

Wybrane aspekty

BADANIA STANU TECHNICZNEGO UKŁADU HAMULCOWEGO

samochodu osobowego po zdarzeniu drogowym

dr inż. Robert Janczur, prof. PK

podkom. Jolanta Zawaleń

Katedra Pojazdów Samochodowych Politechniki Krakowskiej

Zakład Szkoleń Specjalnych CSP

W artykule przedstawiono problematykę badania wyposażenia i stanu technicznego układu hamulcowego samochodów osobowych uczestniczących w zdarzeniach drogowych i uszkodzonych w stopniu umożliwiającym włączenie zasilania instalacji elektrycznej pojazdu i ewentualne przeprowadzenie jazdy próbnej. Bardzo ważnym elementem takiej jazdy jest wykonanie próby ekstremalnego hamowania, która nie tylko pozwala na określenie parametrów hamowania, ale także może potwierdzić działanie systemu ABS. W artykule zwrócono także uwagę na sposób i ryzyko bezkrytycznego wykorzystania wyników próby hamowania wykonanej przy odczycie prędkości początkowej hamowania z prędkościomierza pojazdu i pomiary długości śladów pozostawionych przez koła pojazdu. Zamieszczone przykładowe obliczenia i wyniki badań drogowych samochodu osobowego średniej klasy, z wykorzystaniem aparatury pomiarowej różnej klasy, mogą stanowić materiał dydaktyczny z zakresu specjalistycznego szkolenia policjantów i krytycznego podejścia biegłych sądowych do problemu powypadkowego badania pojazdów.

Wstęp

Układ hamulcowy jest podstawowym układem decydującym o bezpieczeństwie czynnym pojazdu. Od skuteczności jego działania zależy bezpieczeństwo ruchu drogowego, ale od faktycznej jego konfiguracji i wyposażenia oraz stanu technicznego zależą także efekty pracy biegłych sądowych, którzy opracowują opinie w zakresie rekonstrukcji przebiegu zdarzenia i analizy możliwości jego uniknięcia. To z kolei przekłada się na efekt decyzji merytoryczno-prawnych organów procesowych. Należy podkreślić, że badanie wyposażenia i stanu technicznego układu hamulcowego samochodu osobowego uczestniczącego w zdarzeniu drogowym nie jest skomplikowane, szczególnie w pojeździe, którego stan umożliwia przeprowadzenie jazdy próbnej, i jest niezbędne.

Zabezpieczanie procesowe pojazdów po zdarzeniach drogowych do badań przez biegłego sądowego lub specjalistów laboratoriów kryminalistycznych komend wojewódzkich Policji jest stosowane tylko w niektórych przypadkach, najczęściej po zdarzeniach o „znacznych” skutkach lub z udziałem pojazdów, których stan techniczny – oceniany wizualnie lub na podstawie występujących na jezdni śladów – co najmniej budzi wątpliwości. Jeśli takie badania zostaną wykonane rzetelnie i właściwie opisane w opinii, materiał dowodowy zawiera bardzo ważne informacje dla biegłego rekonstruującego przebieg zdarzenia. Informacje te dotyczą nie tylko wyposażenia bądź niewyposażenia pojazdu w system ABS, ale także braku oznak niesprawności takiego systemu czy skuteczności hamowania samochodu – jeżeli można przepro-

wadzić próbę hamowania w warunkach drogowych. Kiedy samochód uczestniczący w wypadku drogowym poddawany jest czynnościom procesowym bez udziału biegłego, to bardzo często w treści protokołu oględzin pojazdu dotyczącej systemu ABS widnieje informacja: „brak możliwości ustalenia”. Pojawia się tym samym pytanie, czy samochód został wyposażony w system ABS. A jeżeli nawet został wyposażony (i znalazło to odzwierciedlenie w protokole), to czy jego działanie zostało sprawdzone i zaznaczono opcję „brak możliwości ustalenia”? Czy może działanie systemu zostało sprawdzone niewłaściwie, w sposób niejednoznaczny lub wręcz sprzeczny z ujawnionymi na miejscu zdarzenia śladami hamowania?

Niestety bardzo często w opiniach niektórych biegłych sądowych i specjalistów z laboratoriów kryminalistycznych dotyczących stanu układu hamulcowego pojawia się tylko jedno zdanie. Tak daleko idące braki opisu charakterystyki układów hamulcowych pojazdów w opiniach powodują, że biegłym rekonstruującym zdarzenie drogowe brakuje podstawowych informacji lub te zawarte w technicznych opiniach wymagają dodatkowego przesłuchania świadków i doprecyzowania opinii pisemnej. Biegły rekonstruujący zdarzenie, mając tak niedoskonały materiał dowodowy, albo zmuszony jest do przyjęcia „katalogowego” i „domyślnie sprawnego” układu hamulcowego, albo – w uzasadnionych przypadkach – rozpatruje zdarzenie wersyjnie.

Właśnie te, bardzo ważne, aspekty przeprowadzania oględzin i badań układu hamulcowego samochodów osobowych na miejscach zdarzeń stały się inspiracją do napisania przedmiotowego artykułu i dalszych opracowań, nawiązujących do badania układów hamulcowych pojazdów jednośladowych i pojazdów ciężarowych.

Należy wyraźnie podkreślić, że po kilkunastu latach od wprowadzenia obowiązku wyposażania samochodów w system ABS sposób identyfikacji i badań (choćby w pewnym, ograniczonym zakresie) tego systemu w pojeździe nie powinien stanowić problemu dla przeszkolonych i przygotowanych do pełnienia służby na drogach funkcjonariuszy Policji. Obligatoryjne przyjmowanie, że w pojeździe wyprodukowanym i zarejestrowanym po raz pierwszy na zachodzie Europy po 1 lipca 2004 r., a w Polsce – po 1 lipca 2006 r. system ABS jest i działa poprawnie, jest co najmniej niewłaściwe. Znane są bowiem przypadki niesprawności tych systemów w samochodach fa-

identyfikację wyposażenia układu hamulcowego w system ABS oraz badania jego działania, szczególnie w pojazdach, w których uszkodzenia powypadkowe umożliwiają przeprowadzenie jazdy próbnej.

Analiza problemu w ujęciu ogólnym

Zdarzenia drogowe bardzo często mają skomplikowany przebieg, a ich rekonstrukcja i analiza ciągu zdarzeń wymagają rzetelnego, szczegółowego i właściwie zebranego materiału dowodowego, do którego bezspornie zaliczyć należy protokół oględzin miejsca wypadku drogowego, protokół oględzin pojazdu, dokumentację fotograficzną z miejsca zdarzenia i jeśli zostały zabezpieczone do badań przez biegłego – pojazdy biorące udział w zdarzeniu jako ślady bądź ich nośniki. Dobrą praktyką, choć stosowaną niestety w niewielkich jednostkach Policji, a bardzo ułatwiającą późniejsze ustalenie takich kwestii, jak wyposażenie samochodu, masa własna pojazdu istotna z punktu widzenia rekonstrukcji zdarzenia, jest fotografowanie na miejscu wypadku lub późniejsze kserowanie w jednostce dowodu rejestracyjnego pojazdu uczestniczącego w zdarzeniu. Wspomniane dane są obecnie dostępne w formie cyfrowego dowodu rejestracyjnego z poziomu czynności kontrolnych funkcjonariusza w CEPiK 2.0 w części dotyczącej Centralnej Ewidencji Pojazdów. Dane takie należy pozyskać i dołączyć do akt sprawy.

Zdjęcie, kserokopia dowodu rejestracyjnego czy dane cyfrowe sprawiają, że nie ma wątpliwości co do oznaczenia numeru VIN pojazdu, który wpisany do protokołu oględzin pojazdu, nie zawsze jest czytelny w zakresie każdej litery czy cyfry ze względu na charakter pisma (zob. wytyczne nr 2 Komendanta Głównego Policji z dnia 15 maja 2020 r. zmieniające wytyczne w sprawie wykonywania niektórych czynności dochodzeniowo-śledczych przez policjantów – § 45 pkt 7 ppkt 2: *jeżeli protokół jest nieczytelny, należy sporządzić jego odpis oraz wraz z oryginałem dołączyć do akt postępowania*). Utrudnia to w znaczący sposób sprawne działanie zarówno biegłemu, jak też stronom procesowym. Protokół bowiem nie jest spisany dla prowadzącego czynności. Na podstawie tego protokołu można ustalić w autoryzowanym serwisie wyposażenie fabryczne pojazdu, które często nie jest zbieżne z aktualnym. Problem tuningu i znanych autorom zmian w pojazdach jest obszerny. Pewne wskazówki

Poduszki powietrzne: kierowcy: JEST, BRAK , wystrzeliła – TAK, NIE pasażera: JEST, BRAK , wystrzeliła – TAK, NIE inne (jaki?), wystrzeliły: TAK, NIE	H
Pasy bezpieczeństwa: czy jest zablokowany – NIE TAK, który pas	
Układ ABS: NIE MA, JEST – DZIAŁA, NIE DZIAŁA, BRAK MOŻLIWOŚCI USTALENIA	
Układ ASR: NIE MA, JEST – DZIAŁA, NIE DZIAŁA, BRAK MOŻLIWOŚCI USTALENIA	
Układ stabilizacji toru jazdy NIE MA, JEST – DZIAŁA, NIE DZIAŁA, BRAK MOŻLIWOŚCI USTALENIA	
Układ inny: (jaki ?) DZIAŁA, NIE DZIAŁA, BRAK MOŻLIWOŚCI USTALENIA	

Ryc. 1. Fragment protokołu oględzin pojazdu dotyczący wyposażenia i działania m.in. układu ABS.

brycznie w nie wyposażonych, a w przypadku pojazdów wyprodukowanych przed wspomnianą datą – tylko w niektórych modelach klasy średniej i wyższej system ten był wyposażeniem standardowym.

W niniejszym opracowaniu zwrócono uwagę na niektóre aspekty techniczne i pewne proste czynności umożliwiające

w zakresie możliwości ustalenia wyposażenia samochodu w system ABS i jego działania zamieszczono w dalszej części opracowania. Autorzy mają nadzieję, że te wskazówki spowodują coraz mniejszą liczbę wpisów w punkcie H protokołu oględzin o treści: „Układ ABS: BRAK MOŻLIWOŚCI USTALENIA”, jak na ryc.1.

BADANIE STANU TECHNICZNEGO UKŁADU HAMULCOWEGO

Jeżeli po zdarzeniu drogowym pojazd poddany jest czynnościom procesowym i nie jest zabezpieczony do dalszych badań, to cała wiedza o jego wyposażeniu i stanie ogranicza się do treści protokołu i dokumentacji fotograficznej. Dlatego autorzy jeszcze raz podkreślają wagę rzetelności czynności opisywania wyposażenia i stanu układu hamulcowego pojazdu poddanego oględzinom. To w zależności od wyposażenia i działania lub niedziałania systemu ABS bieży rekonstruujący i analizujący przebieg zdarzenia będzie musiał przyjąć wartość możliwego do osiągnięcia opóźnienia hamowania. Będzie też musiał odpowiedzieć na pytania organu procesowego, czy istniała lub też nie istniała możliwość uniknięcia zdarzenia poprzez wykonanie manewrów obronnych, na których skuteczność bezpośrednio ma wpływ informacja o wyposażeniu pojazdu w system ABS i o działaniu tego systemu. System ten pozwala na wykonanie ekstremalnego hamowania łącznie ze zmianą toru jazdy, bez posiadania przez kierowcę ponadprzeciętnych umiejętności w prowadzeniu pojazdu.

Problematyka ustalania wyposażenia i stanu technicznego układu hamulcowego samochodu osobowego

Aktualnie wiadomo, że większość samochodów osobowych, nawet tych wyprodukowanych przed rokiem 2006, została fabrycznie wyposażona w system ABS, a więc system zapobiegający blokowaniu kół podczas hamowania (ang. *anti-lock braking system*). Na drogach można jednak spotkać samochody starsze, które w pewnych wersjach nie były standar-

dowo wyposażane w ten system. Informacja, czy w danym pojeździe ABS jest i działa, to istotna informacja nie tylko w kontekście późniejszej rekonstrukcji przebiegu zdarzenia drogowego, ale również podczas poszukiwania i identyfikacji śladów na jezdni, które ten pojazd mógł pozostawić [7]. Nierzadko pojawia się także problem ujawnienia na jezdni śladów blokowania kół jako kwalifikowanych śladów hamowania w sytuacji, gdy te ślady miał pozostawić samochód wyposażony w system ABS. W związku z tym pojawiają się pytania: czy system ABS był niesprawny? Czy hamowanie było realizowane z blokowaniem kół? Czy był to ślad hamowania, a nie blokowania kół? O ile właściwie wykonana rejestracja obrazu na miejscu zdarzenia w przyszłości umożliwi zweryfikowanie mechanizmu powstania śladu, o tyle tę kwestię należy rozstrzygnąć na miejscu zdarzenia albo na podstawie wiedzy o faktycznym wyglądzie tych jednak różnych śladów, albo na podstawie sprawdzenia, czy samodiagnoza systemu ABS wskazuje na jego „elektryczne i elektroniczne” prawidłowe działanie bądź usterkę występującą w układzie. Wspomniana samodiagnoza systemu ABS przeprowadzana jest każdorazowo po załączeniu zasilania układów pojazdu (systemy bezkluczykowe) i jej efekt jest sygnalizowany kontrolką systemu ABS pokazaną na ryc. 2 i zapewne dobrze znaną użytkownikom pojazdów.

Na ryc. 3 i 4 pokazano niektóre zestawy wskaźników w przykładowych samochodach marki Toyota i VW ze świecącą się kontrolką ABS (zaznaczoną kółkiem koloru zielonego). Czas świecenia się kontrolki przy sprawnym elektrycznie i elektronicznie systemie to około 3 s. Jeżeli po tym czasie kontrolka nie gaśnie, nawet po dłuższej chwili, to oznacza, że system samodiagnozy wykrył usterkę uniemożliwiającą prawidłowe działanie. Usterka może dotyczyć uszkodzenia np. jednego z czujników prędkości obrotowej kół samochodu, uszkodzenia sterownika systemu lub np. świadomego wyłączenia systemu przez użytkownika pojazdu poprzez wyjęcie bezpiecznika w kasecie bezpieczników, odpowiadającego za zasilanie tego systemu (takie praktyki można spotkać w niektórych pojazdach przygotowanych do wyścigów samochodowych). W takim przypadku ekstremalne hamowanie samochodu będzie skutkowało wystąpieniem niekontrolowanego przez system poślizgu kół, w tym także umożliwi ich zablokowanie.



Ryc. 2. Symbol kontrolki systemu ABS. Źródło: [https://pl.wikipedia.org/wiki/ABS_\(motoryzacja\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/ABS_(motoryzacja)) [dostęp: 15.06.2021 r.].



Ryc. 3. Kontrolki systemu ABS w zestawie wskaźników samochodu marki Toyota.



Ryc. 4. Kontrolki systemu ABS w zestawie wskaźników samochodu marki VW.

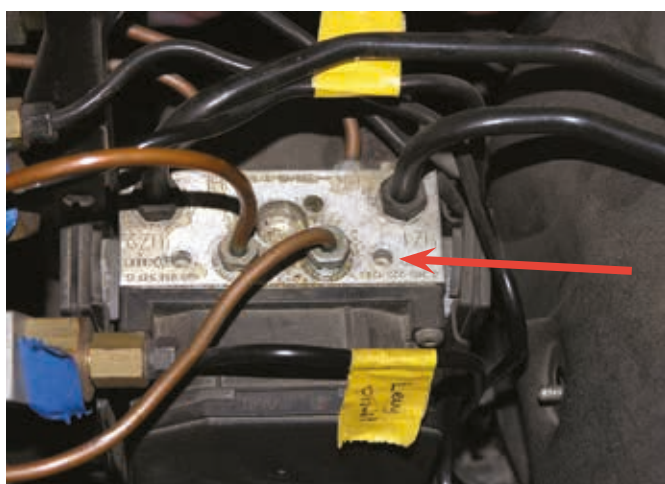
Analogiczne spostrzeżenia można poczynić dla systemów ASR i ESP, przy czym te systemy można wyłączyć odpowiednimi wyłącznikami z poziomu „menu” ustawień pojazdu (w nowszych wersjach).

Odnotowanie w protokole oględzin pojazdu, a tym bardziej w opinii o jego stanie technicznym „wskazania” autodiagnostyki systemu ABS w pojeździe, w którym można załączyć zasilanie, niesie, jak widać dwie zasadnicze informacje – system ABS jest, bo występuje kontrolka i działa (zaświeca się), a w zależności od jej zgaśnięcia po ok. 3 s lub nie – można ustalić sprawność elektryczną i elektroniczną systemu.

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na dwie różnice w czynnościach dotyczących przeprowadzenia oględzin pojazdu, a mianowicie różnicę pomiędzy stwierdzeniem działania bądź niedziałania systemu ABS w czasie oględzin pojazdu na miejscu wypadku (pojazd bierze bezpośrednio udział w zdarzeniu) i podczas kontroli stanu technicznego pojazdu (nadal oględziny!) nieznajdującego się na miejscu zdarzenia, np. zabezpieczonego na parkingu. Jeżeli samochodem można wykonać jazdę próbną w dowolnych warunkach atmosferycznych (np. jezdnia sucha, mokra czy zaśnieżona lub oblodzona), to zrealizowanie próby ekstremalnego hamowania, przy mocnym naciśnięciu na pedał hamulca, przy prędkości początkowej nawet rzędu 20–30 km/h, pozwoli na identyfi-

kację, czy na pedale hamulca występują charakterystyczne pulsacje (drgania, odbicia) adekwatne dla działającego systemu ABS, czy też nie. Przy prawidłowym zadziałaniu systemu pojawia się też dźwięk elektrozaworów i pompy ABS. Odnotowanie powyższych obserwacji w protokole oględzin pojazdu o występowaniu takich zjawisk oraz zaznaczenie odpowiedniej opcji w punkcie H stanowi ważny aspekt tej czynności procesowej.

Gdy samochód uczestniczący w zdarzeniu drogowym został uszkodzony w sposób uniemożliwiający przeprowadzenie jazdy próbnej i badanie układu hamulcowego (odłączone zasilanie przez straż pożarną lub wcześniej – przez świadków zdarzenia – bardzo często nie jest problemem przy diagnostyce), to identyfikacja wyposażenia układu hamulcowego w system ABS staje się w niektórych przypadkach trudniejsza. Wówczas pozostaje bowiem możliwość odszukania w komorze silnika samochodu osobowego modulatora systemu ABS, którego przykładowe zdjęcia zamieszczono na ryc. 5–6, lub sprawdzenie, czy przy kołach samochodu znajdują się czujniki prędkości obrotowej. Poszukiwanie tych czujników i ocena, czy poza przewodem hamulcowym i ewentualnym przewodem systemu kontroli nadmiernego zużycia klocków hamulcowych jest jeszcze przewód czujnika ABS, w zasadzie mieści się w zakresie czynności biegłych powołanych do oceny stanu



Ryc. 5. Modulator systemu ABS samochodu VW Passat B5 FI (rok prod. 2002), umieszczony po lewej stronie komory silnika.



Ryc. 6. Modulator systemu ABS samochodu VW Passat (rok prod. 2017), umieszczony po prawej stronie komory silnika, przy ścianie grodziowej.



Ryc. 7. Usytuowanie modulatora systemu ABS w komorze silnika samochodu Toyota RAV4 Hybrid (rok prod. 2021).



Ryc. 8. Modulator systemu ABS w komorze silnika samochodu Toyota RAV4 Hybrid.

BADANIE STANU TECHNICZNEGO UKŁADU HAMULCOWEGO

technicznego pojazdu, jednak doświadczenie uczy, że nie zawsze w opiniach biegłych znajdziemy informację, czy pojazd został wyposażony w system ABS, choć taka informacja obligatoryjnie powinna się tam znaleźć. Często dzięki przezorności prowadzącego czynności mamy możliwość „odczytania” tej informacji z dobrze wykonanej fotografii przedziału komory silnika pojazdu.

W niektórych samochodach osobowych modulator ABS zamontowany jest za akumulatorem w pobliżu pompy hamulcowej lub jest zasłonięty osprzętem silnika i jego poszukiwanie (wzdłuż przewodów hamulcowych prowadzących od pompy hamulcowej) są trudniejsze. Stąd te czynności obligatoryjnie wykonują biegli.

Problem identyfikacji i właściwej kwalifikacji śladów hamowania samochodu

Możliwość powstania śladu hamowania zależy nie tylko od poślizgu koła, który osiąga wartość 100% (lub „1”) w przypadku zablokowania koła i jego zerowej prędkości kątowej, ale także od zależności opona – nawierzchnia. Są mieszanki gumowe bieżnikowej części opony, niepozostawiające na niektórych suchych nawierzchniach jezdni wyraźnych śladów. Są też i takie miękkie mieszanki, które w warunkach letnich i wysokiej temperaturze otoczenia pozostawiają wyraźny i niemal ciągły ślad przy częściowym poślizgu koła (np. poślizg regulowany przez system ABS w zakresie ok. 15–25%). Przy niektórych skojarzeniach opona – nawierzchnia, pomimo hamowania samochodu wyposażonego w system ABS na mokrej nawierzchni, ślad widoczny jest dopiero po częściowym lub całkowitym wyschnięciu jezdni. Przykłady można mnożyć i są one w większości prezentowane w ramach szkoleń specjalistycznych policjantów zarówno ruchu drogowego, jak i techniki kryminalistycznej [7] oraz wskazane w literaturze fachowej [2, 3, 4]. O ile niewłaściwe nazwanie śladu hamowania i zakwalifikowanie go jako śladu „blokowania” jest weryfikowane przez biegłych i może być wyjaśnione także w kontekście ewentualnego wyposażenia samochodu w system ABS, o tyle nieujawnienie śladów występujących na jezdni, niezmiernie ich, brak opisu lokalizacji względem długości i szerokości jezdni pomimo występowania na zdjęciach jest przypadkiem bardzo niekorzystnym procesowo. To nic innego jak brak zabezpieczenia procesowego śladu. W takim przypadku biegli sięgają do metod fotogrametrycznych w celu wykorzystania ich w rekonstrukcji przebiegu zdarzenia (także ze względu na wynikający z położenia śladów tor ruchu pojazdu), ale nie zawsze dokładność tych metod jest zadowalająca, bowiem zależy od jakości dokumentacji fotograficznej z miejsca zdarzenia.

Konstrukcja, wyposażenie i technologia wykonania nowoczesnych pojazdów samochodowych ogranicza ilość, rodzaj i charakter śladów występujących na miejscach zdarzeń drogowych. Ruch pojazdów w warunkach granicznych, a więc podczas intensywnego czy też ekstremalnego hamowania oraz intensywnego znoszenia kół, podlega prawom fizyki, w tym także częściowego lub całkowitego wykorzystywania przyczepności ogumionych kół do podłoża. Stąd ukierunkowane i rzetelne poszukiwanie śladów na miejscach zdarzeń drogowych jest najważniejszym zadaniem funkcjonariuszy Policji realizujących czynności procesowe na miejscu wypadku.

Znaczenie wyników próby hamowania samochodu w sprawach o wypadki drogowe

Z punktu widzenia oceny skuteczności hamowania samochodu w danych warunkach drogowych najcenniejsze są wyniki próby hamowania wykonanej po zdarzeniu na tym samym odcinku drogi, przy takim samym stanie nawierzchni jezdni, pojazdem biorącym udział w zdarzeniu (jeśli jego stan powypadkowy pozwala na wykonanie takiej próby) i w analogicznych warunkach atmosferyczno-drogowych. Parametrem wykorzystywanym później przez biegłego w rekonstrukcji i analizie możliwości uniknięcia wypadku jest tzw. średnie pełne opóźnienie hamowania, które definiowane jest w Regulaminie ECE nr 13 EKG ONZ dotyczącym homologacji układów hamulcowych pojazdów samochodowych i przyczep. To średnie pełne opóźnienie hamowania, oznaczane jako MFDD, obliczane jest z zależności:

$$MFDD = \frac{v_b^2 - v_a^2}{25,92 \cdot (S_a - S_b)} \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

gdzie:

v_b [km/h] – prędkość samochodu wynosząca 0,8 prędkości początkowej hamowania,

v_a [km/h] – prędkość samochodu wynosząca 0,1 prędkości początkowej hamowania,

S_b [m] – długość drogi hamowania od prędkości początkowej do prędkości v_b ,

S_a [m] – długość drogi hamowania od prędkości początkowej do prędkości v_a .

Przedstawione powyżej średnie pełne opóźnienie hamowania jest adekwatne do pełnego, ustalonego już hamowania, z pominięciem fazy narastania opóźnienia i fazy końcowego zatrzymywania się pojazdu, kiedy to np. system ABS już nie działa (ABS nie działa przy prędkości mniejszej niż 4 km/h). Współczynnik przyczepności opony do nawierzchni w końcowej fazie zatrzymywania się pojazdu jest większy, a przez to niecharakterystyczny dla hamowania w zakresie większych prędkości. Współczynnik przyczepności opony do nawierzchni zależy od prędkości jazdy. Przyjmując wartość średniego pełnego opóźnienia hamowania dla długości ujawnionych śladów hamowania na potrzeby obliczenia prędkości początkowej samochodu, należy uwzględnić fazę narastania opóźnienia hamowania, a więc fazę, w której kierowca zwiększa nacisk na pedał hamulca i przez to opóźnienie hamowania narasta do wartości MFDD [5]. Wówczas prędkość początkową pojazdu można obliczyć z zależności (dla hamowania swobodnego, bez uderzenia w przeszkodę czy osobę pieszą i zatrzymania się na końcu śladów hamowania):

$$v_0 = \frac{a_{hp} \cdot t_n}{2} + \sqrt{2 \cdot a_{hp} \cdot S_{sl}}$$

gdzie:

a_{hp} – średnie pełne opóźnienie hamowania samochodu (MFDD) w m/s^2 ,

t_n – czas narastania opóźnienia, dla gwałtownego naciśnięcia na pedał hamulca zasadne jest przyjęcie wartości z zakresu

$t_n = 0,3 \div 0,4$ s,

S_{sl} – długość śladów hamowania w m.

Tylko niektóre opóźniomierze obliczają i podają wprost wspomnianą wartość średniego pełnego opóźnienia hamowania MFDD. Jeżeli nie jest ona wyznaczana przez przyrząd pomiarowy, ale przyrząd mierzy i rejestruje drogę przebytą przez pojazd oraz prędkość jazdy, to można ją obliczyć z zależności podanej w pierwszym wzorze (MFDD).

Dodatkowym problemem w wykorzystaniu próby hamowania wykonanej na miejscu zdarzenia jest fakt, że nawet jeżeli osoba wykonująca próbę prawidłowo zidentyfikuje początek śladów hamowania i zmierzy ich długość do kół przednich badanego pojazdu (Regulamin ECE nr 13 wymaga, aby do poślizgu w pierwszej kolejności dochodziły koła osi przedniej), to jednak najczęściej prędkość początkowa hamowania określana jest na podstawie wskazania prędkościomierza. Zgodnie z przepisami homologacyjnymi prędkościomierz samochodu może pokazywać albo rzeczywistą prędkość jazdy, albo wartość większą od rzeczywistej (Regulamin nr 39 EKG ONZ). Z doświadczenia autorów w badaniach pojazdów samochodowych wynika, że prędkościomierze w samochodach osobowych i dostawczych (niewyposażonych w tachografy) pokazują wartość nieco większą od rzeczywistej, a różnica jest tym większa, im większe jest zużycie ogumienia (dla prawidłowego rozmiaru ogumienia przewidzianego do danego modelu pojazdu i dla prawidłowego ciśnienia w ogumieniu, adekwatnego dla aktualnego stanu obciążenia pojazdu). Zakładając, że próba hamowania wykonywana jest przy wskazywanej przez prędkościomierz wartości prędkości 50 km/h (abstrahując od problemu błędu odczytu prędkości jazdy z prędkościomierza), prędkość rzeczywista może wynosić maksymalnie 50 km/h, ale najczęściej jest mniejsza i wynosi ok. 46–47 km/h. Problem wpływu rzeczywistej prędkości początkowej hamowania na średnie pełne opóźnienie hamowania dobrze przedstawia następujący przykład. Po wypadku na wilgotnej jezdni zostały ujawnione ślady hamowania o długości 17,4 m. W ramach czynności oględzin i sprawdzenia stanu technicznego samochodu niewyposażonego w system ABS wykonano próbę hamowania z prędkości 50 km/h (nie podano, na jakiej podstawie ta prędkość została ustalona, ale można się domyślać, że w oparciu o wskazania prędkościomierza) i podczas tej próby powstały ślady o długości 13,2 m. W tabeli 1 zestawiono obliczenia średniego pełnego opóźnienia hamowania samochodu z tej próby przy założeniu czasu narastania opóźnienia 0,3 s i wariantowych

Tabela 1. Wyniki obliczeń średniego pełnego opóźnienia hamowania na podstawie próby.

PRĘDKOŚĆ POCZĄTKOWA HAMOWANIA V_0		ŚREDNIE PEŁNE OPÓŹNIENIE HAMOWANIA AHP
[KM/H]	[M/S]	[M/S ²]
50	13,89	6,34
49	13,61	6,11
48	13,33	5,87
47	13,06	5,65
46	12,78	5,42

rzeczywistych prędkości początkowych hamowania, mieszczących się w zakresie od 50 km/h do 46 km/h co 1 km/h, wykorzystując przekształconą zależność v_0 podaną powyżej w drugim wzorze.

Z powyższego wynika, że w zależności od możliwego błędu wskazań prędkościomierza, średnie pełne opóźnienie samochodu mogło mieścić się w przedziale od 6,34 m/s² do 5,42 m/s², a wartości te różnią się o kilkanaście procent. Z kolei dla tych skrajnych wartości opóźnień hamowania, prędkość początkowa samochodu, który pozostawił ślady hamowania o długości 17,4 m, wynosiłaby ok. 52 km/h – dla mniejszego opóźnienia hamowania i ok. 57 km/h – dla większej wartości opóźnienia hamowania.

Ponieważ metodyka wykonywania prób drogowych hamowania jest niezwykle istotna w kontekście możliwości miarodajnego wykorzystania wyników takich prób [1, 2, 4, 5, 6], dla potrzeb niniejszej publikacji zrealizowano próby hamowania samochodu VW Passat B5 Fl z roku 2002 (ryc. 9), który był wyposażony w ogumienie o rozmiarze 205/55 R16, zużyte w około 50% (głębokość bieżnika 4,0–4,5 mm) i z ciśnieniem powietrza adekwatnym dla obciążenia częściowego. Próby hamowania z działającym i niedziałającym systemem ABS wykonano na suchej nawierzchni betonowej. W badaniach wykorzystano następujące urządzenia pomiarowe:

- VBOX 3i firmy Racelogic z blokiem inercyjnym IMU i modułem CAN, umożliwiającym dekodowanie i rejestrację danych z magistrali CAN pojazdu (ryc. 10),
- VBOX Sport firmy Racelogic (ryc. 11),
- opóźniomierz XL-Meter (ryc. 11).

Urządzenia firmy Racelogic korzystają z systemu nawigacji satelitarnej GNSS, przy czym urządzenie VBOX 3i jest profesjonalnym systemem pomiarowym, integrującym dane z bloku pomiarowego IMU. Możliwość dekodowania i zapisywania danych z magistrali CAN pojazdu, między innymi obejmujących prędkości poszczególnych kół, kąt obrotu koła kierownicy, położenie pedału przyspieszenia i prędkość obrotową wału korbowego silnika, rozszerza zakres wykorzystania urządzenia w badaniach pojazdów.

Na wykresie 1 przedstawiono zarejestrowane czasowe przebiegi prędkości rzeczywistej samochodu (V_r), prędkości wskazywanej przez prędkościomierz (V_p) oraz prędkości liniowe poszczególnych kół (V_{kpl} , V_{kpp} , V_{ktl} i V_{ktp}), na podstawie których wyznaczana jest prędkość pokazywana



Ryc. 9. Samochód VW Passat z roku 2002 wykorzystany w badaniach drogowych.

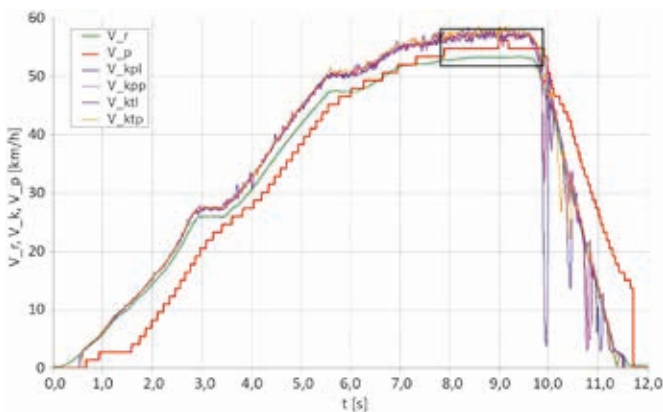
BADANIE STANU TECHNICZNEGO UKŁADU HAMULCOWEGO



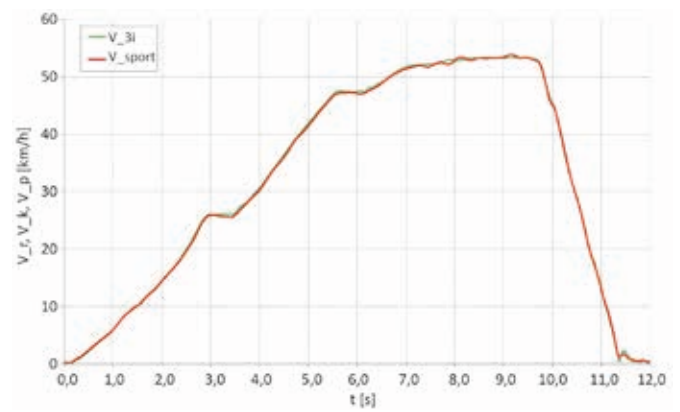
Ryc. 10. Urządzenie pomiarowe VBOX 3i.



Ryc. 11. Urządzenia pomiarowe VBOX Sport (po prawej stronie) i XL-Meter (po lewej stronie).



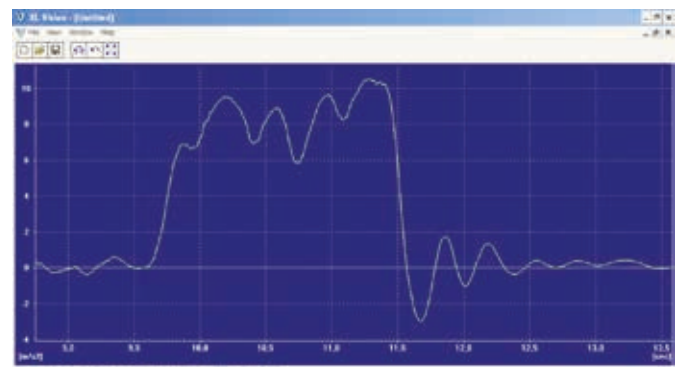
Wykres 1. Czasowe przebiegi prędkości rzeczywistej samochodu (V_r), prędkości wskazywanej przez prędkościomierz (V_p) oraz prędkości liniowe poszczególnych kół (V_{kpl} , V_{kpp} , V_{ktl} i V_{ktp}), zarejestrowane urządzeniem VBOX 3i.



Wykres 2. Zestawienie przebiegów rzeczywistej prędkości jazdy samochodu zarejestrowanej urządzeniami VBOX 3i i VBOX Sport.

Tabela 2. Zestawienie wyników obliczeń wartości MFDD uzyskanych z pomiarów urządzeniami VBOX i XL-Meter.

WIELKOŚĆ	VBOX 3i	VBOX SPORT	XL-METER
Prędkość początkowa hamowania w [km/h]	53,10	53,18	52,89
Droga hamowania w [m]	13,49	12,16	14,82
Czas hamowania w [s]	1,720	1,600	1,880
MFDD w [m/s ²]	9,36	9,26	8,27



Ryc. 12. Czasowy przebieg opóźnienia wzdłużnego zarejestrowany urządzeniem XL-Meter.

Ryc. 1, 3–12 i wykresy 1–2 – autorzy.

przez prędkościomierz. Błąd wskazań prędkościomierza, występujący tuż przed chwilą rozpoczęcia hamowania, zaznaczono na wykresie 1 prostokątem koloru czarnego. W fazie hamowania (zmniejszania prędkości jazdy) widoczne jest działanie systemu ABS (chwilowe znaczne zmniejszenia prędkości poszczególnych kół).

Na wykresie 2 zestawiono przebiegi prędkości zarejestrowane urządzeniami VBOX 3i i VBOX Sport. Na ich podstawie obliczono wartości MFDD, które wraz z danymi z urządzenia XL-Meter zestawiono w tabeli 2.

Na ryc. 12 pokazano przebieg opóźnienia wzdłużnego zarejestrowany urządzeniem XL-Meter.

Przebiegi prędkości jazdy samochodu, zarejestrowane urządzeniami VBOX, są niemal identyczne, przy czym pewne różnice w wyznaczonym czasie i drodze hamowania wynikają z faktu, iż przyrząd VBOX Sport określa parametry ruchu z częstotliwością 10 Hz, a VBOX 3i z częstotliwością 100 Hz. Ponieważ opóźniomierz XL-Meter nie mierzy bezpośrednio prędkości jazdy i drogi przebytej przez pojazd, lecz oblicza prędkość początkową hamowania na podstawie numerycznego całkowania przebiegu przyspieszenia wzdłużnego, a przebytą drogę na podstawie numerycznego całkowania obliczonego przebiegu prędkości, to wartości te są obciążone pewnym błędem, ale akceptowalnym w odniesieniu do funkcjonalności tego przyrządu.

W przypadku próby hamowania samochodu z wyłączonym systemem ABS uzyskano ślady o całkowitej długości: lewy – 9,10 m, prawy – 9,30 m, przy czym na ślady kół przednich nałożyły się ślady zablokowanych kół tylnych. W efekcie długość śladów kół przednich, możliwa do ustalenia bezpośrednio po badaniu, wynosiła 7,1 m. Wyniki pomiarów parametrów ruchu samochodu wykonane w szczególności urządzeniem VBOX 3i pozwoliły na ustalenie prędkości początkowej hamowania 42,7 km/h i średniego pełnego opóźnienia ok. 8,07 m/s². Przy przyjęciu tej prędkości początkowej hamowania jako rzeczywistej i czasu narastania opóźnienia ok. 0,3 s, wynikająca z zależności v_0 podanej powyżej w drugim wzorze wartość średniego pełnego opóźnienia hamowania (dla śladów hamowania kół przednich o długości 7,10 m) wynosi 8,0 m/s² i jest ona zbliżona z wartością ustaloną na podstawie pomiarów profesjonalnym urządzeniem pomiarowym VBOX 3i.

Jak wykazano w literaturze [4, 5], przy relatywnie małych prędkościach początkowych hamowania ślady kół mogą powstawać już w fazie narastania opóźnienia, natomiast dla prędkości powyżej 50 km/h – w fazie pełnego hamowania. Uzyskane wartości średniego pełnego opóźnienia hamowania samochodu VW Passat są duże, ale właśnie takie są aktualnie adekwatne dla dobrych nawierzchni jezdni oraz dobrego stanu ogumienia i układu hamulcowego pojazdów produkowanych w ostatnich kilkunastu latach.

Powyższa analiza bezspornie dowodzi, że prawidłowo wykonana próba hamowania samochodu osobowego pozwala na ustalenie jednego z ważniejszych parametrów świadczących o stanie technicznym układu hamulcowego samochodu i w przypadku powstania śladów hamowania – daje podstawy do miarodajnego wyznaczenia prędkości pojazdu uczestniczącego w zdarzeniu drogowym.

Podsumowanie

Prawidłowa i pełna weryfikacja wyposażenia i stanu układu hamulcowego samochodu osobowego uczestniczącego w zdarzeniu jest niezwykle ważnym elementem oględzin pojazdu. W przypadku możliwości załączenia zasilania i przeprowadzenia próby drogowej samochodu, sprawdzenie działania systemu ABS nie jest trudne, a ocena skuteczności hamowania w warunkach zbliżonych do tych, w których doszło do zdarzenia, poprzez pomiar średniego pełnego opóźnienia hamowania lub odpowiednio dokładny pomiar rzeczywistej prędkości jazdy i długości śladów hamowania (jeśli powstają odpowiednio wyraźne przy danym skojarzeniu opona – nawierzchnia), jest bardzo ważna i pomocna w toku rekonstrukcji i analizy możliwości uniknięcia zdarzenia. Pojazdy uszkodzone w stopniu uniemożliwiającym jazdę i uniemożliwiającym sprawdzenie wyniku autodiagnostyki systemu ABS powinny być – przynajmniej w uzasadnionych przypadkach – badane przez biegłego.

Autorzy artykułu składają podziękowania firmie CYBID z Krakowa za udostępnienie do badań urządzenia pomiarowego Racelogic VBOX 3i.

Literatura

- [1] Janczur R., Świder P., *Wpływ ciśnienia pompowania opon na opóźnienie hamowania samochodu*, XI Konferencja Instytutu Ekspertyz Sądowych w Krakowie „Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych”, 8–9 października 2009, Tamów, „Paragraf na Drodze” 2009 – numer specjalny, Wydawnictwo IES, Kraków, ISSN 1505-3520, s. 173–182.
- [2] Janczur R., Świder P., *Wpływ niesprawności ABS-u na przebieg procesu hamowania*, „Paragraf na Drodze” 2015 – nr specjalny, wydawnictwo IES Kraków, ISSN 1505-3520, s. 109–120.
- [3] Praca zbiorowa, *Wypadki drogowe – Vademecum biegłego sądowego*, wyd. 2., Wydawnictwo IES, Kraków 2006.
- [4] Reza A., Zębała J., Pieniążek W., *Badanie porównawcze dróg hamowania, śladów hamowania i osiągniętych opóźnień samochodów osobowych – część I*, VI Konferencja Instytutu Ekspertyz Sądowych w Krakowie pn. *Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych*, 22–24 października 1998, Zakopane, Wydawnictwo IES, Kraków, ISBN 83-87425-11-7, s. 281–294.
- [5] Reza A., Zębała J., *Badanie porównawcze dróg hamowania, śladów hamowania i osiągniętych opóźnień samochodów osobowych – cz. II*, VII Konferencja Instytutu Ekspertyz Sądowych w Krakowie „Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych”, 11–12 września 2000, Kraków, Wydawnictwo IES, Kraków, ISBN 83-87425-41-9, s. 207–218.
- [6] Świder P., Bułka D., *Prędkość początkowa samochodu a długość ujawnionych śladów blokowania kół*, XII Konferencja Instytutu Ekspertyz Sądowych w Krakowie „Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych”, 26–28 października 2011, Zakopane, „Paragraf na Drodze” 2011 – numer specjalny, wydawnictwo IES, Kraków, ISSN 1505-3520, s. 355–363.
- [7] Zawaleń J., *Wybrane aspekty analizy śladów na miejscu zdarzenia drogowego i ich znaczenie w rekonstrukcji wypadku*, „Kwartalnik Policyjny” 2017, nr 1, Wydawnictwo CSP, Legionowo.
- [8] Zębała J., Ciępka P., Reza A., Janczur R., *Wpływ składu mieszanki i rzeźby bieżnika opon bieżnikowanych na bezpieczeństwo czynne pojazdów*, Zbiór referatów – *Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych*, X Konferencja Instytutu Ekspertyz Sądowych, Szczyrk 2006, s. 313–330.

Summary

Selected aspects of the technical examination of a passenger car braking system after a traffic incident

The article presents the problems of testing the equipment and technical condition of the braking system of cars participating in road incidents and damaged to the extent that it is possible to turn on the power supply of the vehicle's electrical system and, if necessary, conduct a test drive. A very important element of such driving is the extreme braking test, which not only allows to determine the braking parameters, but also can confirm the operation of the ABS system. The article also focuses on the method and risk of uncritical use of the results of the braking test performed by reading the initial braking speed from the vehicle speedometer and measuring the length of the traces left by the vehicle wheels. The presented examples of calculations and results of road tests of a medium-class car, with the use of measuring equipment of various classes, may constitute teaching material in the field of specialist training of Police officers and a critical approach of court experts to the problem of post-accident vehicle examination.

Thumaczenie: Renata Cedro