

Article citation info:

Gajek A. Proposed method of checking the braking efficiency coefficient for motor vehicles with hydraulic braking systems. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2016; 73(3): 19-30, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL73.ART2>

Propozycja Metody Kontroli Współczynnika Skuteczności Hamowania Samochodów z Hydraulicznym Układem Hamulcowym

ANDRZEJ GAJEK¹

Politechnika Krakowska

Streszczenie

W artykule przedstawiono zmodyfikowaną metodę oceny skuteczności hamowania samochodów badanych na stanowiskach rolkowych, obciążonych ładunkiem o masie mniejszej od dopuszczalnej. Dla samochodów nie posiadających czujnika ciśnienia w układzie hamulcowym zaproponowano modyfikację dotychczasowej metody interpolacji wyników pomiarów. Dla samochodów z układem ESP, posiadających wbudowany czujnik ciśnienia w układzie hydraulicznym oraz dla hamulców elektrohydraulicznych zaproponowano nową procedurę obliczeniową kontroli współczynnika skuteczności hamowania. Polega ona na równoczesnym pomiarze ciśnienia w układzie hydraulicznym i sił hamowania na stanowisku rolkowym, a następnie obliczeniu ciśnienia, przy którym powstają siły hamujące spełniające wymaganą skuteczność hamowania. Kontroli podlega sprawdzenie, czy układ hydrauliczny wytwarza obliczone ciśnienie przy sile nacisku na dźwignię hamulca nie przekraczającej dopuszczalnej wartości.

Słowa kluczowe: hamulce, współczynnik skuteczności hamowania, stanowisko rolkowe, badania stanowiskowe hamulców

Keywords: brakes, coefficient of the brake efficiency, roller stand, brake tests

¹ Politechnika Krakowska, Al. Jana Pawła II 37, 31-364 Kraków; e-mail: gajeka@mech.pk.edu.pl

1. Wstęp

Zgodnie z wymaganiami przepisów, skuteczność hamowania hamulców pojazdów samochodowych wyznaczana jest w warunkach stanowiskowych na podstawie pomiaru sił hamujących, lub w warunkach badań drogowych na podstawie pomiaru opóźnienia hamowania [2]. Dla samochodów kategorii M1 (osobowych), po raz pierwszy rejestrowanych od 28.07.2010r., wymagany wskaźnik skuteczności hamowania z powinien wynosić nie mniej niż 58%. Jest to wartość znacznie większa od poprzednio obowiązującej 50%. Wskaźnik ten obliczany jest w odniesieniu do ciężaru pojazdu wynikającego z dopuszczalnej masy całkowitej:

$$z = \frac{\sum F_h}{G_c} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie

$\sum F_h$ – suma maksymalnych wartości sił hamujących zmierzonych na stanowisku

G_c – ciężar pojazdu wynikający z dopuszczalnej masy całkowitej

Badanie pojazdu w pełni obciążonego podczas okresowych badań technicznych stanowi znaczne utrudnienie dla diagnosty. W praktyce diagnostycznej badania te przeprowadza się dla samochodu nieobciążonego. Pomiary w tych warunkach skutkują blokowaniem kół na stanowisku przy niewielkich siłach hamujących, co powoduje, że wymaganej 58% skuteczności nie spełnia wiele nowych samochodów osobowych [2]². Przepisy przewidują w takim przypadku możliwość ustalenia tzw. obliczeniowego wskaźnika skuteczności hamowania, który dla hamulców hydraulicznych ma postać:

$$z' = z \cdot \frac{P_d}{P_z} \quad (2)$$

gdzie

z – wartość wskaźnika skuteczności hamulców obliczona na podstawie pomiarów sił hamujących,

P_d – dopuszczalny nacisk na dźwignię hamulca roboczego,

P_z – zmierzony podczas badania nacisk na dźwignię hamulca roboczego.

² Badania niemieckiej organizacji FSD wykazują, że tylko 42% nowych samochodów osobowych osiągało wymagany wskaźnik skuteczności 58% podczas badania w SKP w stanie nieobciążonym.

Jest to procedura interpolacji zbadanej zależności sił hamujących od siły nacisku na pedał hamulca do wartości dopuszczalnej siły nacisku P_d (według [1] dla samochodów osobowych siła $P_d = 50$ daN). Taka procedura obowiązuje według Rozporządzenia [1]. Dla hamulców z układami wspomagania, daje wyniki absurdalne fizycznie, niemożliwe do uzyskania w warunkach hamowań rzeczywistych, ponieważ maksymalne możliwe siły hamujące, wynikające z przyczepności opon do jezdni, osiągane są przy nacisku na pedał hamulca znacznie mniejszym od dopuszczalnego. Należy zwrócić uwagę, że w hamulcach z korektorami sił hamowania działającymi na zasadzie ograniczników ciśnienia zależność ta nie jest liniowa. W hamulcach elektrohydraulicznych nie ma bezpośredniego przełożenia między naciskiem na pedał hamulca, a ciśnieniem w układzie i momentem hamującym. Wymagane wartości ciśnień w zaciskach kół są obliczane przez program i realizowane poprzez uruchamianie zaworów przez sterownik.

Właściwym sposobem sprawdzenia czy pojazd spełnia wymagania skuteczności hamowania według zależności (1), w warunkach stanowiskowych, byłoby badanie pojazdu obciążonego ładunkiem o dopuszczalnej masie całkowitej. Stanowi to utrudnienie dla diagnosty i wydłuża przebieg badania.

W pracy zaprezentowano zmodyfikowaną metodę kontroli współczynnika skuteczności hamowania możliwą do zastosowania w przypadku niespełnienia wymagań podczas badań na stanowisku rolkowym samochodu nieobciążonego, uwzględniającą rozwój układów hamulcowych jako systemów mechatronicznych. Takie systemy umożliwiają przeprowadzanie badań stanowiskowych z uwzględnieniem informacji z systemu diagnostyki pokładowej pojazdu.

2. Zasada pomiaru

Proponowana procedura pomiarowa i obliczeniowa dla samochodów nie posiadających czujnika ciśnienia oraz korektora sił hamowania³ w układzie hamulcowym jest następująca:

1. Mierzmy i rejestrujemy wartości sił hamujących kół przednich na stanowisku rolkowym i siłę nacisku na dźwignię hamulca roboczego, do chwili zablokowania tych kół - F_{hp} .
2. Mierzmy i rejestrujemy siły hamujące kół tylnych i siłę nacisku do chwili zablokowania tych kół, lub osiągnięcia dopuszczalnego nacisku na dźwignię hamulca - F_{ht} .
3. Sumujemy wartości sił hamujących kół przednich F_{hp} i tylnych F_{ht} dla siły nacisku P_{z1} , przy której zablokowały koła przednie, Rys. 1a, (najczęściej koła tylne blokują przy sile większej lub nie blokują):

$$F_{hp}(P_{z1}) + F_{ht}(P_{z1}) = F_{h1}(P_{z1}) \quad (3)$$

³ Są to hamulce z układem ABS, z funkcją elektronicznego rozdziału sił hamowania EBD, bez układu ESP.

4. Obliczamy sumę sił hamowania F_{hwym} niezbędną do uzyskania wymaganej skuteczności hamowania z_{wym} dla samochodu w pełni obciążonego albo odczytujemy z tabeli danych referencyjnych dla badanego samochodu:

$$F_{hwym} = 0,01 \cdot z_{wym} \cdot G_c \quad (4)$$

5. Obliczamy siłę nacisku na pedał hamulca P_{zwym} (rys. 1a) niezbędną do uzyskania siły hamującej F_{hwym} :

$$P_{zwym} = F_{hwym} \frac{P_{z1}}{F_{h1}} = 0,01 \cdot z_{wym} \cdot G_c \cdot \frac{P_{z1}}{F_{h1}} \quad (5)$$

6. Sprawdzamy, czy siła nacisku na pedał hamulca P_{zwym} jest możliwa do uzyskania i czy nie jest większa od wartości dopuszczalnej $P_d = 50$ daN. Jeżeli tak, to oznacza, że układ może osiągnąć wymagany współczynnik skuteczności hamowania z_{wym} .

Ta procedura jest wiarygodna przy założeniu liniowej zależności między siłą nacisku P_z a ciśnieniem w układzie hamulcowym i liniowej charakterystyki układu wspomaganie.

Pozostałe kontrole, a więc sprawdzenie oporów ruchu kół niehamowanych, kontrola odkształceń bocznych (bicia) tarcz hamulcowych lub owalizacji bębnow, sprawdzenie nierówności sił hamujących na kołach badanych osi, realizowane są na podstawie wyników pomiarów sił hamujących.

Metoda liniowej interpolacji wyników poza obszar badany jest nieodpowiednia dla pojazdów z mechanicznymi korektorami sił hamowania. Korektory ciśnieniowe powodują załamanie charakterystyki siły hamującej od siły nacisku $F_h(P_z)$, a korektory bezwładnościowe i obciążeniowe przyjmują położenie statyczne podczas badań na stanowisku. Dla tych pojazdów pozostaje metoda kontroli sił hamujących pojazdu obciążonego ładunkiem.

Dla samochodów z układem ESP, posiadających wbudowany czujnik ciśnienia w układzie hydraulicznym, oraz dla hamulców elektrohydraulicznych zaproponowano nową procedurę obliczeniową kontroli wymagań w zakresie skuteczności hamowania⁴. Polega ona na równoczesnym pomiarze ciśnienia p powstałego w pompie hamulcowej (lub w układzie hydraulicznym w hamulcach EHB, SBC) i sił hamowania F_h na stanowisku rolkowym. Kontrolna przebiega w następujący sposób:

1. Mierzymy i rejestrujemy wartości sił hamujących kół przednich F_{hp} na stanowisku rolkowym i ciśnienie w układzie hydraulicznym p testerem podłączonym do gniazda diagnostycznego samochodu, do chwili zablokowania tych kół.

2. Mierzymy i rejestrujemy wartości sił hamujących kół tylnych i ciśnienie w układzie do chwili zablokowania tych kół, lub osiągnięcia dopuszczalnej siły nacisku na pedał hamulca.

3. Sumujemy wartości sił hamujących kół przednich F_{hp} i tylnych F_{ht} dla ciśnienia p_1 , przy którym zablokowały koła przednie, rys. 1b, (najczęściej koła tylne blokują przy ciśnieniu większym, lub nie blokują):

⁴ Pojazdy te nie posiadają mechanicznego korektora sił hamowania.

$$F_{hp}(p_1) + F_{ht}(p_1) = F_{h1}(p_1) \quad (6)$$

Ponieważ hamulce z układem ESP nie posiadają mechanicznego korektora sił hamowania, a zadanie to spełnia układ EBD⁵, zależność ciśnienia w zaciskach kół przednich i tylnych od siły nacisku na pedał hamulca, podczas pomiarów na stanowisku, jest tak sama. Pozwala to sumować wartości sił hamowania kół przednich i tylnych w funkcji ciśnienia i odzwierciedla rzeczywiste ich narastanie.

4. Obliczamy sumę sił hamowania F_{hwym} niezbędną do uzyskania wymaganej skuteczności hamowania z_{wym} dla samochodu w pełni obciążonego z zależności (4) albo odczytujemy z tabeli danych referencyjnych dla badanego samochodu.

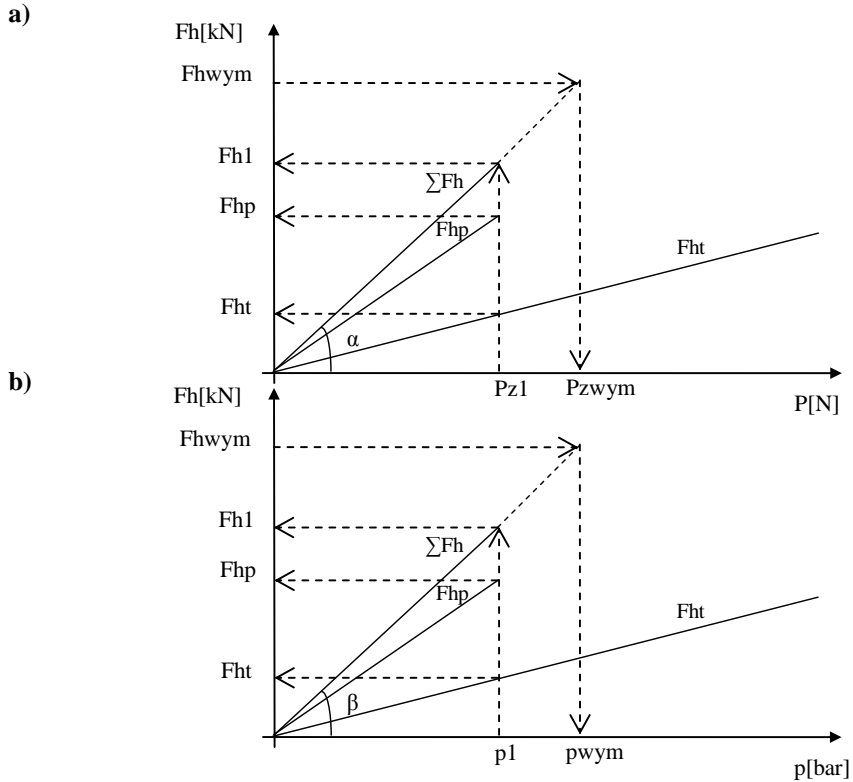
5. Obliczamy ciśnienie p_{wym} niezbędne do uzyskania siły hamującej F_{hwym} :

$$p_{wym} = F_{hwym} \frac{P_1}{F_{h1}} = 0,01 \cdot z_{wym} \cdot G_c \cdot \frac{P_1}{F_{h1}} \quad (7)$$

⁵ EBD – Electronic Brake Distribution

lub wyznaczamy z wykresu, rys. 1b:

Rys. 1. Schematy przedstawiające procedurę wyznaczania niezbędnego nacisku na dźwignię hamulca lub ciśnienia w układzie dla uzyskania wymaganego współczynnika skuteczności hamowania: a) dla układu hamulcowego bez czujnika ciśnienia, b) dla układu z czujnikiem ciśnienia; opis oznaczeń w tekście



6. Sprawdzamy, czy układ hamulcowy wytwarza ciśnienie $p > p_{wym}$ przy sile nacisku na pedał hamulca nie większej od dopuszczalnej $P_d = 50 \text{ daN}$. Jeżeli tak, to oznacza, że układ może osiągnąć wymagany współczynnik skuteczności hamowania z_{wym} .

Można również obliczać rozkład sił hamujących na oś przednią i tylną mierząc siły hamujące przy tym samym ciśnieniu w układzie.

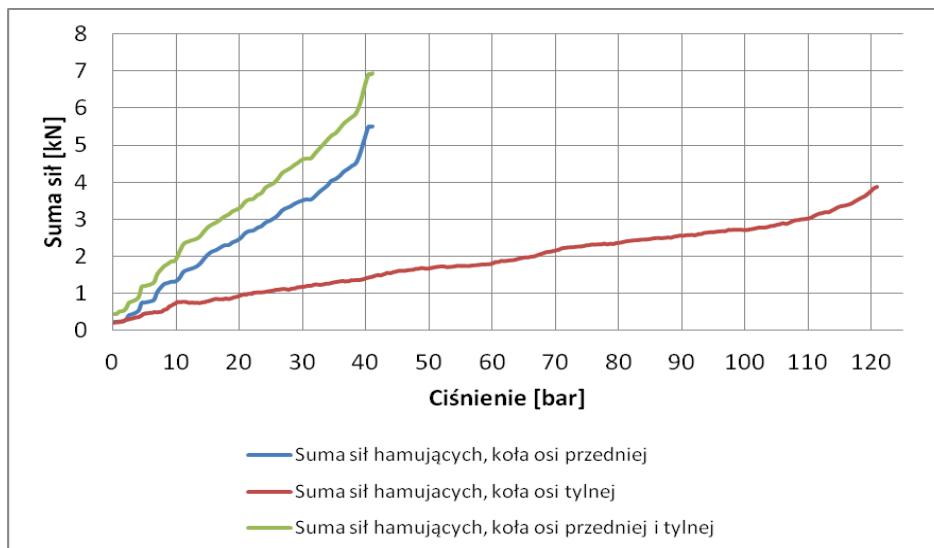
Procedura powyższa wymaga podłączenia testera diagnostycznego do gniazda OBD pojazdu i do sterownika stanowiska rolkowego. Pozwoli to zarejestrować wartości ciśnienia w układzie

hydraulicznym równocześnie z siłami hamującymi, a następnie zautomatyzować cykl obliczeniowy i ocenę wyników.

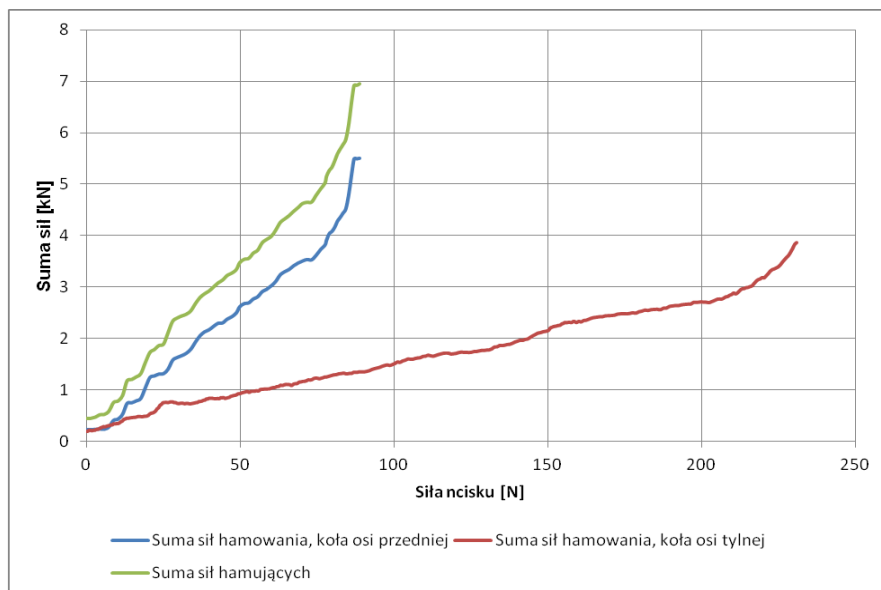
Niepewność tej metody polega na założeniu liniowej zależności między siłami hamującymi, a ciśnieniem w układzie hydraulicznym, lub siłą nacisku na pedał hamulca, przy aproksymacji wyników poza obszar badany (linia przerywana na rys. 1a i 1b). Natomiast zaletą jest, że zakres aproksymacji jest ograniczony do wartości sił niezbędnych do uzyskania wymaganego współczynnika skuteczności i często dotyczy tylko przebiegu sił hamujących kół przednich.

3. Wyniki badań

Weryfikację powyższej metody przeprowadzono dla hamulców hydraulicznych z układem ESP. Samochody były obciążone tylko diagnostą. Badania wykonano na stanowisku rolkowym o prędkości obwodowej kół 5 km/h [4]. Oprogramowanie stanowiska umożliwia rejestrację sił hamujących i siły nacisku na pedał hamulca w funkcji czasu badania. Ciśnienie w układzie hydraulicznym hamulców (wytwarzane przez pompę hamulcową) mierzone było czujnikami zamontowanymi w pojazdach, stanowiącymi element systemu ESP i rejestrowane testerem diagnostycznym CDiF3. Przykładowe wyniki pomiarów sił hamujących w funkcji ciśnienia w układzie przedstawiono na rys. 2. Na rys. 3 przedstawiono wyniki pomiarów sił hamowania w funkcji siły nacisku na pedał hamulca.



Rys. 2. Zmiany sił hamujących kół przednich i tylnych w funkcji ciśnienia w układzie hydraulicznym (hamulce hydrauliczne z ESP)

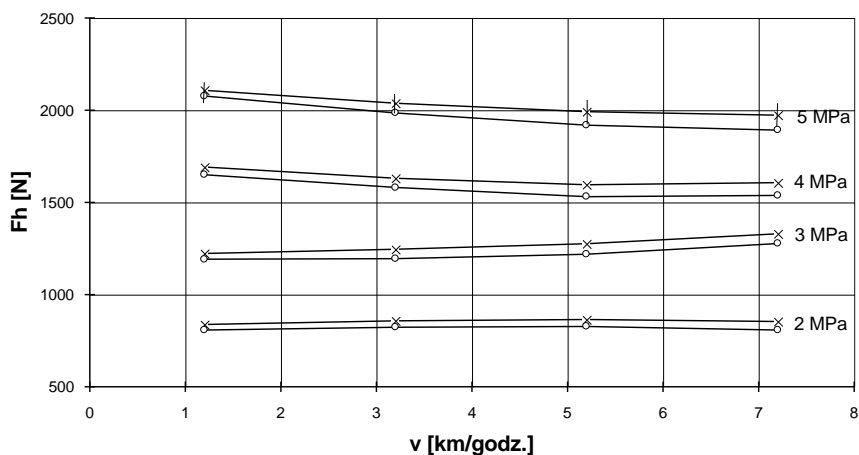


Rys. 3. Zmiany sił hamujących kół przednich i tylnych w funkcji siły nacisku na pedał hamulca

Pomiar sił hamujących kół przednich prowadzony był do chwili zablokowania tych kół, a kół tylnych do osiągnięcia nacisku na dźwignię hamulca około dwukrotnie większego od maksymalnego nacisku przy badaniu kół przednich.

W zależnościach sił hamowania od ciśnienia i siły nacisku występuje nieliniowość, szczególnie widoczna w zakresie narastania sił do maksymalnych wartości dla kół przednich, rys. 2. W tym okresie koła pojazdu zmniejszały prędkość obrotową na skutek narastającego poślizgu, aż do zatrzymania. Badania autora wykazały [3], że zmniejszanie prędkości obrotowej kół, a więc prędkości tarcia w parze ciernej hamulca, powodowało wzrost wartości współczynnika tarcia między okładzinami ciernymi, a tarczami hamulcowymi i wzrost momentu hamującego przy stałym nacisku na pedał hamulca, rys.4. To zjawisko powodowało nieliniowość charakterystyki $F_h(p)$. W warunkach hamowania na drodze uzewnętrznia się to wzrostem opóźnienia hamowania tuż przed zatrzymaniem pojazdu. Natomiast zależności sił hamujących od ciśnienia dla kół tylnych, które nie zostały zablokowane, nie wykazują tak dużej nieliniowości.

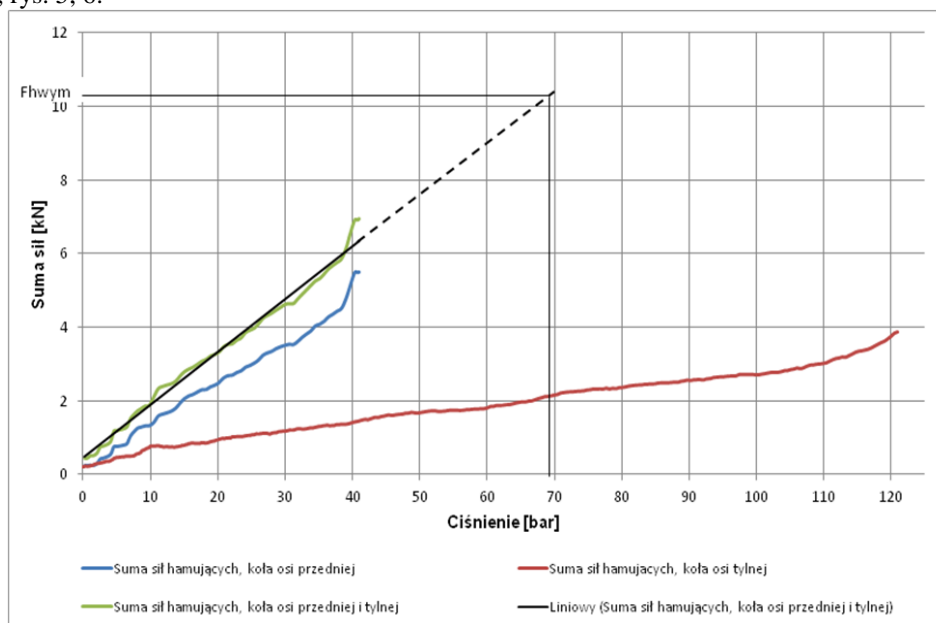
Analizę przebiegu hamowania na stanowisku rolkowym przeprowadzono w pracach [3, 4].



Rys. 4. Zależność siły hamującej F_h od prędkości koła na stanowisku: o - pomiar natychmiast po ustaleniu ciśnienia w układzie hydraulicznym, x - pomiar po 1 min. od rozpoczęcia hamowania (hamulec tarczowy)

4. Analiza wyników

W proponowanej metodzie dokonujemy interpolacji przebiegów sił hamujących poza zakres badany (linia przerywana na rys. 5 i 6). Przyjmujemy liniową zależność między siłami hamującymi, a ciśnieniem w układzie hydraulicznym, lub siłą nacisku na dźwignię hamulca. Jak wykazują badania, w fazie narastania poślizgu i zatrzymywania kół, siły hamujące narastają nieliniowo. Przyjmowanie do interpolacji funkcji regresji obliczonej na podstawie tylko maksymalnych wartości sił hamowania⁶ powodowałoby błąd w stosunku do wyników uzyskiwanych na podstawie funkcji regresji obliczonej dla całości wyników pomiarów. W związku z tym w proponowanej metodzie zastosowano funkcję regresji obliczoną na podstawie wyników z całego zakresu pomiarowego, dla sumy sił hamujących na obu osiach badanego pojazdu, rys. 5, 6.



Rys. 5. Wyniki pomiarów sił hamujących w funkcji ciśnienia w układzie hamulcowym, funkcja regresji i wartość ciśnienia niezbędna do uzyskania wymaganej skuteczności hamowania

Na podstawie zależności (4) można obliczyć wartość sumy sił hamujących F_{wym} , spełniającą wymaganą skuteczność hamowania – w tym przypadku 58%. Na podstawie wyników badań i

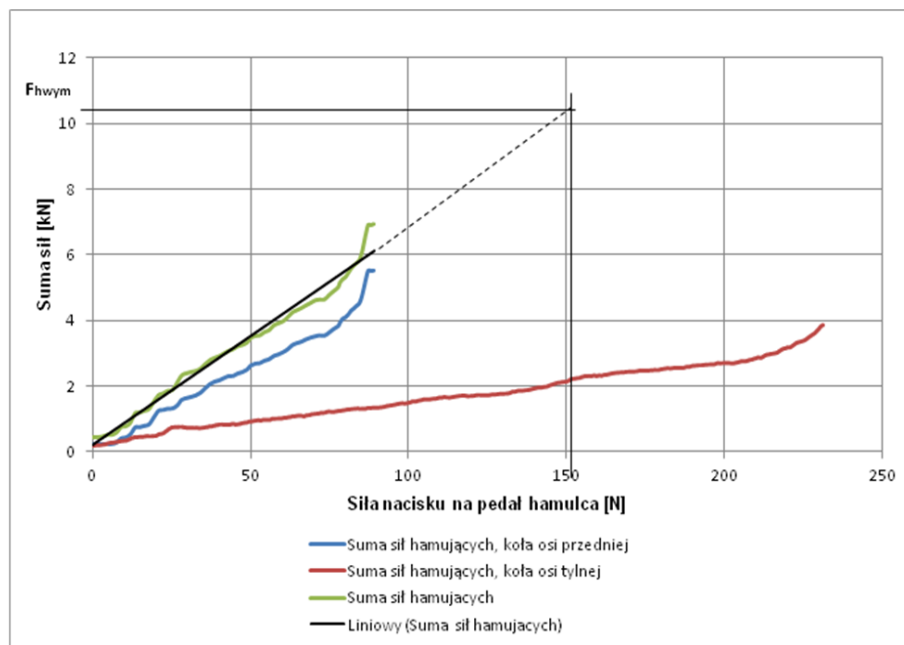
⁶ Taka procedura obowiązuje w dotychczasowych przepisach

zależności (7) obliczamy przy jakim ciśnieniu w układzie hamulcowym można uzyskać wymagane siły hamujące (rys. 5). Przykładowo, dla badanego samochodu o dopuszczalnej masie całkowitej 1800 kg, wymagana wartość siły F_{wym} wynosi 10,24 kN, a ciśnienie niezbędne do uzyskania tej siły $p_{wym}=69$ bar (rys. 5). Takie ciśnienie, lub większe, można było uzyskać. Jest to wniosek z badań, na podstawie którego można było stwierdzić, że kontrolowany układ hamulcowy spełnia wymagania skuteczności hamowania. Natomiast wykonując obliczenia współczynnika skuteczności bezpośrednio na podstawie pomiarów sił hamujących i przyjmując do obliczeń ich maksymalne zmierzone wartości, otrzymujemy współczynnik skuteczności hamowania 52%.

Dla pomiarów z wykorzystaniem czujnika nacisku na pedał hamulca siła nacisku pozwalająca na uzyskanie wymaganych sił hamowania wynosiła około 15,5 daN i taka była możliwa do uzyskania (rys. 6).

Jeżeli zastosować procedurę interpolacji według obowiązujących przepisów, to na podstawie zależności (2) i przy przyjęciu wartości sił hamowania dla nacisku na pedał hamulca, przy którym zablokowały koła przednie, można obliczyć, że obliczeniowy wskaźnik skuteczności hamowania z' wyniósłby 216% (!).

Należy zwrócić uwagę, że zależność liniowa między siłą nacisku na pedał hamulca, a siłą z jaką układ wspomagania działa na tłok pompy hamulcowej istnieje do chwili wykorzystania pełnej wartości podciśnienia w układzie serwa, lub nadciśnienia w układzie wspomagania. Przy dalszym zwiększaniu siły nacisku na pedał hamulca zmienia się zależność siły nacisku od ciśnienia $P_z(p)$. Interpolacja dla siły nacisku P_d (50daN) na podstawie zależności $F_H(P_z)$ uzyskanej dla małych wartości nacisku staje się nieaktualna.



Rys. 6. Wyniki pomiarów sił hamujących w funkcji siły nacisku na pedał hamulca, funkcja regresji i wartość siły nacisku niezbędna do uzyskania wymaganej skuteczności hamowania

Badania wykazały, że rozrzut wyników pomiarów sił hamujących jest mniejszy dla zależności sił od ciśnienia w układzie hydraulicznym niż od siły nacisku na pedał hamulca. Ocena spełnienia wymaganej skuteczności hamowania może być precyzyjniej wykonana poprzez pomiary ciśnienia w stosunku do pomiarów siły nacisku na pedał hamulca.

4. Wnioski

1. Proponowana procedura pomiarowa ma zastosowanie w przypadku niespełnienia wymaganej skuteczności hamowania podczas badania pojazdu o masie mniejszej niż dopuszczalna. Możliwa jest do realizacji zarówno dla pojazdów wyposażonych w czujnik ciśnienia w układzie hamulcowym, jak i bez tego czujnika.
2. Procedura pomiarowa dla pojazdów wyposażonych w czujnik ciśnienia wymaga zastosowania testera diagnostycznego. W celu automatyzacji obliczeń wyniki pomiarów ciśnienia powinny być przesyłane z testera do programu komputerowego w sterowniku stanowiska rolkowego i rejestrowane jednocześnie z siłami hamującymi.
3. Proponowana procedura pomiarowa pozwala na obliczanie zależności sił hamujących od siły nacisku na dźwignię hamulca, lub od ciśnienia w układzie, w zakresie możliwym do uzyskania

w rzeczywistych warunkach hamowania. Funkcja regresji obliczana na podstawie wyników pomiarów jest wiarygodniejszą podstawą do interpolacji wyników poza obszar badany, w porównaniu do przyjmowania do interpolacji tylko wartości maksymalnych zmierzonych sił.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz wzorów dokumentów stosowanych przy tych badaniach (Regulation of the Minister of Transportation, Construction, and the Maritime Economy on the scope and method of carrying out technical inspections of vehicles and on the standard forms to be used at such inspections). (Dz. U. (Journal of Laws) of 7 Sept. 2012, item 996.
- [2] Schroeder R. Weight-independent Testing of Service Brake Efficiency on Passenger Cars with PTI Scan Tools. CITA News, 03/2015
- [3] Gajek A. Modelowanie i analiza układu samochod – stanowisko bębnowe do badań i diagnostyki hamulców (Modelling and analysis of a system consisting of a motor vehicle and a drum-type facility for the testing and diagnostics of brakes). A monograph, Cracow University of Technology, Kraków 2002
- [4] Lozia Z, Mackiewicz W, Wolf A. Symulacja wzajemnego oddziaływania w układzie pojazd – stanowisko rolkowe do badań hamulców (Simulation of interactions in a vehicle-roller brake tester). Conference on Braking Systems 2001, SIMP (Polish Association of Mechanical Engineers and Technicians), Lodz University of Technology, Łódź 04/2001.
- [5] UNIMETAL Company's publications: The RHO 6/L test stand..