

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

### **OCENA METOD POMIARÓW OPÓŹNIENIA HAMOWANIA POJAZDU W WARUNKACH DROGOWYCH**

*W artykule przedstawiono analizę metod pomiaru opóźnienia hamowania pojazdów podczas badań drogowych. Omówiono wyniki pomiarów wykonanych różnego typu przyrządami stosowanymi w badaniach drogowych, oceniono błędy popełniane podczas pomiarów.*

### **ASSESSMENT OF THE CAR BRAKE DECELERATION MEASUREMENT METHODS IN ROAD CONDITIONS**

*The paper presents the results of the road investigation of the car brake deceleration. The different measuring instruments with inertia mass were tested. The measuring errors in relation to optical device were calculated.*

#### **1. WSTĘP**

Skuteczne, sprawne i niezawodne działanie układu hamulcowego stanowi podstawowy warunek bezpiecznego użytkowania samochodu. Zgodnie z obowiązującymi przepisami [3, 4] ocenę skuteczności działania układu hamulcowego można przeprowadzać bezpośrednio, w próbach drogowych metodą pomiaru opóźnienia hamowania, a pośrednio, w warunkach stacjonarnych poprzez pomiar sił hamowania – metodami quasi statycznymi, lub dynamicznymi. W trakcie badań siła nacisku wywieranego na pedał hamulca zasadniczego nie powinna przekraczać 50 [daN] w samochodach osobowych i 70 [daN] w samochodach ciężarowych. Zarówno pomiary wykonywane metodą pośrednią jak i bezpośrednią wymagają specjalistycznych przyrządów diagnostycznych. Na rynku dostępnych jest wiele modeli opóźnieniomierzy, które mogą być wykorzystywane w badaniach drogowych. W praktyce opóźnieniomierze znajdują zastosowanie w stacjach kontroli pojazdów w przypadku konieczności wykonania badania diagnostycznego na drodze, dla pojazdu o nacisku na oś większym niż nacisk dopuszczalny na rolki w stanowisku pomiarowym.

W artykule przedstawiono ocenę wyników pomiarów opóźnienia hamowania samochodu osobowego, wykonanych wybranymi przyrządami dopuszczonymi do użytkowania w stacjach kontroli pojazdów.

---

<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. BADANIA DROGOWE

### 2.1. Obiekt badań

Podstawowym wskaźnikiem skuteczności działania układu hamulcowego jest droga hamowania, to znaczy odcinek drogi, który przebywa pojazd od chwili naciśnięcia przez kierowcę na pedał hamulca, do momentu zatrzymania. Czas, jaki upływa podczas gdy pojazd przebywa drogę hamowania nazywa się czasem hamowania i nie wlicza się do niego czasu reakcji kierowcy.

W badaniach drogowych powszechnie zastosowanie mają urządzenia optyczne do bezstykowego pomiaru drogi pokonywanej przez pojazd i prędkości [5]. Głowicę takiego urządzenia mocuje się do samochodu nad powierzchnią jezdni. Jest ona wyposażona w układ oświetlający oraz w układ optyczny, którego podstawowymi elementami są: obiektów, raster pryzmatyczny i dwie fotokomórki. Tego typu urządzeń nie stosuje się jednak w praktyce diagnostycznej. W badaniach kontrolnych pojazdów w warunkach drogowych, najczęściej przyjmowana metodyka oceny stanu mechanicznych i hydraulicznych elementów układu hamulcowego opiera się na pomiarach opóźnienia hamowania [3, 4].

Do pomiaru opóźnienia hamowania wykorzystuje się różne rozwiązania konstrukcyjne opóźnieniomierzy. Są to przyrządy wykorzystujące zasadę oddziaływania ruchomej masy na czujnik siły i na tej podstawie obliczania opóźnienia działającego na tę masę. Współczesne przyrządy pozwalają nie tylko na pomiar opóźnienia maksymalnego, ale także umożliwiają pomiar i rejestrację chwilowych wartości opóźnienia w czasie hamowania, oraz obliczenie wartości średnich. Rozwiązania te oparte są o piezoelektryczny układ pomiarowy.

Dla oceny, w jakim stopniu urządzenia różnych producentów mogą być wykorzystywane zamiennie, a ich wskazania odpowiadają sobie wzajemnie, wykonano w Zakładzie Eksploatacji Pojazdów Samochodowych i Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Politechniki Krakowskiej szereg prób, analizując przebiegi opóźnień hamowania zarejestrowane przez urządzenia trzech różnych producentów. Jako wzorcowy przyrząd pomiarowy przyjęto optyczną głowicę Correvit i z wynikami uzyskanymi za jego pomocą porównywano pozostałe przyrządy.

Pojazdem, badawczym był samochód osobowy klasy średniej, wyposażony w opony typu letniego o rozmiarze 195/65R15.

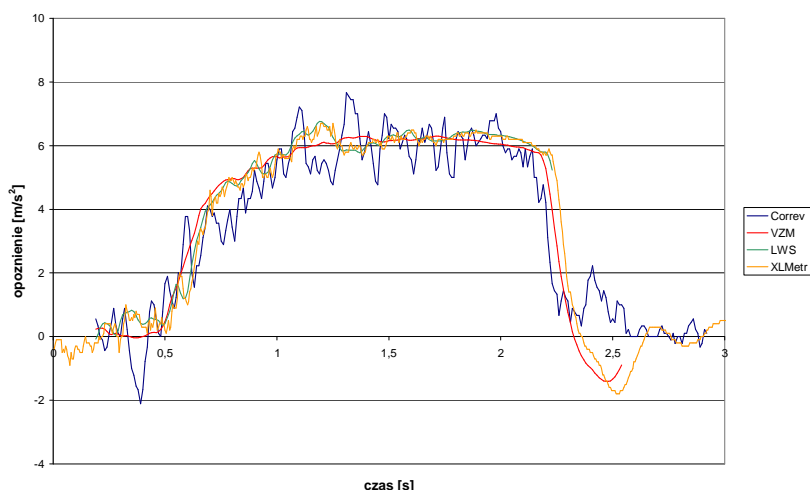
W celu uzyskania jednolitych warunków drogowych, wszystkie pomiary opóźnień hamowania wykonywano na suchej nawierzchni na tym samym odcinku pomiarowym, przy temperaturze otoczenia około 20°C. Podczas każdej z prób do rejestracji opóźnień wykorzystywano wszystkie przyrządy. Serie prób wykonano dla dwu różnych prędkości początkowych. Początkowa prędkość hamowania w pierwszej serii badań wynosiła 30 km/h, a w kolejnej 50 km/h.

### 2.2. Wyniki pomiarów

Uzyskane podczas prób drogowych przebiegi opóźnień pozwoliły na ocenę rozbieżności rejestrowanych wyników pomiędzy poszczególnymi przyrządami.

Na rys.1 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów i obliczeń opóźnień zarejestrowanych podczas hamowania, mierzonych trzema opóźnieniomierzami

bezwładnościowymi oraz obliczanych na podstawie pomiarów prędkości przyrządem optycznym Correvit,. Jak można zauważyć największe różnice pomiędzy poszczególnymi



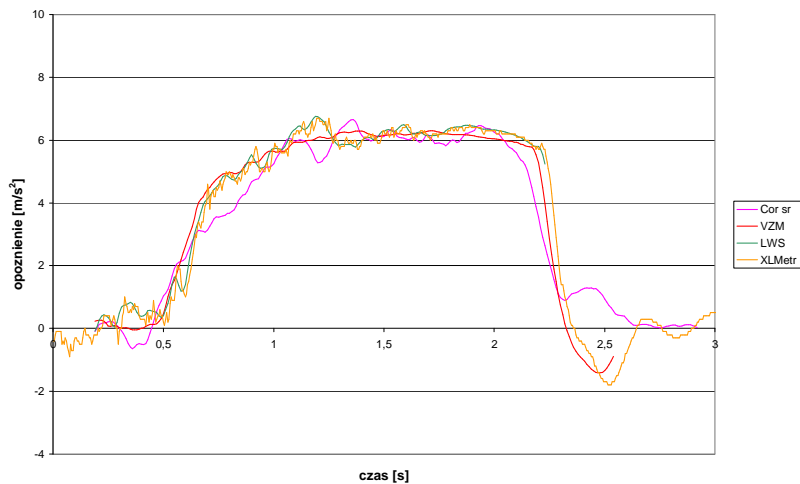
Rys.1. Porównanie opóźnienia zarejestrowanego trzema przyrządami bezwładnościowymi oraz obliczonego na podstawie pomiarów prędkości przyrządem Correvit, podczas hamowania od prędkości początkowej 30 km/godz.

przebiegami występują w końcowej fazie hamowania, natomiast w początkowej i zasadniczej fazie procesu odpowiadają sobie wzajemnie w znacznie większym stopniu, jakkolwiek również w początkowej części przebiegów widoczne są pomiędzy nimi pewne przesunięcia. Wpływają na to różne czynniki o odmiennym charakterze, przy czym zasadniczo największe znaczenie ma zachowanie się pojazdu podczas hamowania, to znaczy zmiana kąta wzdłużnego przechyłu nadwozia. W przypadku opóźnieniomierzy bezwładnościowych tzw. nurkowanie nadwozia, a następnie reakcja „odbicia” po zatrzymaniu, powoduje rejestrację przyspieszenia o zmieniającym się znaku (rys. 1, 2). Natomiast opóźnienie obliczane na podstawie rejestracji prędkości przyrządem Correvit ma taki sam znak zarówno w fazie „nurkowania” jak i „odbicia” (rys. 1).

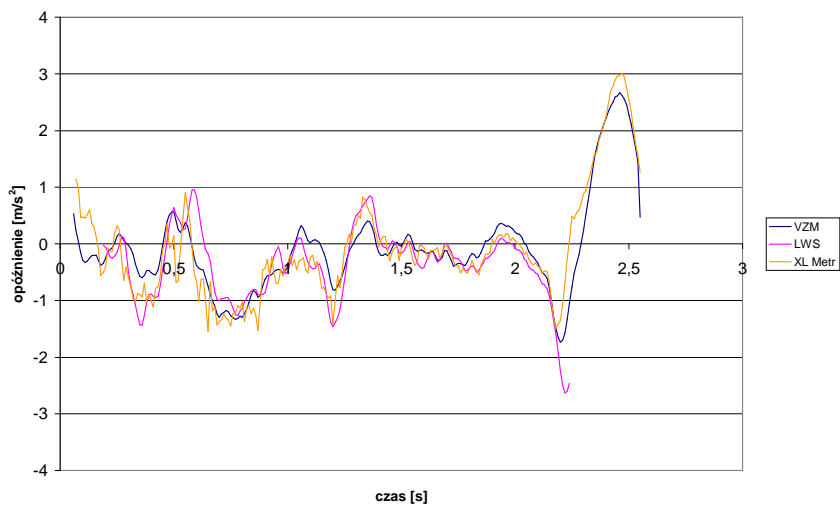
By lepiej zobrazować różnice pomiędzy przebiegami opóźnienia hamowania uzyskanymi przyrządami bezwładnościowymi, wartości opóźnienia odniesiono do przebiegu opóźnienia obliczonego na podstawie pomiarów prędkości głowicą Correvit (rys. 2). Przebieg ten został wygładzony poprzez zastosowanie średniej kroczącej:

$$\bar{a}_h = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} a_{hi}}{n}, \quad n = 12 \quad (1)$$

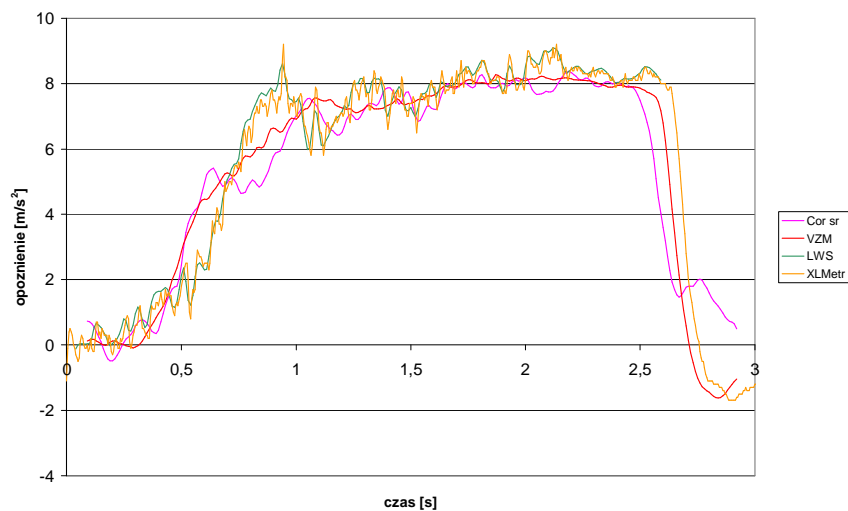
Chwilowe różnice w zarejestrowanych przebiegach podczas hamowania (rys. 3) sięgają 1,5 m/s<sup>2</sup>, a w momencie zatrzymania pojazdu nawet ponad 3 m/s<sup>2</sup>, co jednak, jak już wspomniano wcześniej jest wynikiem wzdłużnych wahań nadwozia pojazdu. Należy zwrócić uwagę, że faza zatrzymywania pojazdu nie jest uwzględniana w analizie tzw. średniego pełnego opóźnienia hamowania.



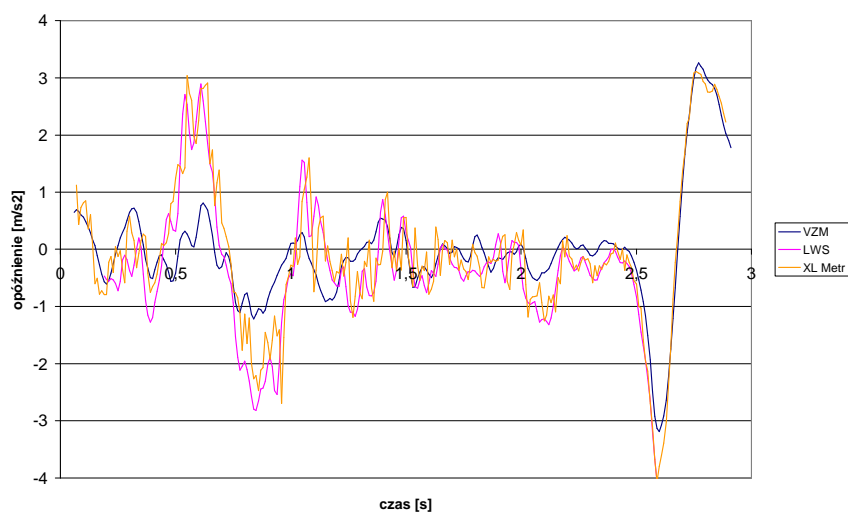
Rys.2. Porównanie opóźnienia samochodu, zarejestrowanego trzema przyrządami bezwładnościowymi oraz obliczonego na podstawie pomiarów prędkości przyrządem Correvit, podczas hamowania od prędkości początkowej 30 km/godz.



Rys.3. Porównanie różnicy w przebiegach opóźnień mierzonych opóźnieńmiernymi bezwładnościowymi w stosunku do opóźnienia obliczonego na podstawie pomiarów prędkości, podczas hamowania przedstawionego na rys. 2



Rys.4. Porównanie opóźnienia samochodu, zarejestrowanego trzema przyrządami bezwładnościowymi oraz obliczonego na podstawie pomiarów prędkości przyrządem Correvit, podczas hamowania od prędkości początkowej 50 km/godz.



Rys.5. Porównanie różnicy w przebiegach opóźnień mierzonych opóźnieniomierzami bezwładnościowymi w stosunku do opóźnienia obliczonego na podstawie pomiarów prędkości, podczas hamowania przedstawionego na rys. 4

Kolejna seria prób hamowania została przeprowadzona przy prędkości 50 km/h. Przykładowy przebieg zmian opóźnienia podczas takiej próby został pokazany na rys.4, a różnice w przebiegach z poszczególnych przyrządów pomiarowych pokazano na rys.5.

Uzyskane podczas prób przebiegi opóźnień miały analogiczny przebieg jak przy próbach hamowania z prędkości 30 km/h, z tą jednak różnicą, że wartości różnic wskazań dla wszystkich przyrządów uległy nieznacznemu zwiększeniu. Widać to wyraźnie na podstawie danych zestawionych w tab.1.

W oparciu o uzyskane podczas prób przebiegi opóźnienia hamowania, wyznaczono średnie pełne opóźnienie wg normy ISO [6].

### 2.3. Ocena średniego pełnego opóźnienia hamowania

Przepisy dotyczące opracowania wyników badań opóźnienia hamowania [3] nie określają jaką wartość opóźnienia dla rejestrowanego przebiegu należy zastosować do obliczenia wskaźnika skuteczności hamowania  $z$ :

$$z = \frac{a_h}{g} 100\% \quad (2)$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Przyjęcie wartości maksymalnej opóźnienia, lub średniej, ma istotny wpływ na wartość wskaźnika  $z$ , która podlega ocenie i na podstawie której kwalifikuje się hamulce jako sprawne lub niesprawne. Ustawodawca [3] nie określa, którą wartość mierzonego opóźnienia należy brać pod uwagę przy obliczeniach wskaźnika  $z$ .

Biorąc pod uwagę fakt, że ocena hamulców w zakresie bezpieczeństwa powinna dać odpowiedź na pytanie czy pojazd hamowany od prędkości początkowej  $v_0$  zatrzyma się na określonym odcinku drogi  $s_0$ , należy do oceny wskaźnika skuteczności hamowania zastosować wartość tzw. średniego pełnego opóźnienia względem drogi [6], obliczonego według zależności (3):

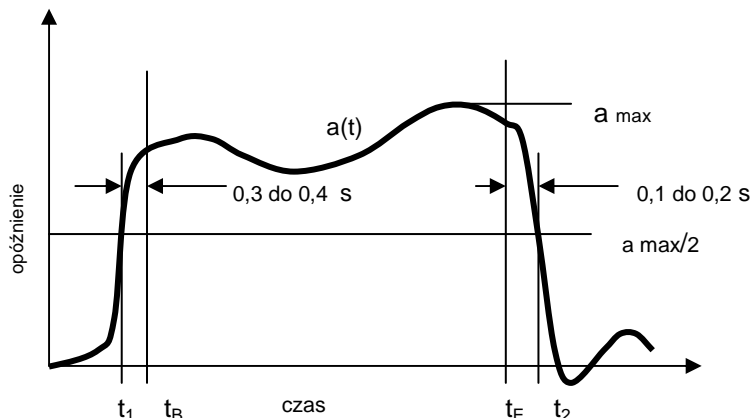
$$a_{ISO} = \frac{\frac{1}{2} \left( \sum_{i=B+1}^E \frac{a_{i-1} + a_i}{2} \right)^2}{(t_E - t_B) \times \sum_{i=B+1}^E \frac{a_{i-1} + a_i}{2} \times \Delta t - \sum_{i=B+1}^E \sum_{j=B+1}^i \frac{a_{j+1} + a_j}{2} \times \Delta t^2 + \sum_{i=B+1}^E \frac{a_{i-1} + a_i}{4} \times \Delta t^2} \quad (3)$$

Jest to wartość średnia opóźnienia obliczanego w przedziale czasu  $t_B - t_E$ . Sposób wyznaczania tego przedziału ilustruje rys. 6. Do obliczeń przyjęto następujące wartości:

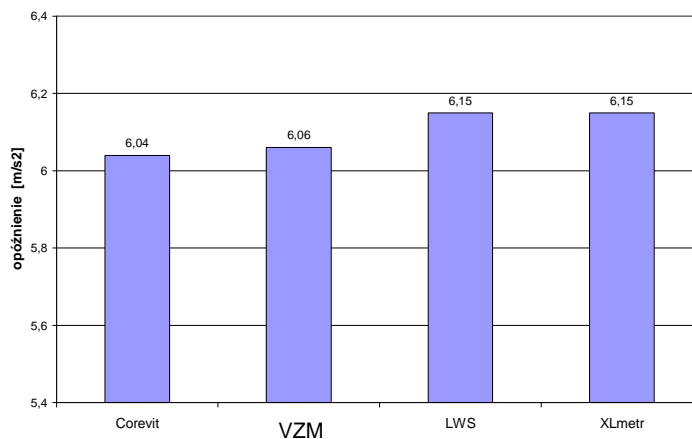
$$\begin{aligned} t_B &= t_1(a_{\max}/2) + 0,3s \\ t_E &= t_2(a_{\max}/2) - 0,1s \end{aligned} \quad (4)$$

Wyznaczone w ten sposób wartości średniego opóźnienia obliczanego w przedziale czasu  $t_B - t_E$  dla poszczególnych przyrządów są zbliżone, co ilustruje rys.7.

Badania wykazały, że wartości średniego pełnego opóźnienia hamowania, obliczane na podstawie pomiarów opóźnieniomierzami bezwładnościowymi, różniły się nie więcej niż o 2,1% od wyników uzyskanych na podstawie pomiarów prędkości przyrządem Correvit (tab. 1). Natomiast maksymalne różnice pomiędzy wynikami uzyskanymi trzema opóźnieniomierzami nie przekraczają 2%.



Rys.6. Schemat ilustrujący sposób wyznaczania przedziału do obliczeń średniego pełnego opóźnienia hamowania względem drogi



Rys.7. Wartości średniego pełnego opóźnienia obliczone na podstawie wskazań poszczególnych przyrządów

Tab. 1. Procentowe różnice średniego pełnego opóźnienia hamowania poszczególnych przyrządów bezwładnościowych w stosunku do wyników uzyskanych za pomocą głowicy Correvit

Prędkość początku hamowania	Opóźniomierz		
	VZM	LWS	XL Metr
30 km/h	0,3 %	1,6 %	1,5 %
50 km/h	0,2 %	2,1 %	2,1 %

### 3. WNIOSKI

Badania wykazały, że opóźnieniomierze typu bezwładnościowego mogą być stosowane w badaniach kontrolnych układów hamulcowych pojazdów samochodowych.

Różnice średniego pełnego opóźnienia hamowania obliczanego według wytycznych normy ISO [6] nie przekraczają 2% wartości uzyskiwanej przy zastosowaniu optycznego przyrządu wzorcowego. Najmniejsze odchylenia od przyjętego wzorca wykazywał opóźnieniomierz z kompensacją wzdłużnego przechyłu samochodu.

Ze względu na fakt, że wytyczne do badań hamulców [3,4] nie precyzują jaka wartość opóźnienia powinna być uwzględniana przy obliczaniu wskaźnika skuteczności hamulców, należy uzupełnić te wymagania. Wydaje się, że najwłaściwszą wartością do obliczenia tego wskaźnika jest tzw. średnie pełne opóźnienie hamowania względem drogi. Stosowane opóźnieniomierze powinny posiadać oprogramowanie do automatycznego obliczania tego opóźnienia.

Dokładność tego typu przyrządów, można uznać za wystarczającą. Należy zwrócić jednak uwagę na występujące różnice w rejestrowanych chwilowych wartościach opóźnień. Różnice te wynikają z samej zasady działania przyrządów oraz zachowania się pojazdu na drodze, to znaczy zmian kąta wzdłużnego przechyłu jego nadwozia. Wskazane różnice w uzyskiwanych wynikach mogą mieć znaczenie przy bardziej wnikliwych ocenach przebiegu całego procesu hamowania pojazdu.

### 4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Gajek A.: *System diagnostyki pokładowej układów hamulcowych pojazdów samochodowych*, Diagnostyka nr 1(45)/2008.
- [2] Roger L.: *Vehicle sensitiviti to brake torque differences – test and simulation results*, Int. Conf. on Aut. Braking, Leeds 2000.
- [3] 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.
- [4] Rozporządzenie Min. Infrastruktury z 31 grudnia 2002r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia. Dz. U. nr 32/2003.
- [5] Materiały firmy Datron Messtechnik. Corrsys GmbH. Schwalbach, Germany.
- [6] Norma ISO/DTR 13487 F: Braking of road vehicles - Definition of mean fully developed deceleration.
- [7] Instrukcje obsługi opóźnieniomierzy VZM 300, LWS 2, XLMeter.