

SZCZYPIŃSKI-SALA Wojciech
STRZĘPEK Piotr
JANCZUR Robert¹

Weryfikacyjne metody pomiaru opóźnienia hamowania pojazdu

Diagnostyka, hamulce, pomiary drogowe,

Streszczenie

W artykule przedstawiono porównanie metod pomiaru opóźnienia hamowania pojazdów podczas badań drogowych, z uwzględnieniem wymagań dotyczących okresowej oceny działania układu hamulcowego w pojeździe. Omówiono wyniki pomiarów wykonanych różnego typu przyrządami stosowanymi w tego typu badaniach. Porównano przyrządy inercyjne dopuszczone do stosowania w stacjach kontroli pojazdów, przyrząd optyczny, oraz dwa zestawy wieloosiowych czujników przyspieszenia. Oceniono rozbieżności wyników pomiędzy poszczególnymi metodami pomiaru.

COMPARATIVE METHODS IN THE ANALYSES OF CAR BRAKE DECELERATION

Abstract

The paper presents the results of the road investigation of the car brake deceleration. The different measuring instruments with inertia mass were tested. During the tests deceleration was measured with equipment approved for use at the motor vehicle inspection centers, optical instrument and with two sets of multi-axis acceleration sensors. The measuring errors were calculated.

1. WSTĘP

Bezpieczeństwo użytkowania pojazdu samochodowego w zasadniczy sposób uzależnione jest od skuteczności działania układu hamulcowego. Stąd też wiele uwagi poświęca się modernizacji i rozwojowi tego układu w fazie projektowania, a także jego ocenie już w trakcie eksploatacji pojazdu. W tym celu stosuje się różne metody pomiaru sił hamowania zarówno w warunkach statycznych, jak i dynamicznych. Dokładność wykonania pomiarów ma decydujące znaczenie dla decyzji o dopuszczeniu pojazdu do ruchu. Wszelkiego rodzaju oceny sprawności układu hamulcowego wymagają specjalistycznego oprzyrządowania.

W drogowych badaniach pojazdów samochodowych powszechne zastosowanie mają zarówno przyrządy akcelerometryczne wykorzystujące zasadę oddziaływania ruchomej masy na czujnik siły i na tej podstawie dające możliwość określenia wartości opóźnienia działającego na tę masę, jak i urządzenia pozwalające na pomiar drogi pokonywanej przez pojazd lub jego prędkości. Właśnie te pierwsze z wymienionych są głównie stosowane w praktyce diagnostycznej, w badaniach kontrolnych pojazdów w warunkach drogowych, gdzie najczęściej przyjmowana metodyka oceny stanu mechanicznych i hydraulicznych elementów układu hamulcowego opiera się na pomiarach opóźnienia hamowania [1,2]. Taka konieczność wykonania pomiarów na drodze, występuje przykładowo w sytuacji oceny pojazdu, którego naciski na oś są większe niż nacisk dopuszczalny na rolki w urządzeniu rolkowym. Zgodnie z obowiązującymi przepisami pomiary w takim wypadku wykonywane są na drodze.

Urządzenia optyczne nie są stosowane w praktyce diagnostycznej, są natomiast uznanymi i wykorzystywanymi rozwiązaniami do testów o charakterze poznawczym. Można przyjąć, że uzyskiwane nimi wyniki pomiarów stanowią poziom odniesienia, a nawet wzorzec dla innych przyrządów pomiarowych. Głowice optyczne pozwalają na rejestrację prędkości jazdy. Zatem sygnał z optycznej głowicy pomiarowej musi być różniczkowany dla uzyskania informacji o przyspieszeniu pojazdu. W celu weryfikacji wyników pomiarów uzyskiwanych przyrządami działającymi na odmiennych zasadach przeprowadzono testy drogowe z jednoczesnym wykorzystaniem różnych przyrządów.

2. PORÓWNANIE METOD BADAŃ

2.1 Urządzenia pomiarowe

Badania drogowe pojazdów samochodowych z wykorzystaniem różnych metod pomiaru opóźnienia hamowania prowadzone są od szeregu lat w Zakładzie Eksploatacji Pojazdów Samochodowych i Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Politechniki Krakowskiej. Zebrane doświadczenia pozwalają na podjęcie próby porównania i weryfikacji wyników uzyskiwanych przy zastosowaniu poszczególnych rozwiązań i konfiguracji aparatury pomiarowej.

¹Politechnika 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

Podczas hamowania następuje znaczne pochylenie nadwozia pojazdu i zmiany kąta pochylenia pojazdu w stosunku do nawierzchni drogi. W przypadku stosowania do pomiarów opóźnienia ruchu pojazdu urządzeń typu akcelerometrycznego ruch nadwozia pojazdu podczas hamowania może wpływać na dokładność przeprowadzanych pomiarów. Zwykle podczas pomiaru opróżnienia hamowania pojazdu na drodze przyrząd, lub jego czujnik pomiarowy mocowany jest na szybie, lub spoczywa wprost na podłodze pojazdu. Oznacza to, że konsekwencją zmiany położenia przetwornika akcelerometrycznego wywołanego zmianą położenia nadwozia podczas hamowania jest rejestrowanie przez opóźniomierz nie tylko opóźnienia hamowania, ale również przyspieszenia wynikającego właśnie ze zmiany kąta pochylenia nadwozia. Następstwem zmiany ustawienia nadwozia jest nie tylko brak zachowania poziomowania akcelerometru i w ten sposób rejestrowanie przez przetwornik przyspieszenia grawitacyjnego, ale i dodatkowo uwzględnienie przyspieszenia wynikającego z ruchu przetwornika względem osi obrotu nadwozia. Zagadnienie to zostało szerzej przeanalizowane w innych publikacjach [3].

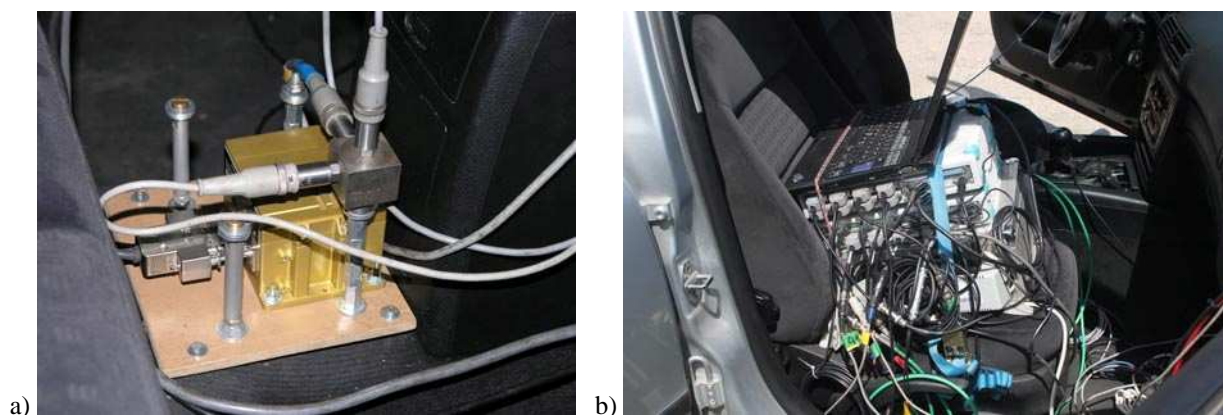
W trakcie pomiarów drogowych zmiany ustawienia nadwozia pojazdu w stosunku do nawierzchni drogi mogą być przykładowo określane dzięki pomiarowi przebiegu zmian położenia jego przedniej i tylnej części, co daje możliwość również łatwego określenia przemieszczenia kąтового. Możliwością alternatywną jest zastosowanie wielokierunkowego pomiaru przyspieszeń nadwozia. Dla przeprowadzenia porównania wyników uzyskiwanych tą metodą w stosunku do innych rozwiązań wykorzystywanych w badaniach drogowych wykonano analizy przebiegu opóźnień hamowania z szeregu prób.

Pojazdem badawczym, na którym wykonano testy drogowe był samochód osobowy klasy średniej, o zawieszeniu niezależnym. Z przodu pojazd wyposażony był w zawieszenie wielowahaczowe, natomiast z tyłu pojazdu wleczone wahacze wzdłużne połączone sztywną belką. Zarówno z przodu jak i z tyłu zamontowane były amortyzatory teleskopowe hydrauliczne dwustronnego działania. Podczas pomiarów założone były opony Dunlop SP9 o rozmiarze 195/65 R15.

W celu uzyskania jednolitych warunków drogowych, wszystkie pomiary opóźnień hamowania wykonano na suchej nawierzchni na tym samym odcinku pomiarowym, przy temperaturze otoczenia około 12°C. Początkowa prędkość hamowania w każdej serii pomiarów wynosiła 50 km/h, a podczas każdej z prób do rejestracji opóźnień wykorzystano jednocześnie różne przyrządy. W ten sposób uzyskane podczas prób drogowych przebiegi opóźnień mogły być porównane, co pozwoliło na ocenę rozbieżności rejestrowanych wyników.

Podczas pomiarów wykorzystano głowicę optyczną Correvit S-CE, która posłużyła do bezstykowego pomiaru drogi i prędkości wzdłużnej poruszającego się pojazdu, dwa różne opóźniomierze bezwładnościowe, oraz dwa zestawy przetworników mierzących zmiany przyspieszenia w trzech prostopadłych osiach.

Głowice pomiarowe typu Correvit znajdują powszechne zastosowanie w badaniach drogowych [4]. Są to urządzenia optyczne do pomiarów bezstykowych. Są one wyposażone w układ oświetlający oraz w układ optyczny, którego podstawowymi elementami są: obiektyw, raster pryzmatyczny i dwie fotokomórki. Zespół pomiarowy urządzenia mocuje się do samochodu nad nawierzchnią jezdni. Użyte do pomiarów opóźniomierze bezwładnościowe to przyrządy dopuszczone do stosowania na stacjach kontroli pojazdów samochodowych podczas badań kontrolnych układów hamulcowych Maha VZM-300, oraz XLmeter. Dodatkowo zmiany przyspieszeń mierzone były przy wykorzystaniu bloku pomiarowego VG440CA-200 firmy CT Inc., oraz zestawu przetworników przyspieszeń HBM B12/200 mierzących zmiany przyspieszenia w trzech prostopadłych osiach. Urządzenia pomiarowe podłączono do dwóch współpracujących ze sobą kaskadowo 16-bitowych, 8-kanałowych przetworników analogowo – cyfrowych firmy Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH. Przebiegi rejestrowano na komputerze. Rozmieszczenie aparatury rejestrującej, bloku pomiarowego i przetworników przyspieszenia we wnętrzu samochodu badawczego pokazano na rys.1.

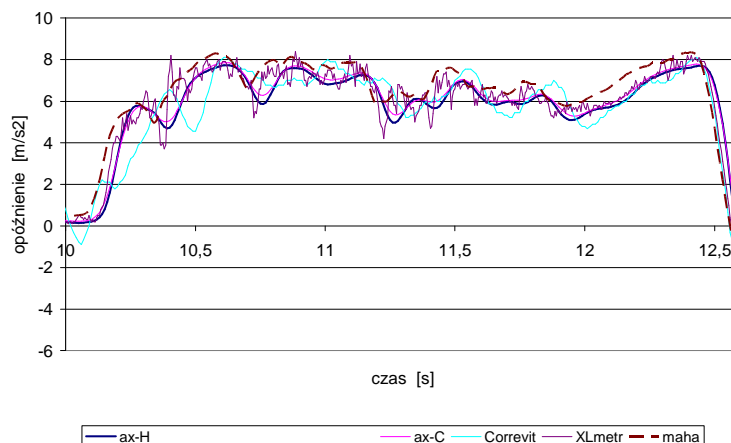


Rys.1. Aparatura pomiarowa, a) blok pomiarowy i zestaw przetworników przyspieszeń, b) wzmacniacze pomiarowe.

2.2 Analiza wyników

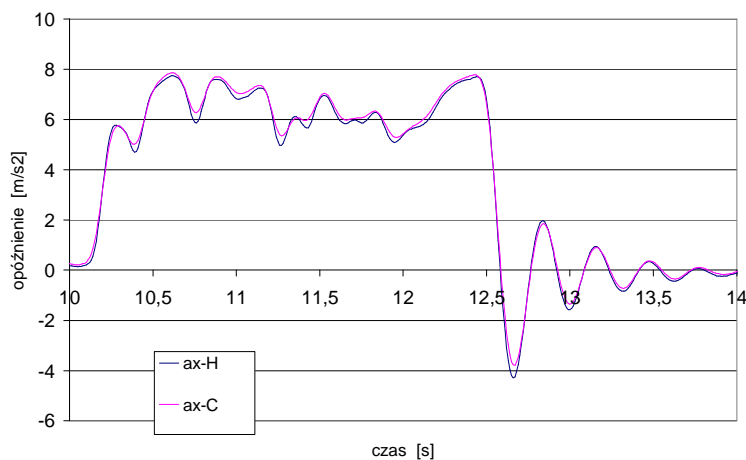
Przebiegi opóźnienia hamowania zarejestrowane podczas testów pozwoliły na ukazanie różnic występujących w poszczególnych metodach. Przykładowe wyniki pomiarów i obliczeń opóźnień zarejestrowanych podczas hamowania, mierzonych opóźniomierzami bezwładnościowymi oraz obliczanych w oparciu o pomiar przyrządem optycznym

Correvit, na podstawie pomiarów prędkości przedstawiono na rys.2. jak można zaobserwować na przestawionych przebiegach występują dość znaczne różnice w wartościach chwilowych opóźnienia hamowania. Pomiedzy opóźnieniomierzami bezwładnościowymi różnica wskazań przekracza 1 m/s^2 , a zatem chwilowe wartości opóźnienia różnią się o około 16%. W stosunku do przyrządu optycznego rozbieżność ta jest jeszcze większa i osiąga poziom 40% mierzonej wartości. Różnice w podobnym zakresie dają się obserwować również w stosunku do rejestrowanych wartości przez przetworniki przyspieszenia ustawione w podłużnej osi pojazdu, oznaczone na wykresie axH i axC. Natomiast analizując zmiany opóźnienia hamowania rejestrowane przez te dwa ostatnie przetworniki (to znaczy ustawione w osi wzdłużnej pojazdu przetworniki bloku pomiarowego i zestawu HBM) widzimy w pełni analogiczny przebieg podczas całego procesu hamowania, a także już po zatrzymaniu się pojazdu, co zostało pokazane na wykresie - rys.3.



Rys.2. Przykładowe przebiegi opóźnienia hamowania uzyskane podczas jednej próby różnymi metodami.

W przypadku przetworników ustawionych w osi wzdłużnej pojazdu konieczne jest wprowadzenie korekty odczytu opóźnienia, ponieważ były one na stałe związane z nadwoziem pojazdu i tym samym kąt ich ustawienia względem poziomu drogi ulegał zmianie w trakcie rejestracji opóźnienia. Zmiany nachylenia nadwozia mogą zostać ocenione w oparciu o przebieg sygnału z przetworników umieszczonych w pionowej osi pojazdu. Porównanie tych sygnałów daje wprost informację o kącie pochylenia nadwozia. Na rys.4 pokazano przebiegi zmian opóźnienia podczas próby hamowania uzyskane z bloku pomiarowego i przetwornika HBM. Linia pogrubioną zaznaczono przebieg skorygowany, z uwzględnieniem przechyłu nadwozia. Jak widać różnice pomiędzy przebiegami nie są zbyt znaczne, zawierają się w zakresie 10 do 12% mierzonej wartości i dają się zauważyć przede wszystkim w początkowym okresie hamowania, czyli właśnie wtedy gdy następuje zmiana położenia nadwozia. Zatem odnosząc przebieg zmian opóźnienia hamowania do zmian kąta pochylenia nadwozia można przyjąć, iż zarówno w początkowej jak i końcowej fazie hamowania przebiegi te odpowiadają sobie wzajemnie.



Rys.3. Zarejestrowane przebiegi opóźnienia hamowania z dwu przetworników ustawionych w podłużnej osi pojazdu

Podczas testów drogowych ocena hamulców w zakresie bezpieczeństwa powinna dać odpowiedź na pytanie czy pojazd hamowany od prędkości początkowej v_0 zatrzyma się na określonym odcinku drogi s_0 , dlatego też często do oceny wskaźnika skuteczności hamowania, który jest normowany przepisami [1,2], stosuje się wartość tzw. średniego pełnego

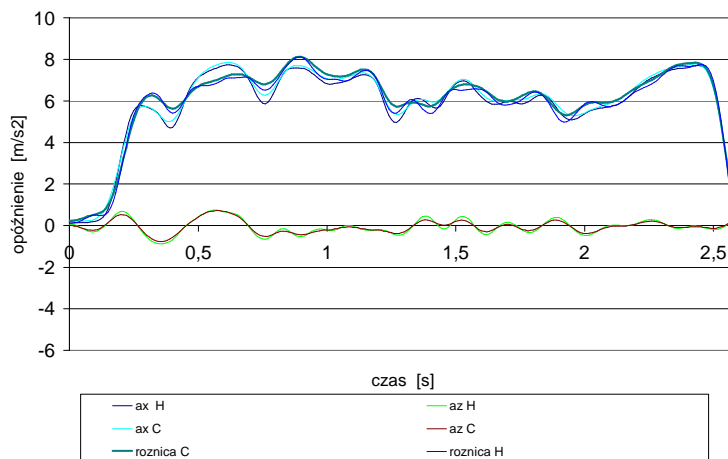
opóźnienia względem drogi [6]. Dla porównania, w jakim stopniu różnice w chwilowych wartościach rejestrowanych opóźnień hamowania wpływają na wartości uśrednione, wykorzystywane zgodnie z zaleceniami normy, wykonano obliczenia dla każdego z uzyskanych przebiegów, a otrzymane wyniki dla poszczególnych metod pomiaru zestawiono na wykresie – rys.5.

Wartość średniego pełnego opóźnienia względem drogi obliczono w przedziale czasu $t_B - t_E$, przy czym do obliczeń przyjęto następujące wartości:

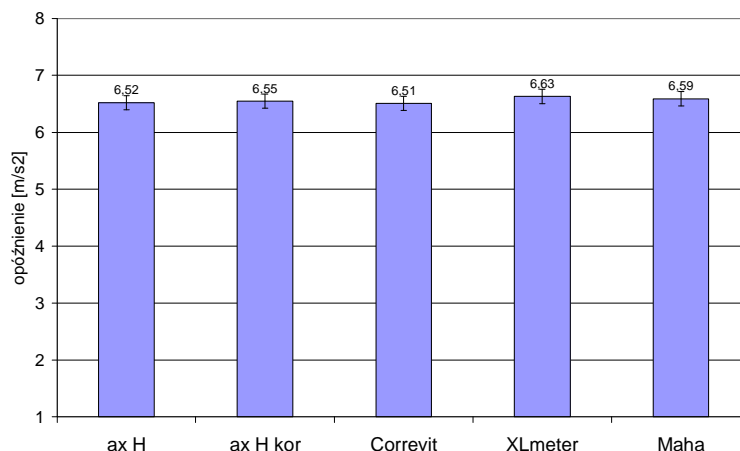
$$\begin{aligned} t_B &= t_1(a_{\max} / 2) + 0,3s \\ t_E &= t_2(a_{\max} / 2) - 0,1s \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie odpowiednio czas t_1 to moment, w którym w początkowej fazie hamowania uzyskiwane jest opóźnienie równe połowie maksymalnego zarejestrowanego podczas próby, a czas t_2 moment spadku wartości opóźnienia poniżej tej wartości na końcu hamowania.

Praktycznie wierne nakładanie się wskazań przetworników przyspieszeń z bloku pomiarowego i zestawu HBM potwierdza zgodność pomiarów. Różnice, jakie widoczne są w stosunku do przebiegów rejestrowanych innymi przyrządami nie zmieniają znacząco obliczonej w oparciu o te przebiegi wartości średniego pełnego opóźnienia hamowania, co widoczne jest na zestawieniu. Maksymalna różnica pomiędzy obliczonymi wartościami nie przekracza $0,15 \text{ m/s}^2$, która to różnica występuje pomiędzy wartościami obliczonymi dla przebiegów uzyskanych z urządzenia optycznego i opóźnieniomierza bezwładnościowego. W przypadku pozostałych metod różnice są jeszcze mniejsze. Najbardziej zbliżone wartości średnie uzyskano dla wyników z przyrządu optycznego i zestawów do wielosiowego pomiaru przyspieszeń.



Rys.4. Przebiegi opóźnienia hamowania z przetworników z uwzględnieniem korekty przechyłu nadwozia.



Rys.5. Wartości średniego pełnego opóźnienia hamowania.

3. WNIOSKI

Uzyskane w przeprowadzonych próbach wyniki pozwalają stwierdzić, iż zastosowanie do pomiaru opóźnienia hamowania pojazdu na drodze przyrządów pozwalających na wielokierunkowe pomiary przyspieszenia stanowią bardzo dobrą alternatywę dla przyrządów optycznych. Metoda ta zapewnia bardzo dobrą dokładność pomiarów i ich powtarzalność. Jednoczesny pomiar przyśpieszeń w pionowej, poprzecznej oraz wzdłużnej osi pojazdu pozwala na łatwe korygowanie wskazań wynikających ze zmian pochylenia nadwozia podczas hamowania pojazdu, co ma znaczenie w początkowej i końcowej fazie hamowania, czyli wtedy, gdy wartość przyspieszenia w osi czujnika ustawionego w osi wzdłużnej pojazdu jest największa. Korekta ta uwzględnia zarówno prędkość zmian nachylenia nadwozia w stosunku do nawierzchni drogi, jak i maksymalną wartość kąta pochylenia nadwozia.

Wartości średniego pełnego opóźnienia hamowania obliczane według wytycznych normy ISO na podstawie przebiegów opóźnienia uzyskanych z przyrządów pozwalających na wielokierunkowe pomiary są najbardziej zbliżone do obliczonych w oparciu o opóźnienie rejestrowane przez przyrządy optyczne.

4. 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] Szczypiński-Sala W., Strzępek P.: *Dokładność i błędy w drogowych pomiarach opóźnienia hamowania*, Logistyka 2011.
- [4] Materiały firmy Datron Messtechnik. Corrsys GmbH. Schwalbach, Germany.
- [5] Gajek A, Szczypiński-Sala W., Strzępek P.: *Ocena metod pomiarów opóźnienia hamowania pojazdu w warunkach drogowych*, Logistyka
- [6] Norma ISO/DTR 13487 F: *Braking of road vehicles - Definition of mean fully developed deceleration*.
- [7] Instrukcje obsługi opóźnieniomierzy.