

Wojciech SZCZYPIŃSKI-SALA  
Piotr STRZĘPEK <sup>1</sup>

## DOKŁADNOŚĆ I BŁĘDY W DROGOWYCH POMIARACH OPÓZNIENIA HAMOWANIA

*W artykule przedstawiono analizę dokładności pomiaru opóźnienia hamowania pojazdów podczas badań drogowych dla przyrządów dopuszczonych do użytkowania w stacjach kontroli pojazdów jako przyrządy kontrolne. Oceniono wpływ przechyłów nadwozia na uzyskiwane wartości opóźnienia oraz omówiono wyniki pomiarów drogowych wykonanych różnymi metodami.*

## CAR BRAKE DECELERATION MEASUREMENT - PRECISION AND INCORRECTNESS

*The paper presents the results of the road investigation of the car brake deceleration. The main goal of doing research was estimation of the deceleration measuring precision in road tests. The different measuring instruments were tested and the measuring errors were calculated.*

### 1. WSTĘP

Podczas badań drogowych związanych z układami hamulcowymi pojazdów stosowane współcześnie metody badawcze opierają się na specjalistycznej aparaturze pomiarowej pozwalającej na rejestrację przebiegu procesu hamowania pojazdu. Ogólnie można stwierdzić, iż opóźnienie hamowania może być mierzone przyrządami akcelerometrycznymi wykorzystującymi zasadę oddziaływania ruchomej masy na czujnik siły i na tej podstawie dającymi możliwość określenia wartości opóźnienia działającego na tę masę, lub na podstawie rejestracji przez przyrząd zmian prędkości pojazdu.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami opóźnieniomierze bezwładnościowe znajdują praktyczne zastosowanie w stacjach diagnostycznych w przypadku konieczności wykonania pomiarów na drodze [1, 2].

W artykule omówiono wyniki analiz pomiarów opóźnienia hamowania samochodu osobowego, wykonanych przyrządami dopuszczonymi do użytkowania jako przyrządy kontrolne do oceny stanu układu hamulcowego pojazdów w SKP. W analizie uwzględniono ruchy nadwozia badanego pojazdu, oraz oceniono ich wpływ na uzyskiwane wyniki.

---

<sup>1</sup>Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny; 31-864 Kraków; al. Jana Pawła II 37, Tel: + 48 12 628-35-30,  
Fax: + 48 12 648-13-44, e-mail: ws@mech.pk.edu.pl

## 2. POMIARY DROGOWE OPÓŹNIENIA HAMOWANIA

W Zakładzie Eksploatacji Pojazdów Samochodowych i Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Politechniki Krakowskiej od wielu lat wykonywane są testy drogowe przy wykorzystaniu różnych metod pomiaru opóźnienia hamowania. W celu oceny wpływu ruchu nadwozia pojazdu podczas hamowania na dokładność pomiarów opóźnienia pojazdu urządzeniami typu akcelerometrycznego wykonano analizy przebiegu opóźnień hamowania z szeregu prób.

Pojazdem, na którym przeprowadzono badania był samochód osobowy klasy średniej, o zawieszeniu niezależnym z kolumnami typu McPherson – przód pojazdu i z wahaczami wzdłużnymi połączonymi sztywną belką - tył pojazdu. Zarówno z przodu jak i z tyłu zamontowane były amortyzatory teleskopowe hydrauliczne dwustronnego działania. Pomiary wykonano na oponach typu letniego o rozmiarze 195/65/15. Dla uzyskania porównywalnych wyników pomiary przeprowadzono w jednakowych warunkach drogowych, wszystkie pomiary opóźnień hamowania wykonywano na suchej nawierzchni na tym samym odcinku pomiarowym, przy temperaturze otoczenia około 15°C. Początkowa prędkość hamowania podczas prób wynosiła 60 km/h. Podczas każdej z prób do rejestracji opóźnień wykorzystywano opóźniomierz VZM-300.

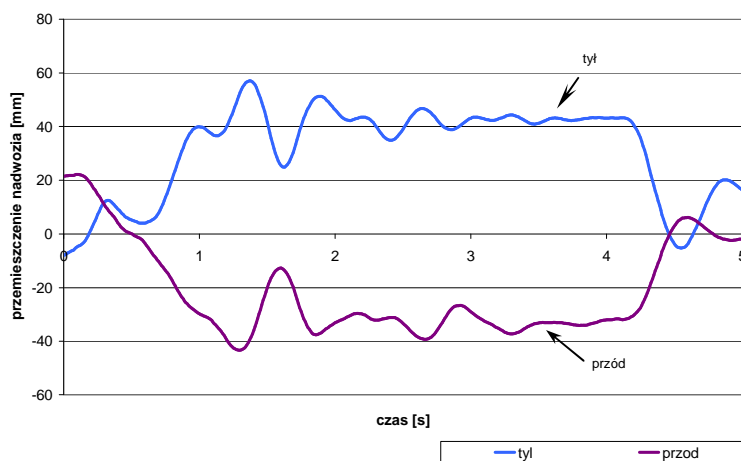


*Rys.1. Rozmieszczenie głowic pomiarowych na samochodzie badawczym*

Podczas pomiarów wykorzystano trzy głowice optyczne Correvit, pierwsza z nich posłużyła do bezstykowego pomiaru prędkości wzdłużnej poruszającego się pojazdu, natomiast dwie kolejne głowice typu H umożliwiły ocenę wzdłużnego przechyłu nadwozia. Głowice pomiarowe tego typu znajdują powszechne zastosowanie w badaniach drogowych [3]. Są to urządzenia optyczne do bezstykowego pomiaru drogi pokonywanej przez pojazd i prędkości. Głowicę takiego urządzenia mocuje się do samochodu nad powierzchnią jezdni. Jest ona wyposażona w układ oświetlający oraz w układ optyczny, którego podstawowymi elementami są: obiektyw, raster pryzmatyczny i dwie fotokomórki. Rozmieszczenie głowic pomiarowych na samochodzie badawczym pokazano na rys.1.

### 3. ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW

Podczas hamowania następuje znaczne pochylenie nadwozia pojazdu. Jego wielkość została oceniona w oparciu o przemieszczenia głowic typu H umieszczonych z przodu i z tyłu pojazdu, w jego osi symetrii, zatem wyeliminowany został wpływ na wyniki tego pomiaru ewentualnych przechyłów bocznych nadwozia. Zachowanie się nadwozia pojazdu podczas hamowania ilustruje rys.2. Na podstawie przebiegu zmian położenia przedniej i tylnej części nadwozia łatwo można określić zmiany kąta pochylenia pojazdu w stosunku do nawierzchni drogi. Porównując przebieg zmian opóźnienia hamowania oraz zmian kąta pochylenia nadwozia (rys.3) zauważyć można, iż zarówno w początkowej jak i końcowej fazie hamowania krzywe obrazujące te przebiegi wykazują pełną analogię.



Rys.2. Zarejestrowany przykładowy przebieg zmian położenia nadwozia pojazdu podczas hamowania

W przypadku opóźniomierzy bezwładnościowych tzw. „nurkowanie” nadwozia, a następnie reakcja „odbicia” po zatrzymaniu powoduje, że rejestrowane jest przyspieszenie nadwozia, które wykonuje podczas hamowania dodatkowe ruchy na zawieszeniu względem drogi. W praktyce podczas pomiaru opróżnienia hamowania przyrząd pomiarowy – opóźniomierz mocowany jest w pojeździe na przykład na szybie, lub spoczywa wprost na podłodze. Takie jego umieszczenie powoduje, że konsekwencją zmiany położenia przetwornika akcelerometrycznego wywołanego zmianą nachylenia nadwozia podczas hamowania jest rejestrowanie przez opóźniomierz nie tylko opóźnienia hamowania, ale również przyspieszenia wynikającego z tejże właśnie zmiany pochylenia nadwozia. Przy czym konsekwencją zmiany kąta pochylenia nadwozia (pokazanej na rys.3) jest nie tylko brak zachowania poziomowania akcelerometru i tym samym rejestrowanie przyspieszenia grawitacyjnego, ale również dodatkowo nakładania się przyspieszenia wynikającego z ruchu obrotowego przetwornika względem osi obrotu nadwozia przy zmianie jego

pochylenia. Wartość tego przyspieszenia może być oszacowana z prostego przeliczenia przedstawionego poniżej zależnościami (1,2,3).

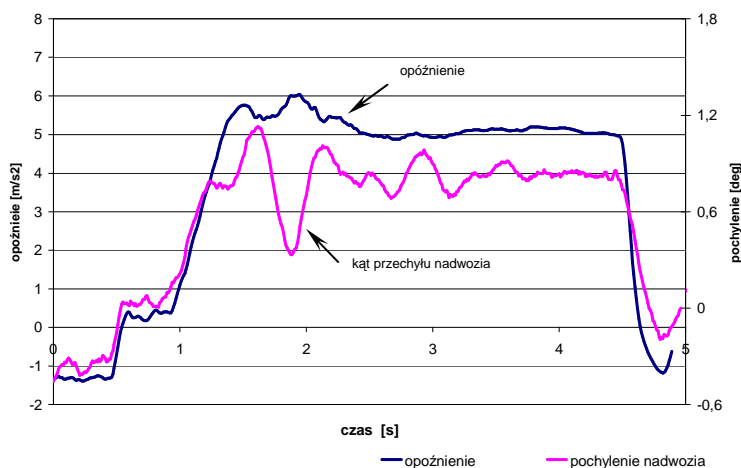
$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(\omega \times r) = \frac{d\omega}{dt} \times r + \omega \times \frac{dr}{dt} \quad (1)$$

$$a_n = \omega \times \frac{dr}{dt} = \omega \times v \quad (2)$$

$$a_n = \omega \times v = \omega \times (\omega \times r) = (\omega r)\omega - \omega(\omega r) = -\omega^2 r \quad (3)$$

gdzie:  $\omega$ - prędkość kątowna,

$a_n$ - przyspieszenie normalne (w osi akcelerometru)

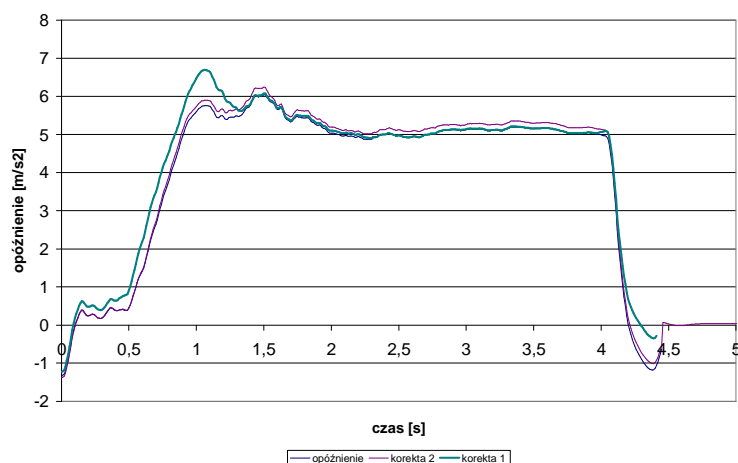


Rys.3. Przebieg opóźnienia hamowania i zmian pochylenia nadwozia

Łatwo zauważyć, że przyspieszenie styczne nie będzie miało wpływu na wyniki pomiaru, natomiast przyspieszenie normalne działające w osi akcelerometru może je zmieniać w sposób znaczący.

Przy występujących wartościach kąta obrotu nadwozia podczas hamowania korekta rejestrowanych wartości opóźnienia wynikająca z uwzględnienia przyspieszenia grawitacyjnego jest nieznaczna, bowiem przy kacie rzędu  $1,5^\circ$  jest to zmiana o wartość rzędu  $0,25 \text{ m/s}^2$  i praktycznie nie będzie miała większego wpływu na uzyskane wyniki. Podczas prób hamowania pochylenie nadwozia zmieniało się w granicach do około  $1,2^\circ$ , a wynikające z prędkości tych zmian przyspieszenie działające w osi akcelerometru mogło sięgać wartości  $0,8 \text{ m/s}^2$ , co nie jest już bez znaczenia. Oczywiście podane wartości są wartościami chwilowymi i nie będą w tak znaczący sposób wpływać na obliczone średnie pełne opóźnienie hamowania.

Na rys.4 przedstawiono porównanie przykładowego przebiegu rejestrowanego opóźnienia hamowania oraz opóźnienia z uwzględnieniem zmierzonych podczas tej samej próby wartości zmian kąta pochylenia nadwozia – przebieg oznaczony jako korekta 1. Różnice w uzyskanych wartościach chwilowych w początkowej fazie hamowania osiągają  $1,1 \text{ m/s}^2$ , natomiast w dalszej fazie hamowania, gdy nadwozie pozostaje pochyłone i jego ruchy są już ograniczone, praktycznie różnice nie występują.



Rys.4. Przykładowy przebieg opóźnienia hamowania z uwzględnieniem składowych przyspieszenia będących następstwem ruchu nadwozia

Na podstawie uzyskanych przebiegów opóźnienia hamowania obliczono średnie pełne opóźnienie hamowania. Dla warunków, w jakich przeprowadzono próby, to znaczy hamowanie intensywne bez blokowania kół pojazdu i bez doprowadzania do zadziałania układu przeciwblokującego, obliczona jego wartość dla przebiegów z pomiarów akcelerometrycznych wyniosła  $5,22 \text{ m/s}^2$ , natomiast obliczona dla przebiegów korygowanych wartość średniego pełnego opóźnienia hamowania wyniosła  $5,32 \text{ m/s}^2$ . Porównanie uzyskanych wartości maksymalnych opóźnienia i obliczonych wartości średniego pełnego opóźnienia hamowania przedstawiono w tab.1. Podane wartości obrazują średnie wyniki z pięciu kolejno wykonanych prób hamowania na tym samym odcinku nawierzchni.

Tab. 1. Porównanie wyników pomiarów

	Wartość średnia [ $\text{m/s}^2$ ]	Wartość maksymalna [ $\text{m/s}^2$ ]
Pomiar akcelerometryczny	5,22	6,16
Różnice w stosunku do pomiaru korygowanego	0,11	0,8

#### 4. WNIOSKI

W oparciu o uzyskane w przeprowadzonych próbach wyniki można stwierdzić, iż dla pojazdu badawczego pochylenie nadwozia w trakcie hamowania zmieniało się w granicach  $1,2^\circ$ , a wynikające z prędkości tych zmian przyspieszenie działające w osi akcelerometru osiągało wartości rzędu  $0,8 \text{ m/s}^2$ .

Należy zwrócić uwagę na występujące różnice w rejestrowanych chwilowych wartościach opóźnień. Najbardziej znaczące różnice można obserwować w początkowej i końcowej fazie hamowania to znaczy w momencie „nurkowania” i „odbicia” nadwozia, kiedy to wartość przyspieszenia w osi akcelerometru jest największa. Oznacza to, że największe różnice rejestrowanych przez opóźnieniomierze akcelerometryczne wartości opóźnienia wynikają z prędkości zmian nachylenia nadwozia w stosunku do nawierzchni drogi, natomiast maksymalna wartość kąta pochylenia nadwozia ma bardzo nieznaczny wpływ na rejestrowane wartości opóźnienia hamowania. Różnice średniego pełnego opóźnienia hamowania obliczanego według wytycznych normy ISO [4] na podstawie przebiegów opóźnienia uwzględniających wzdłużny przechył pojazdu, oraz bez jego uwzględniania, nie różnią się pomiędzy sobą o więcej niż 2%.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Rozporządzenie Min. Infrastruktury z 18 września 2009 r. w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz wzorów dokumentów stosowanych przy tych badaniach. Dz. U. nr 155/2009, poz. 1232.
- [2] Rozporządzenie Min. Infrastruktury z 31 grudnia 2002r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia. Dz. U. nr 32/2003.
- [3] Materiały firmy Datron Messtechnik. Corrsys GmbH. Schwalbach, Germany.
- [4] Norma ISO/DTR 13487 F: Braking of road vehicles - Definition of mean fully developed deceleration.
- [5] Instrukcje obsługi opóźnieniomierzy.