

Article citation info:

Chłopek Z, Suchocka K, Zawistowski A. Comparative examination of disc brake friction pairs with brake pads of different types in respect of their tribological properties. The Archives of automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2016; 72(2): 15-28, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL72.ART1>

Badania porównawcze par ciernych hamulca tarczowego z różnymi rodzajami klocków ze względu na ich właściwości trybologiczne

Zdzisław Chłopek¹, Katarzyna Suchocka², Andrzej Zawistowski³

Przemysłowy Instytut Motoryzacji

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań par ciernych hamulca tarczowego z klockami klasycznymi i typu ceramicznego. Badania wykonywano ze względu na zużycie elementów par ciernych oraz ze względu na emisję pyłów związanych ze zużyciem par ciernych. Badania empiryczne wykonano na stanowisku do badań właściwości ciernych okładzin hamulcowych. Do pomiarów imisji⁴ frakcji wymiarowych cząstek stałych zastosowano pyłomierz. Wykonywano również pomiary temperatury powierzchni ciernej z zastosowaniem kamery. Badania wykonywano w trzech seriach (docierania i dwóch seriach badań par dotartych) z cyklami pracy obejmującymi hamowanie z przerwami, sterowanymi m.in. przez

¹Politechnika Warszawska, Instytut Pojazdów, Narbutta 84, 02-524 Warszawa, Polska, e-mail: zchlopek@simr.pw.edu.pl

Warsaw University of Technology, Institute of Vehicles, 84 Narbutta Street, 02-524 Warsaw, Poland, e-mail: zchlopek@simr.pw.edu.pl

²Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Laboratorium Badań Materiałowych, Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, Polska, e-mail: k.suchocka@pimot.eu

Automotive Industry Institute, Material Testing Laboratory, 55 Jagiellońska Street, 03-301 Warsaw, Poland, e-mail: k.suchocka@pimot.eu

³Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Laboratorium Badań Materiałowych, Jagiellońska 55 03-301 Warszawa, Polska, e-mail: a.zawistowski@pimot.eu

Automotive Industry Institute, Material Testing Laboratory, 55 Jagiellońska Street, 03-301 Warsaw, Poland, e-mail: a.zawistowski@pimot.eu

⁴Imisja jest to stężenie zanieczyszczenia rozproszonego w powietrzu atmosferycznym mierzone na wysokości 1,5 m [5, 6].

temperaturę powierzchni ciernej. Względna różnica zużycia, oceniana na podstawie grubości pary ciernej, była dla klocków typu ceramicznego mniejsza o prawie 40%, a na podstawie masy – większa niż 25%. Stwierdzono, że w pyłe rozproszonym w powietrzu pomieszczenia pomiarowego dominująca była frakcja cząstek stałych PM1 – o wymiarach charakterystycznych mniejszych od 1 μm . Względna różnica emisji cząstek stałych okazała się rzędu 50% w wypadku zastosowania klocków typu ceramicznego. Zastosowanie różnych rodzajów klocków hamulcowych nie miało znaczącego wpływu na temperaturę pary ciernej. Ogólnie stwierdzono, że zastosowanie materiału typu ceramicznego na klocki hamulcowe ma wymierny wpływ na poprawę właściwości trybologicznych pary ciernej hamulca tarczowego.

Słowa kluczowe: hamulce tarczowe, materiały ceramiczne, właściwości trybologiczne, emisja cząstek stałych.

Keywords: disc brakes, ceramic materials, tribological properties, immision of particulate matter.

1. Wprowadzenie

Znaczącym źródłem pyłów, pochodzących z par trybologicznych w samochodach jest układ hamulcowy. Ocenia się, że przeciętny samochód zużywa rocznie około 0,5 kg materiału ciernego z układu hamulcowego [4]. W związku z zagrożeniem zdrowia ludzi i ich środowiska przez pyły jest celowe podejmowanie wszelkich działań umożliwiających zmniejszenie emisji cząstek stałych z układu hamulcowego. Jedną z możliwości jest stosowanie w budowie układów hamulcowych innowacyjnych materiałów, rozwiązań konstrukcyjnych i technologii [3, 7, 9, 13–15]. Do takich rozwiązań należy stosowanie materiałów typu ceramicznego do budowy klocków tarczowego układu hamulcowego.

Pyły stanowią poważne zagrożenie zdrowia i środowiska ludzi. O szkodliwym oddziaływaniu pyłów na zdrowie ludzi pisał już w 1524 r. Georgius Agricola w swym dziele „*De re metalica*” [1].

Pod pojęciem pyłu rozumie się wg EN 481 fazę rozproszoną układu dwufazowego, składającego się z ciała stałego – małych cząstek stałych zawieszonych w gazowej fazie rozpraszającej – powietrzu.

Ponieważ cząstki pyłów (cząstki stałe – PM – *Particulate Matter*) mają w ogólności kształt inny niż kulisty, istnieje konieczność umownej oceny ich wielkości. Istnieje wiele kryteriów wyznaczania wymiarów zastępczych cząstek pyłów. Zazwyczaj sposób wyznaczania wymiaru zastępczego cząstek określają stosowne przepisy [2, 4–6, 11], m.in. EN 481, ISO 7708. W zależności od umownych wymiarów cząstek pyłu wyróżnia się:

- całkowity pył zawieszony TSP (*Total Suspended Particles*) – o umownym wymiarze cząstek mniejszym niż 300 μm ,
- pył drobnoziarnisty – o umownym wymiarze cząstek mniejszym niż 75 μm , osiadających pod wpływem swojego ciężaru, ale mogących przez pewien czas pozostawać w zawieszeniu,
- pył drobny PM10 – o umownym wymiarze cząstek mniejszym niż 10 μm ,
- pył drobny PM2.5 – o umownym wymiarze cząstek mniejszym niż 2,5 μm ,
- pył PM1 – o umownym wymiarze cząstek mniejszym niż 1 μm ,
- nanocząstki – o umownym wymiarze cząstek mniejszym niż 100 nm [11].

Cząstki stałe PM10 są określane jako pył przechodzący przez otwór sortujący, zdefiniowany w metodzie poboru próbek i badania cząstek PM10 wg EN 12341 przy 50% granicy sprawności dla średnicy aerodynamicznej mniejszej niż 10 μm . Cząstki stałe PM2.5 to pył przechodzący przez otwór sortujący, zdefiniowany w metodzie poboru próbek i badania cząstek PM2.5 wg EN 14907 przy 50% granicy sprawności dla średnicy aerodynamicznej mniejszej niż 2,5 μm . Analogicznie definiuje się inne frakcje wymiarowe cząstek stałych, np. cząstki stałe PM1.

Według normy EN 481 zdefiniowane są jeszcze dwie frakcje pyłu [5, 6]:

- frakcja wdychana (przedostaje się przez usta i nos),
- frakcja płucna (pył docierający do oskrzeli).

Frakcja wdychana to cząstki o wymiarach mniejszych niż 100 μm . Cząstki o wymiarach większych niż 30 μm są zatrzymywane w górnym odcinku dróg oddechowych (nos, jama istna, gardło, krtań), a następnie wydalane ze śluzem. Do środkowego odcinka dróg oddechowych (tchawica, oskrzela, oskrzeliki) przedostaje się frakcja płucna, której wymiar nie przekracza 20 μm . Cząstki te mogą się kumulować w górnych i środkowych odcinkach dróg oddechowych. Do obszaru wymiany gazowej (pęcherzyki płucne) dostają się cząstki o wymiarze mniejszym niż 7 μm . Cząstki o wymiarach mniejszych od 2,5 μm dostają się nawet do najgłębszych partii płuc, gdzie są kumulowane. Pyły rozpuszczalne w cieczach biologicznych przenikają bezpośrednio do krwi.

Pyły PM10, a szczególnie pyły PM2.5, powodują liczne choroby układu oddechowego, takie jak: astma, chroniczny bronchit, prowadzą także do osłabienia czynności płuc, przyczyniając się nawet do przedwczesnej śmierci [5, 6, 10]. Istnieje wiele prac jednoznacznie potwierdzających, że zanieczyszczenie powietrza pyłami jest czynnikiem wzmagającym objawy przewlekłej obturacyjnej choroby płuc – POChP (ang. COPD – Chronic Obstructive Pulmonary Disease) [12].

Do pyłów szczególnie szkodliwych dla zdrowia należą cząstki zawierające związki metali ciężkich (przede wszystkim arsenu, ołowiu, kadmu, niklu i rtęci), z których wiele ma właściwości mutagenne lub kancerogenne. Szczególnie toksyczne są również cząstki zawierające ciężkie węglowodory pierścieniowe, będące związkami kancerogennymi [5, 6].

2. Obiekt i cel badań

Obiektem badań empirycznych były pary ciernie hamulca tarczowego, wyposażonego w dwa różne typy klocków hamulcowych:

- klasycznego – oznaczenie: „N”,
- typu ceramicznego – oznaczenie: „C”,

współpracujących z tarczami żeliwnymi.

Oznaczenie klocków hamulcowych ze względu na położenie w stosunku do tarczy hamulcowej jest następujące: T – tylny, od strony bezpośredniego nacisku tłoczka hamulcowego, P – przedni, od strony przedniej stanowiska badawczego.

W obydwu parach ciernych hamulca tarczowego były stałe:

- rodzaj zacisku,
- wymiary tarczy hamulcowej,
- promień skuteczny tarczy.

Celem badań było porównanie par ciernych hamulca tarczowego z klockami klasycznym i typu ceramicznego ze względu na właściwości trybologiczne i obciążenie cieplne pary cierniej

oraz ze względu na skutki ekologiczne w postaci emisji cząstek stałych w pomieszczeniu pomiarowym, emitowanych z par ciernych.

Badania wykonano na stanowisku do badań właściwości ciernych okładzin hamulcowych AB-783 Krauss 2 typ RWS75A o następujących parametrach:

- ciśnienie w układzie hydraulicznym: 0,86 MPa,
- prędkość obrotowa tarczy hamulcowej: 660 min⁻¹,
- natężenie przepływu powietrza w układzie chłodzenia: 10 dm³/s.

Zakres badań obejmował:

- pomiar temperatury powierzchni ciernej za pomocą kamery termowizyjnej Flir Systems model FLIR-T62101,
- pomiar emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych w pomieszczeniu pomiarowym, emitowanych z par ciernych,
- pomiar masy par ciernych w celu oceny ich zużycia.

Do pomiarów emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych TSP, PM10, PM2.5 i PM1 zastosowano pyłomierz TSI model 8533/8534 Dust Trak DRX Aerosol Monitor.

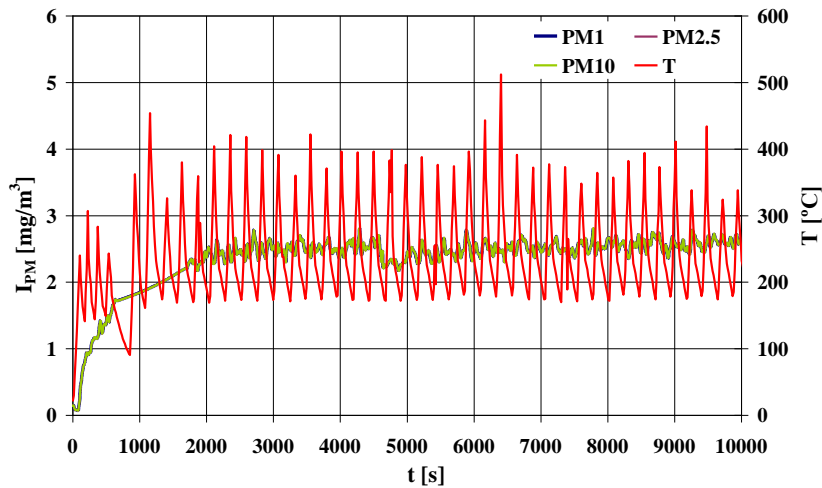
Badania na stanowisku Krauss obejmowały kolejne cykle hamowań o czasie: czas hamowania – 5 s, przerwa między hamowaniami – 10 s. Po osiągnięciu temperatury w punkcie pomiarowym stanowiska temperatury 250°C cykle hamowań były przerywane w celu ochłodzenia układu do temperatury 100°C, po czym badania były kontynuowane. Badania wykonywane były w trzech seriach, tj. docierania i dwóch kolejno po sobie następujących seriach badań par dotartych.

Wielkości rejestrowano z rozdzielczością: temperaturę powierzchni ciernej – 15 s, emisję frakcji wymiarowych – 5 s.

Zarejestrowane przebiegi poddano przetworzeniu cyfrowemu w celu wyeliminowania błędów grubych i zmniejszenia w sygnałach użytecznych udziału szumów o wysokich częstotliwościach. Identyfikacja błędów grubych została przeprowadzona na podstawie analizy bieżącej wartości wariancji wyników pomiarów. Korekcji błędów grubych dokonano metodą interpolacji liniowej wyników badań. Do zmniejszenia w sygnałach użytecznych udziału szumów o wysokich częstotliwościach zastosowano filtrację dolnoprzepustową sygnałów filtrami nierekurencyjnymi rzędu drugiego.

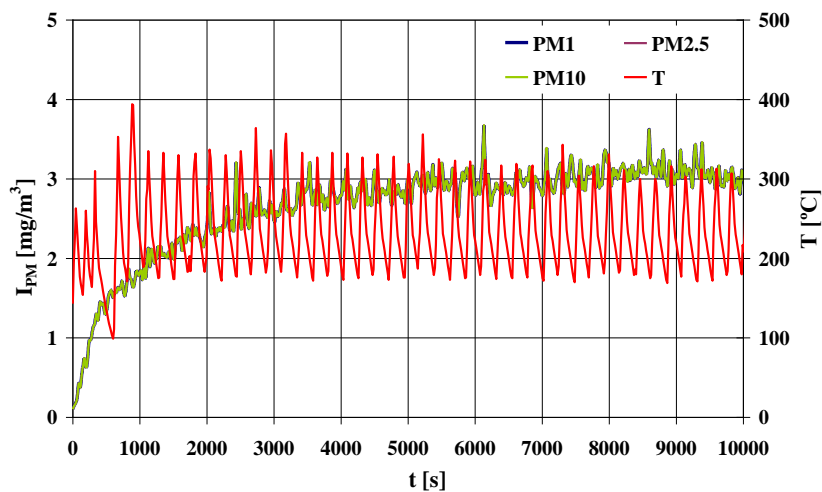
3. Wyniki badań empirycznych par ciernych hamulca tarczowego

Na rysunkach 1–4 przedstawiono przykładowe przebiegi emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych w pomieszczeniu pomiarowym oraz temperatury powierzchni ciernej.



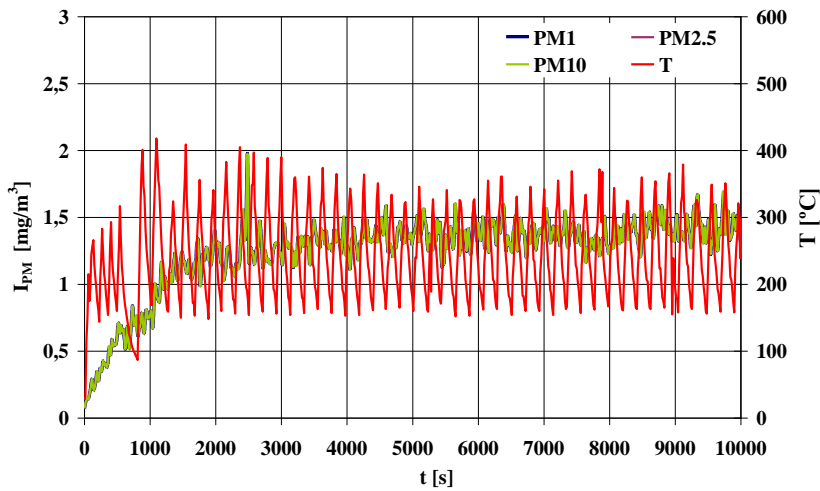
Rys. 1. Przebieg imisji frakcji wymiarowych cząstek stałych – I_{PM} w pomieszczeniu pomiarowym oraz temperatury powierzchni ciernej tarczy hamulcowej – T dla pary ciernej z klockami klasycznymi (pierwsza seria pomiarów)

Fig. 1. Immission of the size fractions of particulate matter – I_{PM} in the measuring room and the temperature of the brake disc – T for the friction pair with the classic pads (first series of measurements)



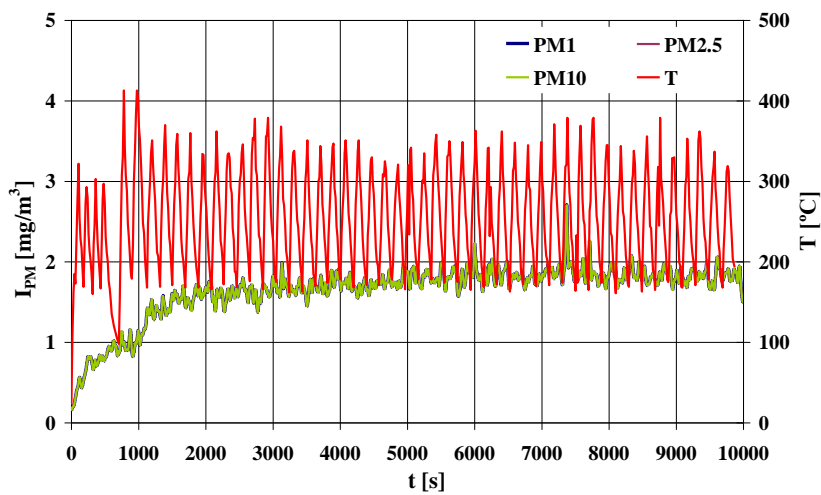
Rys. 2. Przebieg imisji frakcji wymiarowych cząstek stałych – I_{PM} w pomieszczeniu pomiarowym oraz temperatury powierzchni ciernej tarczy hamulcowej – T dla pary ciernej z klockami klasycznymi (druga seria pomiarów)

Fig. 2. Immission of the size fractions of particulate matter – I_{PM} in the measuring room and the temperature of the brake disc – T for the friction pair with the classic pads (second series of measurements)



Rys. 3. Przebieg emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych – I_{PM} w pomieszczeniu pomiarowym oraz temperatury powierzchni ciernej tarczy hamulcowej – T dla pary ciernej z klockami typu ceramicznego (pierwsza seria pomiarów)

Fig. 3. Immission of the size fractions of particulate matter – I_{PM} in the measuring room and the temperature of the brake disc – T for the friction pair with the ceramic type pads (first series of measurements)

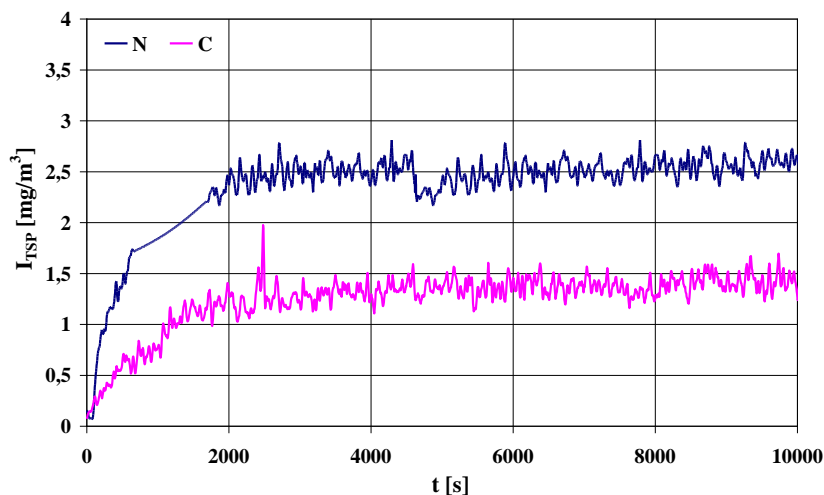


Rys. 4. Przebieg emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych – I_{PM} w pomieszczeniu pomiarowym oraz temperatury powierzchni ciernej tarczy hamulcowej – T dla pary ciernej z klockami typu ceramicznego (druga seria pomiarów)

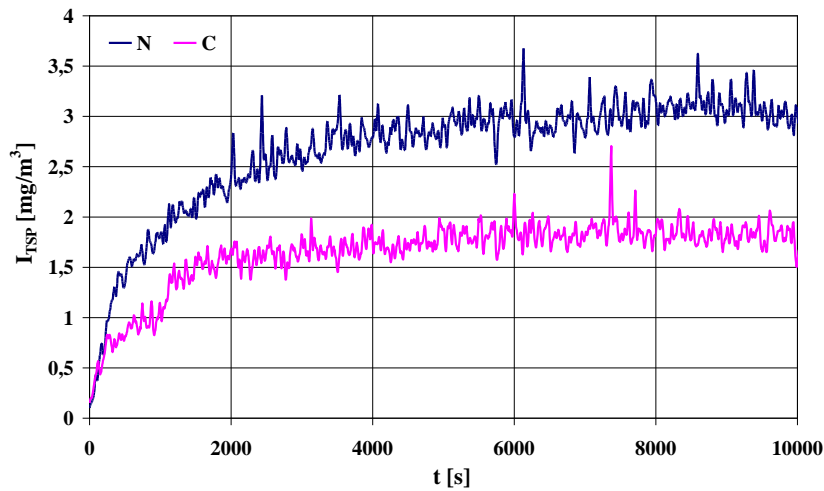
Fig. 4. Immission of the size fractions of particulate matter – I_{PM} in the measuring room and the temperature of the brake disc – T for the friction pair with the ceramic type pads (second series of measurements)

Z wykresów na rysunkach 1–4 jest wyraźnie widoczne, że dominujący w cząstkach stałych emitowanych z par ciernych tarcz hamulcowych są pyły frakcji wymiarowej PM1, a więc pyły bardzo drobne o wymiarach charakterystycznych mniejszych od $1\ \mu\text{m}$, co jest zgodne z informacjami zawartymi w literaturze [4]. Przebiegi stężenia cząstek stałych PM10, PM2.5 oraz PM1 są niemal identyczne, dlatego na wykresach o dysponowanej rozdzielczości jest widoczna tylko jedna linia, co jest spowodowane nałożeniem się przebiegów emisji poszczególnych frakcji pyłów.

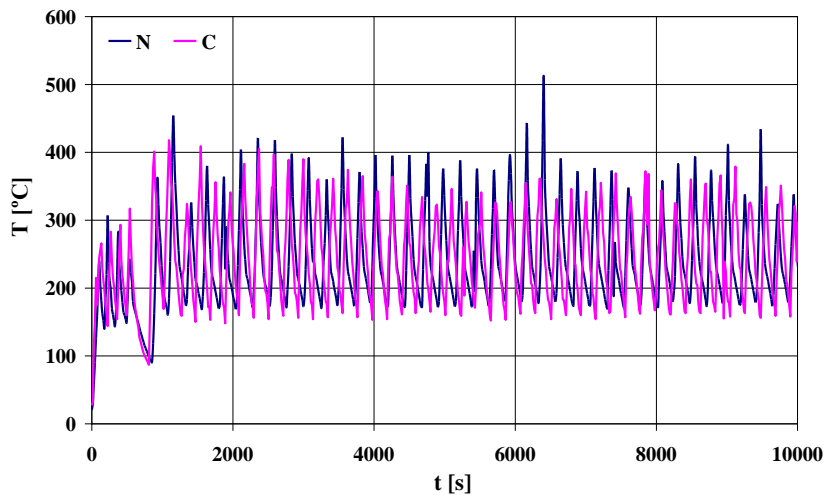
Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono porównanie przebiegu emisji cząstek stałych TSP, a na rysunkach 7 i 8 – przebiegu temperatury powierzchni ciernych tarcz hamulcowych dla pary cierniej z klockami klasycznymi i dla pary cierniej z klockami typu ceramicznego.



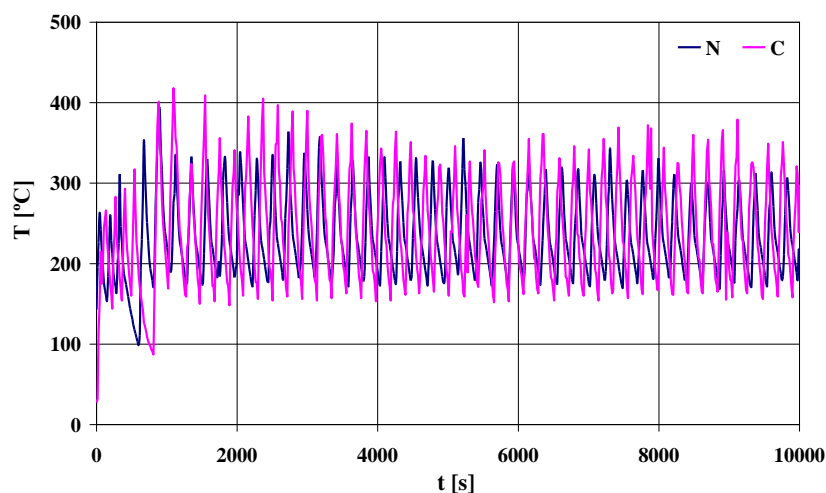
Rys. 5. Porównanie przebiegu emisji cząstek stałych TSP – I_{TSP} dla pary cierniej z klockami klasycznymi i dla pary cierniej z klockami typu ceramicznego (pierwsza seria pomiarów)
Fig. 5. Comparison of imissions of particulate matter TSP – I_{TSP} for a pair of friction with the classic pads and the friction pair with the ceramic type pads (first series of measurements)



Rys. 6. Porównanie przebiegu emisji cząstek stałych TSP – I_{TSP} dla pary ciernej z klockami klasycznymi i dla pary ciernej z klockami typu ceramicznego (druga seria pomiarów)
Fig. 6. Comparison of imissions of particulate matter TSP – I_{TSP} for a pair of friction with the classic pads and the friction pair with the ceramic type pads (second series of measurements)



Rys. 7. Porównanie przebiegu temperatury powierzchni ciernej tarczy hamulcowej – T dla pary ciernej z klockami klasycznymi i dla pary ciernej z klockami typu ceramicznego (pierwsza seria pomiarów)
Fig. 7. Comparison of temperature of the brake disc – T for a pair of friction with the classic pads and the friction pair with the ceramic type pads (first series of measurements)

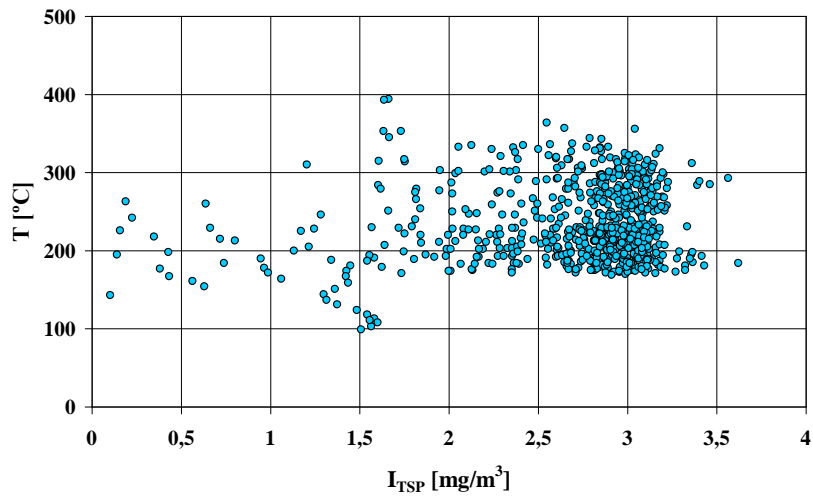


Rys. 8. Porównanie przebiegu temperatury powierzchni ciernej tarczy hamulcowej – T dla pary ciernej z klockami klasycznymi i dla pary ciernej z klockami typu ceramicznego (druga seria pomiarów)

Fig. 8. Comparison of temperature of the brake disc – T for a pair of friction with the classic pads and the friction pair with the ceramic type pads (second series of measurements)

Jest wyraźnie widoczne, że w wypadku stosowania klocków typu ceramicznego jednoznacznie jest mniejsza emisja cząstek stałych TSP, natomiast charakter przebiegu temperatury jest w obydwu wypadkach podobny.

Na rysunku 9 przedstawiono przykładowo zależność korelacyjną emisji cząstek stałych TSP w pomieszczeniu pomiarowym oraz temperatury powierzchni ciernej tarczy hamulcowej dla pary ciernej z klockami klasycznymi w drugiej serii pomiarów.

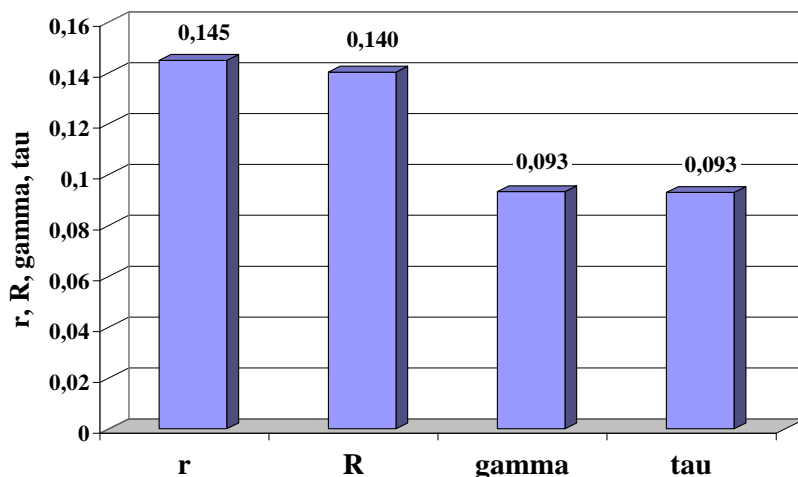


Rys. 9. Zależność korelacyjna imisji cząstek stałych TSP – I_{TSP} w pomieszczeniu pomiarowym oraz temperatury powierzchni ciernej tarczy hamulcowej – T dla pary ciernej z klockami klasycznymi (trzecia seria pomiarów)

Fig. 9. Correlation of imissions of particulate matter TSP – I_{TSP} in the measuring room and the temperature of the brake disc – T for the friction pair with the classical pads (third series of measurements)

Do oceny korelacji między badanymi zbiorami wykorzystano teorię korelacji liniowej Pearsona oraz teorie korelacji: rang Spearmana, gamma Kruskala i tau Kendalla [8, 16].

Współczynniki korelacji między badanymi zbiorami mają wartość z zakresu $0,093 \div 0,145$ (rysunek 10).



Rys. 10. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona – r oraz korelacji rang Soearman – R, gamma Kruskala – gamma i tau Kendalla – tau imisji cząstek stałych TSP – I_{TSP} w pomieszczeniu pomiarowym oraz temperatury powierzchni czarnej tarczy hamulcowej – T dla pary czarnej z klockami klasycznymi (trzecia seria pomiarów)
Fig. 10. The coefficients of correlation Pearson – r and Spearman rang correlation – R, gamma Kruskal – gamma, and Kendall's tau - tau of imissions of particulate matter TSP – I_{TSP} in the measuring room and the temperature of the brake disc – T for the friction pair with the classical pads (third series of measurements)

Mimo stosunkowo niewielkiej wartości współczynników korelacji, prawdopodobieństwo nieodrzućenia hipotezy o braku korelacji jest bardzo małe: dla korelacji liniowej Pearsona – mniejsze od 0,005, dla korelacji rang Spearmana 0,000068, a dla korelacji gamma Kruskala i korelacji tau Kendalla 0,000083. Tak małe wartości prawdopodobieństwa nieodrzućenia hipotezy o braku korelacji wynikają z dużej mocy zbiorów, których korelacja była badana [8, 16] (moc każdego ze zbiorów większa od 800). Można zatem postulować sformułowanie wniosku, że zbiory imisji cząstek stałych TSP w pomieszczeniu pomiarowym oraz temperatury powierzchni czarnej tarczy hamulcowej są – zgodnie z wynikami analizy korelacyjnej – zależne od siebie.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań zużycia w testach badawczych (w czasie docierania oraz dwóch serii badań) par ciernych z klockami klasycznymi, a w tabeli 2 – z klockami typu ceramicznego. Oznaczenie klocków hamulcowych ze względu na położenie w stosunku do tarczy hamulcowej jest następujące: T – tylny, od strony bezpośredniego nacisku tłoczka hamulcowego, P – przedni, od strony przedniej stanowiska badawczego.

Tabela 1. Wielkości charakteryzujące zużycie w testach badawczych pary ciernej z klockami klasycznymi

Table 1. Quantities characterizing the wear of friction pair with classic pads

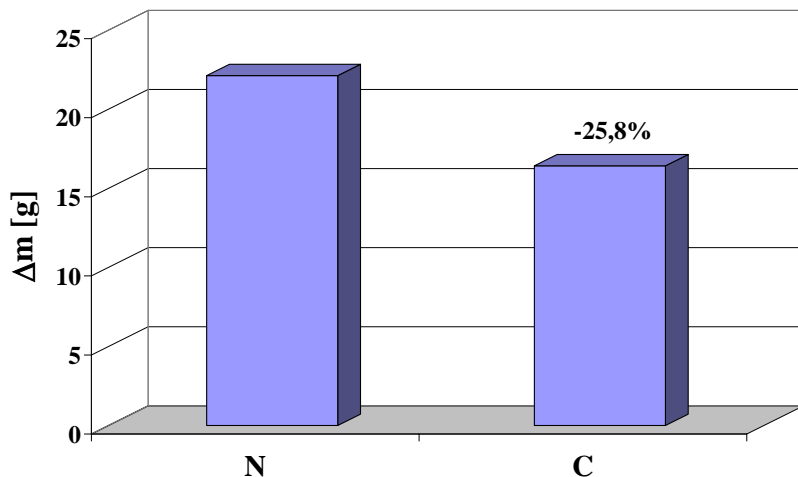
	Grubość pary ciernej [mm]		Zmniejszenie się grubości pary ciernej [mm]	Masa pary ciernej [g]		Zmniejszenie się masy pary ciernej [g]
	Przed badaniem	Po badaniu		Przed badaniem	Po badaniu	
Nakładka T	12,05	11,13	0,92	300,062	291,599	8,463
Nakładka P	12,41	11,43	0,98	305,585	291,920	13,665
Dwie nakładki	24,46	22,56	1,9	605,647	583,519	22,128

Tabela 2. Wielkości charakteryzujące zużycie w testach badawczych pary ciernej z klockami typu ceramicznego

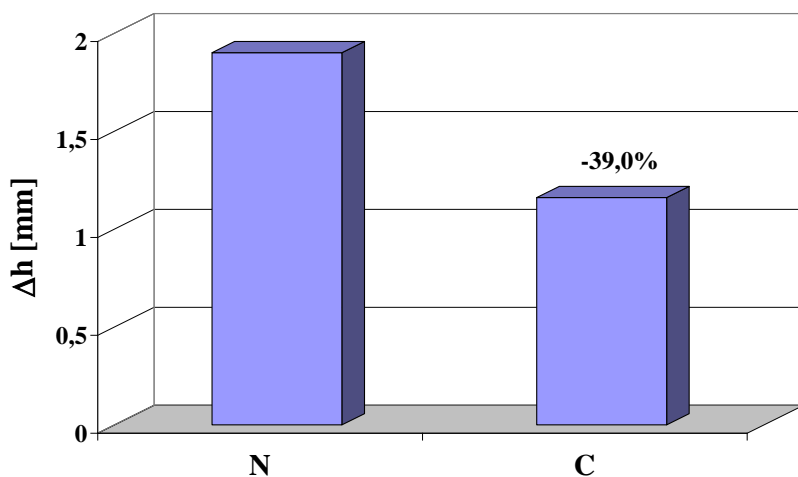
Table 2. Quantities characterizing the wear of friction pair with ceramic type pads

	Grubość pary ciernej [mm]		Zmniejszenie się grubości pary ciernej [mm]	Masa pary ciernej [g]		Zmniejszenie się masy pary ciernej [g]
	Przed badaniem	Po badaniu		Przed badaniem	Po badaniu	
Nakładka T	11,93	11,36	0,57	294,679	288,762	5,917
Nakładka P	12,02	11,43	0,59	294,524	284,016	10,508
Dwie nakładki	23,95	22,79	1,16	589,203	572,778	16,425

Na rysunku 11 przedstawiono zmniejszenie się masy, a na rysunku 12 zmniejszenie się grubości par ciernych z klockami: klasycznymi i typu ceramicznego.



Rys. 11. Zmniejszenie się masy pary ciernej z klockami: klasycznymi – N i typu ceramicznego – C
Fig. 11. A reduction in the weight of the friction pair with the pads: classic – N and ceramic type – C



Rys. 12. Zmniejszenie się grubości pary ciernej z klockami: klasycznymi – N i typu ceramicznego – C
Fig. 12. A reduction in the thickness of the friction pair with the pads: classic – N and ceramic type – C

Różnica w miarach zużycia elementów par ciernych hamulców tarczowych w wyniku przeprowadzonych badań jest bardzo wyraźna. Względna różnica zmniejszenia się masy pary ciernej dla klocków typu ceramicznego w stosunku do zmniejszenia się masy pary ciernej dla klocków klasycznych wynosi ponad 25%. Względna różnica zmniejszenia się grubości pary ciernej dla klocków typu ceramicznego w stosunku do zmniejszenia się grubości pary ciernej dla klocków klasycznych osiąga 39%.

4. Podsumowanie

Wyniki badań par ciernych hamulca tarczowego z klockami: klasycznymi i typu ceramicznego są jednoznaczne. Badania całkowitego zużycia w czasie docierania oraz dwóch serii badań, oceniane na podstawie pomiaru masy par ciernych i ich grubości, wykazują na znaczną różnicę właściwości trybologicznych elementów badanych par. Różnice w miarach zużycia są znaczne: skutek zastosowania klocków typu ceramicznego zamiast klocków klasycznych umożliwia względne zmniejszenie się masy pary ciernej o ponad 25% i jej grubości o 39%.

W związku z mniejszą emisją pyłów z par ciernych w wypadku stosowania klocków typu ceramicznego, znacznie mniejsza jest imisja cząstek stałych w pomieszczeniu pomiarowym w czasie badań pary z klockami typu ceramicznego. Względna różnica imisji cząstek stałych w wypadku stosowania klocków typu ceramicznego jest rzędu 50%.

Wynikiem badań jest również ocena rozkładu wymiarów cząstek stałych pochodzących z par ciernych – są to w zdecydowanej mierze cząstki o wymiarach charakterystycznych mniejszych od 1 μm , szczególnie szkodliwe dla zdrowia ludzi.

Mimo dużej różnicy w emisji cząstek stałych dla par ciernych z klockami klasycznymi i typu ceramicznego, nie stwierdzono różnic w przebiegach temperatury powierzchni ciernej tarczy hamulcowej, co wskazuje na brak istotnej różnicy w mocy wydzielającego się ciepła na skutek tarcia.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują jednoznacznie na korzyści, jakie wynikają z zastosowania klocków typu ceramicznego w parze ciernej hamulców tarczowych.

Piśmiennictwo

- [1] Agricola G. De re metallica. Froben. Basilea MDLXI. [cited 09 March 2016]
Available from: <https://archive.org/details/deremetallica50agri>
- [2] Capes C E. Particle size enlargement. Elsevier Sci. Publ. Co. Amsterdam 1980.
- [3] Chan D, Stachowiak G W. Review of automotive brake friction materials. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 2004; 218(9): 953–966.
- [4] Chłopek Z, Jakubowski A, Kieracińska A. Examination of a laboratory system to reduce dust emission from braking systems of automotive vehicles. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2011; 53(3): 5–17, 103–115.
- [5] Chłopek Z, Suchocka K. Modelowanie emisji i imisji frakcji wymiarowych cząstek stałych związanych z ruchem samochodowym. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów. 2014; 97(1): 5–20.
- [6] Chłopek Z, Suchocka K. Risk posed by particulate matter to the human and environment near transport router. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2014; 63(1): 3–22, 109–129.
- [7] Eriksson M, Jacobson S. Tribological surfaces of organic brake pads. Tribology International 33, 2000. 817–827.
- [8] Fisz M. Probability theory and mathematical statistics. Wiley. New York 1963.

- [9] Ghazaly N M, Faris W F. Optimal design of a brake pad for squeal noise reduction using response surface methodology. *International Journal of Vehicle Noise and Vibration*. 2012; 8(2): 125–135.
- [10] Jakubiak-Lasocka J, Lasocki J, Siekmeier R, Chlopek Z. Impact of traffic-related air pollution on health. In “Environment Exposure to Pollutants”. Series Title: “Advances in Experimental Medicine and Biology”. Springer International Publishing Switzerland. 2015; 834: 21–29
- [11] Kittelson D. B.: Engines and nanoparticles: a review. *J. Aerosol Sci.* Vol. 29, No. 5/6. Elsevier Science Ltd. 1998; 575–588.
- [12] MacNee W, Donaldson K. Exacerbations of COPD – environmental mechanism. *Chest* 2000; 117: 390–397.
- [13] Ostermeyer G P, Müller M. New insights into the tribology of brake systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 2008; 222(7): 1167–1200.
- [14] Rashid A. Overview of disc brakes and related phenomena – a review. *International Journal of Vehicle Noise and Vibration*. 2014; 10(4): 257–301.
- [15] Stadler Z, Krnel K, Kosmac T. Friction and wear of sintered metallic brake linings on a C/C-SiC composite brake disc. 2008; *Wear* 265: 278–285.
- [16] Wasserman L. All of nonparametric statistics. Springer. 2007.

Summary

The article presents the results of tests of pairs of friction disc brake with the pads: classical and ceramic type. Studies carried out due to the wear of friction pairs and because of particulate matter emissions related to the use of the friction couples. Empirical studies were performed on the test bench to study the properties of friction of brake pads. Dust measuring device was used for measuring of imission of size fractions of particulate matter. Also performed measurements of the temperature of friction surface using the camera. The tests carried out in three series (lapping and two series of tests pair lapped) with the cycles of operation including braking intermittently and control work extra friction surface temperature. The relative difference of wear, measured by the thickness of the friction pair was the ceramic pads reduced by almost 40%, and on the basis of weight – more than 25%. It was found that the dust dispersed in the air of test room was dominant of particulate fraction PM1 - characteristic dimensions smaller than 1 μm . The relative difference in particulate matter imission is of the order of 50% in the case of use of ceramic pads. The use of different types of brake pads had no significant effect on the temperature of friction pair. Overall, it was found that the use of ceramic brake pads have a measurable impact on improving the tribological properties of friction pair of disk brake.