

Marian Jósko*

Politechnika Poznańska, Poznań

Zastosowanie metody PPM do oceny pary ciernej w układzie hamulcowym samochodu

Application of PPM method for assessment of frictional couple in car brake system

ABSTRACT

The article presents an assessment of the possibility of applying the non-destructive Prescale Pressure Measurement (PPM) method to evaluation the function and condition of the frictional couple type brake pad-brake disc in an automotive vehicle. An overall analysis of the potential capabilities of the method for use in car nodes was performed. The PPM film was scaled on a hydraulic press to determine the intensity of color that corresponds to the given pressure within the selected pressure range. Then, the distribution of pressure between the brake pad and the brake disc was investigated and their values were determined, which gives a view on the cooperation of these elements. It also allowed us to draw conclusions about the functioning of these tribological elements of the automotive vehicle and to refer to the possibilities of the method itself.

Keywords: PPM method, frictional couple, braking system

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono ocenę możliwości zastosowania nieniszczącej metody Prescale Pressure Measurement (PPM) do oceny funkcjonowania i stanu pary ciernej klocek-tarcza w układzie hamulcowym pojazdu samochodowego. Przeprowadzono ogólną analizę potencjalnych możliwości metody w zastosowaniu do węzłów samochodu. Wykonano skalowanie folii na prasie hydraulicznej w celu ustalenia zabarwienia, odpowiadającego danemu naciskowi, w wybranym zakresie ciśnienia. Następnie zbadano rozkład nacisków między klockiem a tarczą i ustalono ich wartości, co dało pogląd na współpracę tych elementów. Pozwoliło także wyciągnąć wnioski, dotyczące funkcjonowania tych elementów tribologicznych pojazdu samochodowego oraz odnieść się do możliwości samej metody.

Słowa kluczowe: Metoda PPM, para cierna, układ hamulcowy

1. Wstęp

Układy hamulcowy pojazdu samochodowego należy do ważnych jego układów podwozia ze względu na zapewnienie bezpieczeństwa użytkownikowi pojazdu oraz ruchu drogowego. O skuteczności tego układu decydują w istotnym stopniu pary cierne hamulców o różnej konstrukcji, a szczególnie stabilność ich wzajemnej współpracy. Zdatność całego układu hamulcowego jest sprawdzana podczas okresowych badań technicznych w Stacjach Kontroli Pojazdów (SKP) na dedykowanych stanowiskach rolkowych bądź płytowych. Brak jest jednak metod oceny wyłącznie pary ciernej, a zwłaszcza równomierności zapewnienia kontaktu elementów ciernych, decydujących o skutecznym działaniu i zapewnieniu wymaganej siły hamowania.

Nieniszcząca metoda PPM została opracowana przez FujiFilm Corporation jako innowacyjna metoda, specjalnie przeznaczona do oceny ciśnienia między stykającymi się elementami (maszyn, pojazdów). Jej skrócona nazwa PPM jest akronimem od anglojęzycznego określenia Prescale Pressure Measurement. Aplikacje PPM to kilkadziesiąt możliwości praktycznego zastosowania w różnych dziedzinach życia i techniki. Celem niniejszej pracy jest oszacowanie możliwości zastosowania metody do oceny funkcjonowania pary ciernej na etapie eksploatacji pojazdu w warunkach serwisowania w warsztatach samochodowych.

2. Charakterystyka istoty i potencjalnych możliwości metody odnośnie do pary ciernej

Istota fizyczna metody PPM polega na zabarwianiu się

folii z nośnikiem poliestrowym, powodowanym siłą nacisku na nią. Szczegóły strukturalne folii używanych w metodzie są zastrzeżone przez firmę FujiFilm. Dostępne są informacje użytkownika na stronach internetowych firmy i jej przedstawicieli, łącznie ze schematami, wykresami referencyjnymi, procedurami użycia, warunkami stosowania i interpretacji [1–4].

W niniejszym artykule należałoby tylko wspomnieć, że są proponowane dwa typy folii w tej metodzie. Typ folii monosheet (jednowarstwowa), oprócz warstwy nośnej z poliestru, zawiera warstwę mikrokapsułek z substancją czynną, pękających pod wpływem określonego nacisku oraz warstwę wywoływacza, który uwidacznia w monokolorze pęknięte kapsułki. Wersja two-sheet (dwuwarstwowa) zawiera oddzielnie folię z mikrokapsułkami i folię z wywoływaczem, które składają się razem w czasie stosowania. Zakresy rekomendowanych ciśnień folii zawierają się w kilku przedziałach [5]. Podstawy aplikacyjne, związane z przedmiotem niniejszych badań są zawarte w [6, 7].

Metoda ma potencjalnie szeroki zakres stosowania, m.in. w budowie maszyn i w elektronice, a potencjał jej możliwości może wykraczać poza technikę. Do najważniejszych zalet metody należą nieskomplikowane możliwość oceny rozkładu (równomierności) nacisków w stykających się elementach, oszacowanie ich wartości i różnicy, rozwojowy typoszereg folii o szerokim zakresie badanych sił jednostkowego nacisku (0,05–300) MPa oraz pomiar naciskiem stałym i chwilowym.

W budowie, a zwłaszcza w eksploatacji pojazdów samochodowych, istnieje potrzeba oceny nacisków w wielu węzłach o różnym znaczeniu funkcjonalnym. W niniejszym artykule

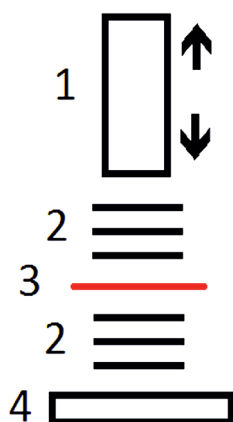
*Autor korespondencyjny. E-mail: marian.josko@put.poznan.pl

skupiono się na wybranym węźle pojazdu samochodowego, jakim jest para cierna tarczowego układu hamulcowego. Niedokładny montaż klocków hamulcowych, ich nierównomierny docisk do tarczy może spowodować nadmierne zużycie, wibracje i piski podczas hamowania oraz prowadzi do niedopuszczalnego rozkładu sił hamowania prawej i lewej części hamulców danej osi, a nawet może generować pęknięcia w klocku [8]. Różnica sił na jednej osi samochodu może wówczas przekraczać 30%, mimo jednakowego ciśnienia w układzie hamulcowym, co dyskwalifikuje pojazd do ruchu drogowego. Metoda PPM jest metodą niszową w stosunku do tradycyjnych metod badań nieniszczących, ale dobrze sprawdza się w konkretnych przypadkach oceny współpracy elementów pojazdów samochodowych. Folie o grubości (90–110) μm umożliwiają wsunięcie jej pomiędzy komponenty pary ciernej w hamulcu [4].

3. Wzorcowanie folii wybranego zakresu ciśnienia

Pomimo istnienia referencyjnego wykresu wzorcującego [5], korzystanie z niego w warunkach eksploatacyjnych jest niedogodne. Po wykonaniu badań wstępnych podjęto decyzję o wzorcowaniu rozdzielczości wizualnej (czułości) folii w zakresach wartości ciśnienia średniego i niskiego. Celem wzorcowania było zróżnicowanie intensywności barwy w podanym zakresie, umożliwiającym dokładniejsze oszacowanie wartości nacisków między klockiem hamulcowym a tarczą hamulcową, a także weryfikacja możliwości przeprowadzenia takiej operacji i wizualnego oszacowania rozdzielczości odcieni wywołwanego koloru.

Do wzorcowania użyto prasy hydraulicznej z manometrem analogowym. Zmieniana siła nacisku tłoczka o stałej powierzchni na stolik pozwoliła wyznaczyć nacisk jednostkowy (MPa). Problemem technicznym podczas wzorcowania było zapewnienie równoległości powierzchni współpracujących prasy (tłoczka i stolika) oraz ich gładkości w celu zagwarantowania równomierności nacisków. Zniwelowanie wpływu tych czynników uzyskano poprzez zastosowanie przekładek tekturowo-papierowych, umiejscowionych po obydwu stronach ściskanych folii jedno- i dwuwarstwowych (rys. 1).



Rys. 1. Schemat wzorcowania folii na prasie hydraulicznej: 1–tłok, 2–przekładki (warstwy tekturowo-papierowe), 3–arkusz folii, 4–stolik

Fig. 1. Diagram of calibration of folies on hydraulic press: 1–piston, 2–spacers (cardboard-paper layers), 3–sheet of foil, 4–table

Wzorcowaniu zostały poddane arkusze folii Medium Pressure Mono-sheet (MS) oraz Low Pressure Two-sheet (LW). Ze względu na ściśle określony i ograniczony zakres ciśnienia (i czułości) arkuszy folii oraz możliwości prasy hydraulicznej, a także zamiar uwidocznienia różnic intensywności barwy dla poszczególnych wartości nacisku, wzorcowanie arkuszy przebiegało wg następującego planu:

- dla folii Medium Pressure Mono-sheet (MS) w zakresie od 10 do 45 MPa, co 5 MPa (Tab. 1),
- dla folii Low Pressure Two-sheet (LW) w zakresie od 2,5 do 10 MPa, co 2,5 MPa (Tab. 2).

Tab. 1. Wzorcowanie jednowarstwowej folii Medium Pressure Mono-sheet (MS)

Tab. 1. Calibration of single layer film Medium Pressure Mono-sheet (MS)

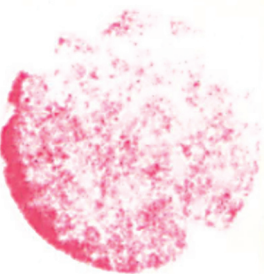



10 MPa	15 MPa
20 MPa	25 MPa
30 MPa	35 MPa
40 MPa	45 MPa

W przypadku wzorcowania arkuszy folii Medium Pressure Mono-sheet (Tab. 1) naciskami jednostkowymi w zakresie (10–30) MPa, zabarwiły się one w odcieniach,

jednoznacznie umożliwiających wzrokowe stwierdzenie różnicy w intensywności koloru. Pozostałe próby w zakresie ciśnienia (35–45) MPa, mimo narastających nacisków, nie spowodowały istotnego zróżnicowania zabarwienia folii.

Tab. 2. Wzorcowanie dwuwarstwowej folii Low Pressure Two-sheet (LW)

Tab. 2. Calibration of two-layer film Low Pressure Two-sheet (LW)

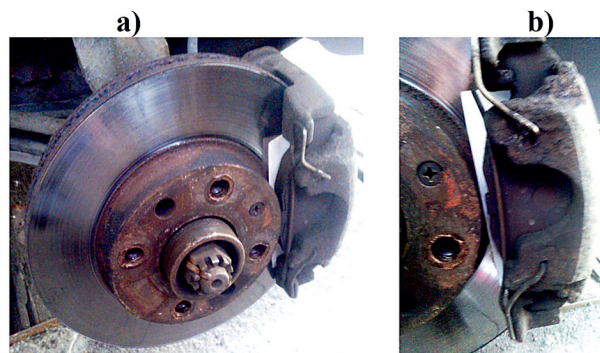
2,5 MPa	5 MPa
	
7,5 MPa	10 MPa
	

W przypadku arkuszy Low Pressure Two-sheet (Tab. 2), w zakresie niższych ciśnień, stwierdzono jednoznacznie rozróżnialne wzrokowo zróżnicowanie intensywności zabarwienia folii poddanych naciskowi, co pokrywa się z danymi ich producenta. Zarówno wzorcowanie, jak i późniejsze badanie rzeczywistego węzła samochodu, prowadzono w jednakowych warunkach zewnętrznych SKP, w temperaturze otoczenia 20–250C i wilgotności względnej 60–70%.

4. Badanie i analiza nacisków między klockiem a tarczą hamulcową

Badanym węzłem były przednie tarczowe hamulce samochodu Opel Astra F 1,6 Z16XE. Zamocowanie arkuszy o dwóch zakresach ciśnień (MS i LW) nie stanowiło dużego problemu operacyjnego i sprowadziło się – przede wszystkim – do cofnięcia tłoczków w zaciskach układu hamulcowego (rys. 2). Wprawdzie niewielka grubość folii umożliwiła wsunięcie jej między badane elementy, ale zanieczyszczenia eksploatacyjne (kurz i brud drogowy oraz produkty zużycia) zakłócają w takim przypadku wyniki testów.

Po zamocowaniu folii następowało naciśnięcie pedału hamulca. Uruchomienie silnika samochodu powodowało zwiększenie siły hamowania ze względu na pracę serwo-mechanizmu. Siłę nacisku na pedał hamulca ustalono na poziomie 0,5 kN, zgodnie z regulaminem ECE13 i kontrolowano czujnikiem nacisku na pedał hamulca. Badania rozkładu ciśnienia prowadzono na nieruchomym pojeździe. Wyniki badań hamulca prawego koła w postaci odcisków na foliach są zamieszczone w tab. 3.





Rys. 2. Arkusz folii umieszczony między klockiem a tarczą hamulcową: a) w widoku ogólnym, b) w widoku od strony zacisku hamulcowego [9]

Fig. 2. Sheet of foil placed between the pad and the brake disc: a) in the general view, b) in the side view of the brake caliper [9]

Tab. 3. Wyniki badań rozkładu nacisku klocków hamulcowych na tarczę hamulcową samochodu (prawe koło). Typ arkusza: Medium Pressure Mono-sheet (MS)

Tab. 3. Results of investigation of brake pad pressure distribution on the brake disc of the car (right wheel). Sheet type: Medium Pressure Mono-sheet (MS)

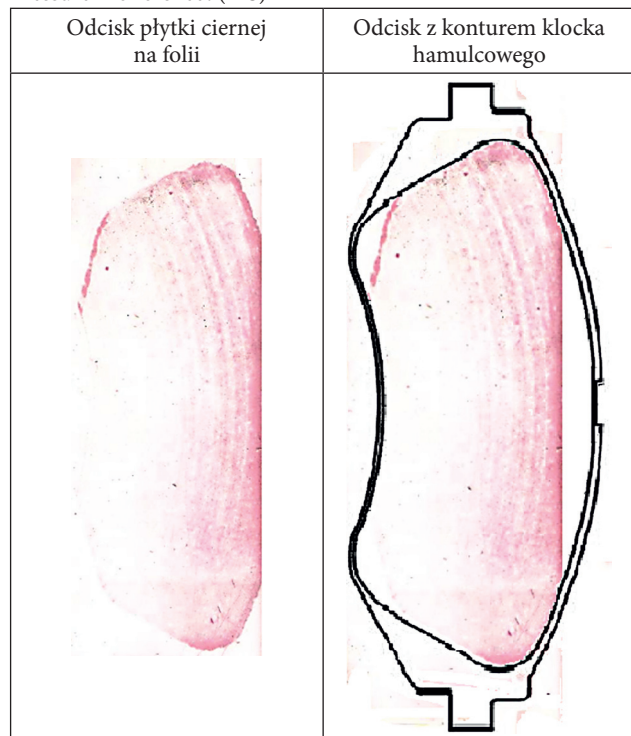
Odcisk płytki ciernej na folii	Odcisk z konturem klocka hamulcowego
	

W tabeli 4. zostały zamieszczone wyniki badań nacisku klocka hamulcowego na tarczę w lewym kole przedniego hamulca badanego samochodu w postaci odcisków płytki ciernej na folii PPM (MS). W prawych kolumnach tabel 3 i 4 pokazano kontury odcisku płytki ciernej na tle obrysu całego klocka hamulcowego (płytki nośnej).

Arkusze folii o średnim zakresie ciśnień (MS) nie zapewniły odcisków o oczekiwanej intensywności koloru. Wybrany zakres ciśnienia z typoszeregu folii PPM okazał się za wysoki. Dlatego wykonano także odciski, stosując folię w zakresie niskich ciśnień (LW). Uzyskano odciski na foliach dwuwarstwowych (dla hamulców tarczowych prawego i lewego koła) i są one zamieszczone w tab. 5 i 6.

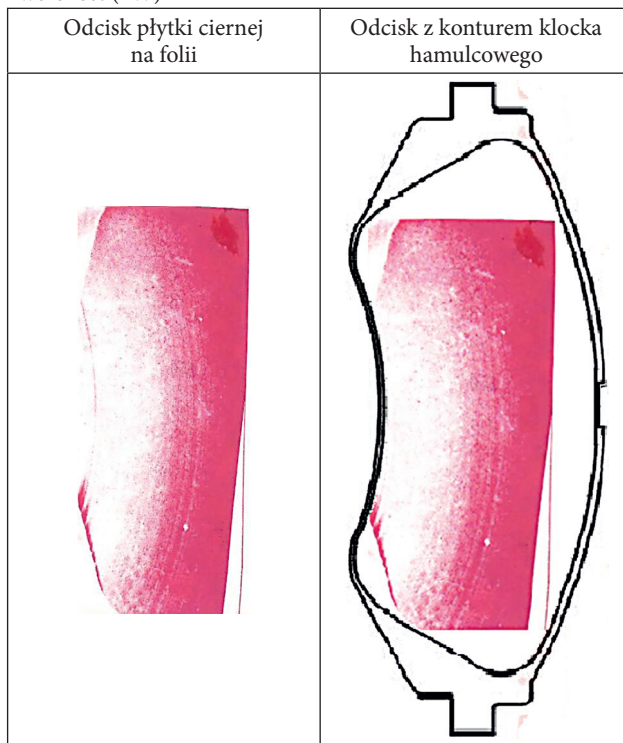
Tab. 4. Wyniki badań rozkładu nacisku klocków hamulcowych na tarczę hamulcową samochodu (lewe koło). Typ arkusza: Medium Pressure Mono-sheet (MS)

Tab. 4. Results of investigation of brake pad pressure distribution on the brake disc of the car (left wheel). Sheet type: Medium Pressure Mono-sheet (MS)



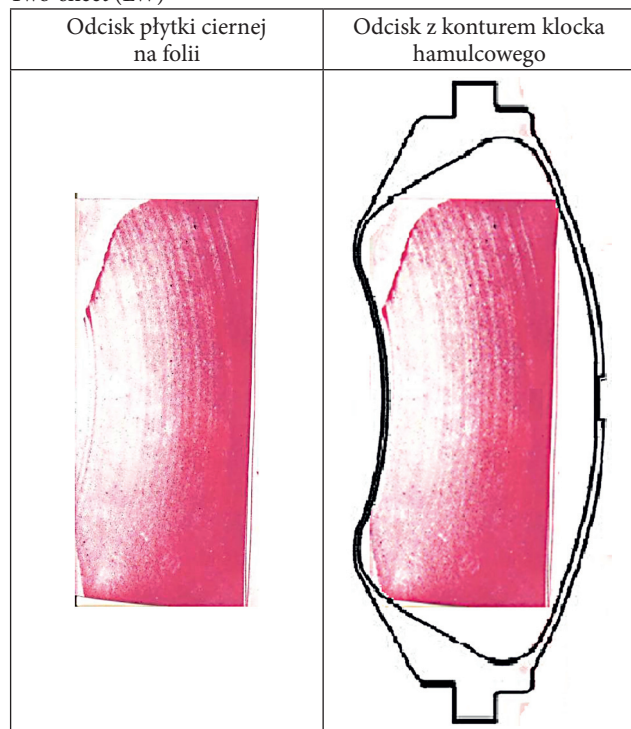
Tab. 6. Wyniki badań rozkładu nacisku klocków hamulcowych na tarczę hamulcową samochodu (lewe koło). Typ arkusza: Low Pressure Two-sheet (LW)

Tab. 6. Results of investigation of brake pad pressure distribution on the brake disc of the car (left wheel). Sheet type: Low Pressure Two-sheet (LW)



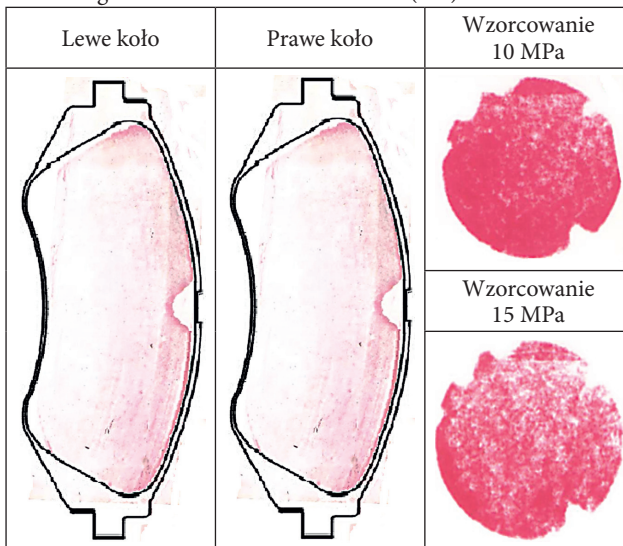
Tab. 5. Wyniki badań rozkładu nacisku klocków hamulcowych na tarczę hamulcową samochodu (prawe koło). Typ arkusza: Low Pressure Two-sheet (LW)

Tab. 5. Results of investigation of brake pad pressure distribution on the brake disc of the car (right wheel). Sheet type: Low Pressure Two-sheet (LW)



Tab. 7. Porównanie wyników badań nacisku i wzorcowania przy użyciu arkuszy Medium Pressure Mono-sheet (MS)

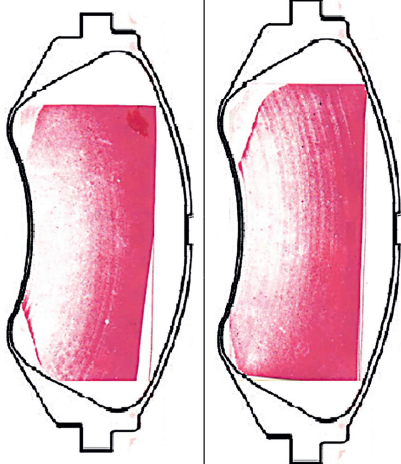
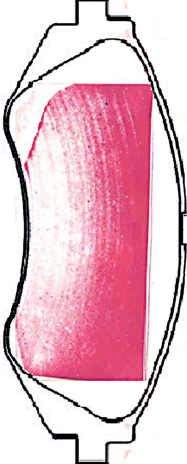
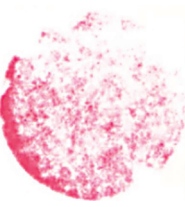



Tab. 7. Comparison of pressure distribution and calibration results using Medium Pressure Mono-sheet (MS)



Otrzymane odciski klocka hamulcowego na folii PPM dla prawego i lewego koła samochodu wykonane foliami o średnim (MS) i niskim (LW) zakresie ciśnienia porównano z odciskami tych folii, uzyskanymi podczas wzorcowania, przeprowadzonego za pomocą prasy hydraulicznej. Zestawienie intensywności odcisków dla tych dwóch typów arkuszy zostało zamieszczone w tab. 7 oraz tab. 8.

Tab. 8. Porównanie wyników badań nacisku i wzorcowania przy użyciu arkuszy Low Pressure Two-sheet (LW)

Tab. 8. Comparison of pressure distribution and calibration results using Low Pressure Two-sheet (LW)

Lewe koło	Prawe koło	Wzorcowanie 2,5 MPa
		
		Wzorcowanie 5,0 MPa
		
		Wzorcowanie 7,5 MPa
		
Wzorcowanie 10,0 MPa		

Dodatkowo zbadano rozkład nacisków w hamulcu tarczowym jednośladowego pojazdu marki Yamaha FZS 600. Badanie polegało na demontażu zacisku (rys. 3), oczyszczeniu pary ciernej, umieszczeniu arkuszy folii między klockiem i tarczą, montażu zacisku i dokonaniu statycznych hamowań. Użyto folii w zakresach ciśnień HS, LLW(C) i 4LW (rys. 4). Odciski uzyskane za pomocą folii HS i LLW nie dały satysfakcjonującego poglądu o rozkładzie nacisków klocka na tarczę (rys. 5). Uwidoczniły tylko w różnym stopniu odciski krawędzi. Klocki hamulcowe były intensywnie eksploatowane, z widocznymi śladami zużycia (rys. 6). Natomiast folia 4LW umożliwiła uzyskanie odcisku, dającego rozeznanie o rozkładzie nacisków oraz odzwierciedlającego nierówności powierzchni ciernej klocka, spowodowanych ubytkiem w wyniku intensywnego zużycia (rys. 7).

Analizując odciski klocków hamulcowych prawej i lewej strony hamulca tarczowego przedniej osi wybranego samochodu, należy stwierdzić, że są one zróżnicowane w zależności od zakresu ciśnień użytej folii PPM. Nie zawsze wiadomo, jakie panuje ciśnienie w badanym węzle, a metoda analitycznego jego oszacowania nie każdorazowo pokrywa się z rzeczywistością.

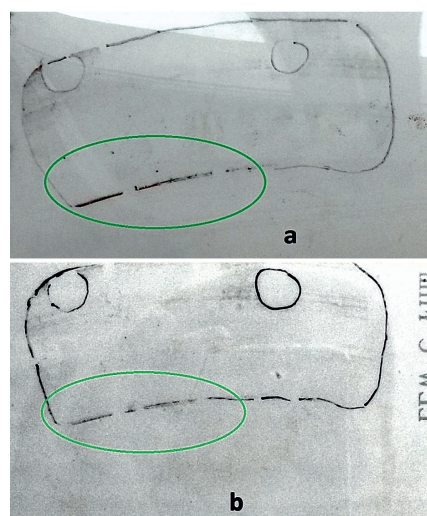
W badanym przypadku użycie folii LW okazało się trafniejsze od folii MS, a uzyskane odciski niosą więcej informacji o stanie współpracy statycznej klocka z tarczą. Odciski na tej folii są intensywniejsze i wystarczająco zróżnicowane oraz pokazują, że przyleganie klocka do tarczy nie jest równomierne. Ponieważ badane pary cierne były intensywnie eksploatowane, to nierówny, ale dostatecznie intensywny odcisk, informuje także o nierównomiernym i większym zużyciu części klocka. Poza tym na odciskach są widoczne szczegóły makrostruktury powierzchni wzajemnej współpracy eksploatowanych elementów, a więc nierówności powierzchni, wynikające ze zużycia, rysy i rowki oraz wżery klocków.



Rys. 3. Zacisk hamulcowy motocykla Yamaha FZS 600 [10]
Fig. 3. Brake caliper of Yamaha FZS 600 motorcycle [10]



Rys. 4. Zestaw folii FujiFilm Prescale użyty do badań [9]
Fig. 4. Fuji Prescale film set used for investigation [9]



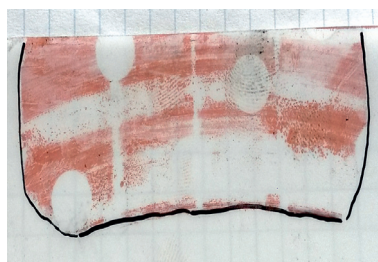
Rys. 5. Wyniki badań pary ciernej hamulca motocykla z użyciem folii Fuji Prescale: a) folia HS, b) folia LLW
Fig. 5. Results of the test of motorcycle brake frictional couple using Fuji Prescale films: a) HS film, b) LLW film

Porównanie intensywności koloru odcisków klocków

i odcisków wzorcowych (tab. 8), umożliwiło określenie zakresu ciśnień między klockiem i tarczą oraz ich rozkładu. Mieściły się one w przedziale (5–10) MPa, co jest zbliżone z wartościami ciśnienia w układzie hydraulicznym hamulca [11]. Odciski uzyskane w przypadku jednoślada były mniej intensywne i wymagały użycia folii 4LW, tj. w zakresie tzw. ultra super niskiego ciśnienia (wysokiej czułości), ale one także dają wyobrażenie o stanie współpracy pary ciernej, ukazując różnicowanie nacisków i odzwierciedlając stan współpracujących powierzchni. Na odciskach uwidaczniają się ubytki współpracujących elementów pary ciernej (zwłaszcza klocka), spowodowanych zużyciem ciernym lub pęknięciami. Dostrzegalny jest także efekt krawędziowego gromadzenia się produktów zużycia, pomimo oczyszczenia, a nawet umycia pary ciernej. Super wysoka czułość folii – w takim przypadku – uwidacznia nawet odciski linii papilarnych osoby umieszczającej folię między współpracującymi elementami.



Rys. 6. Klocki hamulcowe zdemontowane z motocykla Yamaha FZR 600
Fig. 6. Brake pads disassembled from the Yamaha FZR 600 motorcycle



Rys. 7. Wynik badania pary ciernej hamulca motocykla z użyciem folii 4LW Fuji Prescale
Fig. 7. The result of the test of motorcycle brake frictional couple with 4LW Fuji Prescale film

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań skalujących i weryfikujących metodę PPM, na przykładzie wybranych par ciernych układu hamulcowego, została potwierdzona przydatność tej metody do oceny funkcjonowania i stanu powierzchni styku klocka hamulcowego z tarczą hamulcową. W szczególności wnioski z testów przydatności można sprowadzić do następujących stwierdzeń:

- Metoda PPM jest łatwa w praktycznym stosowaniu i możliwa do użycia na wybranym etapie eksploatacji pojazdu, także w warunkach warsztatu serwisowego lub stacji kontroli pojazdów, a więc podczas czynności obsługowo-naprawczych lub diagnostycznych.

- Użycie metody w czasie eksploatacji wymaga oczyszczenia pary ciernej z produktów zużycia i zanieczyszczeń. Wartości wyznaczonego ciśnienia mieszczą się w zakresach objętych wykresami referencyjnymi FujiFilm. W przypadku nieznanego rzędu wartości badanego nacisku należy przeprowadzić dodatkowe próby, uściślające zakres ciśnienia folii wybranej do badań.
- Metoda może być stosowana jako wspomagająca badanie techniczne układu hamulcowego samochodu na stacjach kontroli pojazdów do szczegółowej oceny stanu współpracy pary ciernej, zwłaszcza w przypadku różnicy sił hamowania, dokładnej kontroli hamulca pomocniczego oraz towarzyszących hamowaniu symptomów dźwiękowych, jak wibracje i piski, spowodowane m.in. niewłaściwą współpracą pary ciernej lub złym montażem klocka podczas wymiany.

Przeprowadzone testy wskazują na możliwości zastosowania metody PPM także do innych węzłów pojazdów samochodowych oraz maszyn roboczych, np. kadłuba i głowic silnika, miski olejowej, obudów przekładni, kół zębatach, sprzęgieł, zaworów i innych elementów podwozia i nadwozia samochodu.

Przedmiotowe badania mogły być przeprowadzone dzięki wparciu i uprzejmemu udostępnieniu materiałów i informacji przez Firmę Pohl & Pohl, Sp. z o.o. z Raciborza oraz pomocy panów mgr inż. Karola Żurkowskiego i inż. Bartosza Królskiego.

Praca została wykonana w ramach Działalności Statutowej IMRiPS PP: 05/51/DSPB/3385.

6. Literatura/References

- [1] "Prescale", Fujifilm Europe, 2017. [Online]. Available: <https://www.fujifilm.eu/eu/products/industrial-products/prescale>. [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [2] "Pressure Measurement Film | Fujifilm Global", Fujifilm.com, 2017. [Online]. Available: <http://www.fujifilm.com/products/prescale>. [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [3] "Prescale - Fujifilm - NDT. Badania nieniszczące & zgrzewanie doczołowe.", Ndt.pl, 2017. [Online]. Available: <http://www.ndt.pl/prescale.html>. [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [4] "Informacje o produktach", pohl & pohl, Ndt.pl, 2017. [Online]. Available: <http://www.ndt.pl>. [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [5] Ulotka o rodzajach błon Prescale, Fujifilm, [Online]. Available: www.ndt.pl/files/Ulotka-Fuji-str-2.jpg [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [6] "Pressure Measurement Film Prescale. Application examples for Automobiles.", FujiFilm Corporation, Ref. No. XX-XXXE, [Online]. Available: http://www.ndt.pl/files/application_examples_for-AutomobilesE_7muv6cak.pdf. [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [7] "Pressure Measurement Film Prescale. Application examples for Automobiles. No. 10", FujiFilm Corporation, [Online]. Available: http://www.ndt.pl/files/application_10_automobile-disc-brake-pads_zf4ochw9.pdf [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [8] M. Josko, "The role of non-destructive testing in the safety of road transportation", W: EAST-WEST COHESION: Strategical study volumes, Edited by Andras Istvan-Rajcsanyi Molnar Monika, Published by Cikos Group, www.cikos.rs, Szabadka, 2017, pp. 56-66. ISBN 978-86-82621-28-7
- [9] K. Żurkowski, B. Królski, Niepublikowane opracowania w ramach badań własnych do prac dyplomowych, WMRI PP, Poznań, lata 2016-2017.
- [10] "Zacisk hamulca Yamaha FZR 600" [Online]. Available: <http://imged.pl/zacisk-hamulca-przod-p-yamaha-fzr-600-fazer-czesci-15749140.html> pdf [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [11] M. Kozłowski (red.), Budowa i eksploatacja pojazdów, Wrocław: Wyd. Vogel Publishing, 2009.