ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: TRANSPORT z. 49 Nr kol. 1605

Stanisław DŻUŁA
Paweł URBAŃCZYK

SEGMENTOWA WSTAWKA HAMULCOWA

Streszczenie. Jednym z podstawowych problemów napotykanych w czasie eksploatacji pojazdów szynowych wyposażonych w klasyczny układ hamulca klockowego ze wstawkami z żeliwa P10 jest wynikające z odkształceń cieplnych wstawek hamulcowych zmniejszenie skuteczności hamulca oraz przyspieszone i nierównomierne zużycie wstawek. Jedną z dróg zmniejszenia odkształceń cieplnych wstawek jest zmniejszenie jej sztywności na zginanie. Osiągnięto to dzięki podziałowi wstawki na oddzielne segmenty. Konstrukcja wstawki segmentowej zapewnia pełną zamienność ze wstawkami klasycznymi.

SEGMENTED SHOE BRAKE

Summary. One of the frequent problems met in technical operation of rail vehicles equipped with standard shoe brake system with shoe made of cast iron. The decrease of brake efficiency together with increased and irregular shoe wear caused by thermal deformations of brake shoes are one of the most frequent problems met in technical operation of rail vehicles equipped with standard shoe brake system with shoes made of cast iron P10.

1. WSTĘP

Pomimo intensywnego rozwoju techniki hamulcowej, wprowadzania coraz doskonalszych układów hamulcowych, szczególnie w pojazdach trakcyjnych, przeznaczonych do kursowania z dużymi prędkościami, nadal najpopularniejszy pozostaje hamulec klockowy w układzie zwanym „klasycznym hamulcem klockowym UIC na sprężone powietrze". Rozumie się przez to hamulec wyposażony we wstawki wykonane z żeliwa P10 o podwyższonej zawartości fosforu.

Sytuacja ta wynika z wielu zalet hamulca klockowego, m.in.:

- niezawodności działania w każdych warunkach atmosferycznych,
- stabilności realizowanych dróg hamowania,
- oczyszczania powierzchni tocznej kół podczas hamowania,
- prostej obsługi w czasie eksploatacji.

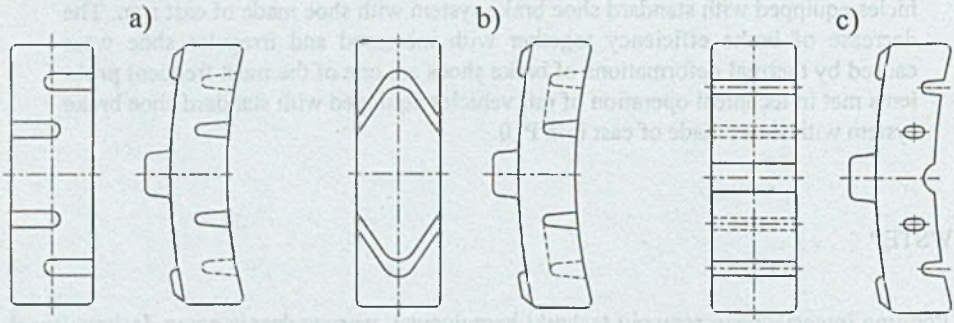
Fakt, że nowo konstruowane wagony towarowe, nawet przeznaczone do ruchu z obciążeniem 25 t/oś, wyposażane są w hamulce klockowe, świadczy o tym, że przez najbliższe kilkadziesiąt lat opisana sytuacja nie ulegnie istotniejszym zmianom.

Oczywiście, układ hamulca klockowego nie jest doskonały. Obecnie standardem jest wyposażanie wagonów w urządzenia dostosowujące siłę hamowania do obciążenia pojazdu i w klocki dwuwstawkowe współpracujące z kołami monoblokowymi.

Wydaje się jednak, że hamulec klockowy powoli osiąga kres swoich możliwości. Skuteczność tego hamulca jest ograniczona obciążeniem cieplnym węzła ciernego [15] oraz warunkami przyczepności koło – szyna. Ponadto istotną wadą hamulca klockowego wyposażonego we wstawki żeliwne jest trudność wykorzystania współczynnika przyczepności kół z szynami, co wynika z odmienności przebiegu siły tarcia i przebiegu siły przyczepności. Aby wartość siły hamującej nie przekroczyła wartości siły przyczepności, konieczne jest uzależnienie siły docisku klocków hamulcowych od prędkości pojazdu.

Stosunkowo najprostszym sposobem podwyższania skuteczności hamulca jest zwiększanie siły docisku klocków do kół. Należy jednak zdawać sobie sprawę, że wzrost tej siły powoduje spadek wartości współczynnika tarcia wstawka – koło i to niezależnie od prędkości, a dodatkowo następuje zwiększenie zużycia ściernego wstawek. Szczegółowo problematyka ta omówiona jest w [3], [4], [5].

Jednym z poważniejszych problemów występujących podczas eksploatacji pojazdów z hamulcem klockowym wyposażonym we wstawki żeliwne jest ich nierównomierne i przyspieszone zużywanie się. Przyczyny i przebieg tego zjawiska zostały szczegółowo opisane w [3], [4]. Powstające podczas hamowania odkształcenia cieplne wstawki powodują zmianę promienia jej krzywizny i utratę przez końce wstawki kontaktu z kołami, co oczywiście powoduje wzrost nacisków jednostkowych i zużycia wstawki w środkowej jej części oraz zmniejszenie skuteczności hamulca wskutek spadku wartości współczynnika tarcia. Tak zużyta wstawka podczas następnego hamowania styka się z kołem tylko swoimi końcami, co ma podobne skutki do opisanych powyżej.



Rys. 1. Żeliwne wstawki hamulcowe ze szczelinami dylatacyjnymi:
a) wstawka wg patentu nr 170619
b) wstawka wg zgłoszenia patentowego nr P-323331
c) wstawka wg zgłoszenia patentowego nr P-330171

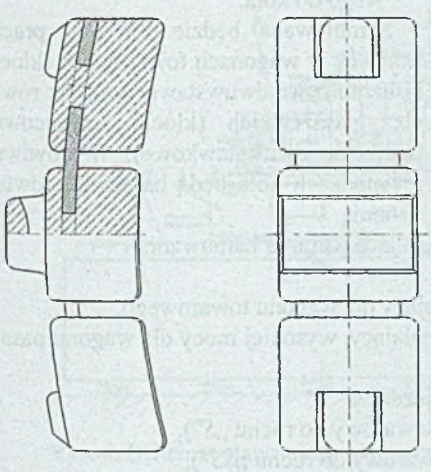
Fig. 1. Cast iron brake shoes with expansion gaps:
a) shoe – patent no 170619
b) shoe – patent application no P-323331
c) shoe – patent application no P-330171

Od czasu wprowadzenia do eksploatacji wstawek wykonanych z żeliwa P10 pojawił się kolejny poważny problem – wywoływanie pożarów przez iskry powstające podczas hamowania. Wszystkie opisane problemy skłoniły do poszukiwań optymalnej konstrukcji klocków i wstawek hamulcowych [16]. Okazało się, że korzystniej jest stosować klocki hamulcowe wyposażone w dwie lub trzy wstawki hamulcowe niż w jedną wstawkę o większej długości. Konieczność wyłapywania i wygaszania iskier powstających podczas hamowania skłoniła do wprowadzenia w powierzchni ciernej szczelin dylatacyjnych o różnej konstrukcji. Na PKP już od szeregu lat coraz powszechniejsze są tego typu wstawki [7, 9, 12]. W praktyce potwierdziło się, że dzięki takim zmianom konstrukcyjnym można skutecznie zmniejszyć prawdopodobieństwo wywołania pożaru. Niemniej jednak do rozwiązania pozostał problem zmniejszenia odkształceń cieplnych wstawek i wynikającego z niego zmniejszenia zużycia wstawek i poprawienia stabilności realizowanych dróg hamowania.

2. SEGMENTOWA WSTAWKA HAMULCOWA

2.1. Konstrukcja wstawki segmentowej

Podstawowym celem przy opracowywaniu nowej konstrukcji wstawki hamulcowej było zmniejszenie jej odkształceń cieplnych, poprawienie równomierności rozkładu nacisków jednostkowych w strefie tarcia oraz zmniejszenie maksymalnych ich wartości, a dzięki temu zapobieżenie niepożądanemu spadkowi wartości współczynnika tarcia i skuteczności hamulca. Aby to osiągnąć konieczne było zmniejszenie sztywności na zginanie wstawki. Wstawka podzielona została na nieparzystą ilość segmentów ciernych, które połączone są ze sobą jedynie za pomocą stalowej wtopki osadzonej w strefie grzbietowej wstawki. Opisywana konstrukcja wstawki segmentowej została zgłoszona w Urzędzie Patentowym RP pod numerem zgłoszeniowym nr P-356758. Nrys. 2 przedstawiono jeden z przykładów jej wykonania.



Rys.2. Segmentowa wstawka hamulcowa (zgłoszenie patentowe nr P- 56758)
Fig.2. Segmented brake shoe (patent application no P-356758)

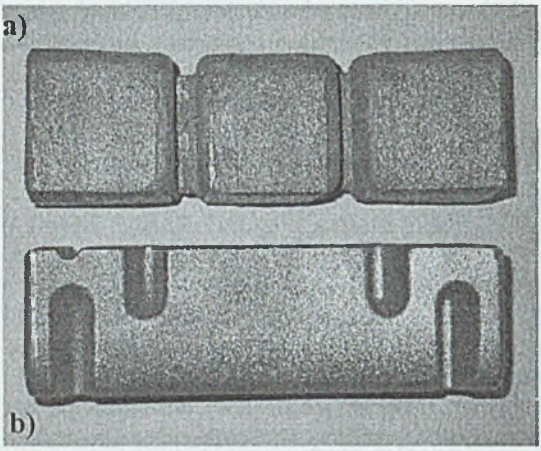
Dzięki zastosowaniu tego typu wstawek w miejsce wstawek klasycznych można się spodziewać szeregu korzyści, a przede wszystkim:

- poprawy bezpieczeństwa ruchu dzięki skróceniu dróg hamowania oraz wzrost ich stabilności,
- przedłużenia żywotności wstawek dzięki zmniejszeniu zużycia ściernego,
- zmniejszenie zagrożenia pożarowego dzięki zatrzymywaniu i wygaszaniu iskier w szczelinach między segmentami wstawki,
- pełnej zamienności z obecnie stosowanymi wstawkami.

2.2. Weryfikacja właściwości wstawek

Sprawdzenie poprawności koncepcji nowej konstrukcji będzie przeprowadzone metodą teoretyczną i eksperymentalną. Obecnie prowadzone są w systemie MES badania numeryczne wstawek klasycznych i nowego typu.

W ostatniej fazie są przygotowania do rozpoczęcia badań stanowiskowych w skali 1:1. Badania zostaną przeprowadzone dla wstawek nowego i klasycznego typu, wyprodukowanych z tego samego wytopu żeliwa. Materiałem wstawek jest żeliwo P10, a przeznaczone do badań wstawki zostały wykonane przez firmę PESA w Bydgoszczy.



Rys.3. Wstawki hamulcowe przeznaczone do badań:
a) wstawka nowej konstrukcji,
b)wstawka klasyczna

Fig.3.Brake shoes for experiment:
a) new design shoe,
b) standard shoe

Do badań przeznaczono 3-segmentowe wstawki o długości 250 mm zamienne ze wstawkami D0 ze szczelinami przeciwiskrowymi.

Zdjęcie przedstawione na rysunku 3 ukazuje różnice w konstrukcji wstawek.

W czasie badań doświadczalnych odwzorowane zostaną nie tylko warunki pracy, ale również:
- geometria elementów ciernych,
- geometria podwieszenia klocka do ostoi,
- czas napełniania cylindra hamul.,
- średnica koła,
- wartość docisku klocka hamulcowego do koła.

Symulowana będzie zarówno praca wstawek w wagonach towarowych (klocki hamulcowe dwuwstawkowe), jak również pasażerskich (klocki hamulcowe podwójne dwuwstawkowe). W obydwu przypadkach koła będą hamowane dwustronnie.

Badania eksperymentalne uwzględniać będą następujące warunki hamowania:

A) Typ hamulca:
- hamulec typu „*T*" - „towarowy" wolno działający dla wagonu towarowego,
- hamulec typu „*R*", - „pospieszny" szybko działający, wysokiej mocy dla wagonu pasażerskiego.

B) Prędkość maksymalna i masa symulowanych pojazdów:
- $V = 120\ km/h$, $m_w = ok.\ 25\ t$ (próżny wagon towarowy do ruchu „*S*"),
- $V = 120\ km/h$, $m_w = 80\ t$ (ładowny wagon towarowy do ruchu „*SS*"),
- $V = 100\ km/h$, $m_w = 100\ t$ (ładowny wagon towarowy do ruchu „*S*"),
- $V = 160\ km/h$, $m_w = 50\ t$ (wagon osobowy).

C) Rodzaj hamowania:
- hamowanie nagłe do zatrzymania, stosowane w przypadkach niebezpieczeństwa,
- hamowanie ciągłe na symulowanym spadku toru w celu utrzymania prędkości jazdy.

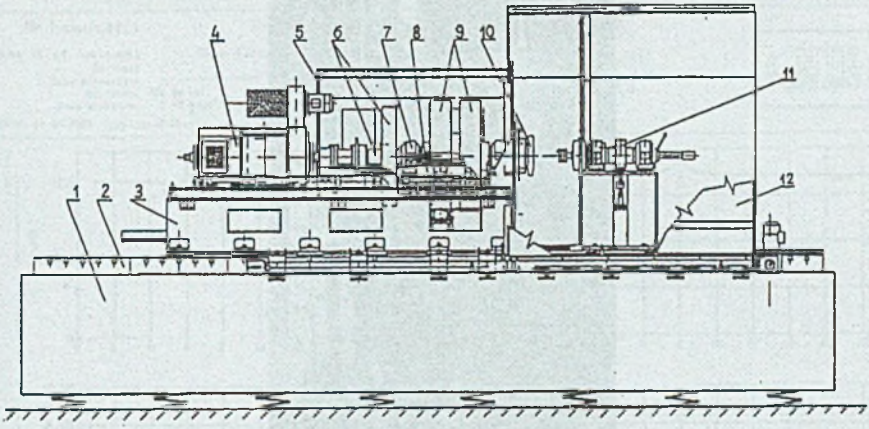
D) Stan i warunki pracy elementów ciernych hamulca:
- wstawka „*nowa*" - wstawka o wymiarach nominalnych,
- wstawka „*zużyta*" - wstawka o minimalnej dopuszczalnej w eksploatacji grubości,
- warunki pracy „*na mokro*" - elementy cierne zraszane w czasie hamowania.

W trakcie badań mierzone będą:
- moment hamujący,
- energia hamowania,
- chwilowa wartość współczynnika tarcia wstawka – koło,
- droga i czas hamowania,
- temperatury koła i wstawki hamulcowej,
- zużycie masowe wstawek,
- przyspieszenie w wybranych punktach klocka hamulcowego,
- iskrzenie wstawek.

2.3. Stanowisko badawcze

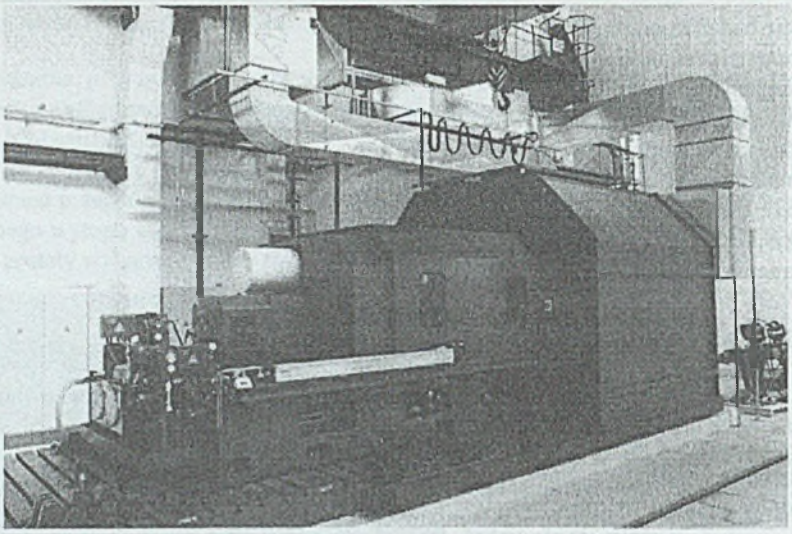
Badania porównawcze wstawek hamulcowych segmentowych i klasycznych zostaną przeprowadzone na stanowisku badawczym hamulców, którym dysponuje Centrum Naukowo – Techniczne Kolejnictwa w Warszawie (rys. 4 i 5).

Stanowisko to, szczegółowo opisane w [2 i 14], jest przeznaczone do badań hamulców kolejowych w skali 1:1, z możliwością symulowania warunków atmosferycznych w zakresie prędkości jazdy do 400 km/h. Konstrukcja stanowiska umożliwia przystosowanie do badania zarówno hamulców klockowych (rys. 6), jak też tarczowych. Możliwe jest realizowanie zarówno hamowań nagłych (z symulacją bezwładności pojazdu za pomocą mas bezwładnościowych oraz elektrycznej symulacji mas), jak też hamowań ciągłych (utrzymywanie zadanej prędkości na symulowanym spadku). Schemat i opis stanowiska przedstawiono na rysunku 4, natomiast rysunek 5 przedstawia widok ogólny stanowiska.

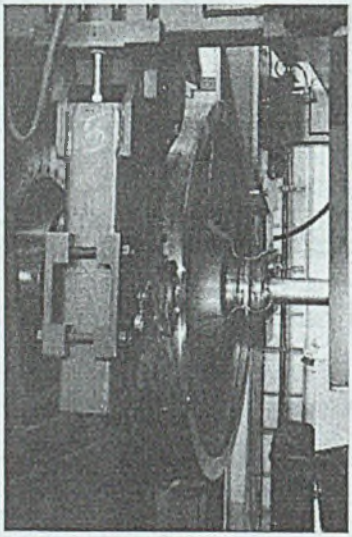


Rys. 4. Schemat stanowiska badawczego hamulców w CNTK
Fig. 4. Scheme of experimental stand at CNTK

1- fundament z tłumieniem,
2- żeliwna płyta montażowa,
3- rama fundamentowa,
4- silnik napędowy z wentylatorem,
5- kołpak ochronny,
6-wał główny z masą bezwładnościową główną,
7- łożysko,
8- hydrauliczne urządzenie przestawcze dodatkowych mas bezwładnościowych,
9- dodatkowe masy bezwładnościowe,
10- adapter,
11-koziołek wahliwy hamulca dynamometru,
12- kabina stacji prób.

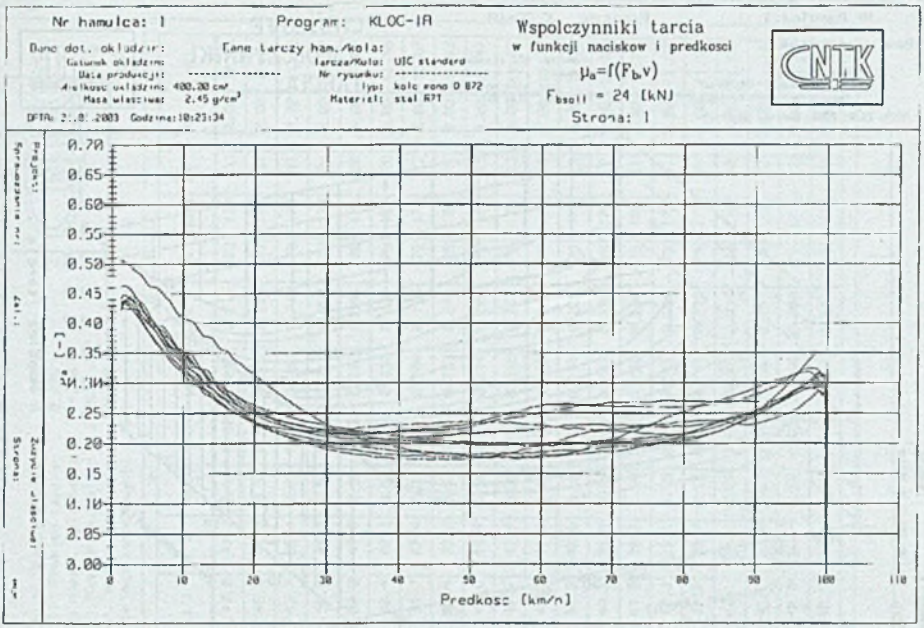


Rys.5. Widok ogólny hamulcowego stanowiska badawczego w CNTK
Fig.5. General view of brake experimental stand at CNTK

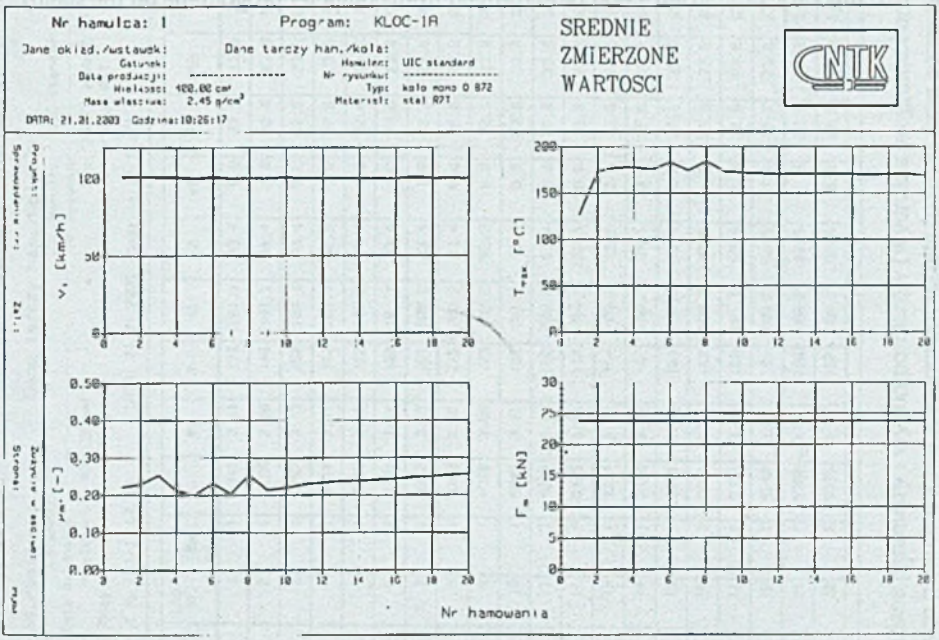


Rys.6. Badanie wstawek
Fig.6. Brake shoe experiments

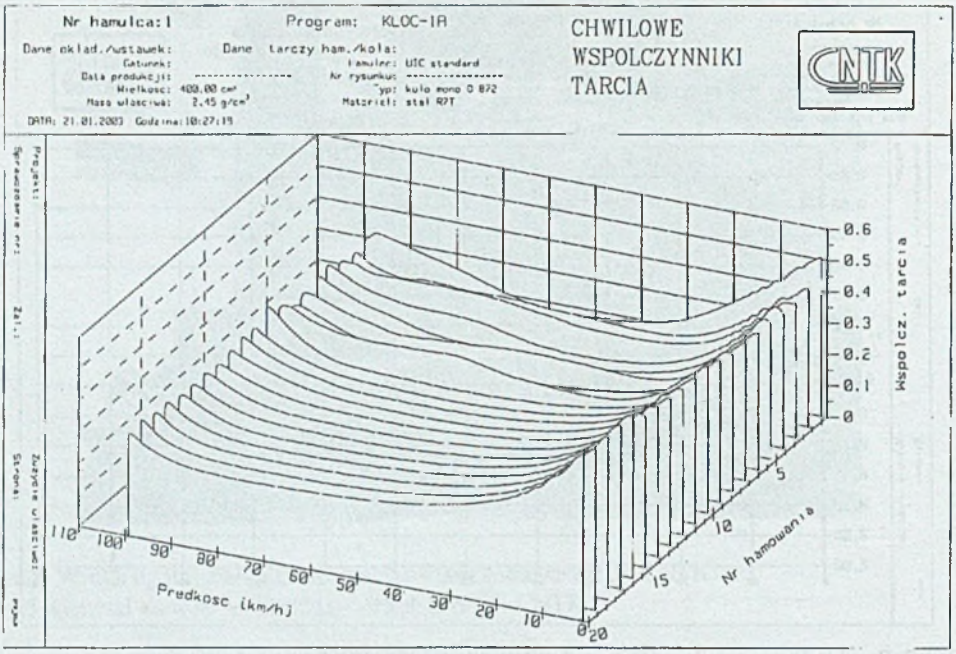
Opisane stanowisko w pełni umożliwia przeprowadzenie zaplanowanych badań, a jego konstrukcja umożliwia w razie potrzeby rozszerzenie możliwości badawczych. Przykładowe wyniki badań uzyskane na stanowisku badawczym zamieszczono na rys. 7-10.



Rys.7. Przykładowe wyniki pomiaru chwilowej wartości współczynnika tarcia
Fig.7. Sample measurement results of friction ratio temporary value



Rys. 8. Przykładowe wyniki pomiarów uzyskane przy hamowaniu ciągłym
Fig. 8. Sample measurement results achieved with long braking



Rys.9. Chwilowe wartości współczynników tarcia (wydruk programu komputerowego)
Fig.9. Temporary values of friction ratio (printed from computer programme on the stand)

Nr hamulca: 1 Program: KLOC-1A

Tablica 1

Dane okład./wstawek:
Gatunek:
Data produkcji: ----------
Wielkosc: 400.00 cm³
Masa wlasciwa: 2.45 g/cm³

Dane tarczy ham./koła:
Hamulec: UIC standard
Nr rysunku: ----------
Typ: koło mono O 872
Materiał: stal R7T

Srednica koła: 0.872 m
Promien tarcia: 0.436 m
Czas napel. cyl. ham.: 4.00 s
Masa na hamulec: 2500.0 kg
Mech. moment bezwład.: 473.06 kgm²
Nr mas zamachowych: 2

Σ W_B [MJ]: 62.10 DATA: 21.01.2003 Godzina: 10:17:23

UIC	Lfd. Nr.	BA (1/2/3)	G	W_B	N	v1	v2	vE	F2	Fm	s1	s2	t 1	t 2	bs1	bt1	μm2	μm	Ta	Tmax	SA	Q	vL
	1	1	9241	3.11	178	101.1	93.4	0.0	22.6	23.8	706.4	590.4	47.0	42.7	0.56	0.60	0.222	0.216	23	128	33	0.00	12.25
	2	1	9196	3.16	146	101.1	94.4	1.0	22.6	23.8	697.5	580.7	46.8	42.5	0.57	0.59	0.229	0.224	77	174	37	0.00	11.61
	3	1	9287	3.13	162	101.1	93.4	0.0	22.6	23.8	636.5	519.7	43.7	39.4	0.62	0.64	0.253	0.245	79	177	41	0.00	11.62
	4	1	9514	3.14	162	101.1	92.5	1.0	22.6	23.8	739.1	622.2	50.5	46.3	0.53	0.55	0.212	0.201	79	178	24	0.00	11.57
	5	1	9280	3.12	162	100.2	93.4	1.0	22.6	23.8	767.2	650.6	52.0	47.7	0.50	0.53	0.202	0.196	80	176	20	0.00	11.61
	6	1	9331	3.14	160	101.1	93.4	1.0	22.6	23.8	687.6	570.7	46.4	42.1	0.57	0.60	0.231	0.223	79	183	20	0.00	11.55
	7	1	9352	3.15	161	100.2	93.4	1.0	22.7	23.8	766.4	649.5	51.7	47.4	0.51	0.53	0.204	0.196	79	175	13	0.00	12.07
	8	1	9162	3.08	175	100.2	93.4	0.0	22.6	23.8	629.4	512.9	43.5	39.2	0.61	0.64	0.253	0.248	79	184	15	0.00	11.62
	9	1	9328	3.08	173	100.2	92.5	0.0	22.5	23.8	721.8	605.5	48.6	44.4	0.54	0.57	0.214	0.206	79	174	13	0.00	11.47
	10	1	9249	3.11	162	101.1	93.4	0.0	22.6	23.8	714.0	597.3	47.7	43.4	0.55	0.59	0.219	0.213	79	172	13	0.00	11.78
	11	1	9234	3.11	166	100.2	93.4	0.0	22.6	23.8	688.2	571.6	45.9	41.6	0.56	0.61	0.229	0.223	79	171	13	0.00	11.70
—	12	1	9345	3.08	165	100.2	92.5	0.0	22.6	23.8	671.0	554.9	44.8	40.6	0.58	0.62	0.234	0.225	79	170	13	0.00	11.55
	13	1	9377	3.09	162	100.2	92.5	0.0	22.6	23.8	664.1	547.9	44.2	39.9	0.58	0.63	0.237	0.228	79	170	12	0.00	11.61
	14	1	9373	3.09	162	100.2	92.5	0.0	22.6	23.8	662.7	546.5	43.8	39.6	0.58	0.63	0.238	0.228	79	170	11	0.00	11.72
	15	1	9196	3.10	161	100.2	93.4	0.0	22.6	23.8	656.8	540.7	43.3	39.1	0.59	0.64	0.241	0.236	79	171	11	0.00	11.57
	16	1	9381	3.09	162	100.2	92.5	1.0	22.6	23.8	650.8	534.5	42.6	38.4	0.59	0.65	0.243	0.233	79	170	11	0.00	11.59
	17	1	9351	3.08	160	101.1	92.5	1.0	22.6	23.8	639.1	523.5	42.1	37.8	0.62	0.66	0.248	0.238	80	170	10	0.00	11.65
	18	1	9342	3.08	161	100.2	92.5	0.0	22.6	23.8	634.2	518.1	41.7	37.4	0.61	0.67	0.250	0.241	79	170	12	0.00	11.70
	19	1	9306	3.07	162	100.2	92.5	1.0	22.6	23.8	624.6	509.5	40.9	36.7	0.62	0.67	0.254	0.245	79	171	12	0.00	11.77
	20	1	9335	3.08	162	100.2	92.5	0.0	22.6	23.8	619.4	504.1	40.6	36.3	0.62	0.69	0.257	0.247	79	168	10	0.00	11.55

Projekt:
Sprawozdanie nr: Zal.:
Zużycie wlasciwe:
Strona:

Rys. 10. Zadane parametry i wyniki pomiarów (wydruk z programu komputerowego
Fig. 10. Given parameters and mesurement results (printed from computer programme)

Literatura

1. Bogacz R., Dżula S., Urbańczyk P.: Wstawka hamulcowa. Zgłoszenie patentowe nr P-356758, 2002.
2. Chudzikiewicz A., Garlikowski P., Mitek P., Osiak A., Szczepański J.: Badania homologacyjne stanowiska do oceny par ciernych hamulców. XIV Konferencja Naukowa Pojazdy Szynowe, Kraków – Arłamów 2000.
3. Dżuła S.: Analiza wpływu zmiany kształtu wstawek hamulcowych na przebieg hamowania pojazdów szynowych. Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 1982.
4. Dżuła S., Urbańczyk P.: Wpływ odkształceń termicznych klocka hamulcowego na współpracę z powierzchnią toczną koła. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1393. XIII Konferencja Naukowa "Pojazdy Szynowe 98", Katowice-Ustroń, Gliwice 1998.
5. Dżuła S., Urbańczyk P.: Wpływ zużycia elementów pary ciernej klocek hamulcowy - koło zestawu kołowego na siłę hamującą. XIV Konferencja Naukowa „Pojazdy Szynowe 2000", Kraków - Arłamów 2000.
6. Dżuła S., Urbańczyk P.: Wstawka hamulcowa nowej konstrukcji. Problemy eksploatacji 2/2003 (49), Radom.
7. Gawliński W., Tetłak K., Żyrek A., Dziedzic H., Markusik H., Pypno Cz., Chmurawa M.: Gasząca iskrzenie wstawka hamulcowa. Zgłoszenie patentowe nr P-323331, 1999.
8. Hochhuth C.: Dynamische Bremsung und Reibungs Bremsung". 5 Collegue ORE, 1971.
9. Kaluba M.: Element hamulcowy, zwłaszcza do hamulców pojazdów szynowych. Zgłoszenie patentowe nr P-330171, 1999.
10. Kazarinow W.M., Inoziemciew W.G., Jasienciew W.F.: Tieorieticzieskije osnowy projektirowanija i eksploatacji awtotormozow". Transport, Moskwa 1968.
11. Laplaiche M.: Freinage des trains a grande vitesses. 5 Collegue ORE, 1971.
12. Latoś H., Kaszowski A., Duszyński Z., Ostrowski Z.: Klocek hamulcowy, zwłaszcza do taboru kolejowego. Patent nr 170619, 1997.
13. Oramus Z.: Możliwości zwiększenia wartości współczynnika przyczepności podczas rozruchu i hamowania. Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 1979.
14. Osiak A.: Stanowisko badawcze par ciernych hamulców w PKP - Centrum Naukowo - Technicznym Kolejnictwa w Warszawie. Konferencja Jubileuszowa - 50 lat Pracy naukowo - dydaktycznej Prof. dr hab. inż. Jana Brosia, Kraków – Zakopane 1997.
15. Sachs K.: Elektrische Triebfahrzeuge. Springer-Verlag, Wien, New York 1973.
16. Tross A.: Der Mechanismus der Reibung. Glasers Annalen, nr 5, 11, 12, 1962.

Recenzent: Dr hab. inż. Marek Sitarz
Profesor Politechniki Śląskiej

Abstract

One of the frequent problems met in technical operation of rail vehicles equipped with standard shoe brake system with shoe made of cast iron. The decrease of brake efficiency together with increased and irregular shoe wear caused by thermal deformations of brake shoes are one of the most frequent problems met in technical operation of rail vehicles equipped with standard shoe brake system with shoes made of cast iron P10. One of the way to decrease shoe thermal deformations is to reduce shoe bending stiffness. It can be reached by dividing the shoe into separate segments. The design of segmented shoe ensures full compatibility with standard ones.