

## SYSTEM DIAGNOSTYKI POKŁADOWEJ UKŁADÓW HAMULCOWYCH POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH

**Andrzej GAJEK**

Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych, Politechnika Krakowska,  
Al. Jana Pawła II 37, PL 31-864 Kraków,  
Email: [gajeka@mech.pk.edu.pl](mailto:gajeka@mech.pk.edu.pl)

### Streszczenie

W referacie przedstawiono możliwości rozwoju systemu diagnostyki pokładowej hamulców samochodów osobowych. W zakresie diagnostyki pokładowej układu ABS omówiono metody kontroli elementów elektrycznych, elektronicznych oraz sterownika. W zakresie kontroli elementów mechanicznych zaprezentowano nowy monitor diagnostyczny pozwalający na ocenę nierównomierności sił hamujących oraz czujnik stopnia zużycia okładzin ciernych, umożliwiającą prognozowanie szybkości zużywania się tych okładzin. Zaproponowano strategię decyzyjną pozwalającą minimalizować błędy w diagnostycznej ocenie stanu elementów układu hamulcowego.

Słowa kluczowe: hamulce, diagnostyka, ABS, OBD, monitory diagnostyczne

### ON BOARD DIAGNOSTIC SYSTEM FOR THE CAR BRAKES

### Summary

The paper presents the development of the on board system for diagnostics of the car brakes. The diagnostic tests of the electrical and electronic elements of the ABS system are presented. The new diagnostic monitor of the brake pads wear and the sensor for the foreseeing the intensity of the pads wear is presented. The strategies of the diagnostic fault signalization for the on board diagnostic systems are presented: strategy of the symptom confirmation with moving average and statistical analysis of the tests.

Key words: brakes, diagnostic, ABS, ESP, OBD, diagnostic monitors

## 1. WSTĘP

Układy hamulcowe z systemem przeciwblokującym (ABS) stały się powszechnym wyposażeniem pojazdów samochodowych. Jakość działania tych układów zależy zarówno od sprawności elementów mechaniczno hydraulicznych jak i elektronicznych. System ABS już na etapie konstruowania został wyposażony w podsystem autodiagnostyczny, który nadzoruje działanie elementów elektrycznych i elektronicznych. Realizowany jest on zarówno poprzez odpowiednią budowę sterownika (dwa procesory – redundancja), jak i jego oprogramowanie. Natomiast układy mechaniczne (cierne) hamulca w niewielkim stopniu podlegają nadzorowi diagnostycznemu. Ich stan ma istotny wpływ na opóźnienie i drogę hamowania samochodu. W związku z tym zaproponowano wprowadzenie monitorów diagnostycznych, które pozwolą na ocenę nierównomierności sił hamowania na kołach jednej osi oraz na prognozowanie przebiegu samochodu do koniecznej wymiany okładzin ciernych.

## 2. DIAGNOZOWANIE UKŁADU ABS

Koncepcja diagnostycznego nadzoru nad pracą ABS w czasie rzeczywistym opiera się na trzech kryteriach:

- kryterium poprawności wewnętrznego przetwarzania informacji przez sterownik,
- kryterium poprawności sygnałów wejściowych z czujników prędkości kół,
- kryterium sprawności obwodów elektrycznych modulatora i pompy ABS.

Poprawność wewnętrznego przetwarzania informacji przez sterownik jest sprawdzana przez wbudowanie do sterownika dwóch identycznie zaprogramowanych mikroprocesorów i równoczesne przetwarzanie w nich zbiorów tych samych informacji wejściowych, w sposób całkowicie niezależny (rys. 1). Parametrami wejściowymi są sygnały prędkości obrotowej kół. Mogą to być sygnały napięciowe - analogowe z czujników reluktancyjnych, lub sygnały impulsowe z czujników Halla. Następnie wartości przetworzone w obu mikroprocesorach (prędkości, przyspieszenia, wskaźniki poślizgu kół) są porównywane. Jeżeli stwierdzane są różnice wartości przetworzonych

w obu mikroprocesorach, to sterownik wyłącza układ ABS, a układ hamulcowy działa w sposób konwencjonalny. Jeżeli wartości przetworzone w obu kanałach są identyczne, to sterownik generuje z mikroprocesora I odpowiednie sygnały do przekaźników zaworów elektrohydraulicznych. Równocześnie sygnały te bocznikowane są do mikroprocesora II, który sprawdza dodatkowo ich prawidłowość. Występują więc dwie pętle kontroli: poprawności przeliczeń wg programu i poprawności parametrów wyjściowych, sterujących układami wykonawczymi.

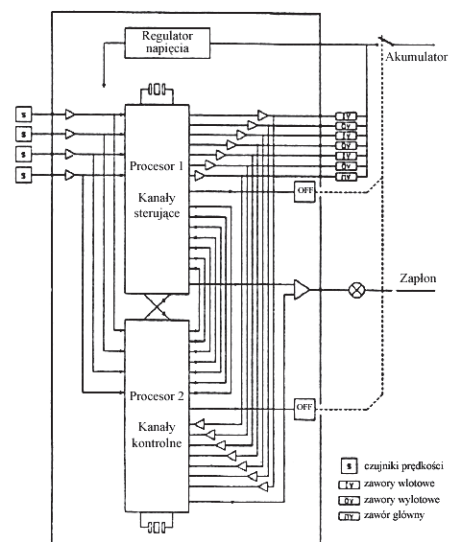
Drugie kryterium bezpieczeństwa polega na tym, że odpowiedni podprogram diagnostyczny umożliwia ocenę wartości granicznych sygnałów wejściowych z czujników prędkości obrotowej kół oraz kontroluje poprawność ich dekodowania. Układ pomiaru prędkości obrotowej kół z czujnikami umieszczonymi przy kołach pracuje w szczególnie trudnych warunkach. Ponieważ sygnały z czujników posiadają małą moc i transmitowane są długimi przewodami, narażone są na wpływ zewnętrznych zakłóceń elektromagnetycznych. Miejsce mocowania czujników przy kołach naraża je na wpływ drgań, czynników atmosferycznych i uszkodzeń mechanicznych. Stąd wynika konieczność bieżącej kontroli tzw. „czystości elektrycznej” sygnałów z czujników prędkości obrotowej. Jeżeli ich parametry napięciowe są niezgodne z zaprogramowanymi, następuje zapamiętanie usterki, a przy następnym jej wystąpieniu wyłączenie sterowania ABS. Program ten dokonuje również porównywania prędkości kół względem siebie. Jeżeli podczas jazdy bez hamowania wystąpi określona różnica prędkości obrotowej kół, to program traktuje ten stan jako niesprawność czujnika, którego sygnał różni się od pozostałych i wyłącza układ ABS. Kontrolowany jest również stan czujnika świateł STOP i żarówek tych świateł.

Trzecia zasada bezpieczeństwa realizowana jest poprzez okresową kontrolę wszystkich elementów elektrycznych układu ABS. Po każdym włączeniu zapłonu silnika następuje proces autodiagnozy, czyli kontroli ciągłości obwodów elektrycznych zaworów modulatora ciśnienia, silnika pompy ABS, napięcia w instalacji elektrycznej pojazdu. Ta faza diagnozowania sygnalizowana jest kierowcy przez włączenie lampki kontrolnej ABS, która po 2 - 4 sekundach gaśnie, co oznacza zakończenie kontroli z wynikiem pozytywnym. Jeżeli lampka kontrolna pozostaje włączona, to oznacza, że program diagnostyczny wykrył usterkę elektryczną, zakwalifikował ją jako uszkodzenie i wyłączył układ ABS. W pamięci EPROM sterownika zapamiętany zostaje kod usterki.

Układ ABS należy do tak zwanych systemów czuwających, czyli tylko w pewnych sytuacjach aktywizuje się. Tylko czujniki prędkości obrotowej kół pracują w sposób ciągły. Modulator elektrohydrauliczny i pompa ABS pozostają

stosunkowo rzadko w stanie działania. W związku z tym zachodzi potrzeba okresowej kontroli gotowości tych elementów do prawidłowej pracy. Zgodnie z programem autodiagnozy, mikroprocesor sterownika wytwarza okresowo krótkie impulsy testowe w celu skontrolowania, czy sprawne są obwody elektromagnesów zaworów hydraulicznych, a więc czy w razie potrzeby modulator ciśnienia zadziała prawidłowo. Impulsy te przekazywane są na wejścia zaworów, gdy układ hamulcowy nie jest uruchamiany przez kierowcę. Pozwala to sprawdzić ciągłość obwodów elektrycznych elektrozaworów i spadki napięć. W przypadku braku odpowiedzi (nieciągłości obwodu) wyłączane jest działanie układu ABS. W podobny sposób kontrolowany jest obwód pompy hydraulicznej ABS. Jest ona uruchamiana na krótki czas po włączeniu zapłonu oraz okresowo, w czasie, gdy kierowca nie hamuje.

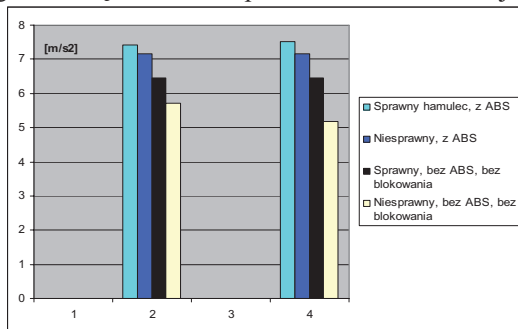
W powyżej przedstawionej koncepcji bezpieczeństwa wszystkie przypadki, w których podwójne - równoległe przetwarzanie informacji w sterowniku (tzw. redundancja) prowadzi do różnych wyników na wyjściach z mikroprocesorów, traktowane są jako uszkodzenia i powodują wyłączenie działania ABS. Natomiast chwilowe zakłócenie sygnału wejściowego z czujnika prędkości obrotowej nie wyłącza układu z pracy. Zapamiętywany jest tzw. kod oczekujący. Jeżeli jednak błędny sygnał nie może być przetworzony, lub zakłócenie powtarza się, to program traktuje ten stan jako uszkodzenie i wyłącza działanie układu ABS zapisując tzw. kod zarejestrowany. Wyłączenie działania układu ABS przez sterownik sygnalizowane jest kierowcy pojazdem za pomocą diody sygnalizacyjnej LED umieszczonej na tablicy wskaźników.



Rys. 1. Schemat strukturalny sterownika układu ABS [1]

### 3. MONITOR DIAGNOSTYCZNY STANU OKŁADZIN CIERNYCH HAMULCA

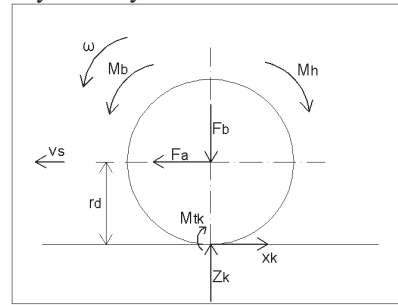
Jak wykazują badania, podczas eksploatacji samochodu może wystąpić niesprawność polegająca na znacznym spadku współczynnika tarcia okładzin ciernych hamulca jednego z kół. Taki stan może być niezauważony przez kierującego, szczególnie jeżeli samochód wyposażony jest w układ ABS. Niesprawność ta skutkuje zmniejszeniem opóźnienia hamowania (rys. 2) i wydłużeniem drogi hamowania. Układ przeciwblokujący ABS wykrywa różnicę w opóźnieniu i poślizgu koła z niesprawnymi okładzinami w stosunku do koła sprawnego. Jeżeli ta niesprawność występuje w kołach tylnych, dla których obowiązuje zasada sterowania *select low*, to wykorzystanie przyczepności między kołem z hamulcem o niesprawnych okładzinach i nawierzchnią jezdni jest dodatkowo ograniczane przez zatrzymanie narostu ciśnienia w tym hamulcu w chwili osiągnięcia wartości granicznych na kole ze sprawnym układem hamulcowym. Oprócz zmniejszenia opóźnienia hamowania występuje zmiana toru jazdy hamowanego samochodu, szczególnie wyraźna w pojazdach bez układu ABS. Przy 40% nierównomierności sił hamujących i hamowaniu gwałtownym, samochód ulega niebezpiecznemu zarzuceniu zarówno na suchej jak i mokrej nawierzchni. Natomiast badania hamulców z układami ABS wykazały, że podczas hamowania z niesprawnymi okładzinami ciernymi jednego z kół, ABS ogranicza ściąganie samochodu z zamierzonego toru jazdy, co jest zgodne z zasadą działania tego układu. Układ przeciwblokujący „łagodzi” więc skutki niesprawności mechanicznej.



Rys. 2. Porównanie średniego opóźnienia hamowania wg ISO (2) oraz średniego opóźnienia w przedziale czasu  $t_1-t_2$  (4) samochodu ze sprawnymi okładzinami ciernymi, z samochodem z obniżonym współczynnikiem tarcia okładzin koła przedniego lewego. Hamowanie z uruchomionym układem ABS oraz przy wyłączonym ABS.

Proponowany monitor diagnostyczny stanu okładzin polega na ciągłym nadzorze (monitorowaniu) parametrów kinematycznych kół

hamowanych i porównywaniu wyników między kołem prawym i lewym.



Rys. 3. Układ sił i momentów działający na koło hamowane

Na podstawie układu sił i momentów działających na hamowane koło (rys. 3) można zapisać:

$$\begin{aligned} M_h - M_b + M_t - X_k r_d &= 0 \\ F_a - X_k &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

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

$$M_h = I_k \varepsilon_k + Z_k \mu_k r_d - Z_k f \quad (2)$$

gdzie

- $I_k$  – moment bezwładności koła hamowanego,
- $\varepsilon_k$  – opóźnienie kątowne koła,
- $\mu_k$  – współczynnik wykorzystania przyczepności pod kołem hamowanym,
- $r_d$  – promień dynamiczny koła,
- $f$  – współczynnik oporów toczenia

Jeżeli założymy takie samo pionowe obciążenie i opory toczenia koła prawego i lewego, to różnica momentów hamujących między tymi kołami, spowodowana np. niesprawnością okładzin wyniesie:

$$M_{hpr} - M_{hl} = I_k (\varepsilon_{pr} - \varepsilon_l) + Z_k (\mu_{pr} - \mu_l) r_d \quad (3)$$

Dla hamowań mało intensywne, przy których nie uruchamia się jeszcze układ ABS można przyjąć zależność liniową między poślizgiem koła hamowanego  $s$  a współczynnikiem wykorzystania przyczepności  $\mu$  (rys. 4):

$$\mu_{pr} = s_{pr} \tan \alpha, \quad \mu_l = s_l \tan \alpha \quad (4)$$

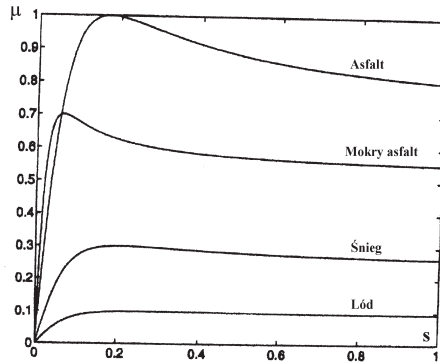
$\alpha$  - kąt nachylenia początkowej części charakterystyki  $\mu(\alpha)$

Poślizg koła  $s$  wyraża się zależnością:

$$s = \frac{v_s - v_k}{v_s} 100\% \quad (5)$$

$v_s$  – prędkość wzdłużna samochodu,

$v_k = \omega_k r_d$  – prędkość obwodowa koła hamowanego



Rys. 4. Zależność współczynnika wykorzystania przyczepności  $\mu$  od poślizgu koła  $s$  na różnych nawierzchniach

Uwzględniając powyższe zależności możemy zapisać:

$$M_{hpr} - M_{hl} = I_k(\varepsilon_{pr} - \varepsilon_l) + Z_k(s_{pr} - s_l)tg\alpha * r_d \quad (6)$$

$$= I_k(\varepsilon_{pr} - \varepsilon_l) + Z_k \frac{v_{kl} - v_{kpr}}{v_s} tg\alpha * r_d$$

Wartość składnika  $I_k(\varepsilon_{pr} - \varepsilon_l)$  jest mała i w ustalonym okresie hamowania nie przekracza około 1% wartości momentu hamującego  $M_h$ . Pomijając składnik związany z opóźnieniem koła  $\varepsilon_k$ , względną różnicę momentów hamujących koła prawego i lewego względem koła o większym momencie  $M_{hmax}$  można opisać zależnością:

$$k_M = \frac{M_{hpr} - M_{hl}}{M_{hmax}} = \frac{\omega_l - \omega_{pr}}{\frac{v_s}{r_d} - \omega_{min}} \quad (7)$$

$M_{hmax}$  – większy z momentów  $M_{hpr}$  i  $M_{hl}$   
 $\omega_{min}$  – prędkość kątowna koła toczącego się wolniej

Obliczenie tego współczynnika nierównomierności momentów hamujących wymaga pomiarów prędkości kątowej kół i prędkości wzdłużnej samochodu w czasie hamowania. Niestety w pojazdach samochodowych nie ma czujnika pozwalającego na pomiar prędkości wzdłużnej samochodu podczas intensywnego hamowania. W celu zastosowania tej metody w praktyce, zastosowano współczynnik wskazujący na poślizg koła prawego względem lewego:

$$k_s = s' = \frac{\omega_l - \omega_{pr}}{\omega_{min}} \quad (8)$$

Ten współczynnik wskazuje na różnicę poślizgów i różnicę wykorzystania przyczepności pomiędzy kołem prawym i lewym.

Badania wstępne wykazały, że dla sprawnych hamulców wskaźnik ten nie przekracza 1%, a dla nierównomierności momentów hamujących rzędu 30% wynosi około 2%. Są to niewielkie wartości bezwzględne, wymagające precyzyjnego pomiaru prędkości. Natomiast różnica między nimi przekracza 100%. Wskaźnik  $k_s$  może mieć wartości dodatnie lub ujemne. Pozwala to ustalić, na którym kole jest mniejszy moment hamujący.

Wiarygodne wyznaczenie tego wskaźnika wymaga zachowania pewnych warunków podczas pomiarów: sygnału włączenia hamulca, jazdy po nawierzchni o takiej samej przyczepności pod kołem prawym i lewym, określonego czasu i opóźnienia hamowania, hamowania bez udziału ABS, sprawdzenia prędkości kół przed hamowaniem (kalibracji układu). Jest to więc tzw. **monitor warunkowy**. W praktyce nie kontroluje się stanu nawierzchni jezdni, a przypadkowe zakłócenia mogą istotnie wpływać na wartość wskaźnika i powodować nieprawidłową ocenę stanu okładzin. Z tego powodu wymagana jest statystyczna obróbka sygnału. Pomiary wykonywane są wielokrotnie. Wprowadzono tzw. wagi przy obliczaniu średniej wartości współczynnika  $k_s$  zależne od opóźnienia, przy którym jest on wyliczany. Wymagane jest wielokrotne przekroczenie wartości granicznej wskaźnika  $k_s$ . W  $n$  kolejnych powtórzeniach znak tego wskaźnika powinien być taki sam.

Ocenę, czy samochód hamuje na nawierzchni o zbliżonym współczynniku przyczepności pod kołami prawymi i lewymi przeprowadza się na podstawie analizy tego wskaźnika dla kół przednich i tylnych. Jeżeli jego wartość przekracza graniczną, oraz znak dla kół przednich i tylnych jest taki sam, to jest prawdopodobne, że samochód porusza się po nawierzchni niejednorodnej, lub porusza się po zakręcie. Te wyniki są pomijane w analizie.

Drugim zabezpieczeniem przed nieprawidłowym sygnalizowaniem stanu niesprawności w przypadku jazdy po zakrętach jest sprawdzanie wartości współczynnika  $k_s$  w chwili rozpoczynania hamowania oraz znaku tego wskaźnika w kolejnych hamowaniach. Na łuku drogi koło wewnętrzne toczy się wolniej od zewnętrznego, a program obliczeniowy zinterpretuje to jako różnicę poślizgów obu kół i przekroczenie wartości granicznej wskaźnika  $k_s$ . Jednak do zarejestrowania błędu konieczne jest wystąpienie  $n$  kolejnych hamowań i przekroczeń wskaźnika  $k_s$  z tym samym znakiem. W praktyce trudno znaleźć drogę, na której wystąpi  $n$  zakrętów w tę samą stronę, na których kierowca będzie hamował z opóźnieniem większym od granicznego, co spowodowałoby  $n$ -krotne zarejestrowanie stanu nieprawidłowego.

Na nawierzchniach o zdecydowanie różnej przyczepności taka sama wartość wskaźnika  $k_s$  może niejednoznacznie określać różnicę współczynników wykorzystania przyczepności  $\mu_{pr} - \mu_l$  i różnicę momentów hamujących koła prawego i lewego. Uściślenie zależności między wskaźnikiem  $k_s$  a różnicą momentów hamujących można uzyskać przyjmując minimalną wartość opóźnienia samochodu, przy którym obliczany jest ten wskaźnik. Eliminuje to wykonanie testu na jezdniach bardzo śliskich.

W systemie diagnostycznym **OBDII-brakes** interesuje nas nie tyle dopuszczalna różnica momentów hamujących  $M_{hpr} - M_{hl}$ , lecz określenie, przy jakiej różnicy poślizgów wystąpi nadmierne



wydłużenie drogi hamowania lub niebezpieczeństwo zarzucenia samochodu. Monitor stanu okładzin powinien być zaprogramowany do wykrywania stanów niebezpiecznych. Badania nad ustaleniem wartości granicznej różnicy poślizgów kół, odpowiadającej stanom niebezpiecznym przy hamowaniu są obecnie prowadzone.

Uszkodzenia okładzin ciernych, lub elementów układu hydraulicznego na ogół narastają stopniowo (za wyjątkiem nagłego pęknięcia przewodów ciśnieniowych). Procedura ich wykrywania powinna być oparta o statystyczną obróbkę sygnałów, tak by uszkodzenie było sygnalizowane z jak największym prawdopodobieństwem. W algorytmie sygnalizacji tego uszkodzenia powinny być eliminowane błędy typu  $\alpha$  („fałszywy alarm”), jako irytujące kierowcę i powodujące nieuzasadnione koszty napraw. Zaproponowano trzy strategie postępowania:

I – Obliczanie wartości średniej wskaźnika  $k_s$  w pojedynczym hamowaniu w określonych warunkach omówionych powyżej, z zastosowaniem wag zależnych od wartości opóźnienia hamowania. Zapamiętywane jest przez program  $n$  kolejnych wartości  $k_s$ . Sygnalizacja stanu niesprawności następuje po wystąpieniu  $n$  kolejnych hamowań z przekroczeniem przez wskaźnik  $k_s$  wartości granicznej o tym samym znaku. Wstępnie przyjęto  $n=10$ .

II – Obliczanie wartości średniej wskaźnika  $k_s$  według zależności:

$$\bar{k}_{s,n} = k_{s,n} \times F + (1 - F) \bar{k}_{s,(n-1)} \quad (9)$$

gdzie

$k_{s,n}$  – wartość parametru  $k_s$  w  $n$ -tym cyklu,

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

III – Obliczanie gęstości prawdopodobieństwa wskaźnika  $k_s$  na podstawie analizy zbioru  $n$  wielokrotnych hamowań i sygnalizację stanu niesprawności po osiągnięciu określonego poziomu prawdopodobieństwa wartości granicznej  $k_{gr}$ :

$$p(k_s = k_{gr}) = \frac{n_{kgr}}{n} [\%] \quad (10)$$

gdzie

$n_{kgr}$  – liczba zdarzeń (hamowań), dla których  $k_s > k_{gr}$

$n$  – liczba wszystkich zdarzeń (hamowań)

Drugim statystycznym parametrem jest skumulowana gęstość prawdopodobieństwa granicznej wartości wskaźnika  $k_s$ :

$$P_k \{k_s \leq k_{gr}\} = \frac{n_k}{n} = \sum_{i=0}^{i=k} p(k_s) [\%] \quad (11)$$

gdzie

$n_k$  – liczba zdarzeń, dla których  $k_s \leq k_{gr}$

#### 4. CZUJNIK STOPNIA ZUŻYCIA OKŁADZIN CIERNYCH HAMULCA TARCZOWEGO

Obecnie stosowane czujniki stanu okładzin ciernych sygnalizują ich zużycie graniczne. Odbywa się to na drodze elektrycznej lub dźwiękowej.

W zastosowaniach z czujnikiem elektrycznym, po osiągnięciu granicznego zużycia okładziny, zatopiony w niej przewód elektryczny zwiera obwód do masy poprzez tarczę hamulcową, co sygnalizowane jest kierowcy. W czujnikach akustycznych po osiągnięciu zużycia granicznego, sprężysta stalowa płytka dotyka wirującej tarczy hamulcowej dając charakterystyczny dźwięk słyszalny przez kierowcę. Te czujniki sygnalizują stan graniczny. Jeżeli taki stan zaistnieje podczas długodystansowej podróży, kierowca będzie zmuszony do wykonania naprawy, lub niepewnego przewidywania jaki przebieg może jeszcze wykonać.

Celem przedstawianego projektu jest rozwój monitora zużycia okładzin ciernych hamulców tarczowych o możliwość prognozowania przebiegu samochodu do granicznego zużycia okładzin<sup>1</sup>.

W okładzinie cierniej zatopione są trzy, lub cztery przewody elektryczne, izolowane. Ich zakończenia znajdują się na różnej głębokości (rys. 5). Różnica głębokości zamocowania przewodów 1 i 2 jest niewielka, około 1.5mm. Przewód 3 ma zakończenie na głębokości odpowiadającej zużyciu granicznemu. Czujnik zasilany jest stałym napięciem  $U_0$ . Po początkowym zużyciu okładziny do głębokości osadzenia przewodu 1 nastąpi zwarcie do masy tego przewodu, przepływ prądu przez rezystor  $R_1$  i spadek napięcia  $\Delta U_1$  na rezystorze  $R_4$ . Ten sygnał powoduje zapamiętanie w programie diagnostycznym przebiegu  $s_1$  samochodu w chwili osiągnięcia głębokości zużycia  $z_1$ . Po następnym okresie eksploatacji hamulców i ich zużyciu o różnicę głębokości zatopionych przewodów 1 i 2 dochodzi do zwarcia do masy przewodu 2. Na rezystorze  $R_4$  następuje spadek napięcia  $\Delta U_2$ . Sygnał ten powoduje zapamiętanie przebiegu  $s_2$  samochodu w chwili osiągnięcia głębokości zużycia  $z_2$ . Ponieważ znana jest odległość między końcami przewodów 1 i 2, można obliczyć intensywność zużycia okładziny jako:

$$I_z = (z_2 - z_1) / (s_2 - s_1) [mm/km]. \quad (12)$$

Znana jest również odległość między głębokością zatopienia przewodów 2 i 3, a przewód 3 znajduje się na głębokości odpowiadającej zużyciu granicznemu  $z_3$ . Zakładając liniową zależność zużycia od przebiegu, można wyliczyć przebieg pojazdu do osiągnięcia zużycia granicznego:

$$s_3 - s_2 = \Delta z / I_z [km] \quad (13)$$

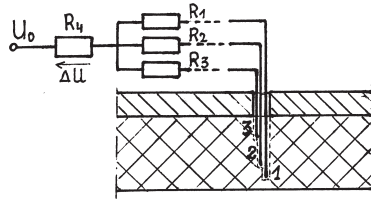
$\Delta z = z_3 - z_2$  - odległość między końcami przewodów 2 i 3

Czujnik powinien być umieszczony w okładzinach obu kół przednich, a odczyt prognozowanego przebiegu powinien być możliwy poprzez komputer pokładowy.

Szybkość zużywania się okładzin hamulcowych zależy przede wszystkim od techniki jazdy oraz od warunków użytkowania pojazdu. W praktyce

<sup>1</sup> Rozwiązanie czujnika zgłoszone do ochrony patentowej.

występują bardzo duże rozbieżności w przebiegach samochodów tej samej marki do wymiany okładzin. Proponowany czujnik pozwoli na indywidualną ocenę intensywności zużywania się okładzin w samochodzie i bardziej wiarygodne przewidywanie terminu koniecznej naprawy, tak aby nie kolidowała z zaplanowanymi podróżami.



Rys. 5. Schemat czujnika i układu pomiarowego do oceny stopnia zużycia i intensywności zużycia okładzin ciernych hamulca

## 5. PODSUMOWANIE

Obecnie stosowany system diagnostyki pokładowej hamulców z układem ABS pozwala sprawdzić poprawność działania układów elektronicznych i elektrycznych. Można go przyrównać do systemu OBD I silnika spalinowego. Proponowane monitory diagnostyczne pozwalają rozszerzyć zakres diagnozowania „on board” o ocenę elementów mechanicznych układu hamulcowego. Jako kryterium stanu niesprawności hamulców przyjęto zasadę, że dany **element uważa się za uszkodzony, jeżeli jego stan powoduje zagrożenie bezpieczeństwa jazdy**. Opracowywany monitor diagnostyczny stanowi część systemu diagnostycznego **OBD II brakes**, na wzór stosowanego już systemu OBD II engine.

## LITERATURA

- [1] Bleckmann H. W. i inni: *The compact 4 wheel anti skid system with integral hydraulic booster*. SAE Paper series 830483, Detroit, USA 1983.
- [2] *Automotive Handbook*, Bosch, 4th Edition, SAE 1996
- [3] Gajek A.: *Stanowiskowa metoda diagnozowania układów przeciwblokujących samochodów osobowych*. III International Congress of Technical Diagnostics' 2004. Polskie Towarzystwo Diagnostyki Technicznej przy Wydz. Nauk Technicznych PAN, Poznań 09/2004r.
- [4] Gajek A.: *Modelowanie i analiza układu samochód - stanowisko bębnowe do badań i diagnostyki hamulców*. Monografia nr 280. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2002.
- [5] Merkiż J., Mazurek St. *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych*. WKŁ, W-wa 2002
- [6] *Regulamin nr 13 ECE ONZ, Zał. nr 13: Wymagania stosowane do badań układów hamulcowych wyposażonych w urządzenia przeciwblokujące*.
- [7] Schwall L. M., Baker B., Gerdes J. C., Forhert T.: *A probabilistic Vehicle Diagnostic System Using Multiple Models*, American Association for Artificial Intelligence, 2003
- [8] Gissingera G. L., Menardb C., Constans A.: *A mechatronic conception of a new intelligent braking system*, Control Engineering Practice, 11/2003
- [9] Gajek A., Walczak St.: *Analiza wpływu nierównomierności sił hamowania na stateczność ruchu samochodu*. Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej. Mechanika 76, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2002.



Dr hab. inż. **Andrzej GAJEK** urodził się w Krakowie w 1949r. Od 1973r pracuje w Instytucie Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych Politechniki Krakowskiej. W pracy naukowej zajmuje się zagadnieniami diagnostycznych badań

pojazdów samochodowych, szczególnie układów hamulcowych. W tej dziedzinie obronił pracę doktorską pt.: „Analiza zależności między wynikami badań hamulców samochodów osobowych w warunkach drogowych i stanowiskowych”. Na podstawie rozprawy pt. „Modelowanie i analiza układu samochód - stanowisko bębnowe do badań i diagnostyki hamulców” uzyskał stopień naukowy doktora habilitowanego w zakresie budowy i eksploatacji maszyn. Jest autorem licznych opracowań naukowych, prac konstrukcyjnych i patentów oraz kierownikiem projektów naukowo badawczych w zakresie diagnostycznych badań hamulców samochodowych. Jest autorem podręcznika akademickiego: *Mechatronika samochodowa – Czujniki*, WKŁ, W-wa, 2008.