

Robert CZECH*, **Andrzej POSMYK****

OCENA SKUTECZNOŚCI HAMOWANIA SAMOCHODOWYCH UKŁADÓW HAMULCOWYCH NA PODSTAWIE BADAŃ STANOWISKOWYCH

ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF BREAKING SYSTEMS FOR VEHICLES USING A TEST STAND

Słowa kluczowe:

korozja, skuteczność hamowania, badania stanowiskowe, tarcza, bęben

Key words:

corrosion, efficiency of breaking, stand investigation, disc, drum

Streszczenie

W pracy przedstawiono próbę oceny skuteczności układu hamulcowego pojazdów samochodowych, w których ze względu na dłuższy czas postoju doszło do korozji powierzchni ciernych. Na podstawie badań na stanowisku rolkowym IW2 stwierdzono, że postój pojazdu o masie własnej poniżej 1300 kg dłuższy niż 10 dni powoduje zmniejszenie skuteczności hamowania. Przyczyną tego są

* Okręgowa Stacja Kontroli Pojazdów, Żory, Polska.

** Politechnika Śląska, Wydział Transportu, ul. Z. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, Polska, e-mail: andrzej.posmyk@polsl.pl.

warstwy tlenków powstałych na powierzchniach roboczych żeliwnych tarcz i bębnow hamulcowych. Kilkukrotne próby hamowania nie usuwają skutecznie tlenków, co prowadzi do zmniejszenia sił tarcia i wydłużenia drogi hamowania pojazdu. W 28% z przebadanych 250 pojazdów przyczyną niesprawności układu hamulcowego była korozja spowodowana dłuższym postojem.

WPROWADZENIE

Prawidłowe działanie układów hamulcowych w pojazdach samochodowych ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa ruchu drogowego. Ze względu na konieczność zapewnienia odpowiedniej skuteczności oraz równomierności działania mechanizmy hamulcowe powinny zachować swoją sprawność przez cały międzyobsługowy czas eksploatacji pojazdu. W pojazdach parkowanych przez dłuższy czas (noc) poza garażami pojawia się problem nierównomierności sił hamowania na kołach [L. 1]. Przyczyną tego jest nierównomierne korodowanie tarcz lub bębnow hamulcowych w zależności od ustawienia pojazdu. To zjawisko jest często niedostrzegane przez kierowców, ponieważ po kilkukrotnym hamowaniu powstała podczas przerwy w jeździe cienka warstwa tlenkowa jest usuwana i częściowo nanoszona na materiał cierny. W poradnikach dotyczących użytkowania tarcz hamulcowych można znaleźć informację o „normalizacji” sił tarcia [L. 1–3] oraz o konieczności zbadania skuteczności hamowania układu hamulcowego na stanowisku rolkowym [L. 4]. Skutkiem korozji tarcz hamulcowych jest zmniejszenie sił tarcia nazywane w poradnikach „lekkim tarcie”, które „może ulec normalizacji po przejechaniu pewnej trasy” [L. 2]. Zjawisko to można zaobserwować i zmierzyć podczas badań technicznych w postaci różnicy sił hamowania. Skutkami tego zjawiska mogą być zagrożenia na drodze („do 40% wszystkich wypadków dochodzi w czasie hamowania” [L. 5] lub negatywny wynik badania technicznego układu hamulcowego. Dodatkowym, niepożądanym efektem korozji tarcz hamulcowych jest ich pylenie.

W literaturze można znaleźć informacje na temat zapobiegania korozji tarcz hamulcowych przez dodanie do materiałów okładzin ciernych substancji działających jako inhibitory korozji, np. napełniaczy grafitowych, miedziano-cynkowych, kompleksów metalowo-organicznych [L. 6, 7]. Nowszym rozwiązaniem zmniejszającym negatywne skutki korozji jest pokrywanie żeliwnych tarcz hamulcowych powłokami ochronnymi lub wykonywanie tarcz z kompozytów na osnowie stopów aluminium i materiałów ceramicznych [L. 8, 9].

PRZEBIEG I WARUNKI BADAŃ

W celu określenia wpływu dłuższego postoju na stan techniczny układów hamulcowych pojazdów będących w użytkowaniu, a dokładniej określenia rodzaju, miejsca i częstotliwości występowania usterek zdecydowano się na prze-

prorowadzenie badań z wykorzystaniem rolkowego urządzenia stanowiskowego. Procedury pomiaru wykonano zgodnie z obowiązującą urzędową metodyką. Skuteczność i równomierność hamowania oceniano według procedur stosowanych podczas okresowych badań technicznych. Metoda badawcza zastosowana podczas przeprowadzanych pomiarów została zaadaptowana z instrukcji zawartej w dziale II rozporządzenia w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów (Dz. U. poz. 996 z 26 czerwca 2012 r.). Sprawdzenie równomierności hamowania polegało na równoczesnym pomiarze sił hamowania na kołach po obu stronach osi pojazdu, a następnie określeniu czy nie różnią się one od siebie o więcej niż 30%, przyjmując za 100% wartość siły większej (wzór 1).

$$\frac{T_w - T_m}{T_w} \cdot 100 \leq 30 \quad (1)$$

gdzie: T_w – wartość większej siły hamowania w kN,
 T_m – wartość mniejszej siły hamowania w kN.

Skuteczność hamowania uznawano za odpowiadającą wymaganiom ustawowym, jeżeli wskaźnik skuteczności hamowania zmierzony (lub obliczeniowy) na podstawie pomiaru sił hamowania (wzór 2) nie jest mniejszy niż:

- 50% dla samochodów osobowych zarejestrowanych po raz pierwszy przed 28 lipca 2010 r.,
- 58% dla samochodów osobowych zarejestrowanych po raz pierwszy po 28 lipca 2010 r.,
- 45% dla samochodów ciężarowych.

$$z = \frac{\sum T}{P} \cdot 100 \quad (2)$$

gdzie: z – wskaźnik skuteczności hamowania dla badanego rodzaju hamulca, w %,

$\sum T$ – siła hamowania uzyskana ze wszystkich kół, kN,

P – siła ciężkości od dopuszczalnej masy całkowitej pojazdu, kN.

Próby w pojazdach, które oczekiwały na badania poza garażem przeprowadzono z wykorzystaniem urządzenia rolkowego IW2 – EUROSYSTEM firmy MAHA (**Tab. 1**), stosowanego w stacjach kontroli pojazdów. Podczas badań rejestrowano opory toczenia, zmiany sił hamowania na kołach tej samej osi w funkcji nacisku wywieranego na pedał hamulca oraz różnice między nimi. Następnie każdorazowo wykonywano oględziny podzespołów układu hamul-

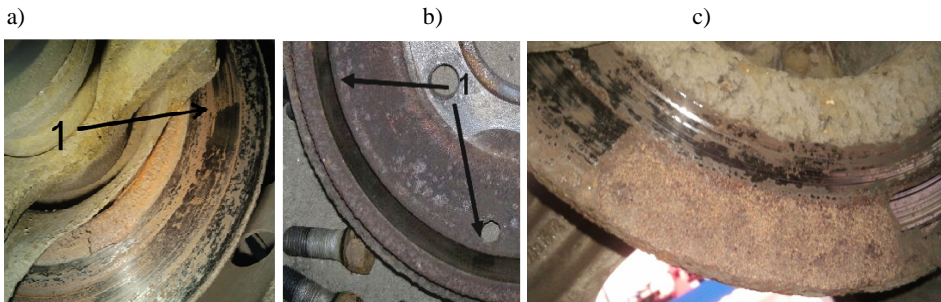
cowego zabudowanego w pojeździe. Jeżeli stwierdzono korozję tarcz lub bębnow, dokonywano ich oczyszczenia (naprawy) i mierzono ponownie siły hamowania.

Tabela 1. Dane techniczne urządzenia rolkowego IW 2

Table 1. Technical data of IW 2 brake tester

Lp.	Cecha	Wartości
1	Zakres wskazań	– siła hamowania 0÷6 kN – różnica sił hamowania 0÷70% – siła nacisku na pedał hamulca 0÷995 N
2	Rozdzielczość wskazań	– siła hamowania 0,01 kN – siła nacisku na pedał hamulca 5 N
3	Dokładność pomiaru	– siła hamowania 0,01 kN – nacisk na pedał hamulca 1%
4	Parametry robocze	– prędkość – 5 km/h – współczynnik przyczepności kół do rolki pokrytej tworzywem – 0,9

W przypadkach uniemożliwiających jednoznaczne określenie przyczyny niesprawności podzespoły demontowano, a następnie wykonywano dokumentację fotograficzną zużytych elementów. Na przeprowadzenie części eksperymentalnej w warunkach odpowiadających eksploatacyjnym zdecydowano się ze względu na możliwość dokładnego odzwierciedlenia stanu technicznego węzłów hamulcowych. Szeroka gama zbadanych pojazdów, różniących się wielkością, parametrami technicznymi, budową, ale także sposobem i warunkami eksploatacji pozwoliła określić najczęstsze przyczyny uszkodzeń hamulców.



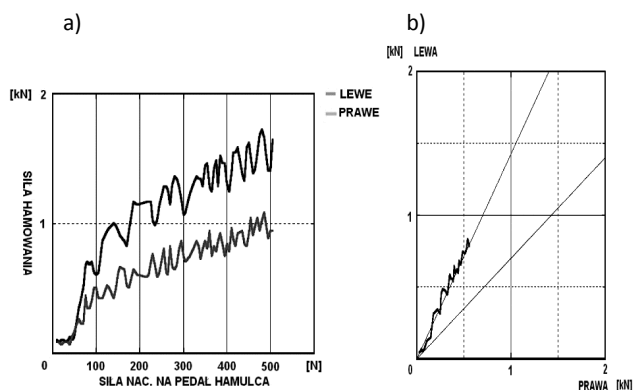
Rys. 1. Widok tarczy hamulcowej (a) i bębna (b) z wyraźnymi śladami po okładzinie hamulcowej powstałymi w wyniku korozji żeliwa (c)

Fig. 1. The surface views of brake disc (a) and drum (b) with visible pad imprint (c) caused do to corrosion

Do badań wybrano losową grupę dwustu pojazdów o dopuszczalnej masie całkowitej nieprzekraczającej 3500 kg oraz 50 pojazdów o masie większej, w tym samochodów ciężarowych, naczep, autobusów i ciągników samochodowych. W celu odzwierciedlenia wpływu czynników środowiskowych na funkcjonowanie hamulców część eksperymentalną przeprowadzono w dwóch etapach. Etap pierwszy obejmował pojazdy badane w okresie letnim (niewielkie opady deszczu, wyższa temperatura), etap drugi dotyczył z kolei okresu zimowego (duże opady deszczu, śniegu, niskie temperatury, obecność środków przeciwzamarzaniu). Następnie obiekty o dopuszczalnej masie całkowitej podzielono na segmenty. Głównym kryterium podziału była masa własna (**Tab. 2**).

WYNIKI BADAŃ

Wyniki statystyczne badań zestawiono w **Tabelach 2 i 3**. Przykładowe wyniki obserwacji układów hamulcowych przedstawiono na **Rysunku 1**, a wyniki pomiarów sił hamowania na **Rysunkach 2 i 3**.



Rys. 2. Przykładowa zależność sił hamowania od siły wywieranej na pedał hamulca (a) oraz zależność między siłą hamowania koła prawego i lewego (b)

Fig. 2. An example of braking forces diagram vs. brake pedal load (a) and dependence between braking forces on right and left wheel (b)

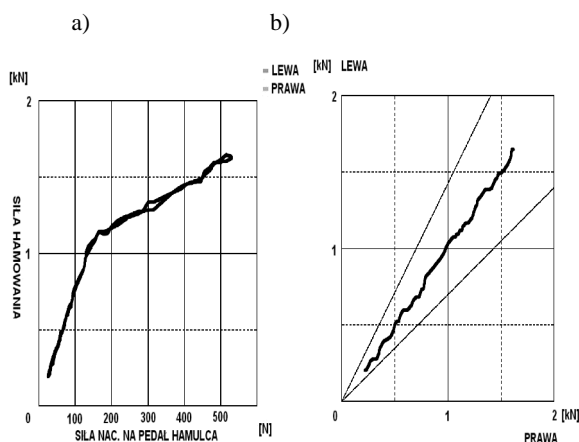
Tabela 2. Podział pojazdów ze względu na miejsce wystąpienia usterki

Table 2. The partition of vehicles due the malfunction location

Lp.	Cecha	Typ pojazdu		
		A i B (miejskie/ uniwersalne)	C (kompaktowe/ rodzinne)	D (duże i komfortowe)
1	Segment			
2	masa własna, kg	≤ 1100 kg	$1100 < x \leq 1350$	>1350 kg
3	liczba pojazdów z przekroczoną różnicą sił hamowania na osi tylnej	17	3	7
4	liczba pojazdów z przekroczoną różnicą sił hamowania na osi przedniej	8	0	3

Tabela 3. Podział pojazdów według masy własnej
 Table 3. The allocation of vehicles due their kerb mass

Lp.	Cecha	Typ pojazdu		
		A i B (miejskie/ uniwersalne)	C (kompaktowe/rodzinne)	D (duże i komfortowe)
1	Segment			
2	masa własna, kg	≤ 1100 kg	$1100 < x \leq 1350$	$1350 \text{ kg} <$
3	liczba ilość pojazdów	44	26	30
4	liczba ilość pojazdów z negatywnym wynikiem badania	21	3	8
5	wyniki negatywne, %	48	12	27
6	wynik negatywny w stosunku do całości, %	66	9	25



Rys. 3. Przykładowa zależność sił hamowania na kołach jednej osi od siły wywieranej na pedał hamulca (a) oraz zależność między siłą hamowania koła prawego i lewego (b) w pojeździe po naprawie

Fig. 3. Braking forces diagram vs. brake pedal load (a) and dependence between braking forces on right and left wheel (b) in the vehicle after repair

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Niesprawności układu hamulcowego wystąpiły w 32% badanych pojazdów, przy czym aż w 28% przyczyną niesprawności była korozja. Pozostałe 4% stanowiły usterki układu hydraulicznego lub było wynikiem przedostawania się substancji smarnych na elementy robocze hamulców (wycieki płynu hamulcowego, oleju, rozszczelnienie amortyzatorów, uszkodzenie osłon przegubów zewnętrznych półosi napędowych). Pojazdy z segmentu A i B należą do grupy,

w której niedomagania układu hamulcowego występują zdecydowanie najczęściej. Z obserwacji wynika, że bezpośrednią przyczyną tego zjawiska jest charakter eksploatacji tych pojazdów uniemożliwiający usuwanie gromadzących się w mechanizmach hamulcowych warstw tlenków żelaza, a co za tym idzie samoistnego „oczyszczania” – zalecanego w podręcznikach użytkownika – tarcz lub bębnow hamulcowych. Usterki dotyczą najczęściej osi tylnej (**Tab. 3**).

Oględziny wykazały, że na powierzchniach roboczych tarcz i bębnow hamulcowych pojazdów nieuczestniczących przez pewien czas w ruchu pojawiają się dwa różne pod względem stopnia skorodowania obszary. W zależności od czasu postoju pojazdu oraz warunków zewnętrznych (obecności wody, roztworów soli) można zaobserwować różny charakter procesów korozji zachodzących na powierzchniach roboczych hamulców (**Rys. 1**).

Na powierzchniach roboczych hamulców pojazdu przebywającego w środowisku o mniejszej wilgotności występuje zwykle obszar silnej korozji zajmujący większą część bieżni oraz obszar nieskorodowany odpowiadający powierzchni styku tarczy/bębna z okładziną hamulcową. Gdy mechanizmy hamulcowe są poddane działaniu dodatkowych czynników w postaci wody lub preparatów przeciw zamarzaniu, między materiałem ciernym okładzin a żeliwem szarym zachodzi reakcja elektrochemiczna powodująca korozję galwaniczną, co wiąże się z występowaniem licznych wżerów na tarczy hamulcowej. Te zjawiska stanowią przyczynę zróżnicowania grubości tarczy/bębna na obwodzie, co skutkuje pojawieniem się zmian momentu hamującego (**Rys. 2**). Cyklicznie powtarzający się proces narastania, a następnie gwałtownego zmniejszenia siły hamującej, będący wynikiem niejednorodności powierzchni pokrytych tlenkami, obciąża znacząco łożyska kół, może powodować zakłócenia w działaniu układu ABS, a także obniża komfort jazdy przez drgania nadwozia. Zjawisko to jest szczególnie niebezpieczne dla pojazdów niewyposażonych w układy przeciwblokujące w okresie zimowym, gdyż nawet chwilowe zablokowanie którejkolwiek z kół osi tylnej spowoduje nie tylko utratę kierowności, ale i stateczności samochodu.

Z **Rysunku 3a** wynika, że układ hamulcowy po naprawie (usunięciu korozji) ma mniejszą amplitudę zmian zarejestrowanych sił, będącą wynikiem współpracy okładziny ciernej z rodzimym, jednorodnym materiałem bębna lub tarczy hamulcowej.

Widoczne na wykresie charakterystyczne załamanie jest efektem funkcjonowania korektora ograniczającego intensywność działania hamulców na osi tylnej nieobciążonego pojazdu. Podczas hamowania pojazdu z silnie skorodowaną tarczą duże ilości produktów korozji z powierzchni tarczy osadzają się na okładzinie ciernej klocka hamulcowego, co dodatkowo powoduje trwałe obniżenie współczynnika tarcia, głośną pracę hamulców oraz przyspieszone zużycie samej tarczy hamulcowej.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały, że korozja mechanizmów hamulcowych jest najczęstszym powodem ich niesprawności (28% z 32% niesprawnych). Ponadto proces ten nie ma charakteru skokowego, a usterka ujawnia się zazwyczaj dopiero w sytuacji krytycznej, np. jako nierównomierność działania układu podczas hamowania awaryjnego w warunkach ograniczonej przyczepności, dlatego jest wyjątkowo niebezpieczny. W pojazdach samochodowych nie istnieją systemy ostrzegające o wystąpieniu nadmiernej korozji tarcz lub bębnow hamulcowych, tak jak ma to miejsce w przypadku usterek układu hydraulicznego lub pneumatycznego (sygnał kontrolny ubytku płynu hamulcowego lub spadku ciśnienia w obwodzie sterującym). Zaobserwowano, że w pojazdach o masie całkowitej przekraczającej 3,5 t główny problem eksploatacyjny hamulców polega na nadmiernych obciążeniach cieplnych wywołujących pęknięcia bieżni hamulcowych. Ze względu na duże siły oddziaływujące na układ korozja w tych pojazdach ma nieistotny wpływ na siły hamowania pojazdu po postoju. Jej wpływ jest widoczny głównie na powierzchniach wewnętrznych tarcz wentylowanych. Wielokrotne postoje pojazdu powodują zwiększanie grubości warstw tlenkowych. Ponieważ przewodność cieplna tlenków żelaza jest nawet dwukrotnie mniejsza niż żelaza, powoduje to pogorszenie odprowadzania ciepła z hamulca i zmniejsza siły tarcia. Dodatkowo chropowata powierzchnia tlenków zmienia warunki przepływu powietrza chłodzącego tarcze.

Innym aspektem korodowania tarcz hamulcowych podczas dłuższego postoju może być negatywny wynik badania technicznego pojazdu, który przed postojem miał sprawny układ hamulcowy. Hamowanie podczas badań na stanowisku rolkowym może nie wystarczyć do usunięcia korozji. W kilku przebadanych pojazdach nawet trzykrotne hamowanie podczas badania nie spowodowało powrotu sił hamowania do poziomu sprzed postoju.

LITERATURA

1. Pompon J.P.: Podręcznik tarczy hamulcowej. Brembo Spa 1998.
2. Ocena uszkodzeń okładzin hamulców tarczowych i tarcz hamulcowych. Dane techniczne. TMD FRICTION Nisshinbo Group Company. Leverkusen 2014.
3. Pehle M., Meurer B. i inni: Objawy zużycia i uszkodzeń hamulców ciernych – Hamulec tarczowy. BPW THE QUALITY FACTOR. Wiehl 2014.
4. Uszkodzenia tarcz hamulcowych. AutoExpert 23.02.2012.
5. Leiter R.: Hamulce samochodów osobowych i motocykli. WKŁ, Warszawa 1998.
6. Siepracka B., Szumniak J., Nyc R.: Korozja trących się elementów układów hamulcowych (tarcze, bębny) pojazdów i możliwości jej minimalizacji. Zeszyty Naukowe WSOWL, nr 4 (158) 2010, 236–242.
7. Siepracka B., Prot T., Szumniak J., Wpływ składu nakładek hamulcowych na zużycie tribologiczne i korozyjne żeliwnych tarcz hamulcowych. Tribologia 4/2000.

8. Czech R., Posmyk A.: Wpływ korozji na eksploatację kompozytowych tarcz hamulcowych. *Tribologia* 11/2012, 41–51.
9. Shihai C., Jain Y., Haiyan L.: The thermo-mechanical coupling analysis of SiCp/A356 composites brake disc of passenger car. *Advanced Materials Research V. 750-52* (2013), 28-32

Summary

An attempt at an estimation of vehicles braking system efficiency, after corrosion exposure in humid conditions, is described. Based on brake test bench examinations, it is stated that halting a vehicle with mass higher than 1300 kg for longer than 10 days causes a decrease in breaking process efficiency. The reasons for this behaviour are oxide layers created on the working surfaces of cast iron discs and drums. Repeated braking attempts remove the oxide layers ineffectively, which leads to the decreasing of friction forces and increasing of braking distance. In 28% of examined 250 vehicles, the reason for inefficiency was the corrosion because of longer periods of halting.