

## Ocena nierówności momentów hamujących kół w pokładowym systemie diagnostycznym pojazdu samochodowego

ANDRZEJ GAJEK, PIOTR ŚWIDER

Politechnika Krakowska

W referacie przedstawiono podstawy teoretyczne oraz wyniki badań nowego monitora diagnostycznego pozwalającego na ocenę nierówności momentów hamujących hamulców samochodu na podstawie analizy prędkości obrotowej kół podczas hamowania. Omówiono warunki realizacji tego testu diagnostycznego.

### 1. Wstęp

Podczas eksploatacji samochodu może wystąpić niesprawność układu hamulcowego, polegająca na zmniejszeniu współczynnika tarcia okładzin ciernych lub uszkodzeniu zacisku hamulca jednego z kół. Skutkuje to nierównością momentów hamujących na kołach: prawym i lewym. Jak wykazują badania, taki stan może być niezauważony przez kierującego, jeżeli hamuje on z małą lub średnią intensywnością [1, 2, 3]. Jeżeli samochód wyposażony jest w układ ABS, to nawet przy maksymalnej intensywności hamowania kierujący nie zauważa tej niesprawności. Badania hamulców z układami ABS wykazały, że podczas hamowania z niesprawnymi okładzinami ciernymi jednego z kół przednich, nawet z dużą nierównością momentów hamujących, układ ABS, zwłaszcza pracujący według logiki *select low*, ogranicza odchylenie toru jazdy od zamierzonego. Kierujący nie zauważa tej niesprawności, a usterka ta wydłuża drogę hamowania i zmniejsza opóźnienie hamowania [3]. Nierówność sił hamujących w okresowych badaniach diagnostycznych pojazdów samochodowych bada się na stanowisku rolkowym i wyznacza według zależności:

$$k = \frac{|F_{hpr} - F_{hl}|}{\max(F_{hpr}, F_{hl})} 100\% \quad (1)$$

$F_{hpr}$ ,  $F_{hl}$  - siły hamujące koła prawego i lewego, mierzone w warunkach stanowiskowych.

Według obowiązujących przepisów wartość wskaźnika  $k$  wyznaczanego w warunkach stanowiskowych nie powinna przekraczać 30%. W okresie eksploatacji pojazdu, pomiędzy okresowymi przeglądami technicznymi, niesprawność ta nie jest nadzorowana. Zachodzi więc potrzeba wprowadzenia procedury diagnostycznej (monitora),

przy pomocy której można wykrywać nierówność sił hamujących w trakcie eksploatacji samochodu i sygnalizować ten stan użytkownikowi pojazdu. Taki monitor będzie stanowił jeden z elementów (monitorów diagnostycznych) pokładowego systemu diagnostycznego OBD Brakes.

## 2. Zasada kontroli stopnia nierówności momentów hamujących

W publikacji [1] przedstawiono sposób oceny nierówności sił hamowania na podstawie wyników obliczeń względnej różnicy prędkości koła prawego i lewego  $k_s$ :

$$k_s = \frac{\omega_l - \omega_{pr}}{\omega_{min}} \quad (2)$$

$\omega_l$ ,  $\omega_{pr}$  - prędkość kątowna koła lewego i prawego,

$\omega_{min}$  - prędkość kątowna koła toczącego się wolniej.

Wskaźnik ten, przy stałym opóźnieniu hamowania i braku wystąpienia zablokowania któregoś z kół, jest w przybliżeniu proporcjonalny do różnicy momentów hamujących koła prawego i lewego. Podczas hamowania na nawierzchni o równym współczynniku przyczepności pod kołem prawym i lewym zależy on w głównej mierze od stanu hamulców tych kół. Wartość tego wskaźnika zależy od rozwijanych momentów hamowania i wymaga indywidualnego ustalenia wartości granicznej  $k_s$  dla różnych pojazdów, przy której występuje znaczące wydłużenie drogi hamowania lub niebezpieczeństwo „zarzucenia” pojazdu. Powoduje to małą uniwersalność tego wskaźnika.

Poniżej przedstawiono rozwój tej metody diagnozowania, poprzez wyznaczenie uniwersalnego wskaźnika względnej nierównomierności momentów hamujących koła prawego i lewego.

Na podstawie układu sił i momentów działających na hamowane koło (rys. 1) można zapisać:

$$\begin{aligned} M_h - M_b + M_t - X_k r_d &= 0 \\ F_a - X_k &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Po wprowadzeniu odpowiednich zależności dynamicznych, równanie momentów można zapisać jako:

$$M_h = I_k \varepsilon_k + Z_k \mu_k r_d - Z_k f_k \quad (4)$$

gdzie:

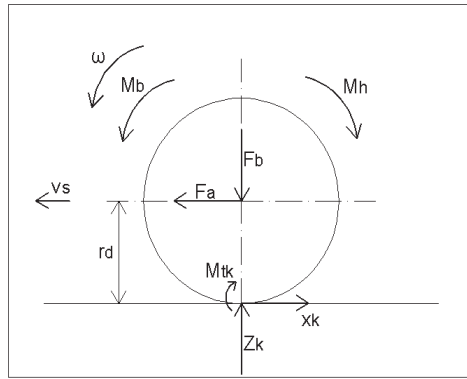
$I_k$  – moment bezwładności koła hamowanego,

$\varepsilon_k$  – opóźnienie kątowne koła,

$\mu_k$  – współczynnik przyczepności pod kołem hamowanym,

$r_d$  – promień dynamiczny koła,

$f_k$  – współczynnik oporów toczenia.



Rys. 1. Siły i momenty sił działające na koło hamowane.  
Fig. 1. Forces and moments acting on the braked wheel.

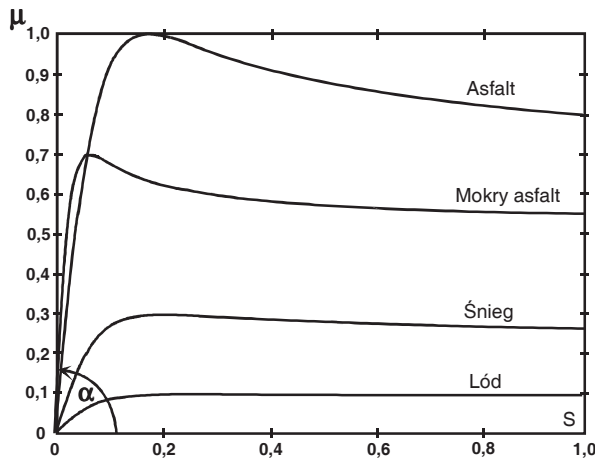
Przy założeniu równych pionowych obciążeń  $Z_k$  i oporów toczenia  $f_k$  koła prawego i lewego badanej osi, różnica momentów hamujących między tymi kołami, spowodowana np. niesprawnością okładzin ciernych wyniesie:

$$M_{hpr} - M_{hl} = I_k (\varepsilon_{pr} - \varepsilon_l) + Z_k (\mu_{pr} - \mu_l) r_d \quad (5)$$

gdzie:

$M_{hpr}, M_{hl}$  – moment hamujący koła prawego i lewego,  
 $Z_k = Z_{kp} = Z_{kl}$  – obciążenie pionowe koła badanej osi.

Dla hamowań nieekstremalnych, przy których nie uruchamia się jeszcze układ ABS, można przyjąć zależność liniową między poślizgiem koła hamowanego  $s$  a współczynnikiem wykorzystania przyczepności  $\mu$  (rys. 2). Producenci układów hamulcowych z ABS wymagają stosowania opon, dla których opracowano takie charakterystyki.



Rys. 2. Zależność współczynnika przyczepności  $\mu$  od poślizgu koła  $s$  na różnych nawierzchniach.  
Fig. 2. Dependences between friction coefficient  $\mu$  and longitudinal slip  $s$ .

Dla koła prawego i lewego badanej osi, hamowanych na nawierzchni o takim samym lub zbliżonym współczynniku przyczepności, można zapisać:

$$\mu_{pr} = s_{pr} \operatorname{tg} \alpha, \quad \mu_l = s_l \operatorname{tg} \alpha \quad (6)$$

gdzie:

$\alpha$  - kąt nachylenia początkowej części charakterystyki  $\mu(s)$ ,  
 $s_{pr}, s_l$  - poślizg koła prawego i lewego

Poślizg koła  $s$  wyraża się zależnością:

$$s = \frac{v_s - v_k}{v_s} = \frac{\frac{v_s}{r_d} - \omega_k}{\frac{v_s}{r_d}} \quad (7)$$

gdzie:

$v_s$  - prędkość wzdłużna osi koła,  
 $v_k = \omega_k r_d$  - prędkość obwodowa koła hamowanego.

Uwzględniając powyższe zależności, równanie (5) możemy zapisać:

$$\begin{aligned} M_{hpr} - M_{hl} &= I_k (\varepsilon_{pr} - \varepsilon_l) + Z_k (s_{pr} - s_l) \operatorname{tg} \alpha \cdot r_d \\ &= I_k (\varepsilon_{pr} - \varepsilon_l) + Z_k \frac{v_{kl} - v_{kpr}}{v_s} \operatorname{tg} \alpha \cdot r_d \end{aligned} \quad (8)$$

Różnicę momentów hamujących koła prawego i lewego badanej osi, względem koła o większym momencie można opisać zależnością:

$$k_M = \frac{M_{hpr} - M_{hl}}{\max(M_{hpr}, M_{hl})} = \frac{I_k (\varepsilon_{pr} - \varepsilon_l) + Z_k \frac{v_{kl} - v_{kpr}}{v_s} \operatorname{tg} \alpha \cdot r_d}{\max(I_k \varepsilon_k + Z_k \frac{v_s - v_k}{v_s} \operatorname{tg} \alpha \cdot r_d)} \quad (9)$$

Promień dynamiczny koła [4]:

$$\begin{aligned} r_d &= r_0 - \frac{2}{3} \delta_Z \\ \delta_Z &= \frac{Z_k}{c_Z} \end{aligned}$$

gdzie:

$r_0$  - promień nominalny koła,  
 $c_Z$  - sztywność promieniowa opony.

Wartość składnika  $I_k (\varepsilon_{pr} - \varepsilon_l)$  jest mała i w ustalonym okresie hamowania nie przekracza około 1% wartości momentu hamującego  $M_h$ , a wartość składnika  $I_k \varepsilon_k$  około 2% wartości  $M_h$ . Pomijając składniki związane z opóźnieniem koła  $\varepsilon_k$ , różnicę mo-

mentów hamujących koła prawego i lewego względem koła o większym momencie  $M_{hmax}$  można opisać zależnością:

$$k_M = \frac{M_{hpr} - M_{hl}}{\max(M_{hpr}, M_{hl})} \cong \frac{s_{pr} - s_l}{\max(s_{pr}, s_l)} = \frac{\omega_l - \omega_{pr}}{\frac{v_s}{r_d} - \min(\omega_{pr}, \omega_l)} \quad (10)$$

gdzie:

- $s_{pr}, s_l$  – poślizg koła prawego i lewego,
- $\max(M_{hpr}, M_{hl})$  – większy z momentów  $M_{hpr}$  i  $M_{hl}$ ,
- $\min(\omega_{pr}, \omega_l)$  – mniejsza z prędkości kątowych kół prawego i lewego.

W zależności (10) występuje prędkość wzdłużna osi pojazdu  $v_s$ , która nie jest mierzona. Jej wartość można oszacować w sposób następujący. W zakresie liniowym współczynnik wykorzystania przyczepności między kołem a jezdnią można wyrazić zależnością (6):  $\mu_k = s_k \operatorname{tg} \alpha$ .

Ponieważ  $\mu_k = \frac{X_k}{Z_k}$ , stąd zależność na siłę styczną przyjmuje postać:

$$X_k = \mu_k Z_k = s_k * \operatorname{tg} \alpha * Z_k \quad (11)$$

Dla poszczególnych kół samochodu (przy założeniu, że ich charakterystyki są podobne) można zapisać:

$$\begin{aligned} X_{ppr} &= s_{ppr} * \operatorname{tg} \alpha * Z_{ppr} \\ X_{pl} &= s_{pl} * \operatorname{tg} \alpha * Z_{pl} \\ X_{tpr} &= s_{tpr} * \operatorname{tg} \alpha * Z_{tpr} \\ X_{tl} &= s_{tl} * \operatorname{tg} \alpha * Z_{tl} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\sum X_k = \operatorname{tg} \alpha (s_{ppr} Z_{ppr} + s_{pl} Z_{pl} + s_{tpr} Z_{tpr} + s_{tl} Z_{tl}) \quad (13)$$

Zakładając równość reakcji pionowych po prawej i lewej stronie samochodu  $Z_{ppr} = Z_{pl} = Z_p$ ,  $Z_{tpr} = Z_{tl} = Z_t$  i wprowadzając wyrażenie na poślizg koła

$s_k = \frac{\omega_s - \omega_k}{\omega_s}$ , gdzie  $\omega_s = \frac{v_s}{r_d}$ , możemy zapisać:

$$\sum X_k = m_s a_s = \operatorname{tg} \alpha \left( \frac{2\omega_s - \omega_{ppr} - \omega_{pl}}{\omega_s} Z_p + \frac{2\omega_s - \omega_{tpr} - \omega_{tl}}{\omega_s} Z_t \right) \quad (14)$$

gdzie:  $a_s$  – opóźnienie hamowania samochodu.

Za parametr  $a_s$  do obliczeń wstawiamy najmniejsze z opóźnień obwodowych kół (określające najbliżej opóźnienie liniowe samochodu). Na podstawie badań oceniono możliwy błąd takiego przyjęcia w stosunku do opóźnienia samochodu obliczanego na podstawie pomiarów prędkości przyrządem Correvit (rys. 4).

Po przekształceniach równania (14) otrzymujemy zależność na  $\omega_s$ :

$$\omega_s = \frac{-tg\alpha(\omega_{ppr} + \omega_{pl})Z_p - tg\alpha(\omega_{lpr} + \omega_{tl})Z_t}{m_s a_s - 2tg\alpha^*(Z_p + Z_t)} \quad (15)$$

Reakcje pionowe obliczamy z zależności:

$$\begin{aligned} Z_p &= 0.5m_s g \left( \frac{c}{l} + \frac{h}{l} \frac{a_s}{g} \right) \\ Z_t &= 0.5m_s g \left( \frac{a}{l} - \frac{h}{l} \frac{a_s}{g} \right) \end{aligned} \quad (16)$$

gdzie:  $l$ ,  $a$ ,  $c$ ,  $h$  - rozstaw osi samochodu oraz odległości środka masy od osi przedniej, tylnej i podłoża.

### 3. Wyniki badań

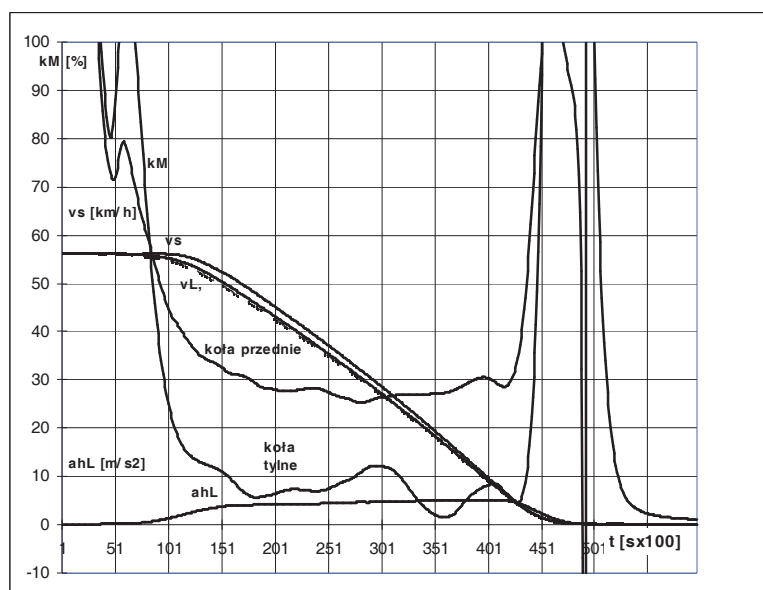
W celu weryfikacji powyższych analiz wykonano badania drogowe. Samochód oprzyrządowano w aparaturę pomiarową i rejestracyjną: czujniki prędkości obrotowej kół, czujniki ciśnienia w układzie hamulcowym, układ optyczny Correvit do pomiaru prędkości wzdłużnej i poprzecznej pojazdu, żyroskop do pomiaru prędkości kątowej pojazdu w 2 płaszczyznach, pirometr do pomiaru temperatury.

Nierówność momentów hamujących na kołach lewym i prawym wywoływano dwoma sposobami:

- poprzez zaolejenie okładzin ciernych hamulca w różnym stopniu,
- poprzez ograniczanie ciśnienia płynu hamulcowego dostarczanego do zacisku hamulca.

W obwody hydrauliczne kół przednich i tylnych wbudowano korektory sił hamowania, które umożliwiały regulację i ograniczanie ciśnienia maksymalnego w zaciskach hamulcowych kół. Po regulacji tych korektorów mierzono siły hamujące na stanowisku rolkowym i obliczano wskaźnik nierówności sił dla osi przedniej i tylnej. Następnie przeprowadzano badania drogowe i obliczano wskaźniki nierówności momentów hamujących.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki obliczeń wskaźnika nierówności momentów hamujących kół przednich  $k_M$  dla pojedynczego zahamowania. Zaznaczono również prędkość i opóźnienie samochodu podczas tego hamowania. Wskaźnik  $k_M$  obliczany był według zależności (10). Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że wartość wskaźnika  $k_M$  wyznaczana w warunkach drogowych, dla opóźnień hamowania większych od  $3 \text{ m/s}^2$  i prędkości samochodu większej od  $15 \text{ km/godz.}$ , jest zbliżona do wartości wyznaczanej na stanowisku rolkowym. Przykładowo, dla tych warunków średnia wartość wskaźnika  $k_M$  w badaniach drogowych wynosiła: dla kół przednich 28%, tylnych 8%, a nierówność sił hamujących kół zmierzona na stanowisku rolkowym wynosiła: dla kół przednich 27-30%, tylnych 10%.

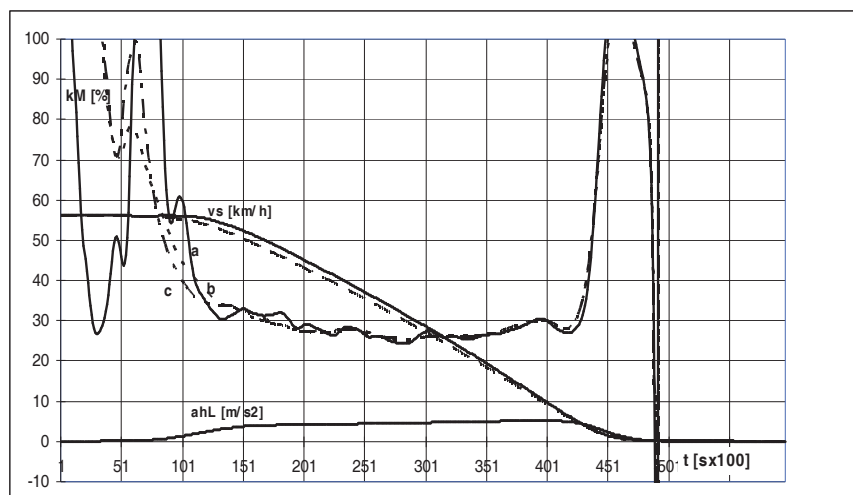


Rys. 3. Prędkości: samochodu  $v_s$ , koła lewego i prawego przedniego  $v_L$  i  $v_{pr}$ , opóźnienie obwodowe koła lewego  $a_{hL}$  oraz wartości wskaźnika nierówności momentów hamujących  $k_M$  dla pojedynczego hamowania.

Fig. 3. Vehicle speed  $v_s$ , speed of the front left and right wheels  $v_L$ ,  $v_{pr}$ , left wheel deceleration  $a_{hL}$  and coefficient of inequality of the brake moments  $k_M$  for single braking.

Do ścisłego wyliczenia wartości  $k_M$  potrzebna jest wartość prędkości wzdłużnej osi koła  $v_s$ . Obliczana jest ona pośrednio, wg zależności (15). W zależności tej występuje opóźnienie samochodu  $a_s$ . Na rysunku 4 przedstawiono wynik obliczeń wskaźnika  $k_M$  z zastosowaniem opóźnienia obliczonego na podstawie prędkości samochodu mierzonej przyrządem Correvit i na podstawie opóźnienia koła lewego przedniego z niesprawnym hamulcem. W zakresie opóźnień hamowania większych od około  $3 \text{ m/s}^2$  różnice są niewielkie. Wynikają głównie z faktu, że przyrządem Correvit mierzona jest prędkość nadwozia, które ulega przechyłom podczas hamowania.

Wyniki obliczeń wskazują, że dla celów diagnostycznych, do obliczeń opóźnienia hamowania pojazdu, można wykorzystać prędkość koła toczącego się z największą prędkością, jako najbardziej zbliżoną do prędkości samochodu. Jest to istotny wniosek, ponieważ umożliwia zastosowanie tego monitora diagnostycznego w praktyce. W pojazdach samochodowych nie dysponujemy bowiem czujnikiem prędkości samochodu.



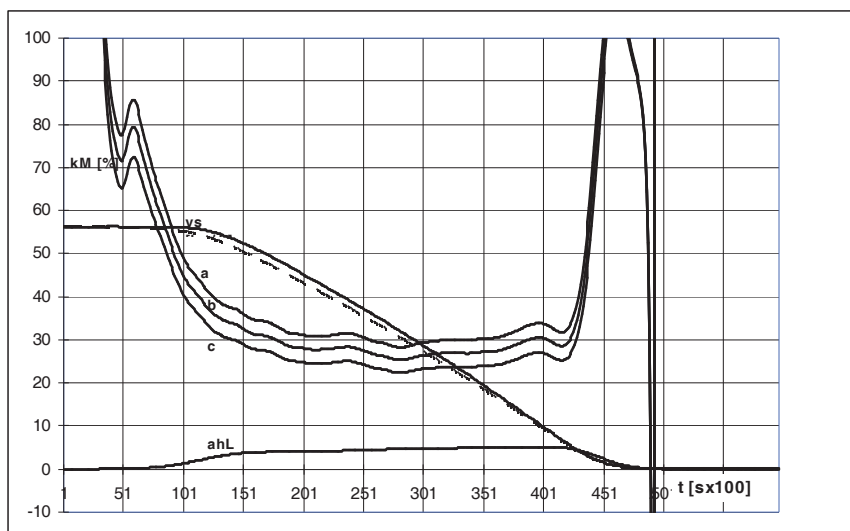
Rys. 4. Wpływ przyjęcia opóźnienia samochodu na wyniki obliczeń wskaźnika  $k_M$ : **a** – wg opóźnienia na podstawie pomiarów prędkości przyrządem Correvit, **b** – wg opóźnienia koła lewego przedniego o mniejszym momencie hamującym, **c** – wg opóźnienia koła lewego tylnego.

Fig. 4. Effect of assumption of the deceleration on the result of the coefficient  $k_M$ : **a** – the deceleration calculated on the base of the vehicle speed from Correvit, **b** – on the base of the deceleration of the front left wheel, **c** – on the base of the deceleration of the rear left wheel.

Wyniki badań wskazują, że najmniejsze różnice między nierównością momentów hamujących mierzonych w warunkach stanowiskowych i drogowych występują w zakresie hamowania z ustalonym opóźnieniem, większym od około  $3 \text{ m/s}^2$ . Przed obliczeniami wskaźnika  $k_M$  należy przeprowadzić kalibrację układu, to znaczy obliczyć wartość wskaźnika dla przebiegu bez hamowania. Pozwala to na uwzględnienie ewentualnych różnic promieni dynamicznych koła prawego i lewego. Badania wykazały, że różnica między wartością wskaźnika obliczoną wg zależności pełnej (9) i uproszczonej (10) jest niewielka i może być pominięta w tego typu badaniach diagnostycznych.

Jak wynika z badań drogowych, położenie środka masy samochodu nie ma praktycznie wpływu na wynik obliczeń wskaźnika  $k_M$ . Natomiast wpływ charakterystyki ogumienia  $\mu(s)$  na wynik obliczeń wskaźnika  $k_M$  jest istotny (rys. 5). Zmiana kąta nachylenia charakterystyki o  $1^\circ$  powoduje zmianę wartości wskaźnika  $k_M$  o około 3%. Taka duża czułość wymaga znajomości charakterystyki stosowanego ogumienia do konkretnego modelu samochodu, aby prawidłowo dobrać wartość parametru  $tg\alpha$ . Jest to wymaganie podobne do tego, jakie stawiają producenci układów ABS, aby samochód był wyposażony w opony o charakterystyce, do której dobrany jest algorytm sterowania tym układem.



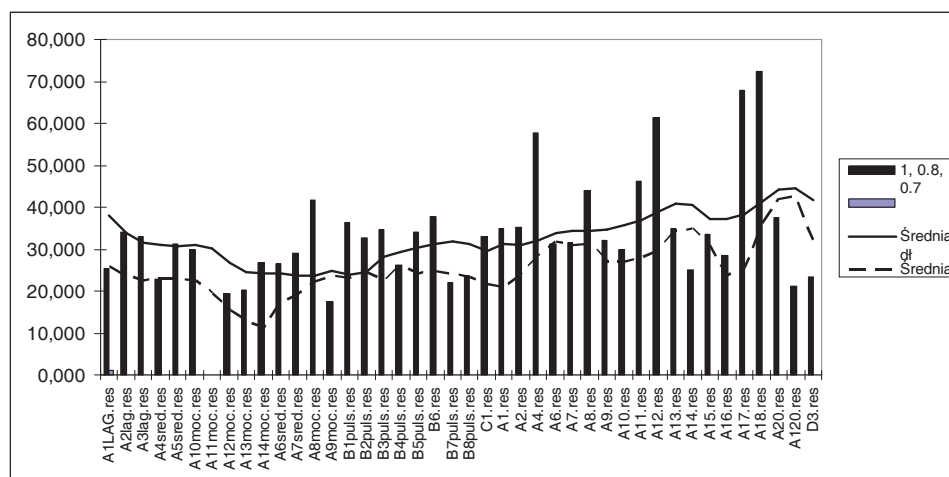


Rys. 5. Wpływ charakterystyki ogumienia  $\mu(s)$  na wynik obliczeń wskaźnika  $k_M$ : **a** -  $\mu/s=9$ , **b** -  $\mu/s=8$ , **c** -  $\mu/s=7$ .

Fig. 5. Influence of the  $\mu(s)$  characteristic of the tire on the result of the coefficient  $k_M$ : **a** -  $\mu/s=9$ , **b** -  $\mu/s=8$ , **c** -  $\mu/s=7$ .

Analizy wymaga również wpływ stanu nawierzchni na wynik obliczeń wskaźnika  $k_M$ . Jak wynika z literatury, charakterystyka  $\mu(s)$  jest bardziej stroma na jezdni mokrej niż na suchej, a więc należałoby przyjąć większą wartość tangensa kąta nachylenia funkcji  $\mu(s)$ , co zwiększyłyby wartość  $k_M$ . Badania w tym zakresie są kontynuowane.

Badania drogowe hamowania wykonywano dla różnych nierównomierności momentów hamowania, w różnorodnych warunkach drogowych. Na podstawie wyników tych badań obliczano średnie wartości współczynnika nierówności momentów hamujących  $k_M$  w kolejnych próbach hamowania. Przykładowe zestawienie części wyników (40 hamowań), również tych z oddziaływaniem układu ABS, dla hamulców przednich, przedstawiono na rysunku 6. Są to wyniki obliczeń średniej wartości wskaźnika  $k_M$  w zakresie prędkości hamowania od początkowej do 15 km/godz. i opóźnień większych od 3 m/s<sup>2</sup>. Zamieszczono również tzw. średnią krocząca długoterminową dla 10 kolejnych pomiarów i krótkoterminową dla 3 pomiarów. Nierównomierność sił hamujących mierzona przed badaniami drogowymi na stanowisku rolkowym wynosiła około 28%. Ponieważ na wynik diagnozy istotny wpływ wywiera stan nawierzchni jezdni, a jest to parametr przypadkowy, którego nie dobieramy, ewentualna różnica przyczepności jezdni pod kołem prawym i lewym traktowana jest jako zakłócenie i powinna być eliminowana w analizie poprzez statystyczną obróbkę wyników.



Rys. 6. Zestawienie współczynników nierówności momentów hamujących  $k_M$  kół przednich dla wielokrotnych hamowań w różnych warunkach ruchu drogowego. Zaznaczono średnią krocząca: krótkoterminową (dla 3 kolejnych pomiarów) i długoterminową (dla 10 kolejnych pomiarów).

Fig. 6. Setting up the coefficients  $k_M$  front wheels for multiple brakes in the different road conditions.

#### 4. Warunki przeprowadzania badań diagnostycznych

Zakłócający wpływ stanu nawierzchni jezdni, manewrów skrętu i działania układu ABS powoduje, że sygnalizacja niesprawności nie może opierać się na analizie pojedynczego pomiaru, lecz powinna być oparta o analizę statystyczną wielu hamowań. Poniżej zestawiono warunki, które powinny być spełnione, aby hamowanie było zarejestrowane i poddane analizie:

- sygnał włączenia hamulca,
- prędkość i opóźnienie samochodu przekraczają wartości graniczne,
- hamowanie podczas jazdy na wprost (w samochodach z ESP sygnał z czujnika obrotu kierownicy, w samochodach bez tego czujnika porównanie w chwili rozpoczęcia hamowania prędkości kół: prawego i lewego osi przedniej i tylnej),
- hamowanie bez udziału ABS,

Opracowany monitor diagnostyczny jest monitorem warunkowym, to znaczy muszą być spełnione określone warunki, aby pomiar został zarejestrowany i włączony do analizowanej próby.

Istotny wpływ zakłóceń powoduje, że wymagana jest statystyczna obróbka wyników. W trakcie pojedynczego zahamowania obliczana jest wartość średnia współczynnika  $k_M$  z zastosowaniem wag zależnych od opóźnienia, przy którym jest wyliczana wartość chwilowa  $k_M$ . Sygnalizacja stanu niesprawności następuje jeżeli w  $n$  kolejnych hamowaniach znak wskaźnika  $k_M$  jest taki sam oraz  $n$  krotnie nastąpiło przekroczenie wartości granicznej. Jest to tzw. strategia potwierdzenia symptomu. Na podstawie wyników badań drogowych przyjęto, że ilość powtórzeń przekroczenia wartości granicznej  $k_M$  wynosi  $n=10$ , a wartość graniczna wskaźnika  $k_M=20\%$ .

Ta wartość wynika z założenia, że opóźnienie hamowania nie powinno zmniejszyć się więcej niż o  $0.5\text{m/s}^2$  (przy działaniu ABS), a kierowca przy gwałtownym hamowaniu powinien utrzymać zadany prostoliniowy tor jazdy z dokładnością do 1m.

Analizowana jest również metoda obliczania średniej kroczącej z wagą, według zależności:

$$\bar{k}_{sMn} = k_{M,n} \times F + (1 - F) \bar{k}_{M(n-1)} \quad (17)$$

gdzie:

$k_{M,n}$  – wartość wskaźnika  $k_M$  w bieżącym cyklu pomiarowym,

$F$  – stała (waga) wskazująca na „ważność” bieżącego pomiaru w stosunku do średniej z pomiarów poprzednich,

$\bar{k}_{M(n-1)}$  – średnia z  $n-1$  poprzednich pomiarów

Taka zależność pozwala ustalić „ważność” bieżącego pomiaru w stosunku do średniej z pomiarów pośrednich. Im większa jest wartość wagi  $F$ , tym większy wpływ na średnią ma wartość pomiaru bieżącego. Jeżeli  $F=1/n$ , to otrzymujemy zwykłą średnią arytmetyczną z  $n$  pomiarów.

## 5. Podsumowanie

Proponowany monitor diagnostyczny nierówności momentów hamujących pozwala rozszerzyć zakres diagnostyki pokładowej o ocenę elementów mechanicznych hamulców. Obecnie szczególnemu nadzorowi podlegają elementy elektryczne i elektroniczne układu ABS. Elementy mechaniczne są trudniejsze do diagnostyki *on line*, a ich stan ma równie ważne znaczenie dla działania układu mechatronicznego, jakim są dzisiejsze układy hamulcowe. Ocena nierówności momentów hamujących na kołach badanej osi pojazdu w połączeniu z czujnikiem zużycia okładzin [2] pozwala na bieżąco kontrolować stan elementów mechanicznych i prognozować przebieg pojazdu do wymiany okładzin hamulcowych. Biorąc pod uwagę duże roczne przebiegi samochodów, częstotliwość kontroli *on line* jest ważnym uzupełnieniem stacjonarnych badań hamulców w stacji kontroli pojazdów. Diagnostowanie układów przeciwblokujących ABS, układów ESP oraz opracowane monitory diagnostyczne elementów mechanicznych hamulców stanowią całość systemu diagnostyki pokładowej OBD Brakes, na wzór systemu diagnostycznego OBD II (EOBD), stosowanego do nadzoru elementów odpowiedzialnych za emisję toksycznych składników spalin i par paliwa [5].

## Literatura

- [1] GAJEK A., WALCZAK ST.: *Analiza wpływu nierównomierności sił hamowania na stateczność ruchu samochodu*. Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej. Mechanika 76, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2002.
- [2] GAJEK A.: *System diagnostyki pokładowej układów hamulcowych pojazdów samochodowych*. Diagnostyka nr 1(45) / 2008.

- [3] GAJEK A., WALCZAK ST.: *Monitor diagnostyczny stanu okładzin ciernych hamulców pojazdów samochodowych*. Czasopismo Techniczne. Mechanika, z. 8-M/2008. Politechnika Krakowska, Kraków 2008.
- [4] RILL G.: *Simulation von Kraftfahrzeugen*. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft. Braunschweig/Wiesbaden, 1994.
- [5] MERKISZ J., MAZUREK ST.: *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych*. WKiŁ, Warszawa 2002.

### **Estimation of the unequal brake moments in the automotive on board diagnostic system**

#### S u m m a r y

The paper presents the new diagnostic monitor of the unequal brake moments in right and left wheels of the car. The monitor allows to compare the state of the brake pads and callipers in road conditions over the analysis the rotational speed of the car wheels. Theoretical analysis, results of road tests and the strategies of the diagnostic fault signalization for the on board diagnostic system are presented.