładnościowego stanowiska badawczego przedstawiono w tablicy 1.

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



Rys. 1. Stacjonarne stanowisko badawcze: (a) widok ogólny, (b) kabina badawcza [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 [Nm]: – hamowanie do zatrzymania, – hamowanie ciągłe.	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 regulacji sumarycznej siły docisku obsad hamulcowych w hamulcu klockowym [kN]	0÷100
Zakres pomiarowy temperatury tarczy hamulcowej (koła jezdnych) [°C]	0÷1000

[Opracowanie własne]

Oprócz standardowego wyposażenia pomiarowego stanowiska, do badań wykorzystano dodatkową aparaturę do pomiaru chropowatości, kamerę termowizyjną, system pomiaru generowanego hałasu w kabinie badawczej, jak też system dodatkowej rejestracji temperatur w badanych obiektach. W tablicy 2 przedstawiono wykaz aparatury używanej do pomiaru chropowatości i temperatury.

Tablica 2

Wykaz dodatkowej aparatury pomiarowej

Aparatura pomiarowa	Producent	Typ
Chropowatościomierz	Hommel	Etamic W5
Rejestrator temperatur	Apar	AR 593
Kamera termowizyjna	Optris z soczewką 41×31	PI200
System pomiaru poziomu dźwięku	01dB-Metravib	Orchestra
Mikrofon 1/2"	Brüel&Kjaer	4189

[Opracowanie własne]

3. Wymagania w zakresie badań par ciernych hamulca

Ogólne wymagania dotyczące konstrukcji hamulców kolejowych oraz prowadzenia badań są określone w następujących dokumentach:

- TSI Lok&Pas – Techniczna Specyfikacja Interoperacyjności „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” [6].
- TSI WAG – Techniczna Specyfikacja Interoperacyjności „Tabor kolejowy – wagony towarowe” (Rozporządzenie Komisji (UE) nr 924/2015 z dnia 5 czerwca 2015 r.) [7].

W szczególności w zakresie badań par ciernych hamulca kolejowego, wymienione TSI odwołuje się do szczegółowych norm przedmiotowych. W przypadku ogólnym, szczegółowe wymagania oraz warunki homologacji (certyfikacji) par ciernych hamulca kolejowego w tym zakresie są określone w dokumentach przedstawionych w dalszej części artykułu. Wybór poszczególnych dokumentów nor-

matywnych w odniesieniu do konkretnych badań jest uzależniony od potrzeb i wymagań klienta.

2. PN- EN 16452 [4] (tablica 4);
3. ERA/TD/2013-02/INT ver. 3.0 [1] (tablica 5).

3.1. Wymagania dla wstawek do hamulca klockowego

Programy badawcze i kryteria oceny badań materiałów stosowanych na wstawki hamulcowe klockowe przedstawiono w trzech dokumentach:

1. Karta UIC 541-4 [10] (tablica 3);

W tablicach 3–5 zestawiono dane wymagane przez program badawczy oraz kryteria oceny zawarte w poszczególnych dokumentach normatywnych.

Konfiguracja wstawek hamulcowych dotyczy liczby wstawek hamulcowych oraz układu dociskania do koła podczas hamowania (rys. 2).

Tablica 3

Badanie wstawek hamulcowych według karty UIC 541-4 [10]

Kategoria pojazdu / typ wstawek	Nacisk na oś [t]	Konfiguracja wstawek				Programy badawcze / wymagane do certyfikacji	Kryteria oceny	
		1×Bg	2×Bg	1×Bgu	2×Bgu			
Wagon / wstawki K	18,0	X	–	–	–	A3	Punkt 2.2.2	
						A4	Punkt 2.2.2.8	
						A5/Zał. G	Punkt 2.2.2.4	
						A6	Punkt 2.2.2.6	
						A7/Zał. J, Zał. I	–	
						A11 (opcjonalnie)	–	
A12	Punkt 2.2.2.7							
Wagon / wstawki LL	22,5	–	X	X	X	A1	Punkt 2.2.2	
						A4	Punkt 2.2.2.8	
						A5/Zał. G	Punkt 2.2.2.4	
						A6	Punkt 2.2.2.6	
						A7/Zał. J, Zał. I	–	
						A11 (opcjonalnie)	–	
A12	Punkt 2.2.2.7							
Wagon / wstawki LL	22,5	–	X	–	–	A2	Punkt 2.2.2	
						A4	Punkt 2.2.2.8	
						A5/Zał. G	Punkt 2.2.2.4	
		–	–	–	X	–	A6	Punkt 2.2.2.6
							A7/Zał. J, Zał. I	–
							A11 (opcjonalnie)	–
A12	Punkt 2.2.2.7							

Tablica 4

Badanie wstawek hamulcowych według normy PN-EN 16452 [4]

Kategoria pojazdu / typ wstawek	Wymagania	Programy badawcze / wymagane do certyfikacji	Kryteria oceny
Kategoria A (ruch międzynarodowy)	Charakterystyka wstawek	Punkt 7.1 Zał. S i T	Zał. S i T
	Test dynamiczny	Punkt 7.2 Zał. C do I	Punkt 7.2 Zał. C do I
	Określanie statycznego współczynnika tarcia	Punkt 7.3 Zał. Q	Punkt 7.3
	Test symulujący warunki zimowe (wagony towarowe)	Punkt 7.4 Zał. L i M	Zał. L i M
	Test symulujący zablokowanie hamulca (wagony towarowe)	Punkt 7.5 Zał. N	Punkt 7.5
	Test symulujący zablokowanie hamulca (inne pojazdy)	Punkt 7.5 Zał. N	Punkt 7.5

Tablica 4 cd.

Kategoria pojazdu / / typ wstawek	Wymagania	Programy badawcze / wymagane do certyfikacji	Kryteria oceny
Kategoria B (ruch międzynarodowy)	Test zużycia wstawek	Punkt 8.2 Zał. R	–
	Dynamiczny test cierny	Punkt 8.3 Zał. J	–
Kategoria C (ruch międzynarodowy)	Test na wtrącenia metaliczne	Punkt 9.1 Zał. K	Punkt 9.1
Kategoria A (ruch krajowy)	Charakterystyka wstawek	Punkt 7.1 Zał. S i T	Zał. S i T
	Test dynamiczny	Punkt 7.2 Zał. C do I	Punkt 7.2 Zał. C do I
	Określanie statycznego współczynnika tarcia	Punkt 7.3 Zał. Q	Punkt 7.3
	Określanie statycznego współczynnika tarcia	Punkt 7.3 Zał. Q	Punkt 7.3
	Test symulujący zablokowanie hamulca	Punkt 7.5 Zał. N	Punkt 7.5
Kategoria B (ruch krajowy)	Test zużycia wstawek	Punkt 8.2 Zał. R	–
	Dynamiczny test cierny	Punkt 8.3 Zał. J	–
Kategoria C (ruch krajowy)	Test na wtrącenia metaliczne	Punkt 9.1 Zał. K	Punkt 9.1

Tablica 5

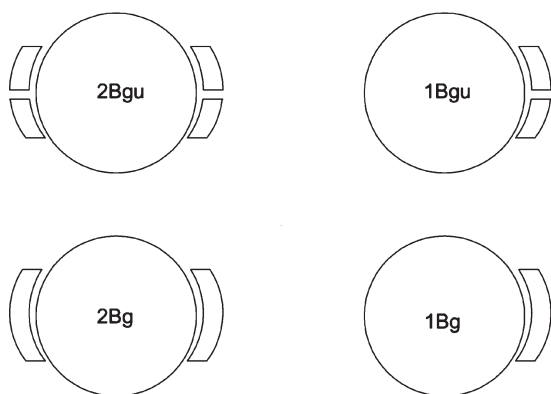
Badanie wstawek hamulcowych według dokumentu ERA/TD/2013-02/INT [1]

Kategoria pojazdu / typ wstawek	Wymagania	Programy badawcze / wymagane do certyfikacji	Kryteria oceny
Wstawka hamulcowa	Skuteczność tarcia dynamicznego	Punkt 4.1	PN-EN-16452
	Współczynnik tarcia statycznego	Punkt 5.1	PN-EN-16452

Tablica 6

Badanie okładzin hamulcowych do lokomotyw, wagonów
motorowych i wagonów towarowych według karty UIC 541-3 [9]

Kategoria pojazdu / typ okładzin	Maksymalna prędkość [km/h]	Programy badawcze / wymagane do certyfikacji	Kryteria oceny
A1	120	Zał. B1	Punkt 1.3-1.9
B1	160	Zał. B2	Punkt 1.3-1.9
B2	160	Zał. B3	Punkt 1.3-1.9
C1	200	Zał. B2	Punkt 1.3-1.9
C2	200	Zał. B3	Punkt 1.3-1.9
C3	200	Zał. B4	Punkt 1.3-1.9
D1	250	Zał. B5	Punkt 1.3-1.9
D2	250	Zał. O	Punkt 1.3-1.9
E1	300	Zał. O	Punkt 1.3-1.9
F1	350	Zał. B8	Punkt 1.3-1.9
F2	350	Zał. B9	Punkt 1.3-1.9
F3	350	Zał. B10	Punkt 1.3-1.9
G1	400	Zał. B9	Punkt 1.3-1.9

Rys. 2. Konfiguracje montażu wstawek hamulcowych
[opracowanie własne]

3.2. Wymagania dla okładzin hamulca tarczowego

Wymagania w zakresie programów badawczych oraz kryteriów oceny badań materiałów stosowanych na okładziny hamulcowe przedstawiono w karcie UIC 541-3 [9]. Syntetyczne zestawienie wymagań zawarto w tablicach 6–7.

Tablica 7

Badanie okładzin hamulcowych do wagonów pasażerskich według karty UIC 541-3 [9]

Kategoria pojazdu / typ okładzin	Maksymalna prędkość [km/h]	Programy badawcze / wymagane do certyfikacji	Kryteria oceny
1.1.a	300	R, S2.1	Punkt 1.3-1.9 Zał. C2, C8, C9
1.1.b	320	R, S2.1	Punkt 1.3-1.9 Zał. C2, C8, C9
4.2	200	S1.1, S2.1	Punkt 1.3-1.9 Zał. C8, C9
4.2	200	S1.2, S2.2	Punkt 1.3-1.9 Zał. C8, C9
4.3	200	T1, T2	Punkt 1.3-1.9 Zał. C8, C9

3.3. Wymagania dla tarcz hamulcowych

Wymagania dotyczące programów badawczych oraz kryteriów oceny badań tarcz hamulcowych przedstawiono w normie PN-EN 14535-3 [3]. Syntetyczne zestawienie wymagań zawiera tablica 8.

Tablica 8

Badanie tarcz hamulcowych według normy PN-EN 14535-3 [3]

Wymagania	Programy badawcze / wymagane do certyfikacji	Kryteria oceny
Test wydajnościowy i wytrzymałościowy	Punkt 9.3	Punkt 9.4
Test rozpraszania ciepła	Punkt 10.2, 10.3	Punkt 10.4
Test rotacyjny	Punkt 11.2, 11.3	Punkt 11.4
Test wentylacji	Punkt 12.3	Punkt 12.2
Test generowanego hałasu	Punkt 13	–

3.4. Wymagania dla kolejowych kół monoblokowych

Wymagania dotyczące programów badawczych oraz kryteriów oceny badań kolejowych kół monoblokowych przedstawiono w normie PN-EN 13979-1 [2] i Karcie UIC 510-5 [8]. Syntetyczne zestawienie wymagań zawiera tablica 9.

Tablica 9

Badanie kół monoblokowych według normy PN-EN 13979-1 [2]

Wymagania	Programy badawcze / wymagane do certyfikacji	Kryteria oceny
Etap I – badania stanowiskowe	Punkt 3.2, 6.2.1, Zał. A	Punkt 6.2.2 Zał. A
Etap II – badania stanowiskowe	Punkt 6.3, 7.3 Zał. A	Punkt 7.3.3 Zał. A

3.5. Specyfikacje badawcze

Oprócz opisanych programów badawczych i kryteriów oceny wyników badań, producenci par ciernych hamulca kolejowego często dobierają konkretne rozwiązania do danego typu pojazdu kolejowego. Przypadki indywidualnego doboru par ciernych do konkretnego pojazdu kolejowego, przeznaczonego do poruszania się po wybranych liniach kolejowych, stają się coraz liczniejsze.

Takie przypadki są często widoczne w specyfikacjach badawczych otrzymywanych od klienta i wymaga to zaprogramowania niestandardowego programu badawczego na stanowisku. Otrzymane wyniki badań są cenne dla klientów, bowiem mogą oni ocenić przydatność danego produktu, a także w wielu przypadkach zweryfikować swoje założenia i zwalidować modele symulacyjne.

4. Specyfika badań tribologicznych par ciernych

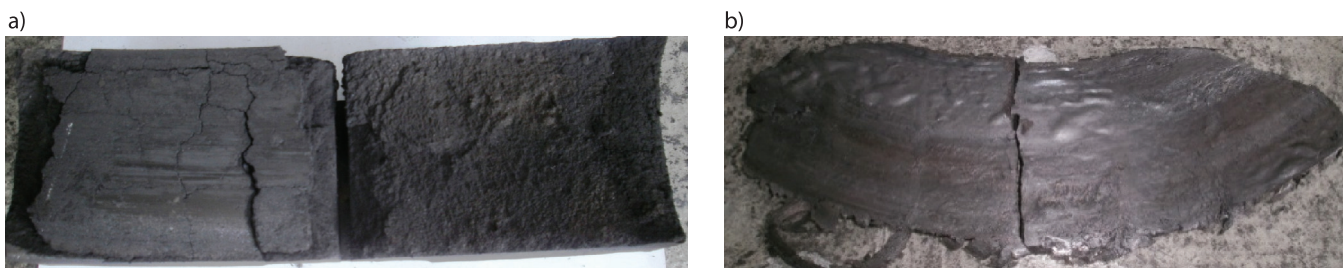
Badania tribologiczne są badaniami dość długotrwałymi i wymagają znacznych nakładów finansowych ze strony producenta materiałów ciernych. Specyfika wymagań programów badawczych obejmuje kilka typowych problemów badawczych, między innymi:

- badanie właściwości ciernych (zachowanie się materiału w warunkach suchych i mokrych),
- badanie odporności na obciążenia termiczne,
- badanie naprężeń własnych w kołach monoblokowych,
- symulacja długotrwałych obciążeń eksploatacyjnych,
- zużycie materiału ciernego, tarcz hamulcowych, kół.

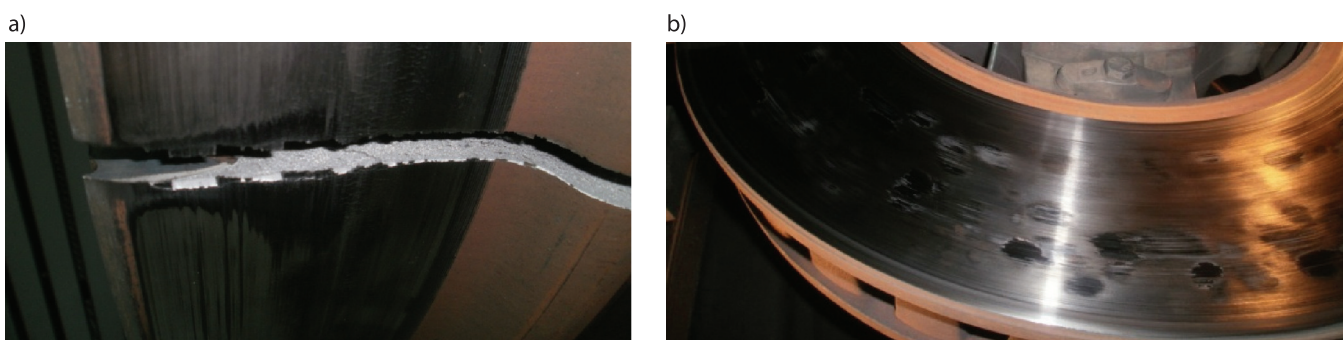
Badania właściwości ciernych służą do określenia średniego współczynnika tarcia współpracującej ze sobą pary cierniej. Badania są często wykonywane dla suchych i mokrych warunków symulujących opady deszczu lub śniegu. Tego typu badania mają na celu wykrycie tarcia mieszanego, czyli aquaplaningu, który może spowodować znaczne wydłużenie drogi hamowania. Badania odporności na obciążenia termiczne są podejmowane w celu sprawdzenia, jak zachowa się para cierna podczas ekstremalnych obciążeń termicznych. Obciążenia te mogą pojawić się w kilku przypadkach, m.in.:

- podczas hamowania z dużych prędkości 350–400 km/h,
- w czasie awarii hamulca ciernego (zablokowanie pary cierniej),
- podczas zjazdu z dużego pochylenia linii kolejowej (21–40‰).

Badania doświadczalne tego typu charakteryzują się znaczną energią i mocą hamowania, gdyż badane obiekty są poddawane znacznym obciążeniom termicznym, ulegając granicznemu zużyciu i trwałym uszkodzeniom (rys. 3 i 4).



Rys. 3. Zużycie materiału ciernego: (a) wstawki hamulcowej, (b) okładziny hamulcowej [fot. J. Kukulski]



Rys. 4. Widok uszkodzonego obiektu: (a) koło monoblokowe, (b) przypalenia na tarczy hamulcowej [fot. J. Kukulski]

Wysokie temperatury, które pojawiają się w trakcie hamowań badawczych, dochodzące do 700–900°C, często powodują trwałe uszkodzenia badanych kół monoblokowych lub pojawienie się gorących punktów i przypaleń na powierzchni tarczy (rys. 4b). Uszkodzenia kół (rys. 4a) są spowodowane uwolnieniem się naprężeń własnych powstających w procesie nierównomiernego stygnięcia koła po badaniach.

Badania symulujące obciążenia eksploatacyjne mają na celu poznanie właściwości i stanu obiektu po kilku lub kilkunastu latach eksploatacji. Istnieją różne metody osiągnięcia tak zwanego stanu zużycia, zarówno komputerowymi metodami symulacyjnymi, jak i badaniami doświadczalnymi, które jednak są bardzo długotrwałe i kosztowne. Mimo to, producenci par ciernych hamulców często takie badania wykonują.

5. Podsumowanie

W artykule scharakteryzowano programy badawcze wykorzystywane do oceny par ciernych hamulca kolejowego. W sposób syntetyczny przedstawiono wymagania i kryteria oceny zawarte w kilku dokumentach normatywnych. Artykuł ten może być pomocny producentom materiałów ciernych ubiegających się o homologacje lub certyfikacje swojego produktu. Jest to proces długotrwały, wymagający dużej liczby badań i dużych nakładów finansowych. Wymagania w stosunku do materiałów ciernych wstawek lub okładzin hamulcowych są bardzo rygorystyczne i muszą one spełniać te wymagania, aby otrzymać dopuszczenie.

Oprócz przedstawionych wymagań dotyczących par ciernych hamulca, opisano również eksploatowane w Instytucie Kolejnictwa stanowisko dynamometryczne i jego możliwości techniczne.

Bibliografia

1. ERA/TD/2013-02/INT ver. 3.0 – Friction elements for wheel tread brakes for freight wagons, 27-11-2015.
2. PN-EN 13979-1+A2:2011: Kolejnictwo – Zestawy kołowe i wózki – Koła monoblokowe – Procedura dopuszczenia – Część 1: Koła kute i walcowane.
3. PN-EN 14535-3:2016-02: Kolejnictwo – Tarcze hamulcowe kolejowych pojazdów szynowych – Część 3: Tarcze hamulcowe, właściwości tarczy i pary cierniej, klasyfikacja.
4. PN-EN 16452:2015-08: Kolejnictwo – Hamowanie – Wstawki hamulcowe.
5. Report B 126/RP 18 Dynamometers for international approval of friction materials. Requirements.
6. TSI Lok&Pas – Techniczna Specyfikacja Interoperacyjności „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski”, (Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r.).
7. TSI WAG – Techniczna Specyfikacja Interoperacyjności „Tabor kolejowy – wagony towarowe” (Rozporządzenie Komisji (UE) nr 924/2015 z dnia 05 czerwca 2015 r.).
8. UIC 510-5: Technical approval of monobloc wheels – Application document for standard EN 13979-1.
9. UIC 541-3: Brakes – Disc brakes and their application – General conditions for the approval of brake pads. 8th edition, March 2017.
10. UIC 541-4: Brakes – Brakes with composite brake blocks – General conditions for certification of composite brake blocks – 4th edition, January 2010.
11. UIC 548: Brakes – Requirements of friction test benches for the international certification of brake pads and brake blocks – 2nd edition, July 2016.