

Rafał BURDZIK, Jan WARCZEK

WPLYW CIŚNIENIA W OGUMIENIU I OBCIĄŻENIA POJAZDU NA OCENĘ SKUTECZNOŚCI UKŁADU HAMULCOWEGO W WARUNKACH STACJI KONTROLI POJAZDÓW

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań, których celem była ocena wpływu wybranych czynników eksploatacyjnych pojazdów samochodowych na wyniki diagnozowania układów hamulcowych, według metod stosowanych w stacjach kontroli pojazdów. Na podstawie analizy zagadnienia opracowano plan badań. Następnie przeprowadzono badania skuteczności działania układu hamulcowego dla różnych wartości ciśnienia w ogumieniu i obciążenia pojazdu.

Uzyskane wyniki potwierdzają, że zarówno dodatkowe obciążenie, jak i ciśnienie odbiegające od nominalnego mają wpływ na zmierzone siły hamowania, co przy niespełnieniu zaleceń stosownego rozporządzenia ministra infrastruktury może doprowadzić do błędnej oceny stanu układu hamulcowego.

THE INFLUENCE OF TYRE PRESSURE AND VEHICLE LOAD ON EVALUATION OF BRAKE SYSTEM EFFECTIVENESS BY VEHICLES SERVICES STATIONS ITEMS

Summary. The paper presents results of research which purpose was to evaluate the influence of chosen exploitation factors of car vehicles on brake system diagnosis results by vehicles service stations. Based on analysis of the problem it has been elaborated and carried out research plan for brake system effectiveness determines for different values of tyre pressure and vehicle loads.

Obtained results confirm that additional tyre pressure and vehicle extra loads have influence on the registered brake forces. This can result in incorrect evaluation of brake system diagnosis.

1. WSTĘP

Diagnozowanie pojazdów samochodowych jest bardzo złożonym i trudnym zagadnieniem. Wykrycie występujących uszkodzeń, a także zapobieganie ich wystąpienia, na podstawie analizy wczesnych stanów symptomów, są skomplikowane pod względem metod pozyskiwania informacji i właściwej ich analizy. W Stacjach Kontroli Pojazdów (SKP) najważniejszym etapem badań jest diagnostyka bezpieczeństwa, czyli kontrola poprawności działania układów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo podczas użytkowania samochodów. Układ hamulcowy należy do najważniejszych podzespołów pojazdu, a jego prawidłowe funkcjonowanie jest podstawą bezpieczeństwa ruchu drogowego. Wymagania techniczne, stawiane układom hamulcowym, określa rozporządzenie [1]. Niewłaściwe stosowanie zaleceń, zawartych w metodyce przeprowadzania badań lub zła interpretacja wyników pomiarów bywają często powodem nieprawidłowej oceny stanu technicznego układu hamulcowego. Podstawowym błędem podczas okresowych badań kontrolnych pojazdów jest ograniczenie ich zakresu do pomiaru sił hamowania na kołach [2]. Często pomiar ten jest przeprowadzony nieprawidłowo. W czasie testu pojazd jest niedociążony lub zaniechany jest

pomiar siły nacisku na pedał hamulca. Dodatkowo na wyniki badań mogą wpływać zmiany parametrów eksploatacyjnych pojazdu, takie jak np. ciśnienie w ogumieniu.

W celu oceny skuteczności hamowania pojazdu, należy także uwzględnić działanie urządzeń dodatkowych, wspomagających proces hamowania, takich jak np. korektory sił hamowania. Uwzględnianie ich działania jest konieczne do prawidłowej oceny całego układu i możliwe do wykonania (bez modyfikacji) oprzyrządowania stanowiska pomiarowego, co przedstawiono w pracach [3,4].

Liczba parametrów mających wpływ na skuteczność hamowania pojazdu wymusza prowadzenie ciągłych badań nad wdrożeniami nowych urządzeń wspomagających proces hamowania, ale także sterujących, np. z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych [5].

2. BADANIA KONTROLNE SKUTECZNOŚCI DZIAŁANIA UKŁADU HAMULCOWEGO

W przypadku badań homologacyjnych pojazdów samochodowych, zgodnie z regulaminem nr 13 EKG ONZ (EKG ONZ Nr 13.09 z 27 kwietnia 1998 r.), warunki badań skuteczności działania układów hamulcowych pojazdów określają szczegółowo sposób przygotowania pojazdu, jezdni, aparatury pomiarowej itd. Najważniejsze wytyczne to: pomiary powinny być wykonywane dla pojazdu obciążonego do maksymalnej masy całkowitej oraz przy masie własnej (powiększonej o masę osób badających i aparaturę). Badanie skuteczności wykonuje się dla tzw. hamulców zimnych i gorących (tzw. zimne hamulce to hamulce, których temperatura przed próbą hamowania na zewnętrznej powierzchni tarcz lub bębnow nie przekracza 100°C) [6]. Pomiary dokonywane są przy bardzo dużych prędkościach początkowych, np. od 160 km/h dla samochodów osobowych, przez 80 km/h dla ciągników siodłowych, do 60 km/h dla autobusów miejskich. Podczas pomiarów nie wolno przekraczać dopuszczalnych nacisków na pedał hamulca (przy układach hamulcowych hydraulicznych) 500 N dla samochodów osobowych i 700 N dla samochodów ciężarowych. Należy dokonać prób hamowania z włączonym (hamowanie awaryjne) i odłączonym poprzez sprzęgło silnikiem itd.

Badania przeprowadzone zgodnie z wymaganiami regulaminu EKG ONZ nr 13 mają wszelkie atrybuty badania dynamicznego, tj. uwzględniającego wszystkie zdarzenia znane i nieznanne, jakie towarzyszą hamowaniu pojazdu. Badania skuteczności hamowania stosowane podczas badań okresowych nie mają realnego związku z tak rozumianą dynamiką zjawiska hamowania.

Brak jest nadal jednolitego stanowiska w sprawie stosowania urządzeń do pomiaru nacisku na pedał hamulca w Europie. W Polsce dopuszcza się obliczanie wskaźnika skuteczności hamowania dla pojazdów nieobciążonych, w odniesieniu do dopuszczalnej masy całkowitej, z uwzględnieniem stosunku dopuszczalnego nacisku na pedał do zmierzonego. Należy pamiętać, że podstawowym sposobem oceny skuteczności hamowania jest pomiar pojazdu obciążonego, co jest często trudne do spełnienia w warunkach SKP.

3. ANALIZA TEORETYCZNA WPLYWU WYBRANYCH CZYNNIKÓW EKSPLOATACYJNYCH POJAZDU NA UZYSKIWANE WATROŚCI SIŁ HAMOWANIA

W ramach badań przeprowadzono czynny eksperyment diagnostyczny, mający na celu analizę wpływu różnych wartości ciśnienia w ogumieniu i obciążenia pojazdu na uzyskiwane siły hamowania pojazdu.

Stanowisko rolkowe umożliwia pomiar wartości sił hamujących dla statycznego rozkładu nacisków na osie. W momencie pełnego wykorzystania przyczepności kół do rolek siły te wynoszą:

$$P_{hpst} = \mu_{st} \frac{G_c * b}{L} k_{st} \quad , \quad P_{htst} = \mu_{st} \frac{G_c * a}{L} k_{st} \quad (1)$$

P_{hpst} - suma sił hamujących osi przedniej,

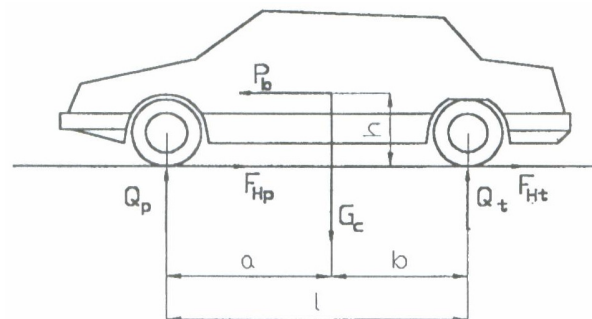
P_{htst} - suma sił hamujących osi tylnej,

μ_{st} - współczynnik przyczepności między kołami a nawierzchnią stanowiska,

k_{st} - współczynnik zależny od parametrów konstrukcyjnych stanowiska, $k_{st} < 1$.

Pozostałe oznaczenia według rys. 1.

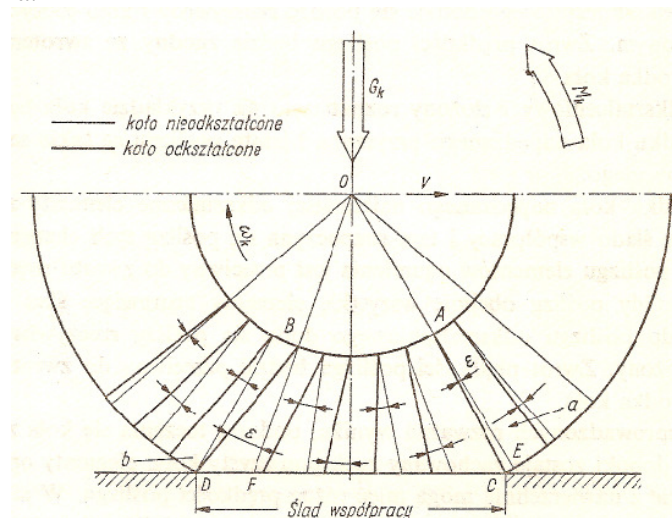
Współczynnik k_{st} uwzględnia między innymi fakt, że maksymalna siła hamująca mierzona na stanowisku zależy od obciążenia promieniowego rolek, a nie od obciążenia pionowego osi pojazdu, jak to ma miejsce na drodze. Reakcja promieniowa, działająca na rolki, jest składową obciążenia osi. Współczynnik k_{st} uwzględnia ten fakt i stąd jego wartość jest mniejsza od jeden. Z przedstawionych zależności wynika, że dodatkowe obciążenie pojazdu wpływa proporcjonalnie (z odpowiednim współczynnikiem) na uzyskiwane siły hamowania.



Rys. 1. Układ sił działających na samochód hamowany na drodze [7]

Fig. 1. System of forces impacted on braking car [7]

Zmiana ciśnienia w ogumieniu wpływa bezpośrednio na wielkość powierzchni styku opony hamowanej z drogą. Na rys. 2 przedstawiono odkształcenie obwodowe hamowanej opony, która wykonuje mniejszą liczbę obrotów niż koło swobodnie toczone. Zależność ta wynika ze zmiany wartości promienia dynamicznego kół osi przedniej, które są dociążane podczas hamowania.



Rys. 2. Odkształcenie hamowanej opony [8]

Fig. 2. Braking tyre deformation [8]

Na wewnętrznej krawędzi opony zaznaczono punkty A i B, przez które przechodzą proste, wyznaczające kąt obrotu AOB toczącego się koła. Prosta OA przechodzi przez punkt A i punkt początkowy śladu współpracy opony z nawierzchnią (C). Prosta OB przechodzi przez punkt B i punkt końcowy śladu współpracy (D). Droga przebyta przez koło, które wykonuje ruch obrotowy, o kąt AOB wynosi CD. Gdyby koło nie było odkształcone obwodowo, przebyłoby drogę EF. Odcinek EF jest krótszy od CD, gdyż elementy opony wychodzące ze śladu współpracy – fragment „b” – są bardziej odkształcone, niż elementy wchodzące do śladu współpracy opony z nawierzchnią – fragment „a”. W przypadku koła swobodnie toczącego odcinek drogi przebytej, wynikającej z obrotu koła o kąt AOB, byłby większy od EF, lecz mniejszy od CD. Przy jednakowej prędkości liniowej koła swobodnie toczącego i koła hamowanego prędkość kątowna koła hamowanego jest mniejsza od prędkości kątownej koła toczącego, gdyż zmniejsza się promień dynamiczny przedniego koła dociążanego podczas hamowania.

Przy dużym momencie hamującym pewne elementy w śladzie współpracy opony z nawierzchnią mogą być mocno odkształcone, a co za tym idzie obciążenie pionowe koła oraz współczynnik przyczepności mogą być niewystarczające, aby zapobiec poślizgowi. Elementy opony, znajdujące się w tylnej części śladu współpracy, mogą być w poślizgu nawet wtedy, gdy elementy w przedniej części śladu styku opony z nawierzchnią nie ulegają poślizgowi. W przypadku gdy moment hamowania będzie zwiększany, liczba elementów ślizgających się w śladzie współpracy również będzie wzrastała i może dojść do poślizgu rzeczywistego [8].

4. PRZEDMIOT, OBIEKT I METODA BADAŃ

Przedmiotem badań była analiza wpływu wybranych czynników eksploatacyjnych pojazdów samochodowych na wyniki diagnozowania układów hamulcowych, według metod stosowanych w SKP. Na podstawie analizy zagadnienia opracowano i przeprowadzono plan badań skuteczności działania układu hamulcowego dla różnych wartości ciśnienia w ogumieniu i obciążenia pojazdu. Zgodnie z [1] pomiar sił hamowania hamulcem roboczym powinien odbywać się przy założeniu, że ciśnienie w ogumieniu nie może różnić się od nominalnego więcej niż o:

- a) +0,01 MPa dla motocykla i samochodu osobowego,
- b) +0,02 MPa dla pozostałych pojazdów.

Ponadto, jest wskazane, aby przy przeprowadzaniu pomiarów osie pojazdu były obciążone, lecz nie więcej niż maksymalnym naciskiem konstrukcyjnym określonym dla danego typu pojazdu. W wypadku pomiarów pojazdu nieobciążonego należy ściśle przestrzegać zasad ekstrapolacji [1].

W ramach przeprowadzonych badań wykonano pomiary sił hamowania i sił nacisku na pedał hamulca dla zmiennych:

- ciśnienia w ogumieniu, według kolejności: 60% wartości nominalnej, 80% wartości nominalnej, wartość nominalna, 120% wartości nominalnej i 140% wartości nominalnej,
- obciążenia dodatkowego pojazdu, dla wartości: 80 kg, 160kg, 240 kg, 320 kg, które mogą odpowiadać obciążeniom kierowcy, kierowcy z pasażerem, z dwoma i z trzema pasażerami.

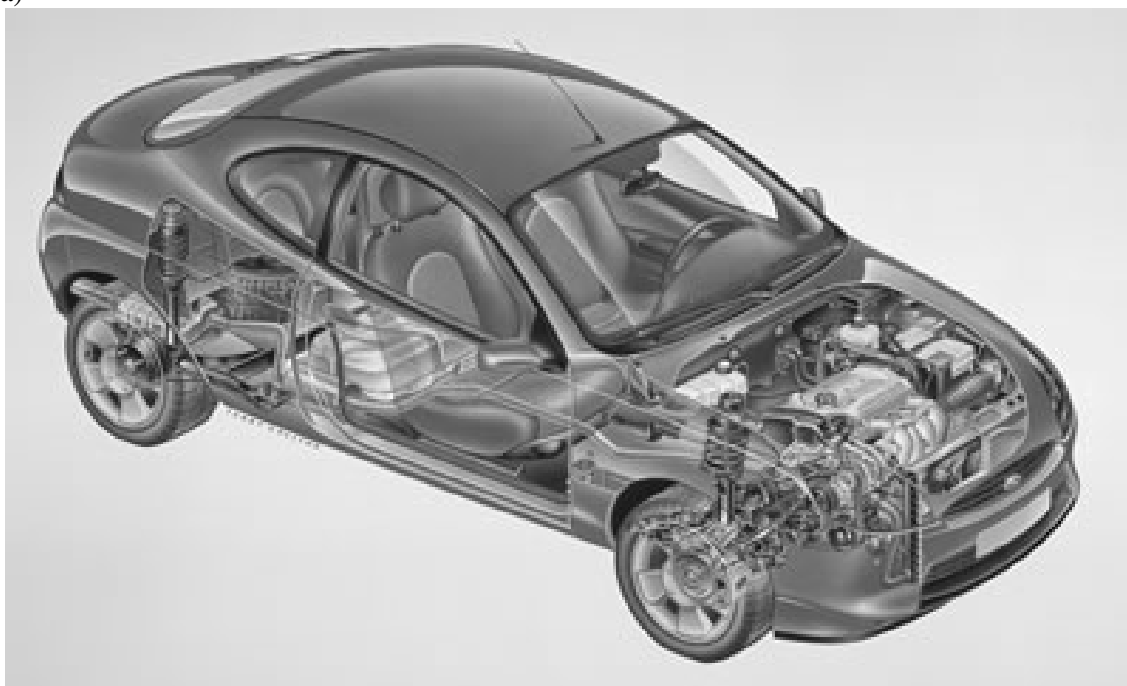
Powodem wyboru powyższych zmiennych czynników eksploatacyjnych było duże prawdopodobieństwo ich wystąpienia w pojazdach uczestniczących w ruchu drogowym.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki uzyskane dla jednego z obiektów badań, którym był samochód osobowy Ford Puma 1.7 16V (rys. 3a), wyposażony w system ABS. W skład jego układu hamulcowego wchodzi:

- zbiornik płynu hamulcowego,

- pompa hamulcowa z urządzeniem wspomagającym siłę nacisku na pedał hamulca,
- tarcze hamulcowe (rys. 3b),
- klocki hamulcowe i zaciski przednie (rys. 3b),
- bębny,
- szczęki hamulcowe,
- pompa,
- sterownik ABS (rys. 3c),
- czujnik prędkości obrotowej,
- przewody hamulcowe [9].

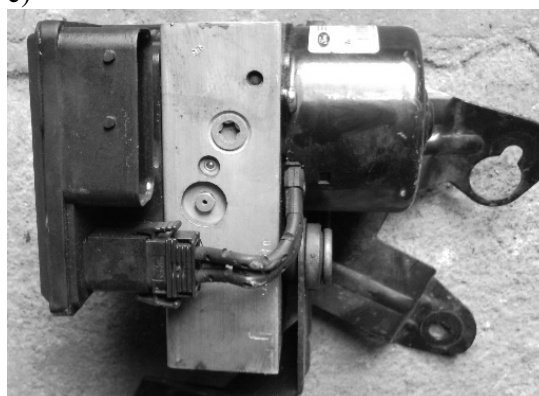
a)



b)



c)



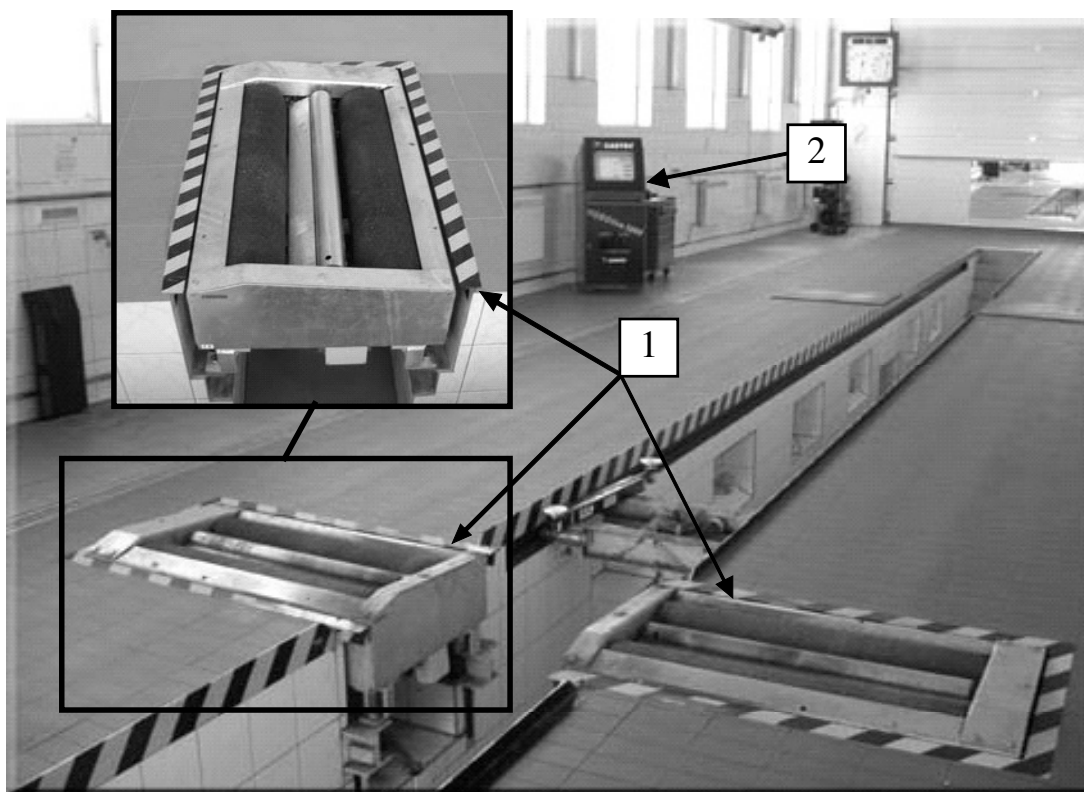
Rys. 3. Obiekt badań Ford Puma (a) oraz elementy przedniego układu hamulcowego (b) i sterownik ABS (c)

Fig. 3. Research object Ford Puma (a) front brake system elements (b) and ABS controller

Pomiary siły hamowania i siły nacisku na pedał hamulca przeprowadzane były na stanowisku rolkowym typu BDE 4004P-0/M (rys. 4).

Tabela 1
Wybrane parametry techniczne urządzenia BDE 4004

Parametry techniczne		
nazwa parametru	jednostka	dane
dopuszczalny nacisk na oś	kN	150
średnica zewnętrzna rolek napędowych	mm	205
długość rolek napędowych	mm	1000
prędkość obwodowa rolek napędowych do kontroli pojazdów	km/h	2,6/5,2
wartość poślizgu koła względem rolek	%	15-40
błąd pomiaru siły hamowania w zakresie	N	+/- 10
współczynnik przyczepności opon do rolek napędowych		
- na sucho		0,9
- na mokro		0,7
dopuszczalna różnica pomiaru lewego i prawego układu pomiarowego sił hamowania	%	<2
błąd obliczeń wskaźnika skuteczności hamowania WSH	%	(-1)
błąd pomiaru ciśnienia powietrza w układzie hamulcowym	bar	+/- 0,2
zakres pomiarowy	kN	0-30/0-40



Rys. 4. Stanowisko rolkowe typu BDE 4004P-0/M (1 - zestawy rolek napędowych, 2 - centralna jednostka sterująco-wskazująca)

Fig. 4. Brake system test station BDE 4004P-0/M (1 – set of motion cylinder, 2 – central control-indication item)

5. WYNIKI BADAŃ ORAZ ICH ANALIZA

Uzyskane wyniki pomiarów ze stanowiska rolkowego przedstawiono w postaci tabelarycznej, zestawiając dla kolejnych zadawanych wartości obciążenia pojazdu i ciśnienia w ogumieniu.

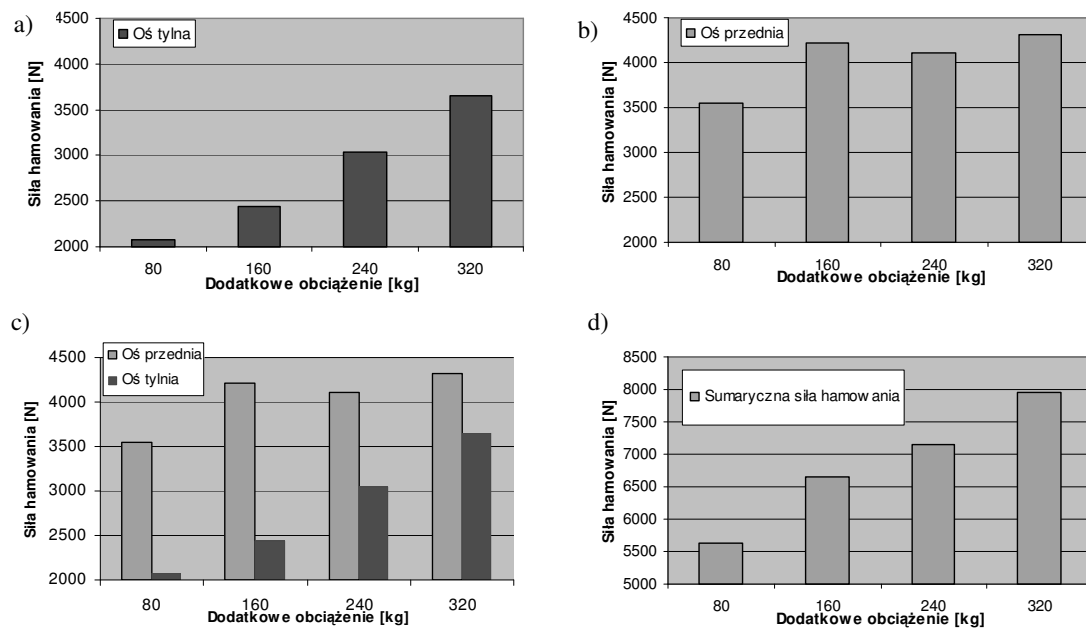
Tabela 2
Wyniki pomiarów Forda Pумы 1.7 16V przy zmiennym obciążeniu

Ciśnienie	Obciążenie [kg]	Siła hamowania na kołach [N]		Siła hamowania na osi [N]	Siła nacisku na pedał [N]
		Lewe	Prawe		
Przód 2,0	80	1686	1858	3544	68,2
	160	2027	2185	4212	74,7
	240	2017	2096	4113	78
	320	2086	2225	4311	74,7
Tył 1,9	80	1003	1073	2076	231
	160	1172	1272	2444	422
	240	1411	1629	3040	549
	320	1709	1947	3656	728

Tabela 3
Wyniki pomiarów Forda Pумы 1.7 16V przy zmiennym ciśnieniu

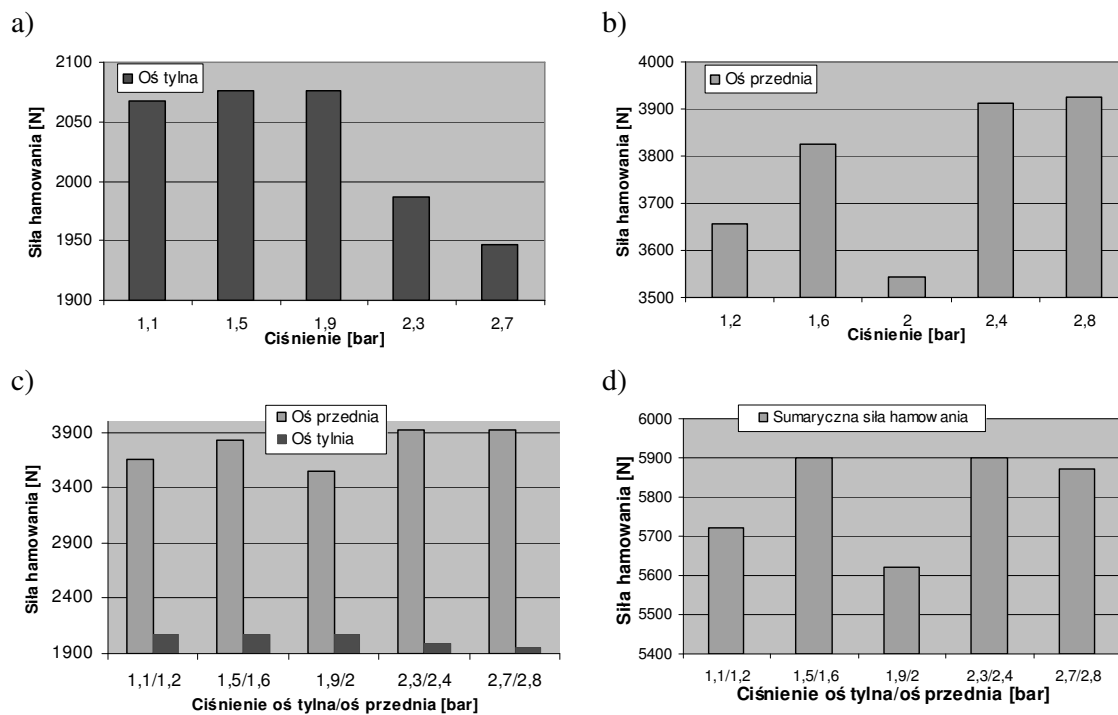
Ciśnienie	Obciążenie [kg]	Siła hamowania na kołach [N]		Siła hamowania na osi [N]	Siła nacisku na pedał [N]
		Lewe	Prawe		
Przód 1,2	80	1808	1848	3656	61,7
Przód 1,6		1907	1917	3824	68,2
Przód 2,0		1686	1858	3544	68,2
Przód 2,4		1887	2027	3914	71,5
Przód 2,8		1937	1987	3924	84,5
Tył 1,1		964	1103	2067	179
Tył 1,5	80	983	1093	2076	179
Tył 1,9		1003	1073	2076	231
Tył 2,3		914	1073	1987	211
Tył 2,7		884	1063	1947	205

W celu bardziej przejrzystej prezentacji analizowanych zjawisk wpływ obciążenia pojazdu na zarejestrowane siły hamowania przedstawiono na poniższych wykresach.



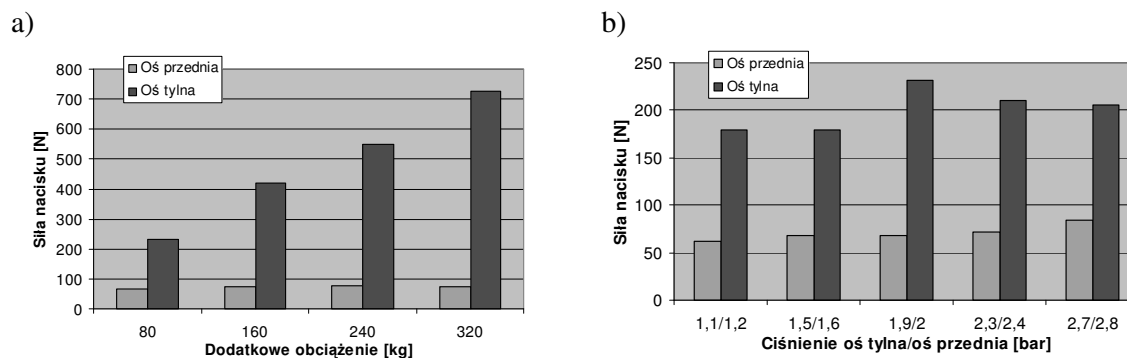
Rys. 5. Zmiany wartości sił hamowania dla rosnącego obciążenia dodatkowego pojazdu
 Fig. 5. Brake forces value changes for rising vehicle extra load

Wpływ ciśnienia w ogumieniu pojazdu na wartości sił hamowania przedstawiono na poniższych wykresach. Z uwagi na użyteczny charakter badań w artykule zastosowano jednostki powszechnie stosowane w zalecanych przez producentów pojazdów wartości nominalnych ciśnienia w ogumieniu (1 bar przyjmuje się, że wynosi 100000 Pa).



Rys. 6. Zmiany wartości sił hamowania dla rosnącego ciśnienia w ogumieniu pojazdu
 Fig. 6. Brake forces value changes for rising vehicle tyres pressure

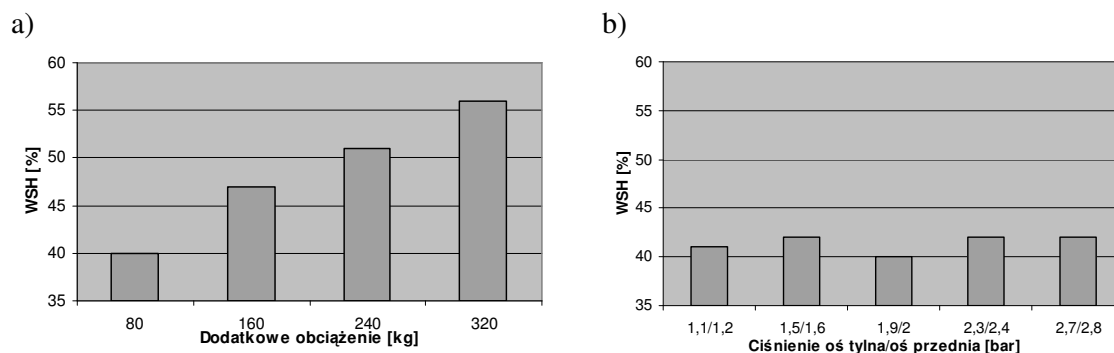
Zmiany analizowanych parametrów (czynników) eksploatacyjnych badanego pojazdu wpływały nie tylko na wartości sił hamowania, ale także na niezbędną siłę nacisku na pedał hamulca. Analizę tego zjawiska zaprezentowano w formie graficznej na poniższych rysunkach. Stanowisko automatycznie przerywa pomiar, kiedy zostanie przekroczona wartość dopuszczalnego poślizgu kół w tym momencie i rejestruje się zmierzona siła nacisku na pedał hamulca.



Rys. 7. Wpływ analizowanych czynników eksploatacyjnych badanego pojazdu na siłę nacisku na pedał hamulca

Fig. 7. The influence of chosen exploitation factors on pressure force on brake pedal

Kryterium oceny skuteczności działania układu hamulcowego w trakcie badań kontrolnych pojazdów samochodowych jest procentowy wskaźnik skuteczności hamowania (WSH [%]). Wpływ zmiany analizowanych parametrów eksploatacyjnych badanego pojazdu na wartość WSH przedstawiono na rysunkach poniżej.



Rys. 8. Wpływ zmiany analizowanych czynników eksploatacyjnych badanego pojazdu na wartość wskaźnika skuteczności hamowania (WSH)

Fig. 8. The influence of chosen exploitation factors on value of brake effectiveness index

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników można zaobserwować, że wzrost obciążenia dodatkowego (badanego pojazdu) powodował wzrost jego siły hamowania. Najbardziej widoczna jest ta tendencja dla sił hamowania osi tylnej samochodu. Znacznie mniejszy wpływ na zarejestrowane wyniki miały zmiany ciśnienia w ogumieniu. Można jednak przyjąć malejący trend zmian wartości sił hamowania wraz ze wzrostem ciśnienia w ogumieniu osi tylnej i rosnący trend zmian wartości sił hamowania wraz ze wzrostem ciśnienia w ogumieniu osi przedniej z lokalnym minimum dla nominalnej wartości ciśnienia w ogumieniu.

Ponadto, dla wykresów sił nacisku na pedał hamulca przy zmiennym ciśnieniu i obciążeniu stwierdzono, że do zablokowania osi tylnej potrzeba większej siły nacisku na pedał niż do zablokowania osi przedniej, a zatem spełnione zostało założenie konstruktorów.

Miarą skuteczność układu hamulcowego jest procentowy wskaźnik WSH. Zmiany obciążenia pojazdu w istotny sposób wpływały na wartości WSH. Wzrastała ona proporcjonalnie do obciążenia, od wartości niedopuszczalnej 40% do satysfakcjonującej 56%. Zmiany ciśnienia w ogumieniu w mniejszym stopniu wpływają na wartości WSH, które wahały się w przedziale 2%, przy dopuszczalnym błędzie wskazania urządzenia „-1%”.

Reasumując, przeprowadzone badania potwierdziły konieczność bezwarunkowego stosowania się do zaleceń metodycznych wykonywania badań kontrolnych układu hamulcowego. Ponadto, wykazały, w jakim stopniu zmiany obciążenia i ciśnienia w ogumieniu pojazdu mogą powodować nieprawidłową ocenę skuteczności hamowania w warunkach SKP. Celowe jest prowadzenie dalszych badań w tym kierunku z poszerzeniem zakresu o kolejne czynniki eksploatacyjne pojazdów. W przyszłości pozwoli to na opracowanie szczegółowych wytycznych czynności wstępnych podczas badań układów hamulcowych i znalezienie nowych miar diagnostycznych.

Bibliografia

1. Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 31 grudnia 2002 r. W sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia. DzU. Nr 32 poz. 262, 26 lutego 2003.
2. Filipczyk J.: Okresowe badania kontrolne układów hamulcowych. „Konferencja Hamulcowa”. Łódź 2001.
3. Burdzik R., Figlus T., Krupa M.: Wpływ działania korektora siły hamowania na wyniki badań skuteczności hamowania na urządzeniu rolkowym, I Studencka Sesja Naukowa Wydziału Transportu, Katowice 6 czerwca 2003, wydane na płycie CD.
4. Burdzik R., Filipczyk J.: Diagnostowanie układu hamulcowego samochodów osobowych z regulatorami siły hamowania, DIAGNOSTYKA, vol. 28, 2003, s. 9-12.
5. Koca A., Bayrakceken H., Altiparmak D.: Determination of brake force using artificial neural network. Journal of Scientific & Industrial Research, Vol. 66, June 2007, p. 425-430.
6. Karpiński R.: Badania skuteczności działania układów hamulcowych w warunkach stacji kontroli pojazdów. „II konferencja badania techniczne pojazdów w świetle obowiązujących przepisów – 2001”. Mikołajki 15-17 października 2001.
7. Gajek A.: Problemy diagnozowania hamulców pojazdów samochodowych na stanowiskach rolkowych. Konferencja naukowo-techniczna „Diagnostyka pojazdów samochodowych '98”. Katowice 6 listopada 1998. Materiały konferencyjne, Instytut Transportu w Katowicach, Politechnika Śląska.
8. Lanzendoerfer J., Szczepaniak C.: Teoria ruchu samochodu. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1984 r.
9. Mazurkiewicz A.: Analiza metod badania układów hamulcowych; praca inżynierska napisana pod kierunkiem dr. inż. Rafała Burdzika, Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katowice 2009.

Recenzent: Prof. nzw. dr hab. inż. Ryszard Walentyński

Praca wykonana w ramach BW-479/RT2/2009