

# Pomiar wartości opóźnienia hamowania dla sprawnego i niesprawnego układu hamulcowego samochodu osobowego

Mirosław Owczarz, Marcin Witkiewicz, Stanisław Taryma

## Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań: sprawny układ hamulcowy i niesprawny układ hamulcowy. Pomiary opóźnienia hamowania przeprowadzono na suchej nawierzchni asfaltowej. Wykonano układ, który rozszczelnia przewód hamulcowy przy przednim prawym kole w czasie jazdy. Wykonano symulację wycieku płynu hamulcowego.

**Słowa kluczowe:** samochód, sterowność, hamowanie, opóźnienie hamowania.

## Wstęp

W pracy przedstawiono zarys problematyki dotyczącej uszkodzeń mogących wystąpić w układach hamulcowych pojazdów oraz wyniki badań drogowych procesu hamowania samochodu osobowego na suchej nawierzchni asfaltowej, w trakcie którego wystąpiła niesprawność układu hamulcowego. Niesprawność układu hamulcowego polegała na rozszczelnieniu jednego z obwodów układu tj. uszkodzenie przewodu hamulcowego doprowadzającego płyn hamulcowy do elementów wykonawczych przedniego prawego koła. Podstawowym celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu wystąpienia tego uszkodzenia na rzeczywiste opóźnienia uzyskiwane przez pojazd. W badaniach drogowych w wyniku powstania uszkodzenia wywołano zanik sił hamujących na przednim prawym kole pojazdu. Badania wykonano z funkcjonującym układem ABS oraz po jego wyłączeniu. Wyniki badań drogowych przedstawiono w postaci charakterystyk wybranych parametrów ruchu pojazdu w funkcji czasu.

Skuteczność hamowania pojazdów jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na bezpieczeństwo ruchu.

Droga zatrzymania pojazdu zależy od prędkości pojazdu, wartości współczynnika przyczepności opony do jezdni oraz stanu technicznego pojazdu (układu hamulcowego, kierowniczego oraz zawieszenia).

Opóźnienie hamowania jest jednym z podstawowych parametrów ustalenia prędkości pojazdu w okresie bezpośrednio poprzedzającym zderzenie z przeszkodą lub też w trakcie wypadku. Parametr ten jest zależny od wielu czynników takich jak: stan nawierzchni podłoża, po którym przemieszcza się hamujący pojazd, rodzaj i stan ogumienia kół, stan układu hamulcowego i zawieszenia pojazdu.

Analiza przebiegu hamowania jest jedną z podstawowych czynności przeprowadzanych w ramach rekonstrukcji przebiegu zdarzenia drogowego. W warunkach zakłócenia tego procesu

przez awarię układu hamulcowego zachodzi konieczność oceny wpływu tego zakłócenia (awarii, niesprawności) na przebieg hamowania i parametry ruchu pojazdu. Oceny tej dokonać można poprzez analizę wyników i spostrzeżeń otrzymanych po wykonaniu prób drogowych pojazdu, w którym wywołano stan awaryjny układu hamulcowego, w trakcie procesu hamowania. Wnioski z takiej analizy, szczególnie dotyczące uzyskiwanego przez pojazd opóźnienia i jego zmiany, a co z a tym idzie długości drogi hamowania mają istotny wpływ na rekonstrukcję zdarzenia drogowego, w trakcie którego stwierdzono awarię układu hamulcowego polegającą na rozszczelnieniu jednego z obwodów hamulcowych.

Z powodu niesprawności technicznej pojazdu aż 65 % wypadków spowodowanych jest niesprawnością układu hamulcowego.

## 1. Metodyka

Wszystkie badania zostały wykonane w jednym dniu na suchej, asfaltowej nawierzchni jezdni, przy temperaturze dodatniej. Do badań użyto samochodu Toyota Corolla. Samochód był rozpędzany do prędkości ok. 50 km/h, a następnie intensywnie hamowany. Wykonano próby dla sprawnego i niesprawnego układu hamulcowego (w którym podczas hamowania następował wyciek płynu hamulcowego – imitacja pęknięcia przewodu hamulcowego podczas ekstremalnego hamowania). Do pomiarów opóźnienia hamowania samochodu użyto samorejestrujących opóźnień o mierzy: CL 170 to produkt Zakładu Elektroniki Pomiarowej Wielkości Nielektrycznych J. Czerwiński i wspólnicy oraz LWS-2/MC firmy TEST-POL, Zakład Mechaniki Precyzyjnej. Użyte do badania urządzenie spełnia wymagania zgodne z zaleceniami Rozporządzenia Ministra Transportu i Budownictwa w sprawie szczegółowych wymagań w stosunku do stacji przeprowadzających badania techniczne pojazdów. Podczas prób rejestrowano między innymi: opóźnienie maksymalne oraz opóźnienie średnie.

## 2. Obiekt badań

Do przeprowadzenia pomiarów posłużył samochód osobowy Toyota Corolla E 12, typ nadwozia kombi, silnik benzynowy, rok produkcji 2004 (rys. 1).

Wykonano układ wywołujący awarię jednego z obwodów hamulcowych w trakcie procesu hamowania.

Zadaniem dodatkowego układu (rys. 2) było wywołanie awaryjnego stanu układu hamulcowego polegającego na rozszczelnieniu jednego z obwodów.



Rys. 1. Pojazd badawczy Toyota Corolla



Rys. 2. Dodatkowy układ został wykonany w komorze silnika samochodu Toyota

## 3. Budowa i zasada działania układu wywołującego awarię jednego z obwodów hamulcowych

Działanie układu polegało na rozszczelnieniu przewodu hamulcowego przekazującego ciśnienie z rozdzielacza ABS-u do przedniego prawego koła. Bezpośrednio za gniazdem wyjściowym z modulatora przeznaczonego dla przedniego prawego koła umieszczony został rozdzielacz, który umożliwiał przepływ płynu hamulcowego z modulatora do koła oraz w kierunku elektrozaworu, z którym połączony był za pomocą sztywnego przewodu. Elektrozawór przytwierdzony był do nadkola pojazdu. W stanie normalnym, bez podania napięcia na cewkę, elektrozawór był zamknięty, nie było możliwości wypływu płynu hamulcowego do atmosfery (zbiorniczka płynu). W takim stanie po naciśnięciu na pedał hamulca zasadniczego płyn hamulcowy przekazywany był przez trójnik na przednie prawe koło – nie następowało rozszczelnienie obiegu. Układ hamulcowy pojazdu w takim stanie był w pełni sprawny.

Elektryczny układ sterujący elektrozaworem zasilany był z instalacji elektrycznej pojazdu. Założono, że awaria obiegu (rozszczelnienie przewodu) nastąpić ma w fazie, gdy pojazd będzie już w pełni hamowany. Jako sygnał sterujący wykorzystano napięcie pojawiające się na zaciskach tylnego środkowego światła stopu, w chwili naciśnięcia pedału hamulca zasadniczego, przy czym mogło ono być przekazywane przez regulowany przełącznik, na elektrozawór, ze zwłoką w zakresie 0-5 sekund. Opóźnienie takie umożliwiało wprowadzenie pojazdu w fazę pełnego hamowania, a następnie wywołanie awarii obiegu. Czas zwłoki ustalono w trakcie prób i uzależniony był on od czasu trwania hamowania pojazdu do zatrzymania, a więc przede wszystkim do prędkości początkowej pojazdu i stanu nawierzchni. W ten sposób po rozpędzeniu pojazdu do założonej prędkości początkowej, rozpoczęciu hamowania i wprowadzeniu pojazdu w fazę pełnego hamowania następowało otwarcie elektrozaworu, skutkujące rozszczelnieniem obwodu hamulcowego przedniego prawego koła. W takiej sytuacji następował przez elektrozawór wypływ płynu hamulcowego do zbiorniczka płynu zamocowanego w komorze silnika (atmosfery). Za elektrozaworem umieszczony został zawór zwrotny, który po wystąpieniu awarii uniemożliwiał zapowietrzenie się układu hamulcowego pojazdu. W elektrycznym obwodzie sterującym umieszczony był wyłącznik (przycisk) bezpieczeństwa. Zadziałanie elektrozaworu determinowane było wciśnięciem tego przycisku – jego zwolnienie powodowało natychmiastowe zamknięcie elektrozaworu i przywrócenie sprawności układu hamulcowego. Takie rozwiązanie gwarantowało możliwość bezpiecznej jazdy pomiędzy poszczególnymi próbami hamowania, a czasie wykonywania próby możliwość przywrócenia sprawności układowi hamulcowemu. W trakcie badań przeprowadzono również próby hamowania pojazdu z pełni szczelnym układem hydraulicznym, z załączonym (działającym) układem ABS-u, oraz po wyłączeniu tego układu.

## 4. Podstawy prawne

Rozporządzenie Ministerstwa Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 26 czerwca 2012 r. w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz wzorów dokumentów stosowanych przy tych badaniach. Dz. U. z dnia 7 września 2012 r. podaje, że skuteczność hamowania należy uznać za odpowiadającą wymaganiom, jeżeli zmierzone opóźnienie hamowania jest nie mniejsze od wymaganego.

Wskaźnik skuteczności hamowania określony na podstawie zmierzonego opóźnienia hamowania oblicza się według wzoru:

$$z = \frac{b}{g} \times 100 \quad (1)$$

gdzie:

z - wskaźnik skuteczności hamowania (%),  
b - zmierzone opóźnienie hamowania (m/s<sup>2</sup>),  
g - przyspieszenie ziemskie (należy przyjmować 10 m/s<sup>2</sup>).

Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej z 30.09.2010 roku, załącznik nr 4 Badanie hamowania określa zależność na średnie w pełni rozwinięte opóźnienie ( $d_m$ ) należy obliczyć jako opóźnienie średnie w odniesieniu do drogi w przedziale od  $V_b$  do  $V_c$  zgodnie z następującym wzorem:

$$d_m = \frac{V_b^2 - V_c^2}{25,92(S_e - S_b)} \quad [m/s^2] \quad (2)$$

gdzie:

$V_o$  - prędkość początkowa pojazdu w km/h.,  
 $V_b$  - prędkość pojazdu odpowiadająca 0,8  $V_o$  w km/h,  
 $V_e$  - prędkość pojazdu odpowiadająca 0,1  $V_o$  w km/h,  
 $S_b$  - droga przebyta między  $V_o$  i  $V_b$  w metrach,  
 $S_e$  - droga przebyta między  $V_o$  i  $V_e$  w metrach.

Zależność ta, wywodząca się bezpośrednio z regulaminu nr 13 Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ, jest powszechnie stosowana do obliczenia opóźnienia hamowania na potrzeby powypadkowego badania pojazdów.

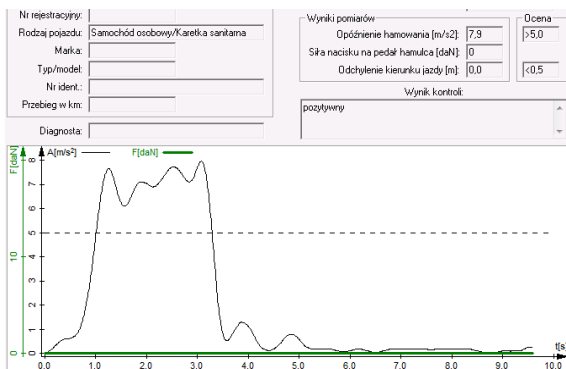
## 5. Wyniki badań

W czasie badań wykonano łącznie 24 próby hamowania.

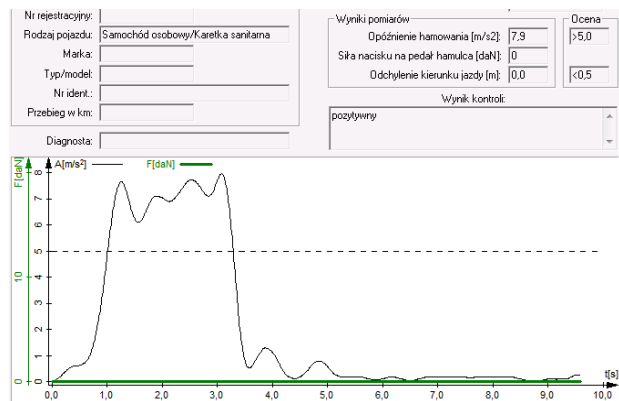
### 5.1 Maksymalne opóźnienie hamowania

Maksymalne opóźnienie hamowania przydatne jest do obliczania wskaźnika skuteczności hamowania do badań technicznych przeprowadzanych na Stacji Kontroli Pojazdów. Natomiast jest ono mało przydatne w praktyce eksperckiej do powypadkowego badania pojazdów.

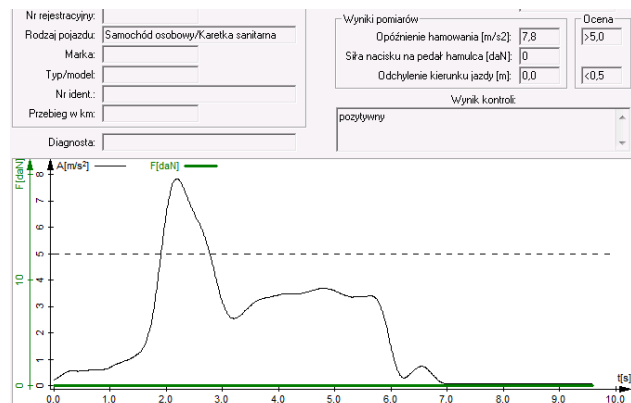
Poniżej przedstawiono charakterystyki maksymalnego opóźnienia hamowania wykonane za pomocą przyrządu pomiarowego CL 170.



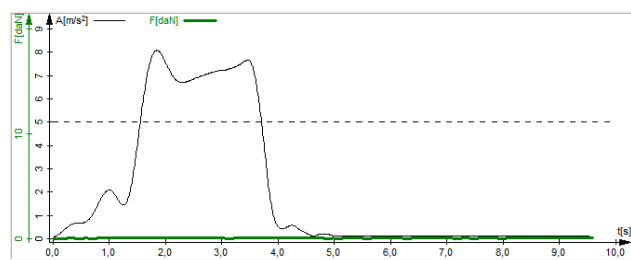
**Rys. 3.** Sprawny układ hamulcowy. Maksymalne opóźnienie hamowania 7,9 m/s<sup>2</sup>, czas hamowania 2,9 s



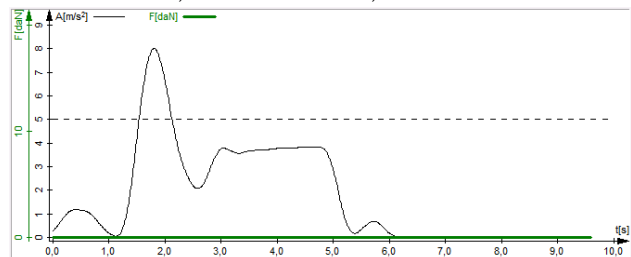
**Rys. 4.** Sprawny układ hamulcowy. Maksymalne opóźnienie hamowania 7,7 m/s<sup>2</sup>, czas hamowania 3 s



**Rys. 5.** Niesprawny układ hamulcowy Wyciek płynu hamulcowego podczas hamowania. Maksymalne opóźnienie hamowania 7,8 m/s<sup>2</sup>, czas hamowania 4,5 s



**Rys. 6.** Sprawny układ hamulcowy. Maksymalne opóźnienie hamowania 8 m/s<sup>2</sup>, czas hamowania 2,7 s

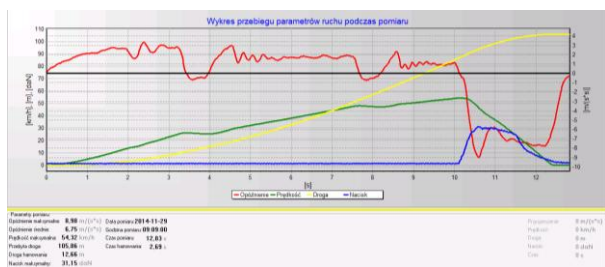


**Rys. 7.** Niesprawny układ hamulcowy. Maksymalne opóźnienie hamowania 8 m/s<sup>2</sup>, czas hamowania 5 s

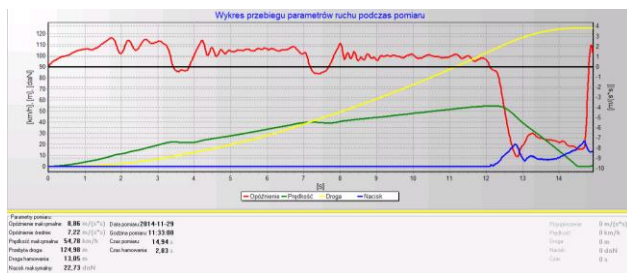
## 5.2 Średnie pełne opóźnienie hamowania

Przyrząd LWS-2/MC oblicza i podaje wartość średniego pełnego rozwiniętego opóźnienia hamowania które jest zgodne z regulaminem nr 13.

Poniżej przedstawiono charakterystyki wartości średniego pełnego rozwiniętego opóźnienia hamowania oraz maksymalnego opóźnienia hamowania wykonane za pomocą przyrządu pomiarowego LWS-2/MC.



**Rys. 8.** Sprawny układ hamulcowy. Maksymalne opóźnienie hamowania 8,84 m/s<sup>2</sup>, wartość średniego rozwiniętego opóźnienia hamowania 6,95 m/s<sup>2</sup>, czas hamowania 2,7 s



**Rys. 9.** Sprawny układ hamulcowy. Maksymalne opóźnienie hamowania 8,86 m/s<sup>2</sup>, wartość średniego rozwiniętego opóźnienia hamowania 7,22 m/s<sup>2</sup>, czas hamowania 2,83 s



**Rys.10.** Niesprawny układ hamulcowy. Maksymalne opóźnienie hamowania 8,89 m/s<sup>2</sup>, wartość średniego rozwiniętego opóźnienia hamowania 4,65 m/s<sup>2</sup>, czas hamowania 4,1 s

## Podsumowanie

Trzeba zawsze sprawdzić czy badany pojazd który brał udział w wypadku miał sprawny układ hamulcowy, czy podczas intensywnego hamowania nie nastąpiło rozszczelnienie układu lub wyciek płynu hamulcowego

Przyjęcie zaniżonej lub zawyżonej wartości do osiągnięcia opóźnienia hamowania samochodu może skutkować błędnym wyliczeniem jego prędkości początkowej lub drogi zatrzymania, co, w skrajnym przypadku, może prowadzić nawet do wydania opinii błędnej co do przyczyn wypadku.

## Bibliografia

1. Miesięcznik – Paragraf Na Drodze 2011, nr 10. Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków.
2. Paragraf na drodze, prawne i kryminalistyczne problemy ruchu drogowego – zbiór referatów, numer specjalny, roczniki 2002, 2009, 2013 Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków.

# The measurement of values for efficient and inefficient braking system of a vehicle

## Abstract

The article presents the results: the efficient braking system and the malfunction braking system. Deceleration measurements were carried out on dry asphalt. The system which breaches the brake line at the front right wheel while driving was made. The simulation of the leak of the brake fluid was made.

**Key words:** decelerometer, braking deceleration

## Autorzy:

Mgr inż. **Mirosław Owczarz** - Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny  
Mgr inż. **Marcin Witkiewicz** - Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny  
Dr hab. inż. Prof. nadz. PG **Stanisław Taryma** - Politechnika Gdańska

