POLITECHNIKA GDAŃSKA
WYDZIAŁ MECHANICZNY

Imię i nazwisko autora rozprawy: ***Marcin Witkiewicz***
Dyscyplina naukowa: ***Budowa i eksploatacja maszyn***

ROZPRAWA DOKTORSKA

Tytuł rozprawy w języku polskim: *Koncepcja metodyki powypadkowych badań technicznych pojazdów w aspekcie rekonstrukcji wypadków drogowych*

Tytuł rozprawy w języku angielskim: *The concept of post-accident technical examination vehicle inspection station from angle of road accidents reconstruction*

Promotor *podpis*	Drugi promoter *podpis*
dr hab. inż. Stanisław Taryma prof. nadzw. PG	
Promotor pomocniczy *podpis*	Kopromotor *podpis*

Gdańsk, rok 2018

POLITECHNIKA GDAŃSKA
WYDZIAŁ MECHANICZNY

OŚWIADCZENIE

Autor rozprawy doktorskiej: *Marcin Witkiewicz*

Ja, niżej podpisany, wyrażam zgodę/~~nie wyrażam zgody~~* na bezpłatne korzystanie z mojej rozprawy doktorskiej zatytułowanej:

Koncepcja metodyki powypadkowych badań technicznych pojazdów w aspekcie rekonstrukcji wypadków drogowych

do celów naukowych lub dydaktycznych.[1]

Gdańsk, dnia 19.10.2018 .....
podpis doktoranta

Świadomy(a) odpowiedzialności karnej z tytułu naruszenia przepisów ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. z 2006 r., nr 90, poz. 631) i konsekwencji dyscyplinarnych określonych w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. z 2012 r., poz. 572 z późn. zm.),[2] a także odpowiedzialności cywilno-prawnej oświadczam, że przedkładana rozprawa doktorska została napisana przeze mnie samodzielnie.

Oświadczam, że treść rozprawy opracowana została na podstawie wyników badań prowadzonych pod kierunkiem i w ścisłej współpracy z promotorem dr hab. inż. Stanisławem Tarymą prof. nadzw. PG, ~~drugim promotorem, promotorem pomocniczym, kopromotorem~~*.

Niniejsza rozprawa doktorska nie była wcześniej podstawą żadnej innej urzędowej procedury związanej z nadaniem stopnia doktora.

Wszystkie informacje umieszczone w ww. rozprawie uzyskane ze źródeł pisanych i elektronicznych, zostały udokumentowane w wykazie literatury odpowiednimi odnośnikami zgodnie z art. 34 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych.

Potwierdzam zgodność niniejszej wersji pracy doktorskiej z załączoną wersją elektroniczną.

Gdańsk, dnia 19.10.2018 .....
podpis doktoranta

Ja, niżej podpisany, wyrażam zgodę/~~nie wyrażam zgody~~* na umieszczenie ww. rozprawy doktorskiej w wersji elektronicznej w otwartym, cyfrowym repozytorium instytucjonalnym Politechniki Gdańskiej, Pomorskiej Bibliotece Cyfrowej oraz poddawania jej procesom weryfikacji i ochrony przed przywłaszczaniem jej autorstwa.

Gdańsk, dnia 19.10.2018 .....
podpis doktoranta

*) niepotrzebne skreślić

[1] Zarządzenie Rektora Politechniki Gdańskiej nr 34/2009 z 9 listopada 2009 r., załącznik nr 8 do instrukcji archiwalnej PG

[2] Ustawa z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym: Rozdział 7 Odpowiedzialność dyscyplinarna doktorantów, Art. 226.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

POLITECHNIKA GDAŃSKA
WYDZIAŁ MECHANICZNY

OPIS ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Autor rozprawy doktorskiej: *mgr inż. Marcin Witkiewicz*

Tytuł rozprawy doktorskiej w języku polskim:

Koncepcja metodyki powypadkowych badań technicznych pojazdów w aspekcie rekonstrukcji wypadków drogowych

Tytuł rozprawy w języku angielskim:

The concept of post-accident technical examination vehicle inspection station from angle of road accidents reconstruction

Język rozprawy doktorskiej: *polski*

Promotor rozprawy doktorskiej: *dr hab. inż. Stanisław Taryma prof. nadzw. PG*

~~**Drugi promotor rozprawy doktorskiej*:**~~

~~**Promotor pomocniczy rozprawy doktorskiej*:**~~

~~**Kopromotor rozprawy doktorskiej*:**~~

Data obrony:

Słowa kluczowe rozprawy doktorskiej w języku polski:

ABS, badania techniczne, droga hamowania, ekspertyza techniczna, opóźnienie hamowania, rekonstrukcja wypadków drogowych, stacje kontroli pojazdów, uszkodzenie układu hamulcowego, wypadki drogowe

Słowa kluczowe rozprawy doktorskiej w języku angielskim:

ABS, brake system damage, braking distance, car collision reconstruction, deceleration, road accidents, technical expertise, technical studies, vehicle inspection station

Streszczenie rozprawy w języku polskim:

W pracy została przedstawiona koncepcja metodyki powypadkowych badań technicznych pojazdów w aspekcie rekonstrukcji wypadków drogowych oraz analiza problemu dotyczącego uszkodzeń mogących wystąpić w układach hamulcowych podczas intensywnego hamowania. Omówiona w pracy analiza metodyki powypadkowych badań technicznych zawiera rzeczywiste przykłady oględzin pojazdów biorących udział w zderzeniach drogowych.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Przeprowadzono szereg badań drogowych procesu hamowania samochodu osobowego na różnych nawierzchniach (gruntowej, asfaltowej suchej i mokrej oraz płycie poślizgowa o grubości warstwy wody około 2 mm), w trakcie którego wystąpiła awaria układu hamulcowego.

Wykonano również szereg badań stanowiskowych procesu hamowania samochodu w trakcie, którego wystąpiła niesprawność układu hamulcowego.

Wyniki przeprowadzonych badań drogowych i stanowiskowych będą mogły zostać wykorzystane przez biegłych sądowych i rzeczoznawców samochodowych w trakcie analizowania i opracowywania opinii techniczno – kryminalistycznej dla policji, prokuratur, sądów z zakresu ekspertyzy i rekonstrukcji wypadków drogowych.

Na podstawie przeprowadzonych innowacyjnych badań wyznaczono współczynnik f_N *niesprawności (nieszczelności) układu hamulcowego. W pojazdach biorących udział w wypadkach drogowych, w których wykryto awarię (uszkodzenie, rozszczelnienie układu hamulcowego) należy podczas wyznaczania wartości opóźnienia hamowania uwzględnić wyznaczony doświadczalnie współczynnik* f_N *niesprawności układu hamulcowego.*

Streszczenie rozprawy w języku angielskim:

The paper presents the concept of the methodology of post-accident technical vehicle tests in the aspect of road accident reconstruction and the analysis of the problem concerning damages that may occur in braking systems during intensive braking.

The analysis of the methodology of post-accident technical tests discussed in this work contains real examples of vehicle inspections taking part in road collisions.

A number of road tests of the car braking process were carried out on various surfaces (ground, dry and wet bitumen and a sliding plate with a water layer thickness of about 2 millimetres), during which a brake system failure occurred.

A number of bench tests of the car braking process were carried out during which the braking system failed. Obtained results of measurements of car braking forces in a vehicle control station using the quasi-static method with efficient and inefficient braking system have been included in this work.

The results of road tests and positions will be able to be used by forensic experts and car experts while analyzing and developing technical-forensic opinions for the police, prosecutors, courts in the field of expertise and reconstruction of road accidents.

On the basis of conducted innovative tests, the disability (leakage) ratio of the braking system was determined. In vehicles involved in road accidents in which a failure has been detected (damage, brake system failure), the braking rate of the braking system determined during the braking deceleration shall be taken into account.

*) niepotrzebne skreślić

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rozprawę doktorską dedykuję mojej rodzinie, dziękując jej za wyrozumiałość i wsparcie. Serdeczne podziękowanie składam mojemu promotorowi prof. Stanisławowi Tarymie za ogromna pomoc dydaktyczną, okazaną życzliwość i cierpliwość, a także moim przyjaciołom za bezinteresowną pomoc w napisaniu pracy.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

SPIS TREŚCI

Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów 9

Wstęp 10

1. Wprowadzenie 12

1.1. Rys historyczny przyczyn powstania wypadków drogowych 12

1.2. Pojęcie „wypadku drogowego" 16

1.3. Przegląd literatury związanej z rekonstrukcją wypadków drogowych 19

1.3.1. Problematyka skutków wypadków drogowych 19

1.3.2. Identyfikacja śladów ujawnionych na miejscu wypadku drogowego ... 19

1.3.3. Potrącenie pieszego przez pojazd 20

1.3.4. Proces zderzenia pojazdów 21

1.3.5. Rzetelność i wiarygodność opiniowania wypadków drogowych 23

1.3.6. Proces i ocena skuteczności hamowania pojazdów 25

1.3.7. Rejestratory parametrów ruchu pojazdów 28

1.3.8. Programy komputerowe wspomagające proces rekonstrukcji 29

1.3.9. Podsumowanie stanu wiedzy 30

2. Cel i zakres pracy 31

3. Zarys metodyki opiniowania wypadków drogowych 33

3.1. Biegły sądowy 33

3.2. Opinia biegłego 34

3.3. Oględziny miejsca zdarzenia 35

4. Koncepcja powypadkowych badań technicznych pojazdów 41

4.1. Ogólne zasady powypadkowych badań technicznych pojazdów 41

4.2. Koncepcja przebiegu powypadkowych badań technicznych pojazdów 42

4.2.1. Identyfikacja badanego pojazdu 43

4.2.2. Dokumentacja fotograficzna uszkodzeń i odkształceń pojazdu 43

4.2.3. Opis śladów powypadkowych istniejących na pojeździe 44

4.2.4. Opis śladów powypadkowych istniejących w pojeździe 48

4.2.5. Badanie układów bezpieczeństwa biernego 48

4.2.6. Diagnostyka instalacji elektrycznej i oświetlenia pojazdu 49

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4.2.7. Specjalistyczne badanie koła i ogumienia……... 50

4.2.8. Badanie zawieszenia……..……..51

4.2.9. Badanie układu kierowniczego ……..... 53

4.2.10. Badanie zespołów układu hamulcowego ……... 53

4.3. Przykłady wykrytych rzeczywistych niesprawności układu hamulcowego …. 55

4.4. Uwagi dotyczące powypadkowych badań technicznych pojazdów

w aspekcie rekonstrukcji wypadków drogowych .....…… 66

5. Problem niesprawności układu hamulcowego ……..……..……...69

6. Niekonwencjonalne diagnozowanie układu hamulcowego …….. 74

6.1. Wskaźnik skuteczności hamowania ……. 75

6.2. Budowa i zasada działania układu wywołującego awarię jednego

obwodu hamulcowego ……... 75

6.3. Wpływ uszkodzenia jednego obwodu układu hamulcowego na

skuteczność hamowania ……... 77

6.3.1. Obiekt badań ……. ……. 77

6.3.2. Stanowisko pomiarowe ……78

6.3.3. Metodyka badań ……. 78

6.3.4. Prezentacja i analiza wyników badań …….. 79

6.3.5. Problematyka niepewność pomiaru ……..84

6.3.5.1. Błąd pomiaru bezpośredniego …….....…. 86

6.3.5.2. Niepewność pomiaru pośredniego …… 87

6.3.6. Analiza otrzymanych wyników pomiarów ……..……..… 89

6.4. Wpływ ciężaru samochodu na skuteczność hamowania ……..… 91

6.4.1. Obiekt badań …… 91

6.4.2. Stanowisko pomiarowe ……... 92

6.4.3. Metodyka badań …….. 92

6.4.4. Prezentacja i analiza wyników badań ……... 92

7. Proces hamowanie pojazdu w ujęciu teoretycznym i praktycznym …..……...…… 98

7.1. Siły działające na pojazd podczas hamowania …….. 99

7.2. Współczynnik przyczepności ……...101

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

7.3. Aquaplaning ……..…103

7.4. Długość drogi hamowania i zatrzymania ……103

7.5. Średnie w pełni rozwinięte opóźnienie hamowania ..…….….. 106

7.6. Średnie opóźnienie hamowania w/g ISO ……...…... 107

8. Analiza niestandardowego badania opóźnienia hamowania ……...……108

8.1. Opóźnieniomierze użyte do badań drogowych ……...109

8.2. Parametry techniczne opóźnieniomierzy …….....109

8.3. Opóźnienie hamowania ……..… 110

8.3.1. Maksymalne opóźnienie hamowania ……..…….. 110

8.3.2. Średnie opóźnienie hamowania ……..... 112

8.4. Hamowanie na nawierzchni gruntowej ……..……..…..…….……... 117

8.4.1.Obiekt badań …….……117

8.4.2.Przyrządy pomiarowe ……... 117

8.4.3. Metodyka badań ……...… 117

8.4.4. Prezentacja i analiza wyników badań ……... 118

8.5. Hamowanie na nawierzchni asfaltowej …….…….. 124

8.5.1. Obiekt badań ……..… 124

8.5.2. Przyrząd pomiarowy ……125

8.5.3. Metodyka badań ……..… 125

8.5.4. Hamowanie na suchej nawierzchni asfaltowej ……..…….. 126

8.5.5. Hamowanie na mokrej nawierzchni asfaltowej ……..……..134

8.6. Hamowanie na płycie poślizgowej …….…... 140

8.6.1. Obiekt badań …….....140

8.6.2. Przyrząd pomiarowy ……140

8.6.3. Metodyka badań …….…… 140

8.6.4. Prezentacja i analiza wyników badań ……143

8.7. Wnioski ……..……....155

9. Praktyczne wykorzystanie wyników innowacyjnych badań w rekonstrukcji wypadków drogowych ……..…..……156

9.1. Badania stanowiskowe ……..…. 156

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

9.2. Wpływ opóźnienia hamowania na długość drogi hamowania ……..…… 158

9.3. Przykładowa analiza rekonstrukcji wypadku pojazd-pieszy ……..159

9.4. Współczynnik niesprawności (nieszczelności) układu hamulcowego ……....163

9.5. Praktyczne wykorzystanie innowacyjnych badań opóźnienia hamowania ……..……..... 167

10. Podsumowanie i wnioski …….....… 172

11. Propozycja dalszych prac badawczych ……..…... 176

Bibliografia ……..…177

Wykaz tabeli ……..… 189

Wykaz wykresów ……..… 191

Załącznik A. Opracowany nowatorski protokół powypadkowych badań technicznych pojazdu ……..... 192

Załącznik B. Przykład powypadkowego badania pojazdu ….…..……..……197

Załącznik C. Powypadkowa diagnostyka układu hamulcowego sterowanego hydraulicznie w stacji kontroli pojazdów ……..…....….. 201

C.1. Koncepcja powypadkowego badania hamulców na stanowisku diagnostycznym ……201

C.2. Proponowany protokół powypadkowego badania układu hamulcowego.. 203

C.3. Metodyka (powypadkowego) badania skuteczności hamowania ….…... 206

C.4. Procedura badania układu hamulcowego podczas okresowego badania technicznego ……..…….....… 210

Załącznik D. Koncepcja i wstępne wyniki dalszych prac badawczych – destabilizacja ruchu pojazdu ..……212

D.1. Metodyka badań ……...212

D.2. Płyta dynamiczna ……..……...212

D.3. Obiekt badań ……..…214

D.4. Dokumentacja fotograficzna wykonana z ziemi ……..…... 214

D.5. Dokumentacja fotograficzna wykonana z powietrza ……...……...216

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I SKRÓTÓW

Poniżej wymieniono najważniejsze, wspólne dla całej pracy oznaczenia. Pominięto te, które mają charakter lokalny, ich opis jest przedstawiony we fragmencie, w których jest używany.

a_H - średnie opóźnienie hamowania [m/s^2],

a_{Hiso} - opóźnienie hamowania wg ISO [m/s^2],

$a_{Hśr}$ - średnie w pełni rozwinięte opóźnienie hamowania [m/s^2],

a_{Hmax} - maksymalne opóźnienie hamowania [m/s^2],

f_N - współczynnik niesprawności układu hamulcowego [-],

S_H - droga hamowania [m],

S_L - długość śladu hamowania [m],

S_Z - droga zatrzymania [m],

t_H - czas hamowania [s],

t_R - czas reakcji kierowcy [s],

V_A - prędkość pojazdu odpowiadająca 0,1 V_p [km/h] lub [m/s],

V_B - prędkość pojazdu odpowiadająca 0,8 V_p [km/h] lub [m/s],

V_p - prędkość początkowa [km/h] lub [m/s],

z - wskaźnik skuteczności hamowania [%],

z_{rz} - rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania [%],

δ - odchylenie standardowe parametru [-].

ABS - ang. Anti-Lock Braking System (urządzenie zapobiegające blokowaniu kół jezdnych pojazdu),

ESP - ang. Electronic Stability Program (układ stabilizacji toru jazdy),

ISO - ang. International Organizationfor Standardization (Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna),

MFDD - ang. Mean Fully Developed Deceleration (średnie w pełni rozwinięte opóźnienie).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

WSTĘP

Niniejsza rozprawa doktorska jest efektem dziesięcioletniego doświadczenia zdobytego jako biegły sądowy w zakresie ekspertyzy i rekonstrukcji wypadków drogowych oraz codziennej pracy jako diagnosta-rzeczoznawca samochodowy.

Pomimo stałego wzrostu liczby pojazdów poruszających się po naszych drogach w ostatnich latach występuje tendencja spadkowa w ilości ofiar wypadów. Innymi słowy: z roku na rok zmniejsza się liczba osób rannych i zabitych w wypadkach drogowych w naszym kraju. Wypadki drogowe stanowią jednak dalej poważny problem społeczny, a ich rekonstrukcja jest niezwykle trudnym obszarem pracy dla sądów, prokuratury oraz policji.

W sprawach związanych z wypadkami drogowymi z reguły w grę wchodzi splot wielu różnych problemów wymagających wiadomości specjalistycznych, wzajemnie się przenikających i często ściśle powiązanych ze sobą. Wynika to z samej istoty zdarzenia, na które mają wpływ czynniki natury technicznej związanej z pojazdami i drogą oraz czynniki natury medycznej i psychologicznej związanej z człowiekiem.

Istota rekonstrukcji wypadków drogowych tkwi w poszukiwaniu prawdy o przebiegu zdarzenia, które doprowadziło do przykrych, często wręcz tragicznych konsekwencji. Pomimo niewątpliwych podobieństw różnych typów zdarzeń drogowych, każdy przypadek nosi cechy indywidualne.

Nie należy mylić opinii technicznej z opinią rekonstrukcyjną, chociaż mają one wspólne cechy tj. jedna i druga zlecane są biegłemu przez organy procesowe oraz obydwie mają taki sam cel – dochodzenie do prawdy.

Ogólnie można powiedzieć, że opinia techniczna (czyli ekspertyza dotycząca powypadkowego badania technicznego pojazdu) zawiera się pomiędzy zaistniałym wypadkiem, a jego rekonstrukcją. W opinii tej nie uwzględnia się zachowania uczestników wypadku, które jest głównym punktem zainteresowania organów procesowych. Powypadkowe badanie pojazdu ma na celu ujawnienie uszkodzeń, wad lub niesprawności zaistniałych przed wypadkiem, a także będących skutkiem wypadku oraz czy stwierdzone wady, uszkodzenia lub niesprawności mogły mieć wpływ na powstanie wypadku. Z przykrością trzeba stwierdzić, że rola ekspertyzy powypadkowej jest niedoceniona i niezbyt często zlecana przez organy procesowe.

Zamieszczone w pracy liczne przykłady wykrytych niekompletności, niesprawności i uszkodzeń układów hamulcowych, w trakcie badań pojazdów uczestniczących w wypadkach drogowych przedstawiają poważny problem o jakiej się zbyt dużo nie pisze w literaturze.

Na podstawie przeprowadzonych przez autora powypadkowych badań technicznych oraz opracowanych opinii z zakresu ekspertyzy i rekonstrukcji wypadków drogowych sporządzono między innymi wzorcowy protokół powypadkowy badań technicznych pojazdu.

W proponowanym protokole badania powypadkowego pojazdu oprócz podstawowych danych identyfikacyjnych, oceny stanu technicznego zespołów mających bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo, opisu uszkodzeń pojazdu zamieszczono rubrykę dotyczącą dokonania jazdy próbnej w celu zmierzenia opóźnienia hamowania lub długości drogi hamowania przy zadanej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

prędkości. Często zdarza się, że osoba badająca pojazd po wypadku drogowym, a właściwie dokonująca jego oględzin nie korzysta z możliwości przeprowadzenia badań trakcyjnych pojazdu, podczas gdy w badanym pojeździe uszkodzone były zewnętrzne elementy nadwozia, popękana szyba przednia, zaś układ jezdny był „sprawny". Takie sytuacje najczęściej występują w wypadkach z niechronionymi uczestnikami ruchu. Rzetelnie przeprowadzone badanie skuteczności hamowania przy użyciu opóźnieniomierza w warunkach zbliżonych do tych, które panowały podczas wypadku może dać podstawę dla ustalenia wartości rzeczywistego opóźnienia hamowania. W sytuacji, gdy stan techniczny pojazdu pozwala na poruszanie się nim, pomocna może być również diagnostyka układu hamulcowego na stanowisku rolkowym. Badanie takie daje pogląd na ogólną sprawność układu hamulcowego, natomiast nie może być podstawą dla ustalenia rzeczywistej wartości opóźnienia hamowania przy uwzględnieniu rzeczywistego stanu nawierzchni jezdni w miejscu wypadku.

Mówiąc o pojazdach biorących udział w wypadkach drogowych wyobrażamy sobie zazwyczaj samochody dość znacznie rozbite i nie nadające się do dalszej jazdy. Ale jak wynika ze statystyk policyjnych w Polsce około 40 % ofiar wypadków drogowych stanowią piesi i inni niechronieni uczestnicy ruchu drogowego. Zwłaszcza z tego rodzaju wypadków drogowych samochody (np. po potrąceniu pieszego), powinny zostać poddane powypadkowemu badaniu technicznemu z pomiarem opóźnienia hamowania oraz, w uzasadnionych przypadkach, badaniem na stanowisku diagnostycznym.

Zasadniczym problemem w rekonstrukcji wypadków drogowych jest zazwyczaj obliczenie prędkości początkowej pojazdu, a do tego konieczna jest znajomość wartości opóźnienia hamowania. Przeprowadzając analizę możliwości uniknięcia wypadku drogowego poprzez manewr ekstremalnego hamowania, musimy przyjąć pewną realną dla danych warunków wartość opóźnienia hamowania samochodu.

Niewątpliwie na wartość opóźnienia hamowania i długość drogi hamowania ma wpływ stan techniczny pojazdu. Dlatego, aby uniknąć błędów i niepewności w rekonstrukcji wypadku drogowego, należy wykonać ekspertyzę (opinię techniczną) dotyczącą stanu technicznego samochodu, który brał udział w analizowanym zdarzeniu drogowym.

W pracy zamieszczono również spostrzeżenia i sugestie jak należy przeprowadzić powypadkowe badanie techniczne w warunkach drogowych oraz na stanowisku diagnostycznym, aby miało one wartość procesową.

Koncepcja powypadkowych badań technicznych zawarta w pracy w głównej mierze koncentruje się na określeniu wpływu niesprawności (nieszczelności) układu hamulcowego oraz wyznaczeniu i zdefiniowaniu współczynnika niesprawności układu hamulcowego. Opracowana metodyka umożliwi wykorzystanie innowacyjnych badań w rekonstrukcji wypadków drogowych.

Reasumując, wydaje się, że cennym oraz trafnym pomysłem okazały się przeprowadzone badania porównawcze ze sprawnym i niesprawnym układem hamulcowym (wyciek płynu hamulcowego następował podczas gwałtownego hamowania) oraz ze sprawnym i niesprawnym układem ABS. Przeprowadzono badania stanowiskowe oraz badania drogowe na nawierzchniach o różnym współczynniku przyczepności.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

1. WPROWADZENIE

Samochody, jakie dzisiaj znamy, zostały skonstruowane w okresie ostatnich kilkudziesięciu lat. Pojazdy zmechanizowane próbowano budować od kilkuset lat. Pojazdami zaprzęgowymi ludzie umieli się posługiwać od kilku tysięcy lat.

Człowiek od początku swego istnienia dążył do tego, by móc przemieszczać się z miejsca na miejsce i transportować potrzebne mu przedmioty szybciej, z mniejszym wysiłkiem i w większej ilości.

Szybki rozwój motoryzacji w ostatnich latach wymusił szersze zainteresowanie problematyką wypadków drogowych, ponieważ zjawisko to powoduje duże straty w zasobach ludzkich i materialnych.

1.1. Rys historyczny przyczyn powstania wypadków drogowych

Francuski inżynier wojskowy Nicolas Joseph Cugnot marzył o zbudowaniu pojazdu bez koni i pracował nad skonstruowaniem takiego silnika parowego, który napędzałby koła pojazdu. Cugnot spełnił swoje marzenie i w 1769 roku zbudował pierwszy samobieżny pojazd o napędzie parowym i spowodował nim pierwszą w historii kolizję drogową. Podczas pokazu w Paryżu pojazd Cugnota po uruchomieniu i płynnej jeździe uderzył w kamienną ścianę, ponieważ zawiodło kierowanie przednim kołem. Demonstrowany pojazd był ciężkim wozem artyleryjskim, który podczas tego wydarzenia nie doznał dużych uszkodzeń.

Trudności w kierowaniu prezentowanym pojazdem wynikały z nietrafnego umieszczenia zbyt daleko przed przednią osią ciężkiego kotła i paleniska na ruchomym widelcu, który służył do kierowania pojazdem. Wykonany w ten sposób mechanizm skrętu nie pozwolił na szybką reakcję kierowcy. Okazało się później, że tak skonstruowany układ kierowniczy jest poważną wadą pojazdu, który zadecydował o jego dalszych losach. Dzięki pomocy władz francuskich kolejne próby przeprowadzono w 1770 roku i również wówczas wystąpiły następne kolizje. W kolejnych próbach pojazd Cugnota powodował kolejne szkody. Dlatego pojazd został skonfiskowany i umieszczony pod kluczem w arsenale, a Cugnot stał się pierwszą osobą uwięzioną za zakłócanie porządku publicznego i niebezpieczną jazdę.

Na początku XIX wieku pojawiły się dyliżanse parowe, a wraz z nimi kolejne wypadki.

Początek prawdziwej ery motoryzacji nastąpił pod koniec XIX wieku. Wiązało się to z zastosowaniem silnika spalinowego do napędu pojazdu drogowego, ponieważ maszyna parowa, jak i silnik elektryczny, nie okazały się dobrym rozwiązaniem.

Coraz większe zainteresowanie budową pojazdów wyposażonych w silnik spalinowy, coraz więcej konkursów, wyścigów i rajdów, coraz więcej informacji prasowych o samojezdnych wehikułach było przyczyną, że motoryzacja zaczynała stawać się problemem ogólnospołecznym. Nie było to już zjawisko jednostkowe, służące wyłącznie rozrywce, lecz zaczynała to być prawdziwa motoryzacja komunikacji indywidualnej, jak i zbiorowej.

Popularność pojazdów drogowych szybko, spowodowała znaczny wzrost ich liczby i powiększenie się sieci dróg o utwardzonej nawierzchni.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Decydującym czynnikiem, który umożliwił znaczne zwiększenie prędkości jazdy i komfortu podróżowania, było zastosowanie ogumienia pneumatycznego, które zastąpiło dotychczas stosowaną obręcz z pełnej, mało elastycznej gumy.

Co prawda guma do budowy pojazdów była już stosowana od 1870 roku, jednakże ogumienie pneumatyczne zostało wynalezione dopiero w 1888 roku przez Szkota Johna Boyda Dunlopa. W oparciu o jego wynalazek i patenty już w 1889 roku została założona fabryka pneumatyków w Dublinie. Początkowo były to opony przeznaczone dla rowerów. Dopiero później zaczęto produkować specjalne ogumienie pneumatyczne dla samochodów. Warto tu wspomnieć, że proces gorącej wulkanizacji kauczuku zmieszanego z siarką był znany już dużo wcześniej. Został on wynaleziony przez Amerykanina Charlesa Goodyera w 1839 roku. Miało to duże znaczenie dla początkowego okresu budowy pojazdów, ponieważ guma od nieomal początku istnienia pojazdu była dość istotnym tworzywem w jego konstrukcji.

Pierwsze pojazdy silnikowe miały strukturę nadwozia przypominające powozy konne. Kierowca siedział najczęściej wysoko, nad silnikiem i układem napędowym.

Pośród najstarszych obecnie zarejestrowanych w Polsce samochodów jest Holsman Model 3, który został wyprodukowany w 1905 roku (rys. 1.1). Posiada on prosty układ hamulcowy, sterowany ręcznie dźwignią umieszczona z prawej strony pojazdu. Hamowane są tylko koła osi tylnej za pomocą elementów hamujących dociskanych promieniowo do dodatkowych obręczy zamontowanych od wewnętrznej strony na tylnych kołach (rys. 1.2).

Rys. 1.1. Widok samochodu Holsman model 3 rok produkcji 1905 (właściciel: Muzeum Techniki Wojskowej Gryf)

Rys. 1.2. Widok elementów układu hamulcowego tylnego lewego koła pojazdu Holsman model 3 rok produkcji 1905

W miarę dalszego zwiększania się prędkości jazdy, także układ kierowniczy, zawieszenie i hamulce zostały modernizowane i udoskonalone [147].

Problem wypadków drogowych pojawił się już w początkowej fazie rozwoju motoryzacji, by w ciągu zaledwie kilkudziesięciu lat przybrać rozmiary poważnego problemu. Pierwsze ofiary automobilizmu związane były najczęściej z popularnymi w tamtym okresie rajdami samochodowymi. Takie czynniki jak: brawura kierowców, brak nawyków ostrożności u kibiców i przypadkowych pieszych, bardzo szybki wzrost prędkości pojazdów (barierę prędkości 100 km/h przekroczono jeszcze w XIX wieku – w 1899 roku) miały niewątpliwie ogromny na to wpływ. Wzrostowi wypadków sprzyjał niski poziom bezpieczeństwa (np. prymitywny układ

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

kierowniczy, hamulce na wale napędowym) i niskie technologicznie zaawansowanie (produkcja chałupnicza w niewielkiej liczbie egzemplarzy), brak dróg przystosowanych do ruchu motorowego oraz przepisów prawnych regulujących zasady poruszania się po drogach.

W 1892 roku we Francji wydano pierwsze rozporządzenie ograniczające maksymalną prędkość pojazdów silnikowych. Wprowadzono też obowiązek stosowania tłumików i odpowiednich hamulców. Opracowano również pierwszy kodeks drogowy regulujący m.in. zasady pierwszeństwa przejazdu na skrzyżowaniach oraz rozporządzenie dotyczące identyfikacji sprawcy wypadku. Wprowadzony w 1893 roku system tablic rejestracyjnych obowiązuje do dziś.

Pierwsze zderzenie dwóch pojazdów samochodowych zarejestrowano w 1892 roku. Jeden z pojazdów należał do barona De Zuylena, a drugi do hrabiego De Diona. W 1895 roku w Stanach Zjednoczonych poruszały się zaledwie cztery samochody, lecz mimo to dwa z nich zderzyły się w Saint Louis, w którym jeden z kierowców doznał poważnych obrażeń ciała.

Pierwszą śmiertelną ofiarą automobilizmu był prawdopodobnie pieszy W.H. Bliss potrącony przez samochód w Nowym Yorku w 1895 roku. Pierwszą odnotowaną śmiertelną ofiarą wypadku samochodowego w Europie była również piesza, 44-letnia Brigida Driscoll, która w 1896 r. usiłowała przebiec przed pojazdem pędzącym, zdaniem świadków: *„tak szybko, jak konny zaprzęg straży pożarnej"*. Dopiero drugą śmiertelną ofiarą automobilizmu w Europie był kierowca (Markiz de Montagnac podczas rajdu samochodowego w 1897 roku). W 1898 roku w Anglii zginęły dwie osoby wyrzucone z jadącego pojazdu po urwaniu koła. W Anglii pierwszą śmiertelną ofiarą wypadku drogowego był motocyklista George Morgan. Przyczyną wypadku była nadmierna prędkość. Kierowca spadł z motocykla i zmarł z powodu poważnych obrażeń głowy. Dwa dni później podczas zjeżdżania ze wzgórza kierowca Edwin Roots Sewell i jego pasażer James Richer zginęli przy prędkości powyżej 20 mil/h (prędkość projektowa pojazdu wynosiła 14 mil/h). Prawdopodobnie kierowca zamierzał zaprezentować wielkie możliwości swojego samochodu przyszłemu potencjalnemu klientowi. Zaskakująca była opinia sędziego dotycząca tego śmiertelnego wypadku: „*kierowca nie ponosi winy, ponieważ chciał jedynie zwrócić uwagę na możliwości pojazdu, a śmierć nastąpiła w wyniku nieszczęśliwego wypadku*" [191].

Wyścigi samochodowe były świetnym poligonem doświadczalnym i bardzo przyczyniły się do zwiększenia bezpieczeństwa. Dobrym przykładem jest historia przebudowania konstrukcji pojazdu opisana poniżej. Podczas wyścigu, który odbył się w 1900 roku na krętych drogach w pobliżu Monte Carło, zginął kierowca pojazdu zbudowanego przez Daimlera. Przedstawiciel handlowy tej fabryki Emil Jellinek, zastanawiał się nad przyczyną wypadku i doszedł do wniosku, że pojazd zdolny do rozwijania dużej prędkości musi być znacznie dłuższy w stosunku do swej szerokości i mieć nisko położony środek masy. Przedstawiona przez Jellinka koncepcja została uznana za słuszną przez znakomitego konstruktora samochodów Wilhelma Maybacha, który niezwłocznie przystąpił do budowy samochodu o rozstawie osi znacznie dłuższym niż rozstaw kół. Już w 1901 roku ukazał się pojazd wyścigowy z długim i niskim podwoziem, które nadało pojazdowi zupełnie nową sylwetkę. Przyjęta przez Daimlera

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

i Maybacha zasada budowy podwozia rozpowszechniła się stosunkowo szybko, nadając pojazdom cechy samochodu współczesnego.

Podczas rajdu Paryż-Madryt (przerwanego już po pierwszym etapie w Bordeaux) w 1903 roku zginęło aż 8 kierowców i pasażerów oraz dziewczynka przebiegająca przez jezdnię, a wiele osób zostało rannych.

Później liczba ofiar rosła już lawinowo, tak że w 1906 roku wypadki samochodowe zostały uznane za osobną kategorię w statystykach przyczyn zgonów w Stanach Zjednoczonych. Rok wcześniej policja angielska zastosowała po raz pierwszy urządzenie do kontroli prędkości pojazdów (obowiązywało tam wówczas ograniczenie prędkości do 32 km/h, natomiast w Berlinie maksymalną prędkość pojazdów ograniczono wówczas do 20 km/h, a w Wiedniu nawet do 15 km/h), lecz mimo to w 1912 roku w samym Londynie doszło do 53 śmiertelnych wypadków drogowych (w Wiedniu odnotowano w tym samym czasie 26 ofiar wypadków drogowych) [191].

W latach dwudziestych Amerykanin Henry Ford wprowadził nową metodę produkcji taśmowej pojazdów, uważaną za szczytowe osiągniecie w tej dziedzinie. Pozwoliło to na zmniejszenie kosztów produkcji wytwarzanych pojazdów i coraz większe upowszechnienie. Masowa produkcja pojazdów w Stanach Zjednoczonych umożliwiła bardzo dużej ilości ludzi cieszyć się *„własnymi czterema kółkami”.* Motoryzacja amerykańskiego społeczeństwa szła w parze ze wzrostem zdarzeń drogowych. A że ówczesne samochody do bezpiecznych nie należały, ich skutki były często przerażające. Poniżej przedstawiono przykładowe zdjęcia (rys. 1.3) z lat dwudziestych XX wieku wykonane przez amerykańskiego fotografa.

Rys. 1.3. Widok prawego boku uszkodzonego pojazdu (zdjęcie Leslie Jones)

Z początkiem XX wieku produkcja samochodów wzrastała lawinowo i w 1925 roku na świecie jeździło już ok 2,5 mln, a w Polsce ok. 14,7 tysięcy pojazdów [147].

Pojazdy stały się coraz bardziej popularnym środkiem transportu ludzi i towarów. Powstała konieczność rozbudowy sieci dróg o utwardzonej nawierzchni. Wraz ze wzrastającą liczbą samochodów poruszających się po drogach rosła liczba wypadków, które pociągały za sobą kolejne ofiary. Od samego początku motoryzacji wypadki drogowe były wielką udręką kierowców i źródłem wielu problemów.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

1.2. Pojęcie „wypadku drogowego”

Istota wypadku drogowego polega na naruszeniu zasad bezpieczeństwa w ruchu drogowym i spowodowaniu w ich wyniku śmierci lub obrażeń ciała.

Spojrzenie na powstawanie przyczyn wypadków drogowych zmieniło się wraz z szybkim rozwojem motoryzacji. W latach dwudziestych XX wieku zdarzenie drogowe traktowano jako zdarzenie losowe będące wynikiem przeznaczenia. Nie można było zatem nic zrobić, aby uniknąć przeznaczenia losu. Następnie w latach pięćdziesiątych XX wieku występował pogląd, że główną przyczyną wypadków drogowych jest ryzykowne zachowanie kierowców, zatem nie było możliwe wyeliminowanie wypadków z życia codziennego. W latach sześćdziesiątych zaczęto już zwracać uwagę na poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego poprzez edukację, poprawę infrastruktury drogowej oraz zmianę konstrukcji samochodu. Dopiero w ostatnich latach XX wieku zaczęto zdawać sobie sprawę, że wypadki drogowe są skutkiem działania połączonych ze sobą różnych okoliczności, a system ruchu drogowego bywa zawodny. W XXI wieku uważniej zaczęto się zajmować procesami zachodzącymi podczas ruchu samochodu. Bardzo ważnym obszarem wykorzystania wiedzy o zjawiskach występujących w ruchu drogowym, są między innymi zagadnienia dotyczące zapobiegania wypadkom drogowym, analizy ich przyczyn i rekonstrukcji wypadków drogowych.

Wypadek drogowy przestał być w interpretacji wielu jego uczestników i komentatorów wydarzeniem losowym, pozwalającym na obronę sprawcy zdarzenia tłumaczeniem, że kierujący pojazdem miał pecha. Taka interpretacja wypadku drogowego była w Polsce powszechna jeszcze kilkadziesiąt lat temu, gdy nie istniała rozwinięta metodologia tego zjawiska, a metodyka rekonstrukcji wypadku zależała przede wszystkim od poziomu wiedzy specjalistycznej biegłego i jego osobistego poglądu.

Współczesna metodologia badań wypadków drogowych, znaczący przyrost natężenia ruchu na drogach i różnorodność wypadków drogowych nakazuje nam spojrzeć na to zjawisko z punktu widzenia praw fizyki, a dokładniej praw mechaniki ruchu, wzbogaconych o mechanikę zderzeń pojazdów. Ta dziedzina wiedzy jednoznacznie definiuje wypadek drogowy: jako zjawisko fizyczne rządzące się prawami mechaniki ruchu.

Wypadek drogowy najczęściej poprzedza stan zagrożenia zaistniały na drodze. Stan zagrożenia może być spowodowany przez kierującego pojazdem, innego uczestnika ruchu bądź innego użytkownika drogi. Między stanem zagrożenia, a wypadkiem upływa określony czas, w którym kierujący pojazdem lub inny uczestnik ruchu może, poprzez własne zareagowanie zlikwidować ten stan zagrożenia, co spowoduje, że do wypadku nie dojdzie. Tak więc uogólniając, wypadkowi można zapobiec likwidując stan zagrożenia. Jeżeli uczestnik ruchu nie zlikwiduje powstałego stanu zagrożenia, wówczas wypadek nastąpi. Uczestnikiem ruchu powodującym stan zagrożenia może być nie tylko kierujący pojazdem, ale również pieszy wkraczający na jezdnię w sposób niekontrolowany.

W Polsce do 1974 roku jako wypadki drogowe rejestrowane były tylko takie zdarzenia, które miały związek z ruchem pojazdów drogowych, zaistniały lub miały początek na drodze

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

publicznej, ulicy lub placu, w wyniku których nastąpiła śmierć lub „uszkodzenie ciała" osób biorących w nich udział. Jako śmiertelne ofiary wypadków traktowano te osoby, które zmarły w ciągu 48 godzin od wypadku [168].

Od 1975 roku centralnie rejestruje się w Polsce tylko te zdarzenia drogowe (niezależnie od tego czy miały charakter kryminalny), które miały związek z ruchem pojazdów drogowych, zaistniały lub miały początek (dlatego potrącenie pieszego na chodniku poza jezdnią jest także traktowane jako wypadek drogowy) na drodze publicznej, ulicy lub placu i spowodowały śmierć lub dowolne „*uszkodzenie ciała*" co najmniej jednego uczestnika ruchu drogowego, przy czym za śmiertelne ofiary wypadków przyjmuje się również te osoby, które zmarły w wyniku doznanych obrażeń w ciągu 30 dni od daty wypadku (co stanowi ok. 95 % rzeczywistej liczby ofiar wszystkich wypadków drogowych, a pozostałe przypadki to tzw. „*późne zgony powypadkowe*"). Taka definicja wypadku i jej ofiar (w tym także śmiertelnych) jest zgodna z zaleceniami Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ z 1960 roku przyjętymi przez większość krajów Europy (Europejskie Porozumienie w ramach Konwencji o Wypadkach Drogowych, Wiedeń 1968) oraz Ameryki Północnej. W przeszłości wiele krajów stosowało własne kryteria rejestracji statystycznej wypadków drogowych oraz odmienne definicje pojęcia wypadku i jego ofiar (zwłaszcza śmiertelnych), co utrudniało porównywanie stanu bezpieczeństwa na drogach [169].

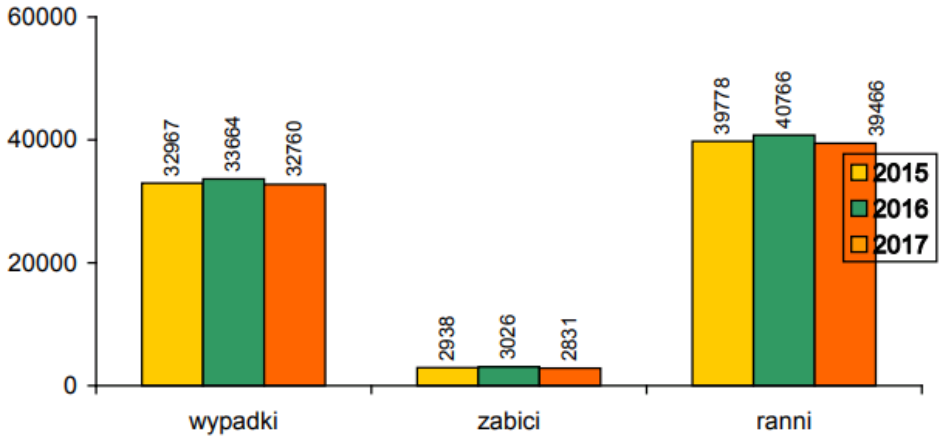
Art. 177 polskiego kodeksu karnego definiuje wypadek drogowy jako przestępstwo drogowe (nie będące katastrofą), w którym uczestniczył co najmniej jeden pojazd, znajdujący się w ruchu i co najmniej jedna osoba (poza sprawcą) doznała takich obrażeń ciała, które powodują rozstrój zdrowia lub naruszenie czynności narządów ciała na okres dłuższy niż siedem dni, ciężki uszczerbek na zdrowiu, względnie śmierć ofiary. Naruszenie zasad bezpieczeństwa w ruchu drogowym, które powoduje jedynie rozstrój zdrowia lub naruszenie czynności narządów ciała na okres nie dłuższy niż siedem dni bywa czasem określane mianem „lekkiego wypadku drogowego", ale zazwyczaj klasyfikowane jest jako kolizja drogowa [4].

Dzięki staraniom wielu instytucji i podmiotów działających na rzecz przeciwdziałania powstawaniu wypadków drogowych stan bezpieczeństwa w Polsce ulega poprawie [135]. Wpływ na to ma wiele złożonych czynników. Przyjmując jednak znaczne uproszczenie, można stwierdzić, że bezpieczeństwo ruchu drogowego jest funkcją działania z jednej strony człowieka, a z drugiej określonego stanu technicznego, to znaczy pojazdu i drogi.

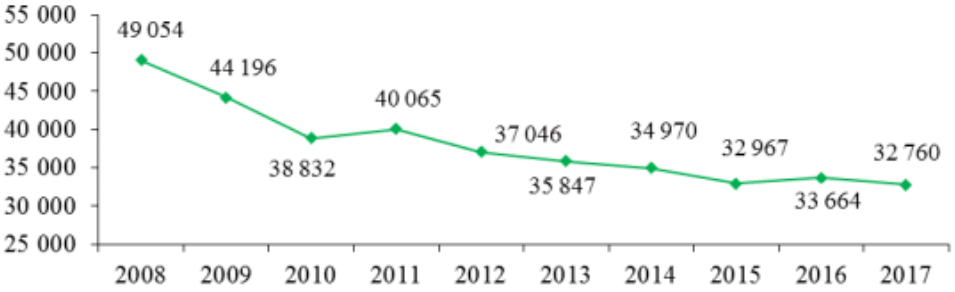
Tylko w 2017 roku na polskich drogach doszło do 32 760 wypadków drogowych, w których zginęło 2 831 osób, a 39 466 zostało rannych [99].

Na rys. 1.4 przedstawiono ogólne dane o wypadkach drogowych i ich skutkach w Polsce w latach 2015 – 2017. Tendencje występowania wypadków drogowych obrazuje rys. 1.5. Liczby zabitych w wypadkach drogowych w Polsce w latach 2008 – 2017 widoczne są na rys. 1.6. Dane te zostały sporządzone na podstawie opracowania Wydziału Opiniodawczo-Analitycznego Biura Ruchu Drogowego Komendy Głównej Policji [99].

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 1.4. Statystyka wypadków w Polsce w latach 2015 – 2017 [99]



Rys. 1.5. Tendencja występowania wypadków drogowych w Polsce w latach 2008 – 2017 [99]

Rys. 1.6. Liczby zabitych w wypadkach drogowych w Polsce w latach 2008 – 2017 [99]

Na pierwszym miejscu z wszystkich rodzajów wypadków drogowych występują zderzenia, które zakwalifikowano do kategorii *„zderzenie pojazdów w ruchu”.* W 2017 roku wypadków takich było 17 291, co stanowiło 52,8 % ogółu, śmierć w nich poniosło 1 186 osób (41,9 % wszystkich zabitych), a rannych zostało 22 997 osób (58,3 % ogółu rannych) [99].

Widoczny w statystykach śmiertelnych ofiar wypadków jest problem niechronionych uczestników ruchu drogowego (piesi, rowerzyści, motorowerzyści i motocykliści). Około 40 % wszystkich ofiar wypadków drogowych w Polsce stanowią piesi i inni niechronieni uczestnicy ruchu drogowego. Na tę grupę należy zwrócić szczególną uwagę, ponieważ w przeciwieństwie do poruszających się samochodami, osoby te nie są chronione karoserią samochodu i nie mogą liczyć na działanie poduszek powietrznych ani pasów bezpieczeństwa.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

1.3. Przegląd literatury związanej z rekonstrukcją wypadków drogowych

1.3.1. Problematyka skutków wypadków drogowych

W początkowym okresie rozwoju motoryzacji, problematyka skutków wypadków drogowych była poruszana głównie w obszarze medycyny sądowej. W literaturze z tego okresu ofiary wypadków drogowych stanowili wyłącznie piesi (w statystykach nie wyróżniano w ogóle ofiar wśród kierowców i pasażerów pojazdów). Nie wyróżniano też poszczególnych faz potrącenia, lecz wszystkie przypadki rozpatrywano w kategoriach „przejechania", co prawdopodobnie wynikało z mniejszej prędkości ówczesnych pojazdów, które nie powodowały obrażeń śmiertelnych, w wyniku potrącenia w pozycji wyprostowanej, lecz dopiero po najechaniu (przejechaniu) pieszego. Do przejechania pieszego dochodziło znacznie częściej niż obecnie z uwagi na inną konstrukcję nadwozia, wyższe zawieszenie samochodów z tego okresu oraz ich słabsze hamulce. Dopiero podczas II wojny światowej podjęto pierwsze prace nad możliwością poprawy bezpieczeństwa w szeroko rozumianym transporcie (inspirowane wypadkami w lotnictwie).

W literaturze polskiej na uwagę zasługują prace Butryma z 1924 roku oraz Dżułyńskiego z 1951 roku, którzy problem wypadkowości drogowej rozpatrywali jednak w ujęciu statystycznym (epidemiologii zjawiska, przyczyn biologicznych i częstości różnych obrażeń) natomiast nie zajmowali się bliżej problematyką odtwarzania okoliczności wypadku [169].

Lata pięćdziesiąte XX wieku to początek ery badań doświadczalnych. Spowodowało to potrzebę stworzenia forum bieżącej wymiany doświadczeń oraz organizowania corocznych międzynarodowych konferencji w zakresie problematyki wypadków drogowych.

W latach sześćdziesiątych XX wieku ukazało się dużo monografii i podręczników poświęconych aspektom wypadkowości drogowej z elementami rekonstrukcji przebiegu wypadku. W 1963 roku Sehn oraz Zelwiański w materiałach Krajowej Narady Polskiego Towarzystwa Medycyny Sądowej i Kryminologii opisywali już rolę kryminalistyki w ustaleniu przyczyn wypadków drogowych.

Problematyka wypadków drogowych pod koniec XX wieku wymusiła rozwój wielu metod badawczych i stała się swoistym poligonem doświadczalnym dostarczającym rzeczywistych danych, a analiza wypadków drogowych została uznana za gałąź nauk sądowych.

1.3.2. Identyfikacja śladów ujawnionych na miejscu wypadku drogowego

Rekonstrukcja wypadku drogowego wykonywana jest na podstawie śladów ujawnionych na miejscu zdarzenia. Identyfikacja śladów jest więc podstawowym czynnikiem pozwalającym na odtworzenie toru ruchu pojazdu oraz jego parametrów. Cechy ujawnionych śladów tj. kształt, wzajemne ich rozmieszczenie oraz inne cechy makroskopowe, zmieniają się w miarę przebiegu zdarzenia.

Z przeprowadzonego eksperymentu przez Lewandowskiego [88, 89] wynika, że kształt śladu zarzucania oraz jego cechy makroskopowe zależą nie tylko od prędkości początkowej pojazdu, ale również od zakresu użycia hamulców.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Metodykę badań hamowania samochodem (w latach 80-tych XX wieku) w warunkach drogowych opracował Polański [133]. Korzystając z tego opracowania Reza, Zębala i Pieniążek [145] przeprowadzili badania drogowe hamowania samochodu marki Polonez. Rezultaty badań wskazują, że przy niskich początkowych prędkościach hamowania (ok 30 km/h) na jezdni o suchej nawierzchni powstają ślady w fazie narastania opóźnienia. Natomiast dla wyższych prędkości (ok 80 km/h) ślady hamowania na jezdni powstają w fazie efektywnego hamowania.

Problemem identyfikacji śladów hamowania pozostawionych na jezdni przez opony pojazdu wyposażonego w układ ABS zajmowali się Kolator, Olszewski, Walczak i Wolak [73]. Po zakończeniu każdej próby ekstremalnego hamowania autorzy artykułu wykonali dokumentację fotograficzną śladów oraz rejestrowali ślad termiczny pozostawiony na jezdni przy użyciu kamery termowizyjnej. Stwierdzili oni, że na podstawie obrazu termowizyjnego możliwe jest określenie długości śladu ekstremalnego hamowania (jeżeli badanie śladu nastąpi bezpośrednio po hamowaniu w niedużym odstępie czasu), ale na podstawie klasycznej fotografii trudno jest jednoznacznie określić długość i szerokość śladu hamowania.

1.3.3. Potrącenie pieszego przez pojazd

Rekonstrukcja przebiegu wypadku drogowego dotycząca potrącenia pieszego przez pojazd od wielu lat jest przedmiotem wielu prac badawczych. Wynika to zarówno z dążenia do zmniejszenia skutków takiego zdarzenia, jak i stworzenia podstaw technicznych dla liczbowego odtworzenia zjawisk fizycznych stanowiących jego elementy [102]. Odtwarzanie i analizę przebiegu wypadku drogowego z udziałem pieszego opisał w swoim opracowaniu Kończykowski [77]. Prędkość pojazdu w chwili potrącenia pieszego obliczana jest najczęściej z zależności empirycznych jako funkcja odległości odrzutu pieszego. Najprostszy, miarodajny wzór dotyczący tzw. pełnych zderzeń (czyli takich, w których samochód uderza pieszego przodem na całej szerokości pieszego i równocześnie hamuje zaproponował Kuhnel [83, 84]. Natomiast wzory uwzględniające kształt nadwozia, zakres prędkości i opóźnień przedstawili miedzy innymi Stcherbatchef, Tarriere, Duclos, Fayon, Got i Patel [158]; Appel, Sturtz i Gotzen [1, 2]; Rau, Otte i Schulz [139]. Zależności pomocnicze ułatwiające oszacowanie prędkości potrącenia pieszego opisuje Dettinger [30], korzystając z tzw. różnicy rozwinięcia pieszego wzdłuż przodu pojazdu, współczynnika uderzenia i długości pola rozrzutu odłamków szkła.

Z opracowania Rezy [144] wynika, że kształt przodu nadwozia ma duży wpływ na mechanikę wypadków pojazd-pieszy. Pomiędzy konstrukcjami samochodów osobowych z lat 80-ych, a konstrukcjami z lat 90-tych zaszły istotne zmiany. Po roku 1995 nastąpiły znaczące zmiany w kształcie nadwozi samochodów osobowych (krótsze maski, zaokrąglone krawędzie i integralne zderzaki).

Jako narożnikowe lub częściowe uderzenie pieszego przyjmuje się sytuację, w której niecałe ciało pieszego jest objęte przodem uderzającego samochodu. Jak wynika z badań Diupero [31] parametry kinetyczne ruchu ciała pieszego przy uderzeniu narożnikowym są odmienne niż w przypadku klasycznego uderzenia przodem samochodu. Korelacji pomiędzy prędkością uderzenia narożnikiem lub bokiem pojazdu, a odrzutem wzdłużnym lub

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

poprzecznym nie stwierdzono jak wynika z prac np. Burga i Raua [18, 20, 21]; Hugemmana [49]; Rohma i Schimmelpfenniga [158].

Istnieje wiele publikacji podających dane dotyczące sposobu i prędkości poruszania się pieszych np. Kühnl [83, 84]. Opublikowane w roku 2012 badania Zębali, Ciępki i Rezy [206] wykazały zwiększenie się średnich prędkości poruszania osób starszych w stosunku do wyników badań z lat siedemdziesiątych XX w., co autorzy tłumaczą podniesieniem się ogólnego poziomu sprawności fizycznej społeczeństwa w Europie.

Rekonstrukcja wypadku drogowego wykonywana jest na podstawie śladów ujawnionych na miejscu zdarzenia. Identyfikacja śladów jest więc podstawowym czynnikiem pozwalającym na odtworzenie toru ruchu pojazdu oraz jego parametrów. Cechy ujawnionych śladów tj. kształt, wzajemne ich rozmieszczenie oraz inne cechy makroskopowe, zmieniają się w miarę przebiegu zdarzenia.

Z przeprowadzonego eksperymentu przez Lewandowskiego [88] wynika, że kształt śladu zarzucania oraz jego cechy makroskopowe zależą nie tylko od prędkości początkowej pojazdu, ale również od zakresu użycia hamulców.

Metodykę badań hamowania samochodem (w latach 80-tych XX wieku) w warunkach drogowych opracował Polański [133]. Korzystając z tego opracowania Reza, Zębala i Pieniążek [145] przeprowadzili badania drogowe hamowania samochodu marki Polonez. Rezultaty badań wskazują, że przy niskich początkowych prędkościach hamowania (ok 30 km/h) na jezdni o suchej nawierzchni powstają ślady w fazie narastania opóźnienia. Natomiast dla wyższych prędkości (ok 80 km/h) ślady hamowania na jezdni powstają w fazie efektywnego hamowania.

Problemem identyfikacji śladów hamowania pozostawionych na jezdni przez opony pojazdu wyposażonego w układ ABS zajmowali się Kolator, Olszewski, Walczak i Wolak [73]. Po zakończeniu każdej próby ekstremalnego hamowania autorzy artykułu wykonali dokumentację fotograficzną śladów oraz rejestrowali ślad termiczny pozostawiony na jezdni przy użyciu kamery termowizyjnej. Stwierdzili oni, że na podstawie obrazu termowizyjnego możliwe jest określenie długości śladu ekstremalnego hamowania, ale na podstawie klasycznej fotografii trudno jest jednoznacznie określić długość i szerokość śladu hamowania.

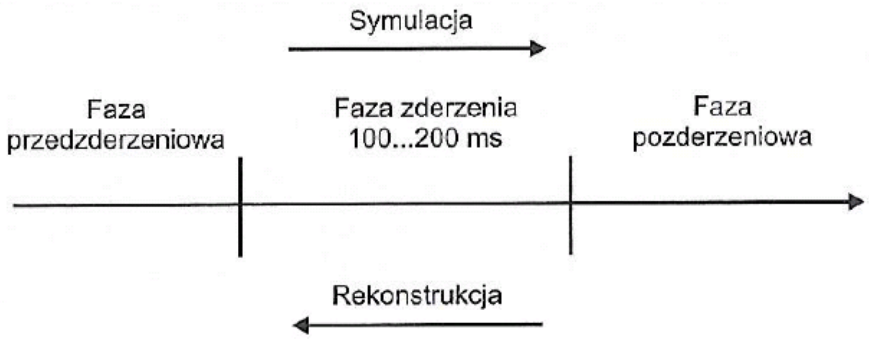
1.3.4. Proces zderzenia pojazdów

Analiza zderzenia pojazdów najczęściej przeprowadzana jest za pomocą metod znanych z klasycznej teorii zderzeń [134, 137, 180], opisanych między innymi w pozycjach (Appel i Krablel [1]; Brach [7, 8]; Hugemann [49]; Burg i Moser [19]; Wierciński [192].

Fazy procesu zderzenia, przedstawione zostały na rys. 1.7, stanowią one rozwiniecie przebiegu kulminacyjnej fazy wypadku drogowego:

- ✓ faza przedzderzeniowa - trwa do chwili, w której następuje początek styku nadwozi zderzających się samochodów,
- ✓ faza zderzenia – trwa od 100 do 200 ms,
- ✓ faza pozderzeniowa – samochody w tej fazie osiągają położenie spoczynkowe.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 1.7. Fazy podczas zderzenia samochodów [137]

Jednym z podstawowych zadań do rozwiązania w analizie zderzenia samochodów jest wyznaczenie wartości parametrów ruchu tych samochodów. Zadanie ich wyznaczenia może być traktowane jako symulacja lub rekonstrukcja.

Konstrukcja nadwozia samochodu powinna zapewnić kierowcy i pasażerom maksymalne bezpieczeństwo w razie wypadku. Dlatego nadwozie buduje się obecnie w taki sposób, aby tworzyło sztywną, mało odkształcalną część wokół przestrzeni pasażerskiej (tzw. strefę ochronną) oraz strefy energochłonne – zgniatane podczas wypadku, tzw. strefy kontrolowanego zgniotu [114]. Podczas zderzenia pojazdu energia kinetyczna absorbowana jest przez poszczególne elementy karoserii, powodując ich odkształcenie. Zasada konstrukcyjna polegająca na zastosowaniu w karoserii samochodowej elementów o zmniejszonej wytrzymałości do absorbowania energii kinetycznej zderzenia, powoduje zwiększenie zakresu odkształceń wynikających z wypadku. Zasada ta przyczynia się jednak w bardzo znaczący sposób do zachowania zwiększonych szans przeżycia osób znajdujących się w chwili wypadku w przestrzeni pasażerskiej [136].

Zagadnienia dotyczące zderzenia pojazdów zostały szczegółowo omówione w wielu pracach polskich [41, 42, 63, 77, 130] i zagranicznych ośrodków naukowo badawczych zajmujących się tematyką rekonstrukcji wypadków drogowych [7, 11, 30, 34, 96, 143, 156, 157].

Gidlewski i Jemioł [41] zrealizowali projekt badawczy w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji w Warszawie, którego celem było rozpoznanie i udokumentowanie procesów zachodzących podczas prostopadłego zderzenia dwóch samochodów osobowych będących w ruchu. Z analizy przeprowadzonych zderzeń wynika, że badania tego typu są niezwykle przydatne przy rekonstrukcji wypadków drogowych.

Przy rekonstrukcji zderzenia samochodów wykorzystuje się zasadę zachowania energii, pędu i krętu. Bardzo pomocne jest tu pojęcie EES (Energy Equivalent Speed), które jest umowną prędkością pozwalającą wyznaczyć energię deformacji [115, 117, 119].

Campbell [22] dał podstawy wykorzystania energii deformacji pojazdu jako liniowej funkcji tzw. średniej głębokości odkształcenia. Jego metodę rozwinął McHenry w standardzie CRASH3, uzależniając liniowo od głębokości odkształcenia siłę deformacji odniesioną do szerokości. Wach scharakteryzował metody energetyczne analizy zderzenia. W pracy [185] przedstawił analizę niepewności obliczeń rekonstrukcyjnych zderzenia oraz wrażliwość parametryczną.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

1.3.5. Rzetelność i wiarygodność opiniowania wypadków drogowych

Najważniejszą rzeczą w opiniowaniu wypadków drogowych są rzetelne i fachowe wiadomości specjalistyczne dotyczące zagadnień z rekonstrukcji wypadków drogowych, dlatego należy korzystać z wiarygodnych źródeł wiedzy.

Podstawową literaturą w opiniowaniu wypadków drogowych jest obecnie praca zbiorowa Wypadki drogowe „*Vademecum biegłego sądowego*", Wydawnictwa Instytutu Ekspertyz Sądowych w Krakowie [134].

Pomocne w opiniowaniu wypadków drogowych są zbiory referatów, dotyczące prawnych i kryminalistycznych problemów ruchu drogowego, zamieszczone w czasopiśmie „Paragraf na Drodze", które ukazuje się od 1999 roku.

Znacząca rolę pod względem wiadomości technicznych stanowią pozycje Wydawnictwa Komunikacji i Łączności w Warszawie z serii „Pojazdy samochodowe": *Mechanika ruchu*, Leon Prochowski [136], *Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych,* praca zbiorowa [137], *Badania stanowiskowe i diagnostyka*, Kazimierz Sitek i Stanisław Syka [155], *Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*, Jerzy Wicher [191].

Dużą pomocą na temat zagadnień dotyczących bezpieczeństwa ruchu drogowego i rekonstrukcji wypadków drogowych są też publikacje polskich i zagranicznych ośrodków naukowo-badawczych, a także opracowania biegłych i rzeczoznawców samochodowych [130].

Zagadnienia prawne z bezpieczeństwa ruchu drogowego zamieszczone są w dwóch tomach książki pt. „Felietony na drodze" [121, 122]. Autor felietonów Lech Paprzycki jest sędzią oraz prezesem Izby Karnej Sądu Najwyższego. Biegły, wykonując rekonstrukcję wypadku drogowego, powinien oprócz znajomości konstrukcji zespołów i podzespołów samochodu [128, 129, 131, 132] znać i rozumieć zasady funkcjonowania złożonych systemów elektronicznych nowoczesnych pojazdów [170].

Zdarza się często, że organ wymiaru sprawiedliwości zleca biegłemu wykonanie opinii, w której ma on odpowiedzieć na pytanie, czy wypadek wydarzył się lub mógł się wydarzyć w miejscu i sytuacji drogowej przedstawionej w aktach sprawy. Jak wynika z opracowania Momota i Pankiewicza [106] sprawy te często charakteryzują się małą ilością dowodów rzeczowych, zawartych w aktach sprawy i małą ilością mało precyzyjnych, a często wręcz sprzecznych, dowodów osobowych przedstawiających sytuację drogową, w jakiej powstał wypadek. Analiza prowadząca do udzielenia odpowiedzi na postawione wyżej pytanie polega na ustaleniu odkształceń nadwozia pojazdów, śladów kontaktu pojazdów na ich nadwoziach, ustaleniu ich wzajemnego usytuowania w czasie zderzenia. W dalszej kolejności należy ustalić przebieg zdarzenia (zgodnego z zasadami praw fizyki) polegający na określeniu parametrów ruchu pojazdu bezpośrednio przed zderzeniem, w czasie zderzenia i po zderzeniu oraz porównania odtworzonego przebiegu z zeznaniami uczestników i ewentualnych świadków wypadku.

W praktyce opiniowania wypadków drogowych niejednokrotnie można się spotkać z niewłaściwym stanem obciążenia samochodu oraz niewłaściwym ciśnieniem w ogumieniu kół. Badania wpływu ciśnienia w ogumieniu na sterowalność samochodu przeprowadzone przez

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Janczura i Świdra [61] wskazują na konieczność sprawdzania ciśnienia w ogumieniu kół samochodów podczas ich powypadkowych badań, a nie ograniczenia się tylko do badania organoleptycznego. Niejednokrotnie na miejscu wypadku ujawnione są ślady, wskazujące na toczenie się koła pozbawionego ciśnienia. Zmniejszenie wartości ciśnienia w ogumieniu powoduje zwiększenie się oporów toczenia koła [60, 165].

Przeprowadzono również badanie własne wpływu obniżenia i podwyższenia wartości ciśnienia w oponach terenowych typu AT(All Terrain) na opóźnienie hamowania samochodu terenowego Land Rover Discovery bez układu ABS. Pomiary opóźnienia hamowania przeprowadzono na suchej nawierzchni asfaltowej. Zmiany uzyskanych opóźnień hamowania, nawet przy znaczącym obniżeniu i podwyższeniu wartości ciśnienia w kołach w stosunku do wartości nominalnych, były nieznaczne [118].

Zagadnienia związane z powypadkową diagnostyką pojazdów zostały przedstawione przez Pieniążka, Kuranowskiego i Wolaka [66] na konferencji Naukowo-Technicznej w Kielcach 2004. Badania kryminalistyczne i techniczne pojazdów biorących udział w wypadkach drogowym zostały omówione w artykule Szypińskiego i Dąbrowskiego [92].

Ogólne wytyczne przeprowadzania powypadkowych badań technicznych przy użyciu urządzeń kontrolno-pomiarowych będących na wyposażeniu stacji kontroli pojazdów przedstawiono w artykule na konferencji XV Forum Motoryzacji w Słupsku [161].

Analiza postanowień o umorzeniu śledztwa (dochodzenia), aktów oskarżenia, wyroków uniewinniających bądź wyroków skazujących, udowadnia, że często organ procesowy wydając postanowienie (w tym również wyrok skazujący lub uniewinniający) uzależnia je od stanowiska biegłego.

Eksperyment procesowy i rzeczoznawczy są ze sobą utożsamiane, różnicę między nimi przedstawił Kłak [71]. Eksperyment procesowy jest to czynność przeprowadzona przez organ procesowy, polegający na wykonaniu doświadczenia w ściśle określonych warunkach w celu sprawdzenia już zebranych dowodów. Natomiast eksperyment rzeczoznawczy to czynność biegłego podejmowana w ramach opracowywanej opinii i mająca na celu umożliwienie jej sporządzenia.

Niezwykły szybki rozwój elektroniki doprowadził w ostatnich latach do znacznego zwiększenia liczby elementów elektronicznych w samochodach [48]. Układy zwiększające bezpieczeństwo czynne pomagają w uniknięciu wypadków i przyczyniają się do zmniejszenia zagrożeń w ruchu drogowym [51]. Przykładem jest stosowany od 1978 roku układ zapobiegający blokowaniu kół podczas hamowania (ABS) [52].

Elektroniczny układ stabilizacji toru jazdy (ESP) jest dalszym istotnym krokiem w kierunku zwiększania bezpieczeństwa ruchu [53]. Od 1 listopada 2014 roku w krajach Unii Europejskiej wszystkie nowo rejestrowane samochody do 3,5 tony dopuszczalnej masy całkowitej muszą być wyposażone w układ ESP [112].

Duża liczba samochodów zarejestrowanych w naszym kraju pochodzi z importu indywidualnego z czego należy sobie zdawać sprawę podczas opiniowania wypadków drogowych. Nierzadko zdarza się, że samochody pochodzące z importu prywatnego są w złym

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

stanie technicznym. Wynikają stąd zagrożenia dla bezpieczeństwa ruchu drogowego, związane z eksploatacją takich samochodów, zwłaszcza w przypadku niefachowej naprawy ich nadwozia [138].

Możliwość wypowiedzi na sali sądowej każdej ze stron procesu sprawiła, że pojawiają się pytania o błędy [45, 46] i wiarygodność zastosowanych metod przez biegłego sądowego. Problem ten zaczął się pojawiać na początku lat dziewięćdziesiątych. Należy jednak zauważyć, jak twierdzi Wach [180, 186, 188, 189], że samo doskonalenie modeli zjawisk układów fizycznych oraz stosowanych symulacji komputerowych jest niczym innym jak działaniem zmierzającym do poprawy wiarygodności opinii.

1.3.6. Proces i ocena skuteczności hamowania pojazdów

Konstrukcja układu hamulcowego powinna zapewnić osiągnięcie odpowiednich sił hamowania na kołach bez nadmiernego zwiększania siły mięśni, związanej z wywieraniem przez kierowcę naciskiem na pedał hamulca jak wynika z opracowania Gabryelewicza [35].

Oceny skuteczności działania układu hamulcowego i stateczności ruchu pojazdu podczas hamowania można dokonać przez:

- badania trakcyjne, mierząc bezpośrednio drogę lub opóźnienie hamowania;
- badania stanowiskowe (pośrednie), dokonując pomiaru sił hamowania na urządzeniach pomiarowych.

Z przeprowadzonych badań porównawczych skuteczności hamowania w warunkach stanowiskowych (quasi-statycznych) i drogowych, które wykonał Gajek [37] wynika, że samochody z regulatorami sił hamowania sterowanymi ciśnieniem uzyskiwały w warunkach stanowiskowych mniejsze współczynniki intensywności hamowania, niż podczas badań trakcyjnych (drogowych). Natomiast samochody z regulatorami bezwładnościowymi wykazywały nieznacznie wyższą intensywność hamowania na stanowisku, niż na drodze. Samochody z regulatorami sterowanymi ugięciem zawieszenia nie wykazywały jednoznacznej różnicy w wynikach badań stanowiskowych i drogowych.

Weryfikacje metody obliczenia opóźnienia hamowania samochodu na podstawie wyników badań hamulców na stanowisku diagnostycznym przedstawił Świder [163] na konferencji w 2002 r. W podanej metodzie przyjęto założenia: płaski, jednomasowy model samochodu oraz liniowa zależność pomiędzy siłami hamującymi na kołach, a siłą nacisku na pedał hamulca. W metodzie tej parametrem pozwalającym przejść od wyników quasi-statycznego badania hamulców na stanowisku do wartości sił hamowania osiąganych na drodze jest siła nacisku na pedał hamulca [164].

Kilkanaście lat temu spełnienie wymagań przy projektowaniu układów hamulcowych związane było z koniecznością zastosowania korektorów rozdziału sił hamowania pomiędzy osie pojazdu. Ponieważ, gdyby siły hamowania na wszystkich kołach były jednakowe, odciążone tylne koła wykazywałyby tendencję do blokowania się i poślizgu. W celu uniknięcia tego niekorzystnego zjawiska stosowało się urządzenia zmniejszające siły hamowania tylnych

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

kół i zwiększające siły hamowania działające na przednie koła. W kolejnych latach zaczęto eliminować korektory mechaniczno-hydrauliczne, a ich role przejął układ przeciwblokujący ABS. Regulacja rozdziału sił hamowania w samochodzie osobowym polega na odpowiedniej regulacji ciśnienia płynu hamulcowego doprowadzającego do kół osi przedniej i tylnej. Jeżeli układ ABS jest uszkodzony to regulacji tej nie będzie i nastąpi „przyhamowanie" kół osi tylnej. Jak wynika z badań Janczura i Świdra [62] przy prędkości początkowej hamowania ok. 60 km/h, przy nie działającym układzie ABS występowało wyraźne kątowe odchylenie samochodu od toru początkowego. Należy się spodziewać, że przy awaryjnym hamowaniu z większych prędkości zwłaszcza na nawierzchni mokrych o mniejszym współczynniku przyczepności, utrata stateczności kierunkowej będzie jeszcze bardziej znacząca.

Oceną przydatności układu ABS przy niepełnej sprawności układu hamulcowego zajmowali się Gajek, Szczypiński-Sala i Strzępek [39]. Z przeprowadzonych badań wynika, że układ ABS łagodzi skutki niesprawności mechanicznych. Średnie wartości opóźnień możliwych do uzyskania podczas intensywnego hamowania pojazdu z mechanicznym uszkodzeniem układu hamulcowego powoduje zmniejszenie siły hamującej na jednym lub dwóch kołach samochodu z działającym układem ABS były wyższe o ponad 15 % w stosunku do hamowań pojazdu nieposiadającego układu ABS.

Badania stanowiskowe przeprowadzone przez Czecha i Posmyka [27] wykazały, że niesprawność układu hamulcowego może być spowodowana korozją mechanizmów hamulcowych, powstałych ze względu na długi okres nieużywania pojazdu.

Z badań Sumińskiego [159] wynika, że stanowiskowa metoda badań układu ABS pozwala na symulowanie różnych stanów awaryjnych, a także na zmianę parametrów pojazdu i warunków zewnętrznych prób w granicach szerszych niż jest to możliwe w tradycyjnych badaniach drogowych.

Mitunevicius z zespołem [105] zajęli się problemem związanym z hamowaniem pojazdów w warunkach miejskich (nasilony ruch uliczny). Według nich hamowanie z opóźnieniem powyżej 4 m/s^2 może być traktowane jako gwałtowne.

Ciępka i Reza [24] przeprowadzili badania porównawcze kilku popularnych w Polsce modeli opóźnieniomierzy, które znajdują się na liście obowiązkowego wyposażenia stacji kontroli pojazdów przeprowadzających badania techniczne [149], w odniesieniu do aparatury wzorcowej VBOX [16]. Na podstawie przeprowadzonych badań przedstawili wady i zalety każdego z nich.

Badania przeprowadzone przez Gajka, Szczypińskiego-Sale i Strzępka [38] wykazały, że opóźnieniomierze typu bezwładnościowego mogą być stosowane w badaniach kontrolnych układów hamulcowych pojazdów samochodowych. Różnice średniego, pełnego opóźnienia hamowania obliczonego według wytycznych ISO [110] nie przekraczają 2% wartości uzyskanych przy zastosowaniu optymalnego przyrządu wzorcowego. Największe różnice rejestrowanych przez opóźnieniomierze akcelerometryczne wartości opóźnienia wynikają z prędkości zmian nachylenia nadwozia w stosunku do nawierzchni drogi w momencie „nurkowania" i „odbicia" [162].

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Na podstawie przeprowadzonych badań awaryjnego hamowania w warunkach zimowych przez Lewandowskiego [89] stwierdzono, że na nawierzchni pokrytej ubitym śniegiem, wartość osiąganych opóźnień przy użyciu opon letnich stanowiła około 56…59 % opóźnień osiąganych przy użyciu opon zimowych.

Badania opóźnień hamowania pojazdów ciężarowych za pomocą różnych urządzeń przeprowadził Zębala [204]. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały wpływ miejsca mocowania opóźnieniomierza na wartość mierzonego opóźnienia hamowania. W przypadku zastosowania urządzeń, których wynik zależy od kąta pochylenia pojazdu, a nie można tego kąta ustalić, należy opoóźnieniomierz mocować w miejscu, które nie ulega znacznemu pochyleniu np. na skrzyni ładunkowej.

Odpowiednie własności płynu hamulcowego mają duże znaczenie dla sprawnego funkcjonowania układu hamulcowego. Wzrost obciążeń dynamicznych i cieplnych, nowych konstrukcji hamulców oraz dodatkowe zadania, jakie spełnia układ ABS, powoduje wzrost wymagań co do własności płynu hamulcowego jak wynika z materiałów szkoleniowych opracowanych przez Gajka i Wosia [40].

Siła hamowania, obecnie traktowana jako parametr kontrolny jest tylko jednym z parametrów służącym do oceny układu hamulcowego. W czasie badań powypadkowych według Krzemienia i Gajka [80] należy zwrócić uwagę na to, czy układ hamulcowy nie był przeciążony cieplnie. Możliwość przeciążenia cieplnego zależy zarówno od stanu par ciernych, jak i od własności cieczy przenoszącej ciśnienie.

Poligonowe badanie hamowania motocykla przy użyciu hamulca koła przedniego, koła tylnego i kombinacji obu tych hamulców wykonali Czub i Świder [28]. Z analizy badań wynika, że opóźnienie hamowania ze stałą siłą rośnie wraz ze zmniejszaniem się prędkości. W przypadku hamowania samym hamulcem tylnym łatwo doprowadzić do zablokowania koła. W warunkach drogowych hamulec ten pełni rolę hamulca pomocniczego, a jego skuteczność jest niewielka.

Na podstawie charakteru śladu hamowania, jego wysycenia, faktury i wymiarów geometrycznych można określić sposób hamowania motocykla zgodnie z analizą Wolaka i Walczaka [198]. Ponadto, jeżeli w wyniku intensywnego hamowania doszło do utraty stateczności i przewrócenia się motocykla, to w niektórych przypadkach charakter śladu pozwala na identyfikację typu niestabilności.

Jak wynika z artykułu Czwordona [29] o zawansowanych układach hamulcowych w motocyklach ogromny wpływ na przebieg hamowania z ABS-em ma również rodzaj ogumienia oraz umiejętność posługiwania się układem hamulcowym przez kierowcę. Podczas hamowania trzeba cały czas naciskać na dźwignię, niedopuszczalne jest hamowanie pulsacyjne [111].

W większości przypadków podczas badań drogowych hamowania motocyklem porównywane są zmierzone lub obliczone wartości dla różnych modeli motocykli wyposażonych lub niewyposażonych w układ ABS. Brak jest badań opóźnienia hamowania i drogi hamowania tego samego motocykla z możliwością włączenia i wyłączenia układu ABS. Dlatego autor

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

przeprowadził takie badanie, a wynik przedstawiono w artykule „analiza porównawcza drogi hamowania motocykla z włączonym i wyłączonym układem ABS" na XX Konferencji naukowo-technicznej w Słupsku [194]. Z przeprowadzonych badań wynika, że droga hamowania przy użyciu hamulca koła przedniego, tylnego i obydwu jednocześnie była krótsza dla badania przeprowadzonego przy wyłączonym układzie ABS. Znaczącą role odegrało tu duże doświadczenie motocyklisty. Różnica średniej drogi hamowana przy równoczesnym użyciu hamulca koła przedniego i tylnego, a hamowaniem tylko tylnym hamulcem dla hamowania z włączonym układem ABS wynosiła ok 50 %. Dla tego samego przypadku, ale dla sytuacji, kiedy układ ABS był wyłączony, różnica średniej drogi hamowania wynosiła ok 54…56 %.

1.3.7. Rejestratory parametrów ruchu pojazdów

Przy rekonstrukcji wypadków drogowych, problemem jest często brak wielu istotnych z jej punktu widzenia informacji o przebiegu zdarzenia. Pomocą mogą tu być wszelkiego typu rejestratory parametrów ruchu pojazdu, które ogólnie dzielą się na dwa rodzaje: tachografy, czyli urządzenia przeznaczone do kontroli czasu pracy kierowców, oraz urządzenia np. EDR (Event Data Recorder – rejestrator danych zderzenia, popularnie zwany czarną skrzynką), przeznaczone do zapisu parametrów wypadku lub incydentu.

W pierwotnej wersji tachografy były to urządzenia mechaniczne, rejestrujące na okrągłej tarczy, przebieg prędkości pojazdu. Analiza zapisów na tarczy tachografu była przedstawiona miedzy innymi w pracach Hugemann [49] oraz Lambourn [86, 87].

Od 1 maja 2006 roku wszystkie nowo rejestrowane w Unii Europejskiej autobusy i samochody ciężarowe o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 3500 kg powinny być wyposażone w tachograf cyfrowy zgodnie z Rozporządzeniem WE nr 1360/2002.

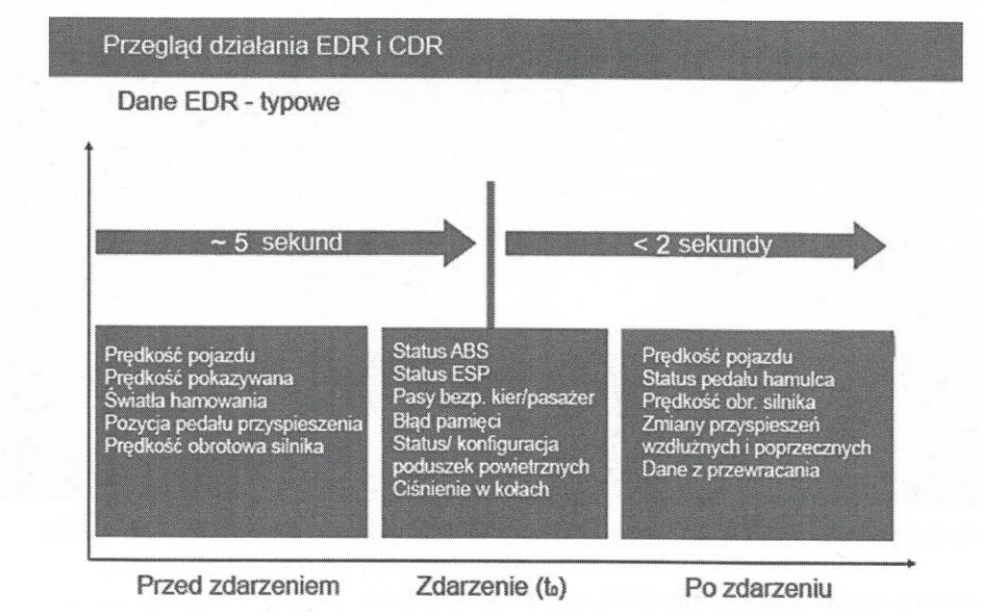
W połowie roku 1990 firma General Motors (GM), skonstruowała jednostkę EDR. Na początku zbierane dane służyły głównie do celów naprawczych pojazdów w warsztatach, jednak dostępne były również dane związane z wypadkiem. Ponieważ coraz częściej sądy, agencje rządowe i agencje ubezpieczeniowe w Stanach Zjednoczonych upominały o dane z urządzeń EDR, firma Vetronix w 2000 roku na zlecenie General Motors zbudowała urządzenie, za pomocą którego można było odczytać dane związane z wypadkiem drogowym. W roku 2003 firmę Vetronix zakupiła firma Bosch, która zaoferowała urządzenie do odczytu danych zderzenia Bosch CDR (Crash Data Rrtrieval) .

Historię prac nad wdrożeniem urządzenia EDR i standaryzację zapisów przedstawił w swojej pracy von Glaser [43]. Celem współpracy Departamentu Transportu oraz przemysłu samochodowego w USA było zdefiniowanie minimalnych wymagań dla odczytywanych danych dotyczących wypadku. Cel ten został osiągnięty w Rozporządzeniu NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) 49 CFR Part 563. Od roku 2014 EDR-y są obowiązkowo instalowane we wszystkich nowych pojazdach zarejestrowanych w Stanach Zjednoczonych.

W rozporządzeniu 49 CFR Part 563 zdefiniowano dane, które muszą być możliwe do odczytania z rejestratora danych zderzenia EDR za pomocą urządzenia dostępnego komercyjnie.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

System EDR - Bosch CDR zapisuje zazwyczaj następujące rodzaje informacji, które są związane z wypadkiem drogowym lub zdarzeniem podobnym do wypadku. Przykładowe działanie systemu EDR – Bosch CDR przedstawiono na rys. 1.8.



Rys. 1.8. Działanie systemu System EDR - Bosch CDR [17]

Obecnie w Europie trwają techniczne i prawne przygotowania mające na celu ustanowić zasady i wymagania dla producentów sprzętu, związanego z ogólnoeuropejskim wprowadzeniem rejestratorów EDR [69].

1.3.8. Programy komputerowe wspomagające proces rekonstrukcji

Początki oprogramowania służącego do wspomagania rekonstrukcji wypadków drogowych sięgają czasów rozpowszechnienia się mikrokomputerów, jakkolwiek pierwsze programy obliczeniowe powstały już znacznie wcześniej w nielicznych ośrodkach naukowych, dysponujących dużymi i bardzo drogimi maszynami liczącymi [134].

W późniejszym okresie, gdy pojawiły się zdecydowanie większe możliwości technologiczne i nowocześniejsze systemy operacyjne, opracowane zostały programy, które od samego początku zaprojektowane były jako złożone systemy symulacyjne (np. PC-Crash [182], V-SIM) [58] oraz służące do przeprowadzenia obliczeń czasowo-przestrzennych w formie graficznej (Titan) [57].

Z analizy badań przeprowadzonych przez Janczura [59] oraz przez Grzegożeka i Świdra wynika, że program umożliwiający symulację ruchu i zderzeń V-SIM [58,197] jest dobrym narzędziem i w wielu przypadkach pozwala na rekonstrukcję trudnych zderzeń drogowych. Model pojazdu w programie V-SIM opisują Olszewski i Wolak [113].

Programy do wspomagania i analizy wypadków drogowych jakimi są *„RWD – Potrącenie pieszego”* oraz *„RWD – Zderzenie pojazdów”* służą do kontrolnych przeliczeń wyników uzyskanych innymi metodami [174].

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Powyżej wymieniono tylko niektóre popularne programy komputerowe, wspomagające proces rekonstrukcji wypadków drogowych, używane najczęściej w Polsce przez biegłych sądowych i rzeczoznawców samochodowych.

Obecnie korzysta się z różnych programów komputerowych, mających na celu ułatwienie analizy konkretnych problemów podczas wykonywanej rekonstrukcji wypadku drogowego. Programy symulacyjne wymagają od użytkownika profesjonalnego przygotowania oraz zgromadzenia dużej ilości danych. Należy cały czas mieć świadomość tego, że wiele danych obarczonych jest znaczną niepewnością np. współczynnik przyczepności, wymiary liniowe i kątowe, chwila naciśnięcia na pedał hamulca, prędkość ruch pieszego itp. Dlatego do otrzymanych wyników należy podchodzić z dużą ostrożnością. Biegły na podstawie przeprowadzonej analizy wypadku drogowego oraz wykonanej na tej podstawie symulacji komputerowej nie może twierdzić: „tak było", może stwierdzić co najwyżej: „tak mogło być".

O rzetelności i wiarygodności rezultatów w procesie rekonstrukcji analizowanego wypadku drogowego decyduje przede wszystkim jakość danych oraz wiedza, duże doświadczenie i spostrzegawczość biegłego, a nie jedynie stopień nowoczesności programu komputerowego.

Reasumując należy podkreślić, że nawet najnowocześniejsze programy komputerowe: kalkulacyjne, symulacyjne czy kontrolne do wspomagania rekonstrukcji wypadków drogowych mogą prowadzić do popełnienia wielu błędów i nieprawidłowej analizy zdarzenia, jeżeli biegły popadnie w rutynę i nie uwzględni niesprawności technicznej pojazdu, która została ujawniona podczas powypadkowego badania.

1.3.9. Podsumowanie stanu wiedzy

Przegląd opisanej powyżej literatury nie wyczerpuje wszystkich zagadnień z obszaru dziedziny rekonstrukcji wypadku drogowego, ale jest związany z tematem niniejszej pracy.

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu istniejącego stanu wiedzy można stwierdzić, że obecnie jest wiele badań oraz publikacji związanymi z rekonstrukcją wypadków drogowych.

Najwyższa Izba Kontroli wielokrotnie zajmowała się problematyką bezpieczeństwa na drogach. Z przeprowadzonej kontroli w 2017 roku organów dopuszczających pojazdy do ruchu drogowego wynika między innymi, że w Polsce użytkowanych jest wiele pojazdów zaawansowanych wiekowo, które stwarzają szczególnie duże zagrożenie w ruchu drogowym.

Czytając, analizując kilkadziesiąt akt sądowych oraz pisząc opinie z zakresu ekspertyzy i rekonstrukcji wypadków drogowych dla organów procesowych, autor pracy doszedł do wniosku, że brakuje w fachowej literaturze badań drogowych i stanowiskowych dotyczących wpływu niesprawności (awarii) układu hamulcowego na skuteczność hamowania. Pilotażowe badania autora związane z zagadnieniem pomiarów opóźnienia hamowania i drogi hamowania dla niesprawnego układu hamulcowego wywołanego wyciekiem płynu hamulcowego podczas intensywnego, awaryjnego hamowania zostały już wstępnie przedstawione na XIX Konferencji Naukowowo-Technicznej w Słupsku w 2016 roku [195].

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

2. CEL I ZAKRES PRACY

Celem niniejszej rozprawy jest udowodnienie postawionych poniżej tez. Opierając się na aktualnej analizie stanu wiedzy technicznej, można sformułować następujące tezy pracy:

1) Rekonstrukcja wypadku drogowego w ogólnym przypadku jest interdyscyplinarnym zadaniem z dziedziny bezpieczeństwa i eksploatacji pojazdów samochodowych. **Dla prawidłowej i wiarygodnej rekonstrukcji wypadku drogowego powinno być wykonywane powypadkowe badanie techniczne pojazdów.** Wyniki rekonstrukcji mają szczególne znaczenie, ponieważ na ich podstawie organa procesowe formułują wnioski dotyczące winnych spowodowania wypadków, a sąd podejmuje decyzję o winie i ustala wyrok (czasami nawet niesłuszny na podstawie nieprawidłowo wykonanej rekonstrukcji).
2) Obecnie istnieje potrzeba i możliwość przeprowadzania powypadkowych badań technicznych nie tylko organoleptycznie, ale również przy użyciu specjalistycznych przyrządów kontrolno-pomiarowych oraz stanowisk diagnostycznych. **Przy obecnym stanie wiedzy możliwe jest opracowanie koncepcji powypadkowych badań technicznych pojazdów, która miałaby na celu usystematyzowanie procedur oraz określenie zakresu i sposobu przeprowadzania badań (także w warunkach drogowych i na stanowiskach diagnostycznych), tak, aby miały one wartość procesową.**
3) Rzeczywista wartość opóźnienia hamowania samochodu może być mierzona w warunkach drogowych za pomocą specjalistycznych przyrządów pomiarowych np. opóźnieniomierza. **Możliwe jest zbudowanie urzędzenia, które powodowałoby rozszczelnienie jednego z obwodów układu hamulcowego, a następnie wykonanie analizy porównawczej zmierzonych wartości opóźnienia hamowania pojazdu ze sprawnym i niesprawnym układem hamulcowym oraz na podstawie przeprowadzonych badań drogowych wyznaczenie wartości innowacyjnego współczynnika niesprawności układu hamulcowego.** Wyznaczone doświadczalnie wartości współczynnika niesprawności będą bardzo przydatne podczas rekonstrukcji wypadków drogowych dla pojazdów, w których wykryto nieprawidłowy stan techniczny układu hamulcowego (np. nieszczelność, niesprawności).

Dla udowodnienia postawionych tez zostały wykonane następujące prace:

1) Opracowanie metodyki dotyczącej problematyki powypadkowych badań technicznych pojazdów.
2) Zaprojektowanie i zbudowanie urządzenia, które powodowałoby niesprawność układu hamulcowego polegającą na rozszczelnieniu jednego z obwodów układu, tj. uszkodzeniu przewodu hamulcowego doprowadzającego płyn hamulcowy do elementów wykonawczych przedniego koła.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

3) Badania drogowe wybranych parametrów hamowania samochodu osobowego na nawierzchni asfaltowej suchej i mokrej oraz szutrowej, w trakcie, którego wystąpiła niesprawność układu hamulcowego.
4) Inowacyjne badania pomiaru wartości opóźnienia hamowania samochodu ze sprawym i niesprawnym układem hamulcowym oraz ze sprawnym i niesprawnym układem ABS, przy prostoliniowym torze jazdy na płycie poślizgowej Autodromu Pomorze o grubości warstwy wody około 2 mm.
5) Analiza porównawcza zmierzonych wartości opóźnienia hamowania samochodu ze sprawnym i niesprawnym układem hamulcowym dla otrzymanych wyników innowacyjnych badań drogowych.
6) Analiza wyników badań średniej wartości pełnego rozwiniętego opóźnienia hamowania (MFDD) oraz średniego opóźnienia hamowania wg ISO na podstawie zarejestrowanych danych przez opóźnieniomierze użyte do badań.
7) Badania stanowiskowe pomiaru wartości siły hamowania w zależności od sprawności układu hamulcowego oraz od wartości siły nacisku na pedał hamulca.
8) Analiza różnic zachodzących pomiędzy zmierzonym i rzeczywistym wskaźnikiem skuteczności hamowania w zależności od różnego obciążenia badanaego pojazdu.

Struktura pracy jest następująca:

Wstęp Ogólne nawiązanie do tematyki rozprawy doktorskiej.

Rozdział 1 Wprowadzenie do problematyki związanej z rekonstrukcją wypadków drogowych oraz przegląd literatury związanej z tematem pracy.

Rozdział 2 Cel i zakres pracy.

Rozdział 3 Zarys metodyki opiniowania wypadków drogowych.

Rozdział 4 Koncepcja i analiza powypadkowych badań technicznych pojazdów.

Rozdział 5 Konsekwencje niesprawności układu hamulcowego.

Rozdział 6 Niekonwencjonalne diagnozowanie układu hamulcowego.

Rozdział 7 Proces hamowania pojazdu w ujęciu teoretycznym i praktycznym.

Rozdział 8 Analiza niestandardowego badania opóźnienia hamowania.

Rozdział 9 Praktyczne wykorzystanie wyników innowacyjnych badań w rekonstrukcji wypadków drogowych.

Rozdział 10 Podsumowanie pracy i wnioski

Rozdział 11 Propozycja dalszych prac badawczych.

Bibliografia, wykaz tabeli, wykaz wykresów.

Załącznik A Opracowany nawatorski protokół powypadkowych badań technicznych pojazdu.

Załącznik B Przykład powypadkowego badania pojazdu

Załącznik C Powypadkowa diagnostyka układu hamulcowego sterowanego hydraulicznie w stacji kontroli pojazdów.

Załącznik D Koncepcja i wstępne wyniki dalszych prac badawczych.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

3. ZARYS METODYKI OPINIOWANIA WYPADKÓW DROGOWYCH

Wypadek drogowy jest wynikiem bardzo wielu zmiennych losowych. Czasami ustalenie jego przyczyn powoduje poważne trudności. Musimy przy tym pamiętać, że proces karny nie jest wyłącznie aktem osądzania i wymierzania kary, lecz jest przede wszystkim aktem poznania prawdy. Poznanie prawdy zaś uniemożliwiają błędy - zazwyczaj nieodwracalne - popełnione przez organy ścigania. Niezwykle trudne jest również naprawienie błędów popełnionych przez biegłych, które doprowadzają do formułowania fałszywych wniosków. Już przed laty wskazywano na konieczność wyspecjalizowania organów dochodzeniowo-śledczych i sądów w zakresie rozpoznawania przestępstw drogowych, albowiem przestępstwo drogowe to zupełnie inny rodzaj czynu zabronionego. Najczęściej dotykają one zarówno przypadkowych ofiar, jak i przypadkowych sprawców oraz są poważnym problemem społecznym.

Dlatego przygotowanie policjanta, prokuratora czy sędziego do rozstrzygania tego rodzaju spraw wymaga zrozumienia specyfiki zagadnień wykroczeń oraz przestępstw drogowych oraz umiejętności współdziałania z biegłymi z zakresu ruchu drogowego i techniki samochodowej oraz właściwej też kontroli sporządzanych przez nich opinii.

Opinie nie mogą być traktowane jako „podstawy faktyczne" wyroku, bowiem ich poziom bywa bardzo różny. Zdarzało się, że biegły przyjmuje błędne założenia, mylnie interpretuje ujawnione ślady, bezkrytycznie odnosił się do tzw. symulacji komputerowej itp., co w skutek niewłaściwej kontroli organów procesowych może doprowadzić do niesłusznych rozstrzygnięć sprawy.

Należy przy tym pamiętać, że czas trwania zderzenia jest bardzo krótki, trwa zaledwie kilkadziesiąt milisekund, a zatem, przebiegiem zdarzenia rządzą prawa teorii fizyki, a w szczególności mechaniki zderzeń.

Sprawy dotyczące wypadków drogowych to z reguły splot wielu różnych problemów techniczno-kryminalistycznych, wzajemnie się nakładających i powiązanych ze sobą. Wynika to z samej istoty zdarzenia, na powstanie którego mają wpływ czynniki natury technicznej powiązane z pojazdami i drogą oraz czynniki natury medycznej i psychologicznej związane z człowiekiem.

3.1. Biegły sądowy

Biegły (biegły sądowy) jest to osoba posiadająca wiadomości specjalistyczne, która zostaje wezwana przez organ procesowy do zbadania i wyjaśnienia w swej opinii istotnych okoliczności dla prawnego rozstrzygnięcia sprawy [67].

Organem procesowym może być sąd, prokuratura, a także policja działająca na zlecenie i z upoważnienia prokuratury.

Od biegłego oprócz bezstronności, obiektywizmu i samokrytycyzmu wymaga się wiary we własne siły i merytoryczne możliwości sporządzania rzetelnej opinii (ekspertyzy). Chodzi o to, że w chwilach wątpliwości należy korzystać z pomocy bardziej doświadczonych biegłych. Cechą niezwykle wartościową jest przyznanie się do popełnionego błędu. Trzeba, bowiem mieć świadomość nie tylko formalnej, ale i moralnej odpowiedzialności za skutek sporządzonej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

błędnie opinii. podjętej decyzji. Od niej bowiem niejednokrotnie zależy los człowieka, któremu na jej podstawie postawiono konkretny zarzut popełnienia czynu zabronionego, a w perspektywie czeka na niego kara, nie wiadomo czy słuszna [203].

3.2. Opinia biegłego

Sformułowana przez biegłego opinia jest końcowym efektem jego działania, która według prawa procesowego jest dowodem przeprowadzonym w danej sprawie i podlega swobodnej ocenie organu procesowego.

Opinia biegłego powinna być rzetelna i bezstronna. Nie ma zastępować sądu, jedynie służyć merytorycznie swoją wiedzą i kompetencją. Treść opinii biegłego, mająca cechy rozstrzygnięcia prawnego, będzie najprawdopodobniej zakwestionowana przez którąś ze stron procesowych, najczęściej tę dla której treść opinii będzie niekorzystna. Dyskwalifikuje to przydatność takiej opinii do celów procesowych, pomimo zawierającej wiedzy specjalistycznej i merytorycznych wniosków. Należy jednak pamiętać, iż to organ procesowy ponosi pełną odpowiedzialność, a nie biegły. Organa procesowe są zobowiązane do pełnej, niezawisłej oceny wszystkich dowodów i wydania orzeczenia prawnego.

Podstawą do sporządzania opinii są zebrane dowody w sprawie. Zwykle akta procesowe zawierające dowody materialne (rzeczowe) i dowody osobowe (protokoły przesłuchań uczestników zdarzenia i świadków), zebrane w postępowaniu przygotowawczym lub wyjaśniającym.

W dochodzeniu prawdy musimy posługiwać się dowodami, nie dającymi się podważyć, a więc przede wszystkim dowodami materialnymi. Ma to szczególne znaczenie przy rekonstrukcji fizycznego zjawiska jakim jest wypadek drogowy. Biegły nie może obejść się bez znajomości i konieczności korzystania z zależności matematyczno - fizycznych, rządzących ruchem pojazdu i procesem zderzenia. Musi tez we właściwy sposób analizować zebrane dowody materialne towarzyszące wypadkowi drogowemu. Oznacza to, że w hierarchii zebranych w sprawie dowodów na pierwszym miejscu stawiane są dowody materialne. Jeśli są prawidłowo zebrane, są podstawowymi dowodami w sprawie i są niepodważalne. Natomiast dowody osobowe są cennymi dowodami w sprawie i w zasadzie wiarę im może dać tylko sąd. Biegły może tylko wówczas zakwestionować wiarygodność tych dowodów, jeśli są one sprzeczne z prawami fizyki bądź skutkami wypadku.

Biegłemu zajmującemu się analizą i rekonstrukcją wypadków drogowych organy procesowe zlecają wykonanie opinii w zakresie: technicznym, rekonstrukcyjnym oraz dotyczące oceny zachowania się uczestników wypadku.

Opinia techniczna dotycząca, np. ekspertyzy metalograficznej lub/i mechanoskopijnej uszkodzonego elementu oraz powypadkowych badań technicznych całych pojazdów lub niektórych ich zespołów. Problemy oceny technicznej niejednokrotnie wiążą się z aspektami kryminalistycznymi. Pojazd stanowi dowód rzeczowy, który może posiadać ślady, których ujawnienie i udokumentowanie może decydować o możliwości odtworzenia wypadku.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rekonstrukcja wypadku drogowego, czyli odtworzenie okoliczności i przebiegu wypadku, przede wszystkim na podstawie dowodów materialnych uzyskanych dzięki wnikliwej analizie śladów powypadkowych. Rekonstrukcji przebiegu zderzenia pojazdów musi towarzyszyć gruntowna znajomość praw teorii ruchu i mechaniki zderzeń oraz metodyki analizowania całego wypadku i umiejętnego, jednoznacznego wyciągania wniosków. Rekonstrukcja wypadku może mieć również charakter ekspertyzy interdyscyplinarnej, czyli opinii zespołowej, np. biegłego z zakresu ruchu drogowego i lekarza sądowego [169]. Opinia taka charakteryzuje się obok fizykalno-technicznej analizy dowodów materialnych również medyczno-sądową interpretacją mechanizmu powstania obrażeń uczestników wypadku. Wyniki badania ciała rannego lub zwłok ofiary wypadku są bardzo ważnym dowodem umożliwiającym, np. określenie miejsca, jakie dana osoba zajmowała wewnątrz pojazdu lub odtworzenie usytuowania ofiary względem pojazdu w momencie potrącenia.

Ocena zachowania się uczestników zaistniałego wypadku jest głównym punktem zainteresowania organów procesowych, ponieważ dotyczy zasad bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz zachowania się uczestników wypadku.

Cele wydania opinii dla organów procesowych są następujące:

- ✓ Prokuratura stara się ujawnić sprawcę i dostarczyć sądowi dowody winy;
- ✓ Sąd karny ma za zadanie wykrycie sprawcy, pociągnięcie go do odpowiedzialności, niedopuszczenie do skazania osoby niewinnej;
- ✓ Sąd cywilny ma za zadanie nakazać sprawcy zadośćuczynienie.

Skutki wydania nieprawidłowej opinii przez biegłego powodują przedłużające się postępowania sądowe, co jest szczególnie uciążliwe dla organów procesowych, które nie mogą zakończyć spraw ciągnących się czasami latami.

3.3. Oględziny miejsca zdarzenia

Dla potrzeb procesowych niezwykłe istotne znaczenie mają oględziny miejsca zdarzenia. Są one definiowane, jako „*zespół czynności procesowo-kryminalistycznych, polegających na bezpośrednim zbadaniu miejsca, osoby lub rzeczy, celem ujawnienia materialnych źródeł informacji, zabezpieczenia rzeczowych środków dowodowych oraz dokonania obiektywnej rekonstrukcji przebiegu zdarzenia i roli poszczególnych osób w nim uczestniczących*” [12].

Oględziny miejsca wypadku drogowego wykonywane są zazwyczaj po pewnych zmianach naniesionych przez akcje ratunkową służb ratunkowo-medycznych czy też przez osoby, które niosły pomoc uczestnikom wypadku [103].

Oględziny miejsca zdarzenia można podzielić na dwa etapy: oględziny wstępne oraz oględziny szczegółowe. Podczas oględzin wstępnych dokonuje się oceny terenu pod kątem poznania specyfikacji miejsca zderzenia, ujawnienia i oznaczenia widocznych śladów kryminalistycznych. Określenie wstępnej wersji zdarzenia oraz stałych odniesienia niezbędnych

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

przy późniejszym wymiarowaniu położenia śladów. Podczas oględzin szczegółowych wykonuje się dokumentację miejsca zdarzenia oraz protokoły oględzin pojazdów jedno i wielośladowych oraz szkic miejsca wypadku drogowego w odpowiedniej skali. Bardzo ważnym elementem podczas oględzin jest wykonanie dokumentacji fotograficznej: ogólnoorientacyjnej oraz sytuacyjnej, a także śladów kryminalistycznych.

„Ślady w znaczeniu kryminalistycznym są to zmiany w obiektywnej rzeczywistości, które, jako postrzegane znamiona zdarzeń będących przedmiotem postępowania, mogą stanowić podstawę do odtworzenia przebiegu tych zdarzeń" [192].

W przypadku, gdy pojazd biorący udział w zderzeniu jest wyposażony w układ ABS, trudno jest na nawierzchni drogi ujawnić ślady blokowania kół samochodu [12].

Ślady powypadkowe występujące w obrębie nadwozia i podwozia pojazdów uczestniczących w zdarzeniu drogowym w zdecydowanej większości mają postać uszkodzeń mechanicznych (odłamania, wgniecenia, odkształcenia, pęknięcia, zarysowania itp.).

Udokumentowane ślady biologiczne w postaci plamy krwi ujawnionej na miejscu wypadku w Tczewie pokazano przedstawiono na rys. 3.1 i 3.2. Na przejściu dla pieszych została potrącona kobieta przez jadącego drogą rowerzystę.

Rys. 3.1. i 3.2. Położenie śladu biologicznego ujawnionego na miejscu wypadku w Tczewie (fotografie wykonane przez ZTK KPP w Tczewie podczas oględzin miejsca zdarzenia)

Inny wypadek wydarzył się w Tczewie na Bulwarze nad Wisłą. Doszło do zderzenia czołowego samochodu Audi A3 i motoroweru Keeway. Na następnej stronie przedstawiono fragment dokumentacji fotograficznej wykonanej przez Zespół Techniki Kryminalistycznej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Komendy Powiatowej Policji w Tczewie (rys. 3.3) oraz szkic miejsca wypadku, na którym zaznaczono położenie powypadkowe pojazdów i ujawniony ślad biologiczny (rys. 3.4).

Dokumentacja fotograficzna

ICA WYPADKU DROGOWEGO W TCZEWIE NA DRODZE DOJAZDOWEJ
PARKINGU NA BULWARZE NAD WISŁĄ ZAŁ UL. JANA Z KOLNA

znik do OGL. OGLĘDZIN MIEJSCA z dnia 21.07.2010

ia wykonano aparatem fotograficznym NIKON D-80 nr 4515550

ektywem AF-S NIKKOR 18/135 nr 3106677 na materiale —

mentacja zawiera 11 zdjęć, ponumerowanych 1÷11, negatywów 560/10

TCZEW dnia 30.07.2010 Wykonał Zespół Techniki Kryminalistycznej Komendy Powiatowej Policji w Tczewie

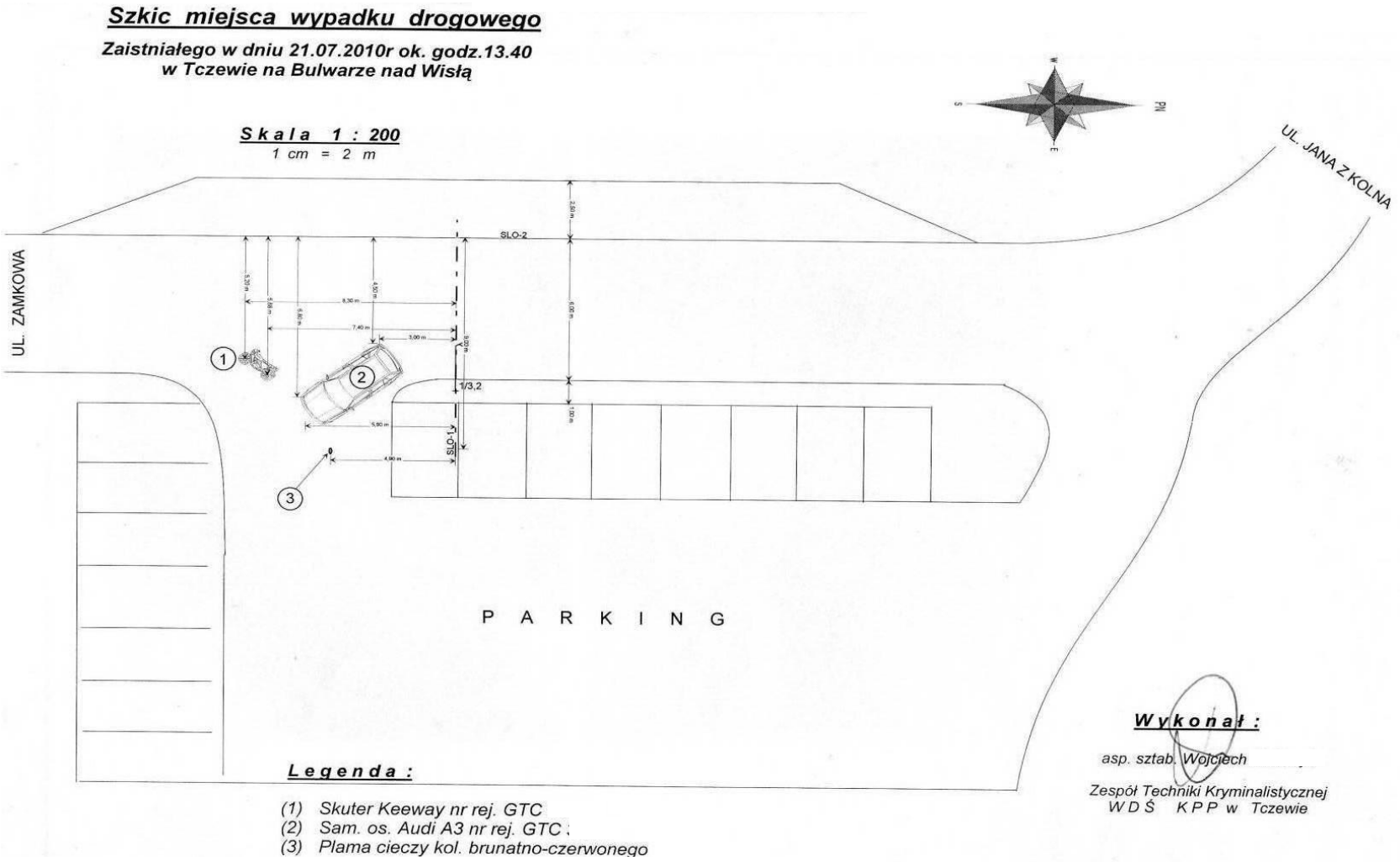
asp. sztab. Wojciech

K.P.P. Tczew NR 1.

K.P.P. Tczew NR 2

Rys. 3.3. Fragment dokumentacji fotograficznej obrazujący miejsce wypadku drogowego w Tczewie (dokumentacja fotograficzna wykonane przez ZTK KPP w Tczewie podczas oględzin miejsca zdarzenia)

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 3.4. Szkic miejsce wypadku drogowego zaistniałego w Tczewie
(fotografie wykonane przez ZTK KPP w Tczewie podczas oględzin miejsca zdarzenia)

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Zadaniem rekonstrukcji wypadku drogowego jest ustalenie prędkości w początkowej chwili kolidowania pojazdów (pojazdu z pieszym lub przeszkodą), położenia powypadkowego pojazdów oraz ich pozderzeniowych kierunków poruszania się. Ustalenia te są zasadniczym materiałem wyjściowym dla dokonania analizy czasowo-przestrzennej.

Bardzo przydatna jest dokumentacja fotograficzna uszkodzonych pojazdów (pojazdu) biorących udział w wypadku.

W Łukocinie kierujący samochodem Peugeot 309 potrącił rowerzystę. Poniżej przestawiono zdjęcia uszkodzonego samochodu (rys. 3.5 – rys. 3.7) i roweru (rys. 3.8 – rys. 3.10).

Rys. 3.5. Widok przodu i prawego boku uszkodzonego samochodu Peugeot
(fotografia wykonana przez funkcjonariusza KPP w Tczewie podczas oględzin miejsca zdarzenia)

Rys. 3.6. Widok uszkodzonej szyby przedniej samochodu Peugeot
(fotografia wykonana przez funkcjonariusza KPP w Tczewie podczas oględzin miejsca zdarzenia)

Rys. 3.7. Widok przodu uszkodzonego samochodu Peugeot
(fotografia wykonana przez funkcjonariusza KPP w Tczewie podczas oględzin miejsca zdarzenia)

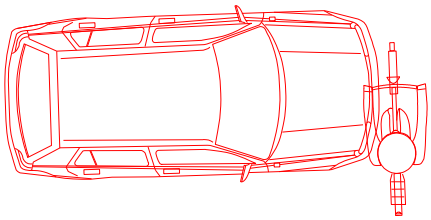
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rys. 3.8. Widok lewego boku uszkodzonego roweru
(fotografia wykonana przez funkcjonariusza KPP w Tczewie podczas oględzin miejsca zdarzenia)

Rys. 3.9. Widok tyłu uszkodzonego roweru
(fot. wykonana przez KPP w Tczewie
podczas oględzin miejsca zdarzenia)

Rys. 3.10. Widok przodu uszkodzonego roweru
(fot. wykonana przez KPP w Tczewie
podczas oględzin miejsca zdarzenia)

Analiza obszarów uszkodzeń samochodu, uszkodzeń roweru oraz obrażeń rowerzysty prowadzi do wniosku, że ich względne położenie w chwili początkowej kolidowania prawdopodobnie było takie jak na rys. 3.11. Rowerzysta znajdował się wówczas przed ścianą czołową samochodu, na wysokości prawego reflektora, zwrócony swym lewym bokiem w kierunku samochodu. Rowerzysta bezpośrednio przed potrąceniem przemieszczał się po jezdni ze strony prawej na lewą, patrząc zgodnie z kierunkiem jazdy samochodu.



Rys. 3.11. Względne położenie samochodu Peugeot i rowerzysty w chwili początkowej kolidowania

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4. KONCEPCJA POWYPADKOWYCH BADAŃ TECHNICZNYCH POJAZDÓW

Opinia techniczna to ekspertyza dotycząca przeprowadzonego przez biegłego badania powypadkowego pojazdu. Badanie takie zazwyczaj wykonywane jest na początku dochodzenia i jest przeważnie czynnością niepowtarzalną. Oznacza to, że błędy popełnione przy badaniu pojazdu są zazwyczaj nieodwracalne. Praktyka wykazuje, że rola tej opinii jest niedoceniona.

4.1. Ogólne zasady powypadkowych badań technicznych pojazdów

Badania pojazdu po zdarzeniu drogowym prowadzi się w dwóch kierunkach: kryminalistycznym i technicznym. Pojazd jest źródłem dużej ilości informacji, które mogą się przydać w późniejszym etapie, gdy zajdzie konieczność odtworzenia przebiegu wypadku.

Badania kryminalistyczne przeprowadza się dla ujawnienia i udokumentowania przede wszystkim ewentualnych śladów na pojeździe, które umożliwią odtworzenie i zrekonstruowanie przebiegu zdarzenia. Należy określić mechanizmy powodujące powstanie uszkodzeń i śladów na pojeździe, które były wynikiem zdarzenia. Ślady na pojeździe powinny dać odpowiedź na pytania:

- jaki był charakter i zakres odkształceń nadwozia powstałych w wyniku zdarzenia, informacje dotyczące rozkładu i rozmiaru deformacji powinny być określane nie tylko opisowo, ale również liczbowo, bardzo precyzyjnie uwzględniając rozmiary powierzchni i głębokości deformacji odkształconych fragmentów;
- jakie było w chwili zderzenia wzajemne usytuowanie pojazdów, niechronionego uczestnika ruchu i pojazdu albo pojazdu i przeszkody w początkowej chwili zderzenia;
- jaki był kierunek i punkt przyłożenia działającego na pojazd wektora impulsu zderzenia;
- jak „zachował się" pojazd w czasie zderzenia i w ruchu powypadkowym.

Celem przeprowadzenia badań technicznych jest zdiagnozowanie stanu technicznego pojazdu po zderzeniu drogowym głównie w zakresie sprawności technicznej jego zespołów, w tym w szczególności układu hamulcowego, układu kierowniczego, układu jezdnego, stanu ogumienia, układu elektrycznego (oświetlenia zewnętrznego) oraz ustalenie:

- czy w czasie bezpośrednio poprzedzającym wypadek pojazd był sprawny technicznie;
- które ze stwierdzonych po wypadku wad, usterek i uszkodzeń istniały przed wypadkiem, a które są następstwem wypadku;
- czy stwierdzone wady, usterki lub uszkodzenia mogły mieć wpływ na powstanie wypadku;
- czy istniejące przed wypadkiem wady, usterki i uszkodzenia objawiały się w taki sposób, że kierowca mógł i powinien był zdawać sobie sprawę z ich istnienia.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Przed przystąpieniem do badania pojazdu (o ile jest to możliwe) należy zapoznać się z zebranym dotychczas materiałem dowodowym, aby wyrobić sobie pogląd co do charakteru przebiegu wypadku i warunków, w jakich on nastąpił (pora dnia, warunki atmosferyczne i drogowe), a także co do tego, czy kierowca nie tłumaczył powstania wypadku awarią pojazdu.

Przed dokonaniem jakichkolwiek zmian w pojeździe (zmiana pozycji, uruchomienie, wszelki demontaż) należy najpierw dokładnie zinwentaryzować stan wyjściowy. Jest to szczególnie istotne w tych przypadkach, gdy zamierzona czynność prowadzi do nieodwracalnej zmiany istniejącego stanu, którego już potem odtworzyć i udokumentować nie będzie można.

Należy mieć na uwadze, że wyniki przeprowadzonych badań mają służyć innym uczestnikom postępowania, którzy obiektu badań w tym jego stanie już na ogół nie będą mogli sami obejrzeć. Dlatego opisy i dokumentacja wszelkich zaobserwowanych śladów muszą być zredagowane jednoznacznie. Tak by osoby, które w kolejnych etapach postępowania będą korzystały z opinii technicznej mogły w sposób prosty i jednoznaczny odtworzyć w swojej świadomości opisywany obraz. Wyniki oględzin i badań należy, więc dokumentować zarówno opisowo, jak i fotograficznie. Zwłaszcza prawidłowo wykonana dokumentacja fotograficzna ogromnie ułatwia późniejsze opracowywanie opinii (sprawozdania z badań) i zwiększa jej wartość dowodową. Można bowiem, zamiast wdawać się w zawiłe opisy jakiegoś śladu lub szczegółu, wskazać go (np. strzałką) na dobrze wykonanym, przejrzystym zdjęciu i objaśnić wprost w opisie tego zdjęcia (lub serii zdjęć, jeśli jedno nie wystarcza).

Jeżeli podczas powypadkowego badania technicznego pojazdu wykryto istnienie wad i usterek, należy dążyć do ustalenia ich przyczyny.

Powypadkowe badanie pojazdu powinno być przeprowadzane według następującej kolejności: inwentaryzacja zastanego stanu wyjściowego, wszelkie próby ruchowe, a następnie pomiary warsztatowe bądź laboratoryjne. O ile jest to możliwe, powinno być przeprowadzone przy użyciu urządzeń kontrolno-pomiarowych, a nie tylko organoleptycznie. Szczególną uwagę należy zwrócić na badanie stanu i sprawność układu hamulcowego oraz kompletności jego elementów. Jest to bowiem układ, którego parametry techniczne mają zasadnicze znaczenie zwłaszcza z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Przed ewentualnym wymontowaniem wskazanych elementów, celem skierowania ich do badań specjalistycznych, należy najpierw dokładnie opisać cechy i wygląd uszkodzonych elementów w stanie, w jakim biegły otrzymał do zbadania oraz wykonać dokumentację fotograficzna. Natomiast, jeżeli element uległ pęknięciu, należy pobrać obydwie jego części oraz dołączyć wszystkie elementy łączące.

4.2. Koncepcja przebiegu powypadkowych badań technicznych pojazdów

Na podstawie analizy przeprowadzonych przez autora powypadkowych badań technicznych pojazdów oraz wiedzy ogólnej i specjalistycznej przedstawiano ogólną koncepcję przebiegu badania pojazdu biorącego udział w wypadku drogowym. Opracowano protokół powypadkowego badania technicznego pojazdu.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4.2.1. Identyfikacja badanego pojazdu

Czynnością związana z identyfikacja jest określenie rodzaju pojazdu, przeznaczenia pojazdu oraz marki i modelu. Należy również ustalić numer rejestracyjny oraz numer identyfikacyjny (VIN) lub numer nadwozia (podwozia-ramy), a także kolor pojazdu. Tabliczka znamionowa może być umieszczona w różnych miejscach nadwozia (podwozia) pojazdu. W samochodach osobowych często znajduje się w komorze silnika lub na słupku środkowym. O ile jest to możliwe należy podać rok produkcji. W opinii technicznej należy również wpisać pojemność silnika, rodzaj paliwa oraz rzeczywistą masę pojazdu (o ile jest możliwa do ustalenia). Jest to o tyle istotne, że w rekonstrukcji wypadku drogowego powinno uwzględnić się masę własną oraz masę ładunku (osób) znajdujących się w pojeździe podczas zderzenia.

4.2.2. Dokumentacja fotograficzna uszkodzeń i odkształceń pojazdu

Pojazd należy fotografować przede wszystkim z czterech stron, w kierunku osi wzdłużnej i poprzecznej. Dodatkowo należy wykonać zdjęcia po przekątnych. Dokumentacja fotograficzna samochodu zdeformowanego powinna obejmować również zdjęcia z góry.

Uszkodzony przód samochodu Volkswagen Golf III sfotografowany z góry przedstawiono na rys. 4.1 (z zamkniętą pokrywą komory silnika) i rys. 4.2 (po otwarciu komory silnika).

Rys. 4.1. Widok z góry uszkodzonego przodu samochodu z pokrywą komory silnika

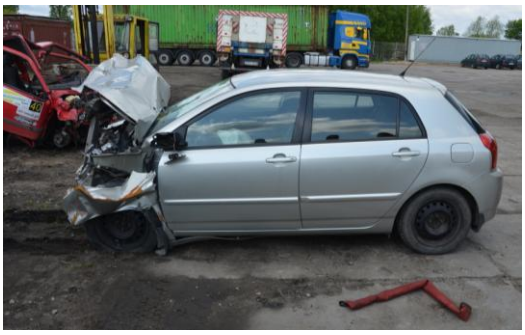
Rys. 4.2. Widok z góry uszkodzonego przodu samochodu po otwarciu komory silnika

Czasami podczas wykonywania powypadkowego badania technicznego jest możliwość zrobienia dokumentacji fotograficznej dwóch pojazdów biorących udział w zdarzeniu. Na rys. 4.3 widać prawy bok samochodu Fiat Cinqucento, który uderzył czołowo w przód samochodu Toyota Corolla (lewy bok samochodu pokazano na rys. 4.4, a w oddali widać czerwonego „Fiata"). Widok przodu samochodu Fiat przedstawiono rys. 4.5, a samochodu Toyota pokazano na rys. 4.6.

Zdjęcia ukośne maja ważne znaczenie poglądowe, ułatwiają dostrzeżenie różnych załamań blach i zarysowań, a także analizę ich pochodzenia. W razie potrzeby umożliwiają też odtwarzanie trójwymiarowego kształtu nadwozia w programach komputerowych do fotogrametrii przestrzennej. Zdjęcie przodu i boku samochodu Fiat Cinquecento przedstawiono na rys. 4.7, a samochodu Toyota Corolla na rys. 4.8.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rys. 4.3. Widok prawego boku Fiata



Rys. 4.4. Widok lewego boku samochodu

Rys. 4.5. Widok przodu samochodu Fiata

Rys. 4.6. Widok przodu samochodu Toyota

Rys. 4.7. Widok przodu i prawego boku samochodu Fiat

Rys. 4.8. Widok przodu prawego boku samochodu Toyota

4.2.3. Opis śladów powypadkowych istniejących na pojeździe

Należy ujawnić oraz odpowiednio udokumentować ślady występujące na pojeździe, mające związek ze zdarzeniem i pomocnych w odtworzeniu jego okoliczności oraz przebiegu. W zależności od ich rodzaju, trzeba je również odpowiednio zwymiarować.

Deformacje pojazdu należy zwymiarować tak, żeby można było odtworzyć jej profil. Niezależnie od dokładnych oględzin części nadwozia i opisania ich uszkodzeń w opinii technicznej, w wyniku zadziałania na nadwozie znacznych sił deformacji może ulec cała konstrukcja nadwozia – może zostać zgięty lub skręcony, co trzeba również odnotować.

W przypadku zderzeń pojazdów warto poszukać przeniesienia fragmentów powłok lakierniczych, upewniając się, czy barwa śladów odpowiada barwie powłok kolidujących pojazdów.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Uszkodzenia powstałe w wyniku uderzenia w przeszkody stałe, nieprzemieszczające się (słup, drzewo, mur itp.) są stosunkowo proste do opiniowania. Przy takim rodzaju wypadku na nadwoziu samochodu, wykonanym z blach o dużym stopniu plastyczności pozostają ślady dość wyraźnego odwzorowania kształtu przeszkody (od pnia drzewa co pokazano na rys. 4.9 i od betonowego słupa oświetleniowego co pokazano na rys. 4.10).

Rys. 4.9. Uszkodzenie nadwozia samochodu Opel w wyniku uderzenia w pień drzewa (fot. wykonana przez funkcjonariusza policji na miejscu wypadku)

Rys. 4.10. Uszkodzenie nadwozia samochodu Opel w wyniku uderzenia w betonowy słup oświetleniowy (fot. wykonana przez funkcjonariusza policji na miejscu wypadku)

Zmieniająca się konstrukcja samochodów i ich podzespołów powoduje, że pojazd uczestniczący w wypadku z pieszym najczęściej:

- nie pozostawia śladu hamowania (bo zastosowany został układ ABS);
- nie pozostawia odłamków szyby przedniej (bo szyba jest warstwowo klejona);
- nie pozostawia odłamków klosza reflektora (bo reflektory wykonane są z odpornych na uderzenie tworzyw sztucznych).

Coraz trudniej jest więc uzyskiwać informacje umożliwiające dokonanie rekonstrukcji przebiegu zdarzenia i ustalenie prędkości kolizyjnej. Na skutek uderzenia pieszego przez samochód powstają u pieszego obrażenia miednicy, głowy, szyi i stawów kończyn dolnych.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

W samochodach osobowych zderzak jest położony względnie nisko, zatem pierwsze zetknięcie samochodu nastąpi z nogami pieszego, poniżej środka masy ciała. Ciało zaczyna obracać się wokół górnej krawędzi maski samochodu. Jeżeli nie wystąpi wystarczające przemieszczenie w bok samochodu to dochodzi do kontaktu głowy pieszego z pokrywą silnika lub przednią szybą. Analizy skutków wypadków z udziałem pieszych doprowadziły do pewnych, dość prostych spostrzeżeń. Głowa pieszego powoduje charakterystyczne uszkodzenia samochodu. Usytuowanie miejsca uderzenia głową jest wyraźnie zależne od prędkości samochodu w chwili uderzenia oraz od wzrostu pieszego. Przykładowe rozbicie przedniej szyby samochodu Renault Laguna przez potrąconego pieszego zaprezentowano na rys. 4.11.

Rys. 4.11. Uszkodzenie przedniej szyby samochodu Renault przez potrąconego pieszego

Na rys. 4.12 pokazano uszkodzenia pokrywy komory silnika samochodu Ford Escort, który potracił pieszego, natomiast na rys. 4.13 widać uszkodzenia szyby przedniej po kontakcie z głową poszkodowanego.

Rys. 4.12. Widok uszkodzonej pokrywą komory silnika samochodu Ford

Rys. 4.13. Widok uszkodzonej szyby przedniej samochodu Ford od potracenia pieszego

Podczas zabezpieczenia śladów wypadku z udziałem osoby pieszej konieczne jest ujawnienie wszystkich śladów, pozwalających określić mechanizm potrącenia. Jeżeli został ujawniony ślad uderzenia głową w nadwozie to należy elastyczną taśmą dokonać pomiaru wzdłuż obrysu nadwozia, odległości od podłoża do tego śladu. Należy również zwrócić uwagę na włosy tkwiące w odłamkach szyby, a także udokumentować otarcia brudu na częściach

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

nadwozia samochodu, które mogły kontaktować się z pieszym oraz na odzwierciedlenia struktury tkaniny odzieży osoby potrąconej oraz ślady biologiczne.

W przypadku kolizji narożnikowej (otarcia bocznego) ślady występują także na boku samochodu. Z reguły są to otarcia błota, lakieru, ale także niekiedy wgniecenia.

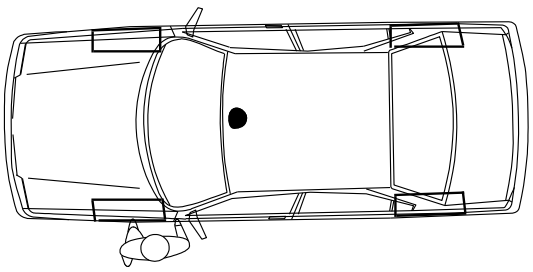
Na tylnej części nadwozia mogą występować (często bardzo niewielkie) ślady mechaniczne (wgniecenia, otarcia), ale spotyka się także rozbicie tylnej szyby i ślady biologiczne. Ślady te dowodzą, że ciało pieszego zostało przerzucone ponad dachem samochodu. Ujawnienie tych śladów ma bardzo istotne znaczenie dla rekonstrukcji przebiegu wypadku. W przypadku znacznych prędkości kolizyjnych samochodu (ponad 100 km/h) może dojść do rozkawałkowania zwłok (najczęściej oderwania kończyn dolnych). Gdy narzędziem tnącym jest przednia krawędź dachu, wówczas liczne ślady biologiczne mogą znajdować się wewnątrz nadwozia.

W przypadku najechania pieszego, ślady występują na podwoziu. Są to z reguły otarcia lub niewielkie odkształcenia, np. płyty podłogowej.

Zdarza się czasami, że to pieszy uderzy w bok samochód co przedstawiono na rys. 4.14. Chłopiec wbiegł na jezdnię za piłką, przemieszczał się po jezdni ze strony lewej na prawą, patrząc zgodnie z kierunkiem jazdy samochodu Daewoo Nubira. Następnie uderzył przodem w lewy bok hamującego pojazdu na wysokości przedniego lewego błotnika. W wyniku potrącenia pieszy doznał obrażeń i nieprzytomny, w stanie ciężkim został przewieziony do szpitala (przebieg zdarzenia ustalono na podstawie akt sprawy).

Rys. 4.14. Uszkodzenie błotnika samochodu Daewoo przez chłopca wbiegającego na jezdnię za piłką (zdjęcie skopiowane z akt sprawy prowadzonej przez biegłego)

Analiza położenia uszkodzeń samochodu oraz obrażeń pieszego prowadzi do wniosku, że ich względne położenie w chwili początkowej kolidowania powinno być takie jak na rys. 4.15.



Rys. 4.15. Względne położenie samochodu Daewoo i pieszego w chwili początkowej kolidowania

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4.2.4. Opis śladów powypadkowych istniejących w pojeździe

Należy opisać wszystkie ślady bądź uszkodzenia, które powstały wskutek przemieszczania się osób lub przedmiotów wewnątrz samochodu.

Podczas oględzin deski rozdzielczej powypadkowego pojazdu możemy czasami zaobserwować sytuację, w której wskazówki obrotomierza i prędkościomierza wskazują stałe (niezmienne) wartości co przedstawiono na rys. 4.16 i rys. 4.17.

Rys. 4.16. Zatrzymanie wskazówek obrotomierza i prędkościomierza samochodu Toyota

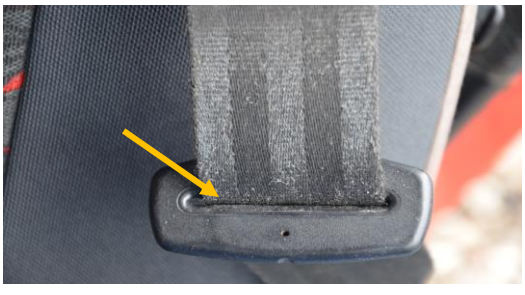
Rys. 4.17. Zatrzymanie wskazówek obrotomierza i prędkościomierza samochodu Toyota

W starszych samochodach rozwiązania techniczne prędkościomierzy oparte były na typowych miernikach elektromechanicznych, gdzie ruch powrotny wskazówki zapewniała sprężyna. Zastosowanie silników krokowych w napędach prędkościomierzy i obrotomierzy sprawiło, że w niektórych konstrukcjach może wystąpić sytuacja, w której zanik napięcia zatrzymał wskazówkę na tej wartości, którą wskazywana była w chwili rozłączenia.

4.2.5. Badanie układów bezpieczeństwa biernego

W powypadkowym badaniu pojazdu trzeba opisać stan poduszek powietrznych oraz pasów bezpieczeństwa (w tym efektu zadziałania napinaczy), a także ustalenie ewentualnego występowania fotelików dziecięcych. Ważne jest ustalenie, czy pasy były zablokowane, czy też nie, i w jakich pozycjach, ponieważ informacje te stanowią ważną przesłankę do wnioskowania o użyciu pasów w chwili wypadku. Na taśmach pasów oraz przelotkach kotwicy i zaczepu należy poszukać śladów świadczących o zadziałaniu pasów podczas wypadku co przedstawiono na rys. 4.18 i rys. 4.19.

Rys. 4.18. Ślady na taśmie pasa powstałe wskutek silnego szarpnięcia pasa przy zablokowanej szpuli



Rys. 4.19. Ślady na taśmie pasa i przelotce zaczepu powstałe wskutek silnego szarpnięcia pasa przy zablokowanej szpuli

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Nie zawsze ślady na pasach wskazują ich zadziałanie w danym zderzeniu. Ponieważ samochód mógł być wcześniej już naprawiany, gdzie w ramach oszczędności pasy po wcześniejszym wypadku nie zostały wymienione.

Wystrzeloną poduszkę powietrzną kierowcy w samochodzie Renault Megane przedstawiono na rys. 4.20, a na rys. 4.21 pokazane zostały wystrzelone poduszki powietrzne kierowcy i pasażera w samochodzie Toyota Corolla biorącym udział w wypadku drogowym.

Rys. 4.20. Wystrzelona poduszka powietrzna kierowcy w samochodzie Renault

Rys. 4.21. Wystrzelona poduszka powietrzna kierowcy i pasażera w samochodzie Toyota

4.2.6. Diagnostyka instalacji elektrycznej i oświetlenia pojazdu

Do najczęściej występujących uszkodzeń w obwodzie oświetlenia zalicza się przepalenie żarówki lub bezpiecznika, zmniejszenie przejrzystości szyb lamp, matowienie luster i wzrost rezystancji w obwodzie zasilania żarówek. Ich konsekwencją jest brak działania świateł lub pogorszenie ich parametrów.

Biegły z zakresu ekspertyzy i rekonstrukcji wypadków drogowych spotyka się również z problemem widoczności drogi i przeszkód mogących się na niej znajdować, w warunkach jazdy nocnej. Ustalenie odległości, z jakiej w danych warunkach kierujący pojazdem mógł i powinien dostrzec określoną przeszkodę, jest istotnym zadaniem, które organ procesowy stara się zlecić biegłemu, jako zadanie wymagające „wiadomości specjalistycznych".

W rekonstrukcji wypadków drogowych można wyróżnić kilka typów zdarzeń, w których problem właściwie działającego oświetlenia zewnętrznego pojazdu ma decydujące znaczenie w sprawie. Do tego typu zdarzeń możemy zaliczyć:

- zderzenie pojazdów w porze nocnej, spowodowane brakiem lub niewłaściwym stanem technicznym oświetlenia zewnętrznego któregoś z nich;
- najechanie w porze nocnej na nieoświetlony pojazd;
- najechanie na zatrzymujący się pojazd, w którym mogły nie świecić się światła STOP;
- zderzenie z pojazdem wykonywującym manewr skrętu w prawo lub w lewo połączone z ewentualnym problemem niewłączenia właściwego kierunkowskazu.

Przeprowadzając badanie powypadkowe pojazdu, trzeba zbadać stan reflektorów i ich żarówek, kierunkowskazów i świateł „STOP". Należy również sprawdzić poprawność działania oświetlenia zewnętrznego pojazdu (o ile stan techniczny na to pozwala). Powinno się również zabezpieczyć określone żarówki do dalszych badań laboratoryjnych.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4.2.7. Specjalistyczne badanie koła i ogumienia

Istnieją wypadki drogowe spowodowane nagłą całkowitą utratą ciśnienia powietrza w ogumieniu jednego z kół pojazdu, podczas którego kierowca nie potrafił lub w ogóle nie był w stanie zapanować nad pojawiającą się wówczas utratą stateczności kierowanego pojazdu. Tego rodzaju uszkodzenie ogumienia jest popularnie nazywane „wystrzałem".

Dnia 2 maja 1994 roku na przedmieściach Gdańska doszło do katastrofy autobusowej, nie mającej równych w historii polskiej komunikacji drogowej. Wskutek zderzenia czołowego autobusu marki Autosan z przydrożnym drzewem, na miejscu wypadku śmierć poniosło 25 osób, a 7 kolejnych zmarło w następnych dniach w gdańskich szpitalach [33].

Po wykonaniu manewru wyprzedzania przez kierowcę autobusu w momencie powrotu na prawy pas nastąpiło pęknięcie prawej przedniej opony. Przyczyny tragedii wynikały również z zaniedbań obsługi technicznej autobusu oraz jego przeładowania. Pień drzewa zagłębił się w pojazd na długości 4 metrów co przedstawiono na poniższej rys. 4.22.

Rys. 4.22. Katastrofa drogowa autobusu w Gdańsku-Kokoszkach
(fot. źródło http://wiadomosci.wp,Najtragiczniejsze-wypadki-autokarow,galeria.html?ticaid=118c27)

Ważnym elementem opinii dotyczącej stanu technicznego powypadkowego pojazdu jest badanie opon. Badanie te przeprowadzane są w najczęściej w dwóch kierunkach:

- badanie stanu technicznego opon kół pojazdu zgodnie z obowiązującymi przepisami, czyli pomiar ciśnienia, głębokości bieżnika, uszkodzeń zewnętrznych, właściwego doboru opon do poszczególnych osi, nośności;
- badania uszkodzonych opon pod katem stwierdzenia, czy uszkodzenie jest skutkiem wypadku (zadziałania sił zewnętrznych, pochodzących od przeszkody i sąsiadującego elementu nadwozia), lub czy uszkodzenie opony powstało przed wypadkiem i czy mogło być ono przyczyna zaistniałego wypadku.

Uszkodzenie elementów nadwozia samochodu Fiat Punto w wyniku „wystrzału" prawej przedniej opony przedstawiono na rys. 4.23, a uszkodzoną obręcz koła na rys. 4.24.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rys. 4.23. Uszkodzone elementy nadwozia samochodu Fiat w wyniku „wystrzału” opony

Rys. 4.24. Uszkodzona obręcz koła samochodu Fiat po „wystrzale” opony

W opinii technicznej należy opisać opony zamontowane na poszczególnych kołach – nazwę producenta, model, rozmiar, indeks nośności i prędkości, stan rzeźby bieżnika (zmierzyć głębokość bieżnika). Należy sprawdzić przeznaczenie opony oraz w przypadku opon o bieżniku kierunkowym lub asymetrycznym poprawność montażu. Należy wykonać pomiar ciśnienie powietrza w każdym kole pojazdu. Jeżeli występują zewnętrzne uszkodzenia, opony (rys. 4.25) to należy je sfotografować oraz, jeśli to jest możliwe, ocenić ich przyczynę powstania. Opisać wtłoczenia materiału obcego (ziemia, trawa). Na rys. 4.26 widać wtłoczenia trawy i ziemi pomiędzy obręczą i oponą. Jeżeli zachodzi konieczność demontażu opony z obręczy w celu oględzin wewnętrznych opony, należy przed demontażem wykonać dokumentację zastanego stanu. W razie potrzeby należy zabezpieczyć oponę do dalszych badań laboratoryjnych.

Rys. 4.25. Uszkodzone boku opony samochodu

Rys. 4.26. Wtłoczona trawa i ziemia miedzy opona i obręczą samochodu

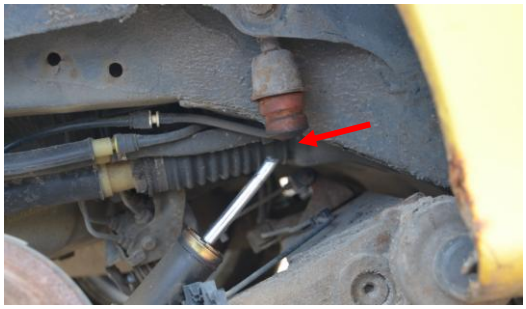
4.2.8. Badanie zawieszenie

Podstawowych informacji o stanie zawieszenia kół dostarczają nam oględziny zewnętrzne. Diagnostyka zawieszenia polega na wykrywaniu w układzie niesprawnych elementów. Podczas przeprowadzonego diagnozowania zawieszenia należy sprawdzić stan elementów zawieszenia i ich połączeń. Należy sprawdzić łożyskowanie kół (luzy i opory podczas obracania), mocowanie i luzy elementów zawieszenia (tuleje gumowe lub metalowo-gumowe, sworznie). Pęknięcia gumy w tulei metalowo-gumowej wahacza przedniego przedstawione zostały na rys. 4.27. Sprawdzić należy stan elementów prowadzących zawieszenia oraz zwrotnic (odkształcenia lub deformacje drążków, wahaczy wsporników

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

mocujących itp.). Skontrolować należy również amortyzatory, czy nie ma na nich wycieków oleju, czy nie są uszkodzone lub nie jest zerwane tłoczysko (rys. 4.28 i rys. 4.29).

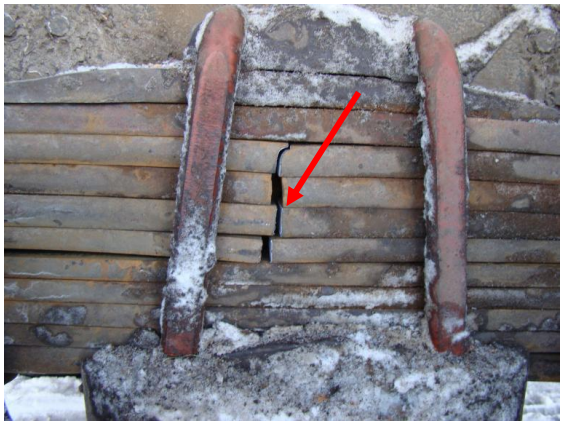
Rys. 4.27. Pęknięcia gumy w tulei metalowo-gumowej wahacza przedniego



Rys. 4.28. Urwane tłoczysko amortyzatora tylnego prawego w samochodzie Renault

Rys. 4.29. Urwane tłoczysko amortyzatora tylnego prawego w samochodzie Renault

Do metalowych elementów sprężystych zaliczamy sprężyny śrubowe i resory, które czasami pękają, co przedstawiono rys. 4.30. Jeżeli jest to tylko możliwe oględziny pojazdu powinno przeprowadzić się na kanale przeglądowym.



Rys. 4.30. Pęknięcie piór resoru zamontowanego w samochodzie ciężarowym

W zawieszeniach pneumatycznych i hydropneumatycznych należy sprawdzić szczelność instalacji (pneumatycznej lub hydraulicznej). Należy również zwrócić uwagę, czy nie ma przeróbek lub zużycia jakiegoś elementu w stopniu mogącym mieć negatywny wpływ na działanie układu.

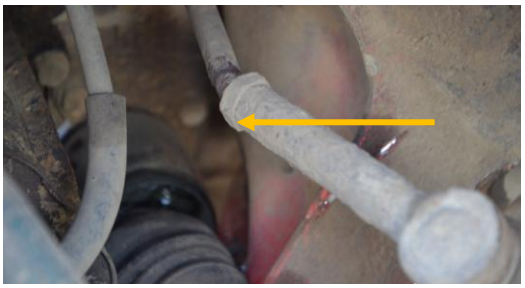
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4.2.9. Badanie układu kierowniczego

Podczas powypadkowego badania należy ocenić stan techniczny przekładni kierowniczej. Jeżeli jest to możliwe należy obracać kołem kierowniczym w obie strony od oporu do oporu i ocenić przenoszenie ruchów kierownicy na koła z uwzględnieniem występowania luzów, nadmiernego oporu lub zacięć oraz zakresu obracania kierownicy w prawo i w lewo. Następnie należy wykonać oględziny obudowy przekładni kierowniczej pod względem poprawności mocowania oraz ewentualnych pęknięć. Pozostałe elementy układu kierowniczego należy skontrolować pod katem oryginalności, kompletności, oraz wcześniejszych niewłaściwych napraw lub przeróbek, a także pod względem zużycia, pęknięć, nadmiernego luzu i pewności mocowania. Należy również sprawdzić czy ruchome elementy układu kierowniczego nie kolidują ze stałymi elementami podwozia/nadwozi. współczesne samochody wyposażone są w układy wspomagania, w których należałoby skontrolować ewentualne wycieki oraz poziom płynu w zbiorniku hydraulicznego układu wspomagania. W razie potrzeby należy wymontować elementy układu kierowniczego do dalszych badań laboratoryjnych.

Uszkodzona kolumna kierownicza w wyniku wypadu samochodu Fiat Cinquecento przedstawiona została na rys. 4.31, a na rys. 4.32 widać wygięty lewy drążek kierowniczy.

Rys. 4.31. Uszkodzona kolumna kierownicza samochodu Fiat



Rys. 4.32. Wygięty lewy drążek kierowniczy samochodu Fiat

4.2.10. Badanie zespołów układu hamulcowego

Metody kontroli stanu technicznego układu hamulcowego są następujące:

- diagnozowanie wstępne;
- metody stacjonarne (stanowiskowe);
- metody trakcyjne oceny skuteczności działania hamulców.

Sprawdzenie wstępne układu hamulcowego z hydraulicznym mechanizmem uruchamiającym obejmuje:

- sprawdzenie organoleptyczne elementów układu w tym również elementów hamulców poszczególnych kół;
- sprawdzenie poziomu płynu hamulcowego w zbiorniczku wyrównawczym oraz pomiar jego parametrów;
- ocenę szczelności obwodu hydraulicznego;
- ustalenie przyczyny ewentualnych uszkodzeń i niesprawności.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Organoleptyczna kontrola polega na ocenie kompletności układu hamulcowego, poprawności zamocowania i stanu zewnętrznego elementów. Kompletacja układu hamulcowego powinna być zgodnie z dokumentacją techniczną pojazdu.

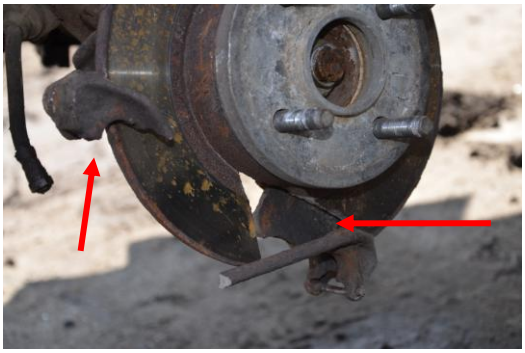
Szczególną uwagę należy zwrócić na stan, zamocowanie i stopień zużycia przewodów hamulcowych (metalowych i elastycznych), które nie powinny mieć śladów wgnieceń, pęknięć, otarć (o inne elementy podwozia), a także śladów wycieków płynu hamulcowego. Źle zamocowane przewody hamulcowe podczas eksploatacji, ulegają przetarciu lub pęknięciu. Uszkodzenie elementu układu hamulcowego (np. rozszczelnienie przewodu hamulcowego) powoduje gwałtowną utratę szczelności obwodu hydraulicznego, a tym samym awarię układu hamulcowego.

Uszkodzoną w wypadku tarczę hamulcową oraz uszkodzoną oprawę zacisku przedniego, prawego koła samochodu Fiat Cinquecento pokazano na rys. 4.33 i rys. 4.34, a na rys. 4.35 pokazano uszkodzoną tarczę prawego koła oraz zerwaną osłonę i zacisk (rys. 4.36).

Rys. 4.33. Uszkodzona tarcza hamulcowa przedniego prawego koła samochodu Fiat

Rys. 4.34. Uszkodzona tarcza hamulcowa i osłona zacisku koła samochodu Fiat

Rys. 4.35. Uszkodzona tarcza hamulcowa przedniego lewego koła samochodu Fiat



Rys. 4.36. Uszkodzona tarcza hamulcowa i zerwana osłona oraz zacisk koła samochodu

Jeżeli nie ma widocznych uszkodzeń układu hamulcowego, wówczas należy sprawdzić występowanie sił hamujących na kołach. Jeżeli samochód nadaje się do jazdy, należy wykonać próby ruchowe, badania stanowiskowe oraz wykonać pomiar skuteczności hamowania.

Badania stacjonarne (stanowiskowe) oraz pomiary drogowe (trakcyjne) oceny skuteczności działania hamulców zostały omówione w dalszej części pracy.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4.3. Przykłady wykrytych rzeczywistych niesprawności układu hamulcowego

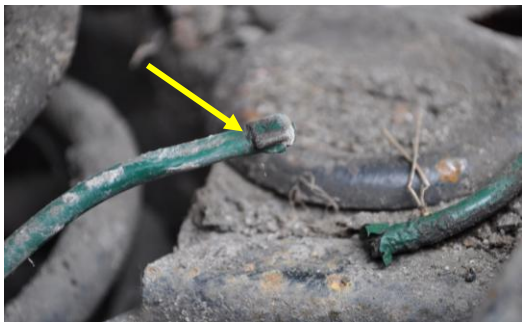
Poniżej przedstawiono kilka rzeczywistych przykładów uszkodzeń i niesprawności układu hamulcowego, zidentyfikowanych podczas przeprowadzanych powypadkowych badań technicznych pojazdów. Przedstawione niekompletności, modyfikacje, uszkodzenia układów hamulcowych mogły mieć wpływ na powstanie oraz przebiegi wypadków drogowych.

Ogólny widok samochodu Fiat 126 P w stanie powypadkowym pokazano na rys. 4.37. W zbiorniczku wyrównawczym stwierdzono odpowiedni poziom płynu hamulcowego (rys. 4.38). Po demontażu tylnego lewego koła widoczny był zaślepiony przewód hamulcowy (rys. 4.39 i rys. 4.40). Następnie zdemontowano tylny, lewy bęben hamulcowy i stwierdzono, że układ hamulcowy jest niekompletny i brakuje między innymi szczęk hamulcowych oraz rozpieraczy (rys. 4.41 i rys. 4.42).

Rys. 4.37. Przód i prawy bok samochodu Fiat w stanie powypadkowym

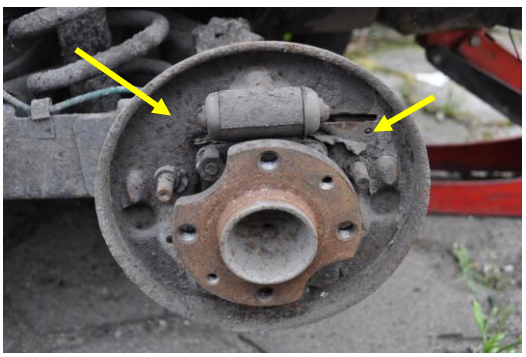
Rys. 4.38. Odpowiedni poziom płynu hamulcowego w zbiorniczku wyrównawczym

Rys. 4.39. Zaślepiony metalowy przewód hamulcowy przy tylnym lewym kole



Rys. 4.40. Zaślepiony metalowy przewód hamulcowy przy tylnym lewym kole

Rys. 4.41. Widok zdemontowanego bębna hamulcowego oraz braku elementów ciernych

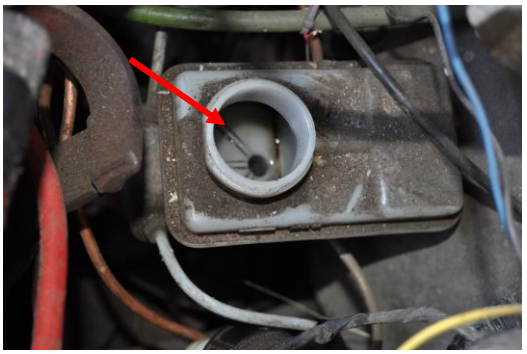


Rys. 4.42. Brak elementów ciernych bębnowego mechanizmu hamulcowego

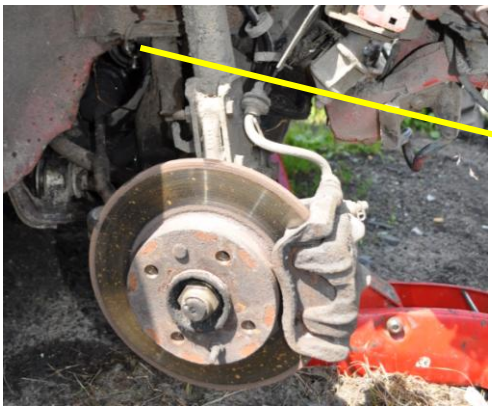
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Uszkodzony samochód Fiat Tipo, który uczestniczył w wypadku drogowym przedstawiono na rys. 4.43. Zbiorniczek wyrównawczy był pusty, nie było w nim płynu hamulcowego (rys. 4.44). W układzie hamulcowym przedniego prawego koła ujawniono uszkodzenie metalowego przewodu hamulcowego (rys. 4.45 i rys. 4.46). Fragment przewodu hamulcowego z widocznym uszkodzeniem przedstawiono rys. 4.47 i rys. 4.48.

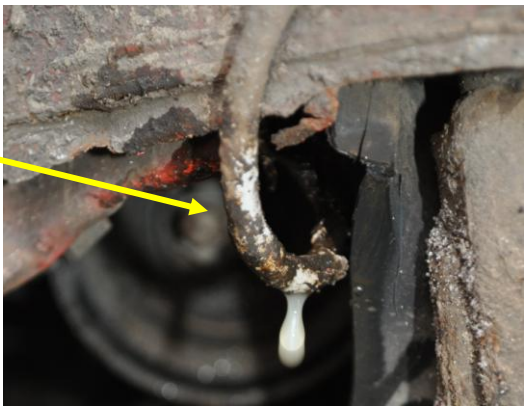
Rys. 4.43. Przód i prawy bok samochodu Fiat który brał udział w wypadku



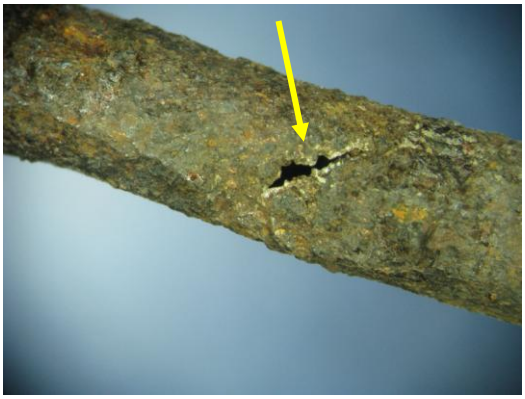
Rys. 4.44. Brak płynu hamulcowego w zbiorniczku wyrównawczym



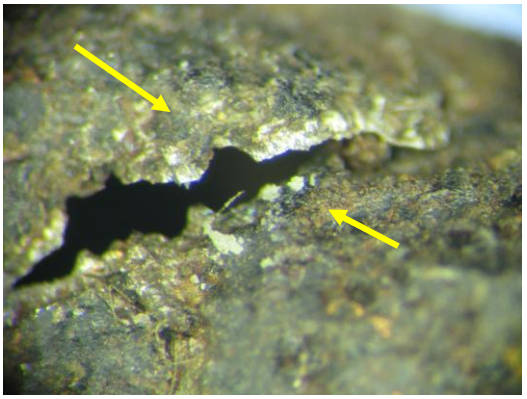
Rys. 4.45. Widoczny wyciek płynu hamulcowego z metalowego przewodu



Rys. 4.46. Widoczny wyciek płynu hamulcowego z metalowego przewodu



Rys. 4.47. Fragment przewodu hamulcowego z widocznym uszkodzeniem



Rys. 4.48. Widoczne w powiększeniu uszkodzenie przewodu hamulcowego

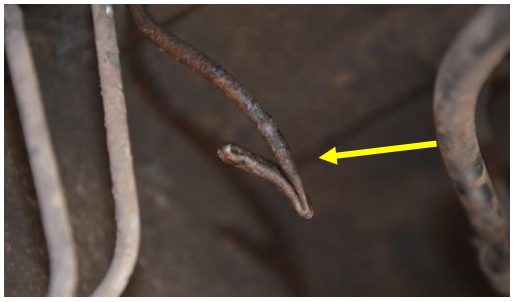
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Na rys. 4.49. pokazano widok samochodu Volkswagen Golf po zderzeniu czołowym. Jak wynika z powypadkowych badań technicznych, właściciel pojazdu zadbał o wymianę łożysk w tylnych kołach, a nie wymienił mocno zużytych elementów układu hamulcowego na tylnej osi (rys. 4.50). Kontrola kompletności układu wykazała, że metalowy przewód hamulcowy łączący korektor siły hamowania z hamulcem tylnego prawego koła został zaślepiony (rys. 4.51 i rys. 4.52). W wyniku nieprawidłowo wykonanej naprawy do tylnego prawego koła nie dopływał płyn hamulcowy podczas hamowania. Zbiorniczek wyrównawczy płynu hamulcowego został oddzielony od pompy hamulcowej w wyniku wypadku (rys. 4.53), o czym świadczą uszkodzenia w komorze silnika. Fragment pompy hamulcowej z wyrwanym króćcem od zbiorniczka pokazano na rys. 4.54.

Rys. 4.49. Przód i lewy bok samochodu Volkswagen po zderzeniu czołowym

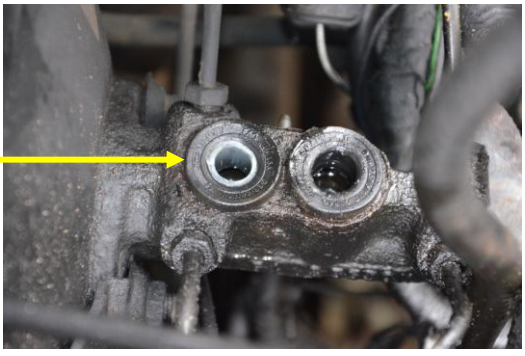
Rys. 4.50. „Świeżo" wymienione łożysko tylnego koła, ale nie wymienione zużyte elementy układu hamulcowego

Rys. 4.51. Zaślepiony przewód hamulcowy, metalowy przy tylnym lewym kole



Rys. 4.52. Zaślepiony przewód hamulcowy, metalowy przy tylnym lewym kole

Rys. 4.53. Zbiorniczek płynu hamulcowego uszkodzony w czasie wypadku



Rys. 4.54. Fragment pompy hamulcowej z urwanym króćcem od zbiorniczka

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Uszkodzony samochód Nissan Primera, który uderzył w rowerzystę, pokazano na rys. 4.55 i rys. 4.56. Podczas powypadkowego badania stwierdzono, że zbiorniczek wyrównawczy płynu hamulcowego jest pusty, a wyciek płynu nastąpił z metalowego przewodu prowadzącego do kół tylnej osi (rys. 4.57). Uszkodzony przewód metalowy wymontowano z pojazdu oraz oczyszczono. Fragment skorodowanego przewodu, na którym widoczne jest uszkodzenie pokazano na rys. 4.58. Po podniesieniu samochodu na podnośniku okazało się, że metalowy przewód hamulcowy znajdujący się na tylnej belce jest zaślepiony (rys. 4.59) oraz zaślepiony jest przewód przy tylnym prawym kole (rys. 4.60).

Rys. 4.55. Przód i prawy bok samochodu Nissan w stanie powypadkowym

Rys. 4.56. Widoczne uszkodzenia szyby przedniej i dachu po potrąceniu rowerzysty

Rys. 4.57. Widoczny wyciek płynu hamulcowego z metalowego przewodu

Rys. 4.58. Widoczne uszkodzenie przewodu po wymontowaniu z pojazdu

Rys. 4.59. Zaślepiony metalowy przewód hamulcowy znajdujący się na tylnej belce

Rys. 4.60. Zaślepiony przewód hamulcowy znajdujący się przy tylnym prawym kole

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

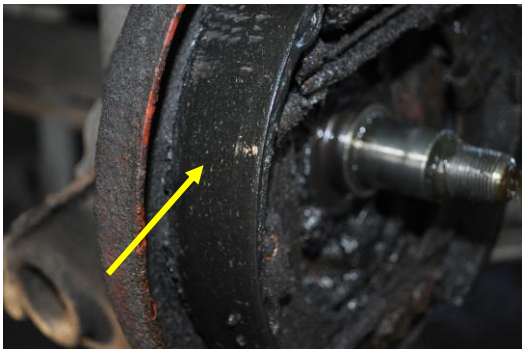
Ogólny widok samochodu Ford Escort, który potrącił pieszego pokazano na rys. 4.61. Zbiorniczek i pompa hamulcowa nie były uszkodzone. W zbiorniczku stwierdzono poziom płynu hamulcowego poniżej oznaczenia „min". W układzie hamulcowym przedniego prawego koła ujawniono uszkodzenie elastycznego (gumowego) przewodu. Wymontowano uszkodzony przewód w celu dalszych badań laboratoryjnych. Pęknięcie przewodu pokazano na rys. 4.62. Po zdemontowaniu tylnych bębnów okazało się, że elementy układu hamulcowego są w złym stanie technicznym. Zabrudzone szczęki hamulcowe lewego tylnego koła pokazano na rys. 4.63, a zabrudzone i zaolejone szczęki prawego tylnego koła na rys. 4.64 – rys. 4.66.

Rys. 4.61. Przód i prawy bok samochodu Ford w stanie powypadkowy

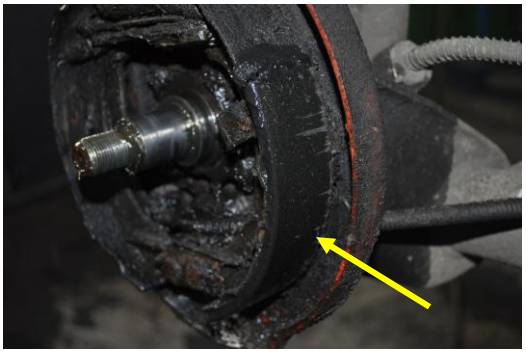
Rys. 4.62. Pękniecie elastycznego przewodu hamulcowego

Rys. 4.63. Zabrudzone szczęki hamulcowe w tylnym lewym kole

Rys. 4.64. Zabrudzone oraz zaolejone szczęki hamulcowe tylnego prawego koła



Rys. 4.65. Zabrudzona oraz zaolejona lewa szczęka hamulcowa tylnego prawego koła

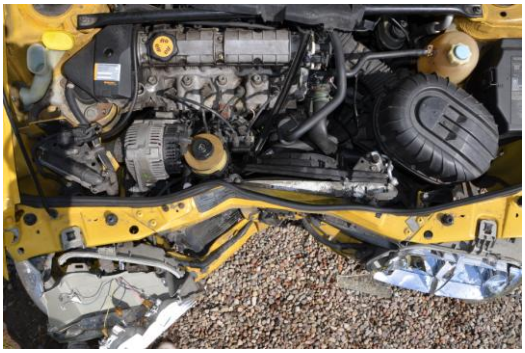


Rys. 4.66. Zabrudzona oraz zaolejona prawa szczęka hamulcowa tylnego prawego koła

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Widok przodu samochód Renault Megane po czołowym zderzeniu z drzewem zaprezentowano na rys. 4.67, a widok z góry po otwarciu komory silnika na rys. 4.68. Zbiorniczek wyrównawczy i pompa hamulcowa nie były uszkodzone. W zbiorniczku płyn hamulcowy był na poziomie dopuszczalnym - minimalnym. W układzie hamulcowym przedniego lewego koła ujawniono nadmiernie zużytą tarczę hamulcowa z wewnętrznej strony (rys. 4.69) oraz brak jednego klocka hamulcowego. Podczas hamowania tłoczek bezpośrednio stykał się z tarczą co widać na rys. 4.70. Uszkodzony tłoczek zacisku hamulca przedniego, lewego pokazano na rys. 4.71 i na rys. 4.72. Zużyty klocek hamulcowy, który był zamontowany od zewnętrznej strony przedstawiono na rys. 4.73 i rys. 4.74.

Rys. 4.67. Przód samochodu Renault po czołowym uderzeniu w drzewo



Rys. 4.68. Uszkodzenia przedniej części samochodu Renault w widoku z góry

Rys. 4.69.Nadmiernie zużyta wewnętrzna strony tarczy hamulcowej przedniego lewego koła

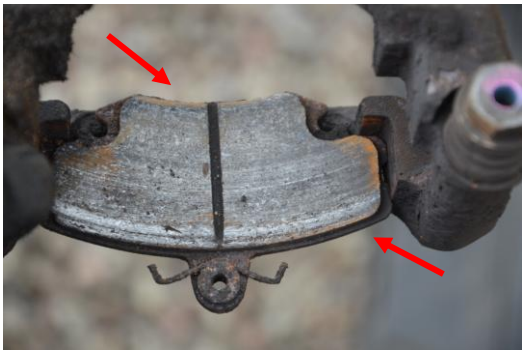
Rys. 4.70. Brak klocka hamulcowego, spowodował docisk tłoczka do tarczy

Rys. 4.71. Widok uszkodzonego tłoczka zacisku hamulcowego przedniego lewego koła

Rys. 4.72. Widok uszkodzonego tłoczka zacisku hamulcowego przedniego lewego koła

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

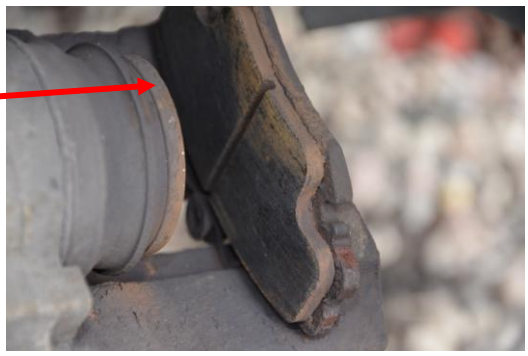
Rys. 4.73. Widok zużytego, zewnętrznego klocka hamulcowego przedniego lewego koła



Rys. 4.74. Widok zużytego, zewnętrznego klocka hamulcowego przedniego lewego koła

Zewnętrzna strona tarczy hamulcowej przedniego prawego koła (rys. 4.75) oraz dociskany do niej klocek hamulcowy (rys. 4.76) wykazywały ślady normalnego zużycia eksploatacyjnego. Natomiast wewnętrzna strona tarczy hamulcowej była nadmiernie zużyta (rys. 4.77), a przylegający do niej klocek hamulcowy był pozbawiony już całkowicie materiału ciernego (rys. 4.78). Najmniejsza dopuszczalna grubość materiału ciernego klocka hamulcowego powinna wynosić 2 mm [73]. Opisany stan techniczny elementów układu hamulcowego podczas wcześniejszego hamowania przed wypadkiem objawiał się prawdopodobnie „piszczeniem" co kierowca/właściciel zignorował.

Rys. 4.75. Fragment tarczy hamulcowej oraz zacisk przedniego prawego koła



Rys. 4.76. Klocek hamulcowy wykazujący normalne ślady zużycia eksploatacyjnego

Rys. 4.77. Widok wewnętrznej strony tarczy hamulcowej nadmiernie zużytej

Rys. 4.78. Klocek hamulcowy pozbawiony całkowicie materiału ciernego

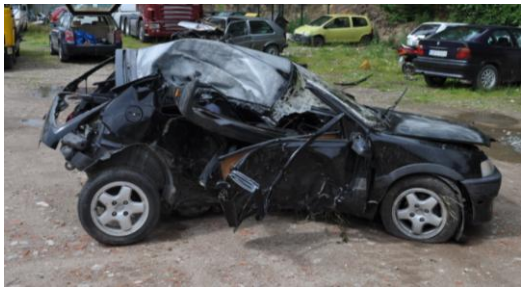
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Na kaszubskiej drodze niedaleko Kartuz doszło do tragicznego wypadku, w którym na miejscu zginęli dwaj młodzi mężczyźni, a trzeci w ciężkim stanie został przewieziony do szpitala. Jak wynika z informacji oficera dyżurnego kartuskiej policji, do wypadku doszło około godziny trzeciej. Samochód Peugeot 106 z nieustalonych przyczyn zjechał na lewe pobocze i uderzył drzewo. Zdjęcia uszkodzonego samochodu z miejsca wypadku pokazano na rys. 4.79 i rys. 4.80 (http://expresskaszubski.pl/express-na-sygnale/2012/06/tragiczny-wypadek-pod-kartuzami-nie-zyja-dwie-osoby).

Rys. 4.79. Widok uszkodzonego samochodu Peugeot po uderzeniu bokiem w drzewo (Rys. źródło http://expresskaszubski.pl)

Rys. 4.80. Widok uszkodzonego samochodu Peugeot po uderzeniu bokiem w drzewo (Rys. źródło http://expresskaszubski.pl)

Zdjęcia samochodu Peugeot 106 wykonane podczas powypadkowego badania technicznego pokazano na rys. 4.81 – rys 4.83. W komorze silnika nie ujawniono większych uszkodzeń. Poziom płynu hamulcowego w zbiorniczku wyrównawczym był właściwy pomiędzy oznaczeniem „min", a „max" (rys. 4.84).



Rys. 4.81. Prawy bok uszkodzonego samochodu Peugeot 106

Rys. 4.82. Lewy bok i tył uszkodzonego samochodu Peugeot 106

Rys. 4.83. Widok wnętrza samochodu Peugeot 106 po wypadku od strony kierowcy

Rys. 4.84. Widok nieuszkodzonej komory silnika oraz zbiorniczek płynu hamulcowego

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Powypadkowe badanie techniczne ujawniło, że w badanym pojeździe układ hamulcowy był niekompletny. Niesprawność (niekompletność) układu hamulcowego mogła mieć wpływ na powstanie i przebieg wypadku. W zakresie stacjonarnego badania układu hamulcowego najpierw oceniono skok jałowy i czynny pedału hamulca. Przeprowadzona próba nie wykazała niesprawności. Następnie przeprowadzono oględziny elementów układu hamulcowego pod względem kompletności, oryginalności i stanu technicznego. Uszkodzony samochód podniesiono za pomocą wózka widłowego i okazało się, że brakuje przewodów hamulcowych sztywnych i elastycznych przy tylnych kołach (rys. 4.85). Brak przewodu hamulcowego przy kołach widoczny jest na rys. 4.86 – rys. 4.88, a zaślepione przewody na rys. 4.89 i rys. 4.90.

Rys. 4.85. Tylna część podwozia gdzie widać brak przewodów hamulcowych

Rys. 4.86. Brak przewodu hamulcowego przy tylnym lewym hamulcu bębnowym

Rys. 4.87. Brak przewodu hamulcowego przy tylnym lewym hamulcu bębnowym

Rys. 4.88. Zaślepiony przewód doprowadzający płyn do tylnego lewego hamulca

Rys. 4.89. Zaślepiony przewód doprowadzający płyn do tylnego prawego hamulca

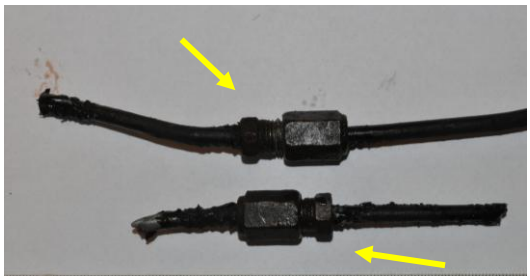
Rys. 4.90. Brak przewodu hamulcowego przy tylnym prawym hamulcu bębnowym

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

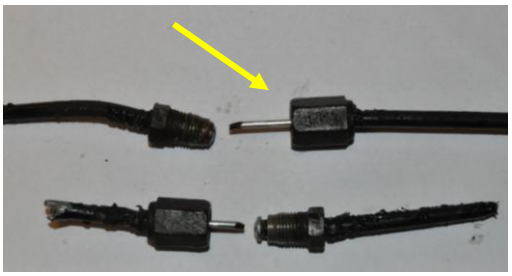
Po poluźnieniu nakrętki łączącej metalowy przewód hamulcowy, który prowadził do tyłu pojazdu (rys. 4.91) pojawił się płyn hamulcowy. Następnie zdemontowano połączenie i okazało się, że wewnątrz łączenia znajduje się aluminiowy nit (rys. 4.92), mający za zadanie zaślepienie przewodu hamulcowego. Podobna sytuacja miała miejsce również w drugim przewodzie hamulcowym, który miał pierwotnie doprowadzać płyn hamulcowy do drugiego tylnego hamulca. Fragmenty przewodów hamulcowych wraz z łączeniem wymontowano z samochodu i poddano dalszym badaniom (rys. 4.93 – rys. 4.96).

Rys. 4.91. Łączenie metalowego przewodu hamulcowego z którego kapie płyn

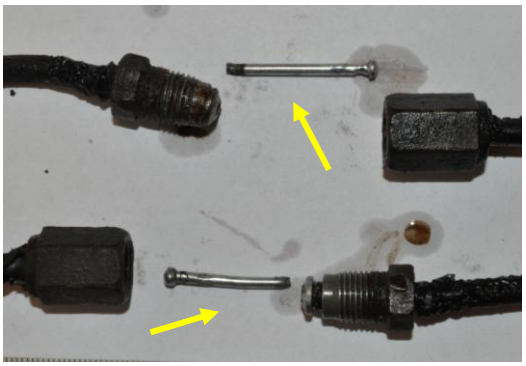
Rys. 4.92. Rozłączony przewód hamulcowy w którym znajdował się nit zaślepiający



Rys. 4.93. Fragmenty połączonych przewodów hamulcowy za pomocą łączenia



Rys. 4.94. Fragmenty rozłączonych przewodów, w których znajdują się aluminiowe nity



Rys. 4.95. Fragmenty rozłączonych przewodów, w których znajdowały się aluminiowe nity

Rys. 4.96. Fragmenty rozłączonych przewodów, w których znajdowały się aluminiowe nity

Ogólny widok samochodu terenowego Jeep Wrangler po dachowaniu pokazano na rys. 4.97, a wnętrze samochodu na rys. 4.98. W zbiorniczku stwierdzono odpowiedni poziom płynu hamulcowego (rys. 4.99). Po zdjęciu tylnego lewego koła, a następnie demontażu bębna hamulcowego zauważono zabrudzone i „niedziałające" elementy układu hamulcowego (szczęki,

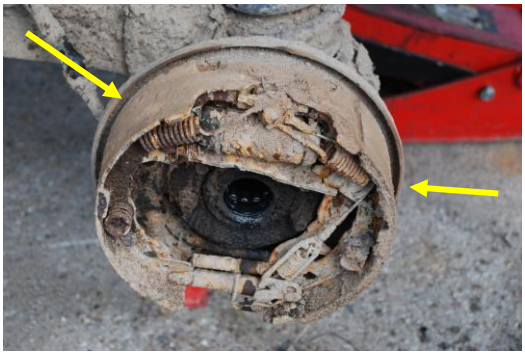
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

rozpieraki, cylinderek), co widać na rys. 4.100. Szukając przyczyn niesprawności hamulca tylnego koła odkręcono przewód hamulcowy od cylinderka (rys. 4.101) z którego po odkręceniu zaczął kapać płyn hamulcowy, a następnie wypadł aluminiowy nit (rys. 4.102).

Rys. 4.97. Widok przodu i lewego boku samochodu Jeep po dachowaniu

Rys. 4.98. Widok wnętrza samochodu terenowego Jeep po dachowaniu

Rys. 4.99. Odpowiedni poziom płynu hamulcowego w zbiorniczku wyrównawczym



Rys. 4.110. Zabrudzone i niedziałające elementy hamulca bębnowego

Rys. 4.101. Odkręcony przewód hamulcowy tylnego lewego koła od cylinderka

Rys. 4.102. Aluminiowy nit „zaślepiający", który wypadł z przewodu hamulcowego

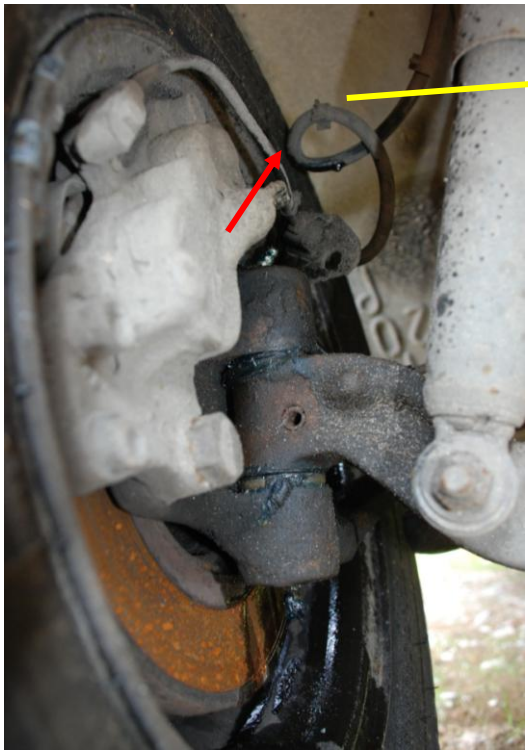
Uszkodzony przód samochodu ciężarowego Mercedes 310 D po kolizji drogowej pokazano na rys. 4.103. W zbiorniczku stwierdzono obniżony poziom płynu hamulcowego – poniżej oznaczenia „min" (rys. 4.104). W obwodzie hamulcowym przedniego prawego koła ujawniono przetarcie przewodu gumowego. Fragment powierzchni przewodu przylegał do wewnętrznego boku opony (rys. 4.105). Przewód gumowy w części środkowej był skręcony

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

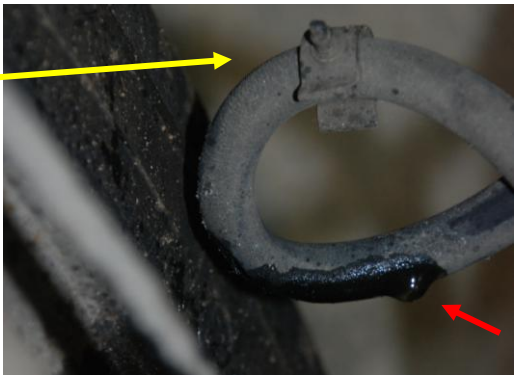
w tzw. „pętelkę” (rys. 4.106). Nacisk na pedał hamulca roboczego skutkował wyciekiem płynu hamulcowego z miejsca przetarcia przewodu (rys. 4.107).

Rys. 4.103. Przód i lewy bok samochodu Mercedes po kolizji drogowej

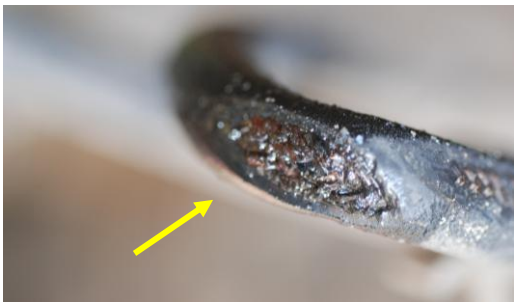
Rys. 4.104. Poziom płynu hamulcowego poniżej oznaczenia „min”



Rys. 4.105. Fragment przewodu gumowego przyległego do wewnętrznej strony opony



Rys. 4.106. Fragment przewodu hamulcowego



Rys. 4.107. Przetarcie przewodu hamulcowego z którego wyciekał płyn hamulcowy

4.4. Uwagi dotyczące powypadkowych badań technicznych i rekonstrukcji wypadków drogowych

Zdaniem autora pojazdy biorące udział w wypadkach drogowych, w których były ofiary śmiertelne lub osoby poszkodowane doznały obrażeń ciała, powinny zostać poddane obowiązkowo powypadkowym badaniom technicznym.

Omawiając diagnozowanie układów hamulcowych w podrozdziale 4.2.10 wspomniano, że kontrolę stanu technicznego układu hamulcowego możemy wykonać metodą stanowiskową oraz trakcyjną (przez wykonanie jazdy próbnej oraz pomiar opóźnienia hamowania).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Mówiąc o pojazdach biorących udział w wypadkach drogowych wyobrażamy sobie zazwyczaj samochody dość znacznie rozbite i nie nadające się do dalszej jazdy.

Natomiast, jak wynika ze statystyk policyjnych obecnie w Polsce około 40 % ofiar wypadków drogowych stanowią piesi i inni „niechronieni" uczestnicy ruchu drogowego (rowerzyści, motorowerzyści i motocykliści).

W 2017 roku jak podają statystyki policyjne zginęło 873 pieszych, a 7 587 zostało rannych w 8 197 wypadkach z udziałem osób pieszych. Najczęściej do wypadków z osobami pieszymi dochodziło w obszarze zabudowanym, jednakże skutki wypadków mających miejsce poza obszarem zabudowanym były tragiczniejsze, gdyż prawie w co trzecim wypadku zginął człowiek, zaś w obszarze zabudowanym w co trzynastym (tabela 4.1).

Tabela 4.1. Wypadki z udziałem pieszych wg obszaru w 2017 roku [99]

Obszar	Wypadki	Zabici	Ranni
zabudowany	7 454	578	7 118
niezabudowany	743	295	469
O g ó ł e m	8 197	873	7 587

Przedstawionym danym statystycznym trudno jest zaprzeczyć. Pokazują one jak bardzo istotnym problemem społecznym są wypadki spowodowane potrąceniem pieszego lub rowerzysty przez pojazd. Właśnie między innymi ten rodzaj wypadków wymaga najczęściej wiedzy specjalistycznej i wydania przez biegłego opinii z zakresu rekonstrukcji wypadku drogowego

W samochodach biorących udział w tego typu zdarzeniach najczęściej występuje możliwość wykonania pomiaru opóźnienia hamowania, a także przeprowadzenia badania na stanowisku rolkowym w celu zmierzenia sił hamujących na poszczególnych kołach. Najbardziej korzystną sytuacją dla rzetelności i wiarygodności rekonstrukcji byłoby wykonanie pomiaru opóźnienia hamowania lub drogi hamowania z zadanej prędkości początkowej na miejscu wypadku. Ponieważ nie zawsze jest to możliwe. Dlatego organ procesowy powinien zlecać biegłemu wykonanie powypadkowego badania technicznego wraz z pomiarem opóźnienia hamowania (o ile jest to oczywiście możliwe) w warunkach drogowych i atmosferycznych podobnych do tych, które panowały w czasie wypadku albo wykonanie badań na stanowisku diagnostycznym.

Rekonstrukcja wypadku drogowego polega na odtworzeniu okoliczności i przebiegu wypadku, zwłaszcza na podstawie fachowej interpretacji śladów powypadkowych (dowodów materialnych). Zasadniczym problemem w rekonstrukcji wypadków drogowych jest zazwyczaj obliczenie prędkości początkowej pojazdu, a do tego potrzebna jest znajomość wartości opóźnienia hamowania oraz drogi hamowania. Przeprowadzając analizę możliwości uniknięcia wypadku drogowego poprzez manewr ekstremalnego hamowania, musimy przyjąć pewną realną dla danych warunków wartość opóźnienia hamowania pojazdu. Opóźnienie hamowania jest jednym z podstawowych parametrów ustalenia prędkości pojazdu w okresie bezpośrednio

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

poprzedzającym zderzenie. Parametr ten jest zależny od wielu czynników, które biegły podczas rekonstrukcji wypadu drogowego powinien uwzględnić. Czynniki te, to przede wszystkim: stan nawierzchni podłoża, po którym przemieszczał się hamujący pojazd, rodzaj i stan ogumienia kół, stan układu hamulcowego, kierowniczego i zawieszenia kół. Z praktyki wynika, że informacji dotyczącej stanu technicznego (sprawności układu hamulcowego), a tym bardziej wartości rzeczywistej opóźnienia hamowania w aktach sprawy brakuje. Dlatego częstym sposobem ustalenia opóźnienia hamowania jest przyjęcie przez biegłego wartości współczynnika przyczepności z dostępnych w literaturze tablic. Powoduje to, że w tej samej sprawie występują dość znaczne różnice w przyjmowanych wartościach opóźnienia hamowania dla tej samej nawierzchni przez różnych biegłych powołanych do wyjaśnienia zaistniałego zdarzenia.

Biegły powinien umieć uzasadnić przyjętą w obliczeniach przez siebie wartość opóźnienia hamowania. Ponieważ może ona zostać bezlitośnie zakwestionowana w sądzie przez jedną ze stron procesu.

Przedstawione przykłady zidentyfikowanych, rzeczywistych niekompletności oraz niesprawności układów hamulcowych obrazują jak ważnym elementem dla rzetelnej i wiarygodnej rekonstrukcji wypadku drogowego jest powypadkowe badanie techniczne.

Rzetelnie wykonana opinia techniczna jest bardzo cennym dowodem materialnym, a także zmniejsza niepewność obliczeń w późniejszej rekonstrukcji. Wykonywana jest najczęściej na początku dochodzenia, kiedy mamy jeszcze mało informacji o wypadku.

Zaniechanie stosowania powypadkowego badania technicznego pojazdów ogranicza wykrycie niekompletności, niesprawności układów mogących być przyczyną wypadków oraz uniemożliwia w pewnym zakresie możliwości dochodzenia prawdy, co w konsekwencji może skutkować wydaniem niesprawiedliwego wyroku.

Przeprowadzone innowacyjne badania drogowe (zamieszczone w dalszej części pracy) w bardzo wyraźny sposób uwidaczniają jakie błędy można popełnić określając opóźnienie hamowania nie znając stanu technicznego i sprawności układu hamulcowego pojazdu w czasie wypadku.

Obecnie w Polsce jest około 4000 Stacji Kontroli Pojazdów, ich wyposażenie pozwala w sposób wiarygodny określić powypadkowy stan techniczny pojazdu oraz ocenić nieprawidłowości działania układów mających bezpośredni wpływ na możliwość powstania wypadku. Dlatego powypadkowe badanie techniczne pojazdu o ile jest to możliwe powinno być przeprowadzone przy użyciu stanowiska diagnostycznego oraz opóźnieniomierza (będącego na wyposażeniu każdej stacji diagnostycznej), a nie tylko organoleptycznie.

Na podstawie przeprowadzonej analizy pojazdów biorących udział w wypadkach drogowych opracowano protokół powypadkowych badań technicznych, który zamieszczono w załączniku A. Natomiast fragment „specyficznej" opinii technicznej z przeprowadzonego powypadkowego badania pojazdu zamieszczono w załączniku B.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

5. PROBLEM NIESPRAWNOŚCI UKŁADU HAMULCOWEGO

W Polsce, zgodnie z obowiązującymi przepisami, właściciel pojazdu samochodowego, ciągnika rolniczego, pojazdu wolnobieżnego wchodzącego w skład kolejki turystycznej, motoroweru lub przyczepy jest obowiązany przedstawić go do okresowego badania technicznego w stacji kontroli pojazdów. Rozporządzenie Ministra [148, 150] określa zakres i sposób przeprowadzanych badań.

Zgodnie z Ustawą z dnia 20 czerwca 1997 r. „Prawo o ruchu drogowym" pojazd uczestniczący w ruchu ma tyć tak zbudowany, wyposażony i utrzymany, aby korzystanie z niego nie zagrażało bezpieczeństwu osób nim jadących lub innym uczestników ruchu oraz nie naruszało porządku ruchu na drodze i nie narażało kogokolwiek na szkodę.

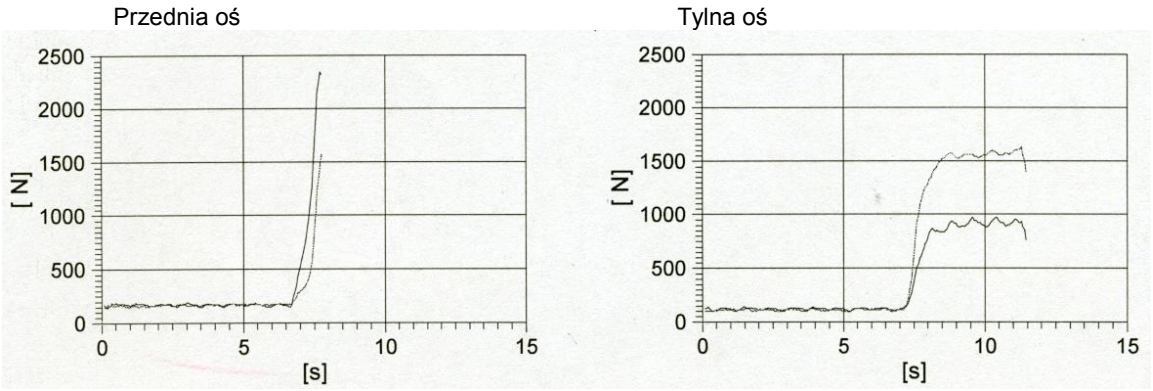
Podczas okresowego badania technicznego wykrywa się często istotne uszkodzenia między innymi układu hamulcowego, układu kierowniczego, oświetlenia, opon i zawieszenia. Niewłaściwy stan techniczny pojazdu stwarza poważne zagrożenie podczas poruszania się nim w ruchu drogowym.

Przykładowe wyników badania skuteczności i równomierności działania hamulców samochodu Daewoo Lanos, w którym występowały duże różnice sił hamowania kół po obu stronach osi pojazdu przedstawiono na rys. 5.1. Natomiast na rys. 5.2 pokazano graficznie wykresy sił hamowania. Różnica sił hamowania na osi przedniej wynosiła 43 %, a na osi tylnej 40 % przy zablokowaniu rolek. Dopuszczalna masa całkowita wynosi 1600 kg. Suma sił hamowania wynosiła 5980 N. Zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania wynosił 37 %.

Test hamulców :

		Przednia oś			Tylna oś			Ham. postoj.		
		lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa
Opory toczenia	N	*159*		*159*	*119*		*109*	*0*		*0*
Siła ham.	N	*2146*		*1242*	*974*		*1619*	*457*		*1182*
Różnica zablok	%		*43*			*40*				

Rys. 5.1. Fragment protokołu pomiaru sił hamowania samochodu Daewoo Lanos, rok produkcji 2001 (na czerwono zaznaczono różnice sił hamowania na osi przedniej, a na niebiesko różnice na osi tylnej)



Rys. 5.2. Wykresy zmierzonych sił hamowania samochodu Daewoo Lanos, rok produkcji 2001

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Kolejny przykładowy graficzny protokół pomiaru sił hamowania samochodu Volkswagen 1300, przedstawiono na rys. 5.3. Widoczne są duże różnice sił hamowania na poszczególnych osiach pojazdu, co zaznaczono czerwonym kolorem. Wskaźnik skuteczności hamowania wynosił 23 % dla dopuszczalnej masy całkowitej i sumy sił hamowania 2721 N (na przedniej osi 1748 N, a na tylnej 973 N).

CARTEC Kontrola pojazdów

Data 2015-10-30 Godz 11:49:37
Data, godz. badania: 2015-10-30, 11:49:37

Copyright by Cartec
PC-SW-V 4.952C
(2000/XP)

Firma Europak Okregowa Stacja Kontroli Pojazdów
Ulica 80-299 Gdańsk
Miasto ul.Barniewicka 46
Tel. tel. (058)554-44-77

DANE KLIENTA
ADRES/ulica:
ADRES/kod-miasto:
NR REJ./NR DOW. REJ. GD083HU
TYP/ MARKA /RODZAJ VOLKSWAGEN 1300
NR SILNIKA :
NR PODWOZIA :

DIAGNOSTA :
ROK 1973

Test hamulców :

		Przednia oś			Tylna oś			Ham. postoj.		
		lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa
Opory toczenia	N	60		60	60		60	0		0
Siła ham.	N	546		1202	139		834	149		1520
Różnica zablok	%		55			84				
Wah. sił ham.	%									
Nacisk na pedał	N	0		0	0		0			

Informacja o układzie hamulcowym:

Ham. roboczy	>=50 %	23 %	Wsk. skut. w %	**Ham postoj.**	>=16 % 14 %
Różnica zablok.	<=30 %				
Nacisk na pedał	<=500 N				

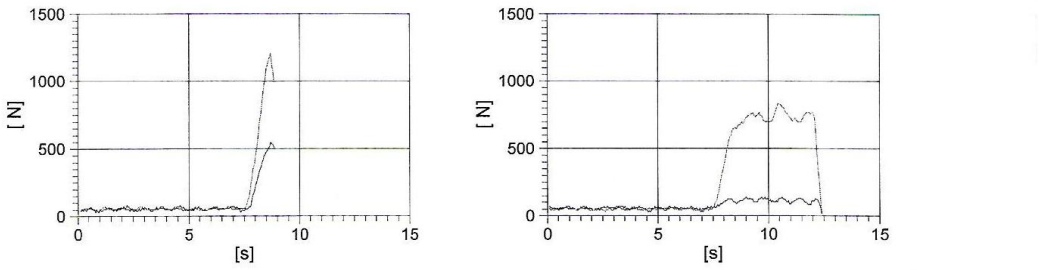
Dop. Masa Całk. 1200 kg

WYNIKI: ***Wskaźnik skuteczności ham. rob. zbyt niski !!! WYNIK NEGATYWNY!!!***
Różnica sił zbyt duża !!! WYNIK NEGATYWNY !!!!

Wskaźnik skuteczności ham. postoj. zbyt niski!!. WYNIK NEGATYWNY !!!

Przednia oś
lewa strona: czarna linia
prawa strona: czerwona linia

Tylna oś
lewa strona: czarna linia
prawa strona: czerwona linia



Rys. 5.3. Przykładowy graficzny protokół pomiaru sił hamowania samochodu Volkswagen 1300

Hamowanie należy do często wykonywanych czynności podczas kierowania samochodem. Elementy składowe układów hamulcowych muszą uwzględniać ten warunek, najefektywniej przenosząc siłę nacisku stopy wymaganą do działania hamulców i utrzymując możliwie dużą wartość skuteczności hamowania.

W samochodach osobowych i dostawczych stosuje się przede wszystkim hamulce robocze uruchamiane hydraulicznie. Ze względów bezpieczeństwa przepisy wymagają

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

stosowania dwuobwodowego układu hamulcowego. W razie awarii jednego z obwodów drugi obwód powinien spowodować zatrzymanie pojazdu.

Zwiększając siłę nacisku na pedał hamulca, wzrasta ciśnienie płynu hamulcowego w układzie, a wraz z nim siła hamowania.

W trakcie okresowego badania technicznego pojazdu na stanowisku rolkowym w stacji kontroli pojazdów zdarza się, że podczas intensywnego wciskania pedału hamulca uszkodzeniu ulegają elementy lub przewody hamulcowe, co powoduje wyciek płynu hamulcowego.

Podczas badania siły hamowania w samochodzie osobowym Honda Jazz (rys. 5.4) uszkodzeniu uległ skorodowany, sztywny przewód hamulcowy przy tylnym lewym kole (rys 5.5). Uszkodzenie osłabionej w wyniku korozji ścianki sztywnego przewodu hamulcowego (rys. 5.6 i rys. 5.7) spowodowane zostało przez nagły, gwałtowny wzrost ciśnienia płynu hamulcowego.

Rys. 5.4. Samochód Honda Jazz, w którym uszkodzeniu uległ przewód hamulcowy podczas okresowego badania technicznego

Rys. 5.5. Wyciek płynu hamulcowego z sztywnego przewodu przy tylnym lewym kole (żółtą strzałką zaznaczono skorodowany przewód, a niebieską strzałką wyciekający płyn hamulcowego)

Rys. 5.6. Fragment skorodowanego przewodu hamulcowego, z którego wycieka płyn

Rys. 5.7. Fragment skorodowanego przewodu hamulcowego z którego wycieka płyn

Podobna sytuacja miała miejsce w samochodzie Opel Astra rok produkcji 2005 (rys. 5.8), gdzie pęknięciu uległ nadmiernie skorodowany przewód hamulcowy przy przednim lewym kole (rys. 5.9 – rys. 5.11). Wartości sił hamowania samochodu Opel Astra (z nieszczelnym układem hamulcowym powodującym wyciek płynu hamulcowego) przedstawiono na rys. 5.12, a wykresy graficzne siły hamowania przedniej i tylnej osi na rys. 5.13. Z analizy otrzymanych wyników siły hamowania osi przedniej można wnioskować, że są one niewielkie, kiedy uszkodzeniu ulegnie element układu hamulcowego (w opisywanym przykładzie pęknięcie skorodowanego przewodu hamulcowego przy lewy przednim kole).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rys. 5.8. Samochód Opel Astra, w którym uszkodzeniu uległ przewód hamulcowy podczas okresowego badania technicznego

Rys. 5.9. Widoczny wyciek płynu hamulcowego przy przednim lewym kole w samochodzie Opel zaznaczono czerwoną strzałką

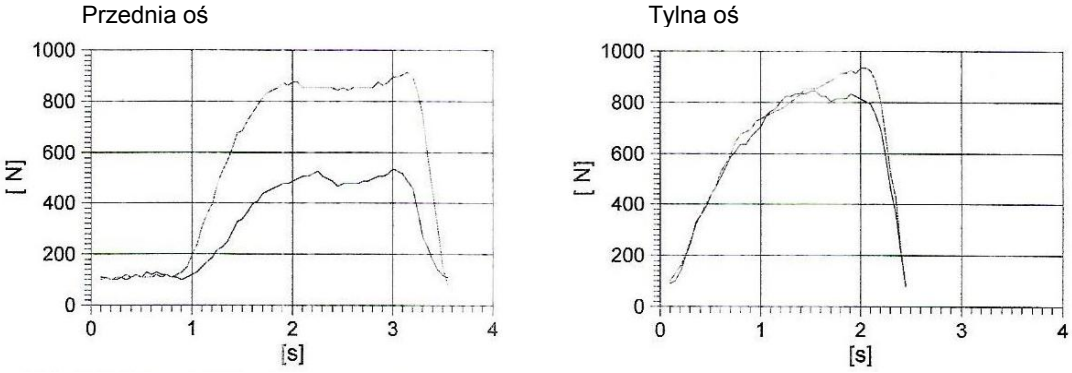
Rys. 5.10. Widoczne uszkodzenie przewodu hamulcowego nastąpiło podczas okresowego badania technicznego

Rys. 5.11. Widoczny skorodowany przewód hamulcowy z którego wycieka płyn

Test hamulców :

		Przednia oś			Tylna oś			Ham. postoj.		
		lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa
Opory toczenia	N	*79*		*79*	*79*		*119*	*139*		*139*
Siła ham.	N	*836*		*814*	*844*		*934*	*1311*		*477*
Różnica zablok	%		*42*			*10*				
Wah. sił ham.	%									
Nacisk na pedał	N	*0*		*0*	*0*		*0*			

Rys. 5.12. Fragment protokołu pomiaru sił hamowania samochodu Opel Astra, rok produkcji 2005 (na czerwono zaznaczono sił hamowania na osi przedniej, a na niebiesko na osi tylnej)



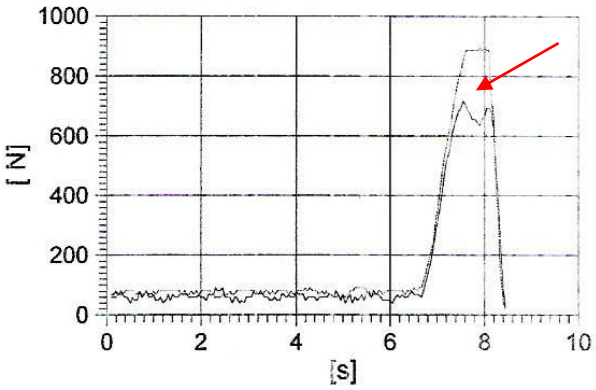
Rys. 5.13. Wykresy zmierzonych sił hamowania samochodu Opel Astra, rok produkcji 2005, w którym występował wyciek płynu hamulcowego przy przednim lewym kole

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Wyciek płynu hamulcowego, który nastąpił podczas badania technicznego samochodu Audi A4, rok produkcji 2000 (rys. 5.14) przedstawiono na rys. 5.15. Również w tym przypadku siły hamowanie nie były zbyt duże. Siła hamowania tylnego lewego koła wynosiła 715 N, a prawego 894 N. Wykres sił hamowania osi tylnej pokazano na rys. 5.16. Widoczne jest charakterystyczne miejsce, w którym nastąpiła nieszczelność i wyciek płynu hamulcowego (co zaznaczono czerwoną strzałką).

Rys. 5.14. Samochód Audi A4, rok produkcji 2000, w którym występował wyciek płynu hamulcowego

Rys. 5.15. Widoczny wyciek płynu hamulcowego z zacisku tylnego lewego koła w samochodzie Audi A4



Rys. 5.16. Wykresy zmierzonych sił hamowania osi tylnej samochodu Audi A4, rok produkcji 2000, w którym występował wyciek płynu hamulcowego zacisku lewego tylnego koła

Przedstawione powyżej przykłady uszkodzeń układu hamulcowego, które wystąpiły podczas przeprowadzonych przez autora okresowych badań technicznych, potwierdzają bardzo istotny problem poruszony już w rozdziale 4. Uszkodzenie elementów układu hamulcowego, przewodów hamulcowych (mocno skorodowanych), występuje również podczas intensywnego hamowania w sytuacjach przedkolizyjnych. O uszkodzeniach elementów hamulcowych, które wystąpiły podczas intensywnego hamowania w literaturze nie poświęcano zbyt dużo miejsca. A jednak ten problem istnieje i przynosi niekiedy drastyczne konsekwencje.

Analiza powypadkowych badań technicznych oraz uszkodzeń elementów układu hamulcowego, które wystąpiły podczas wykonywanych przez autora okresowych badań technicznych były inspiracją do zaprojektowania i skonstruowania układu wywołującego awarię jednego z obwodów hamulcowych w trakcie procesu hamowania.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

6. NIEKONWENCJONALNE DIAGNOZOWANIE UKŁADU HAMULCOWEGO

W powypadkowych badaniach technicznych pojazdu standardowo ocenia się skuteczność układu hamulcowego przez pomiar drogi hamowania w odniesieniu do prędkości początkowej lub pomiar średniego opóźnienia hamowania.

Dla lepszego określenia sprawności układu hamulcowego, badania te powinny być uzupełnione (o ile jest to możliwe) przez pomiar sił hamowania na stanowisku rolkowym lub płytowym do kontroli hamulców.

Odpowiednia skuteczność działania układu hamulcowego, wynikająca z warunków bezpieczeństwa ruchu drogowego, jest jednym z zasadniczych wymagań stawianych pojazdom mechanicznym. Skuteczność działania układu hamulcowego uwarunkowana jest rozwiązaniem konstrukcyjnym układu oraz stanem technicznym (zmiennym podczas eksploatacji). Natomiast skuteczność hamowania pojazdu w konkretnych warunkach drogowych ograniczona jest przyczepnością opon kół hamowanych do nawierzchni jezdni, zmienną w znacznym zakresie w zależności od rozkładu nacisków na osie pojazdu, od rodzaju i stanu bieżnika opon oraz nawierzchni jezdni.

Przepisy [150] dopuszczają możliwość badania skuteczności hamulców w warunkach stanowiskowych przez pomiar siły hamowania na stanowisku płytowym (najazdowym) lub stanowisku rolkowym. Ten drugi rodzaj stanowiska znalazł powszechne zastosowanie w stacjach kontroli pojazdów, które wykonują okresowe badania techniczne dopuszczające pojazdy do ruchu.

W stosunku do badań trakcyjnych metoda pomiaru sił hamowania w warunkach stanowiskowych ma następujące zalety:

- możliwość pomiaru sił hamowania na poszczególnych kołach, co znacznie ułatwia wyznaczenie parametrów charakteryzujących rozdział sił hamowania na poszczególnych osiach i między nimi;
- uniezależnienie badań od warunków drogowych i atmosferycznych, co ułatwia ich organizację.

Natomiast do wad metody pomiaru sił hamowania należy zaliczyć głównie to, że warunki w jakich odbywają się pomiary nie uwzględniają (lub uwzględniają w ograniczonym zakresie) takich zjawisk dynamicznych zachodzących w procesie hamowania pojazdu, jak: zmiana nacisków osi, wzajemne prędkości elementów pary trącej i ich temperatury, czas hamowania, wpływ mas wirujących itp. Dlatego zmierzone wartości sił hamowania nie odpowiadają bezpośrednio sile rzeczywistej występującej podczas hamowania przy tym samym nacisku na pedał hamulca.

Metoda quasi-statyczna (stacjonarna) jest metodą uniwersalną i nadaje się do badania różnych typów pojazdów. Pomiar sił hamowania kół odbywa się w pojeździe nieruchomym, przy prędkości obrotowej kół odpowiadającej prędkości jazdy około 2,0-5,5 km/h. Warunki pomiarów są zbliżone do statycznych, stąd nazwa metody.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

6.1. Wskaźnik skuteczności hamowania

Wskaźnik skuteczności hamowania zgodnie z obowiązującymi przepisami [150], oblicza się według wzoru:

$$z = \frac{\sum T}{P} \times 100 \tag{6.1}$$

gdzie:

z - *wskaźnik skuteczności hamowania (%) dla badanego rodzaju hamulca,*

$\sum T$ -*siła hamowania uzyskana ze wszystkich kół (kN), odpowiednio dla hamulca roboczego, awaryjnego lub postojowego,*

P - *siła ciężkości (nacisk) od dopuszczalnej masy całkowitej badanego pojazdu (kN), przyjmując do obliczeń 1 kN = siła ciężkości 100 kg masy (dla pojazdów członowych dopuszcza się przyjmowanie do obliczeń dopuszczalnego nacisku danej osi).*

Określając rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania z_{RZ} (%) podczas badania pojazdu po wypadku drogowym, metodą quasi-statyczną należałoby do wzoru 6.1 wstawić siłę ciężkości od rzeczywistej masy pojazdu P_{RZ}, a nie od dopuszczalnej masy całkowitej.

$$z_{RZ} = \frac{\sum T}{P_{RZ}} \times 100 \tag{6.2}$$

Otrzymaną wartość wskaźnika skuteczności hamowania należy porównać z wartościami zamieszczonymi w obowiązujących przepisach [148].

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

Zadaniem dodatkowego układu (rys. 6.1) było wywołanie awaryjnego stanu układu hamulcowego polegającego na rozszczelnieniu jednego z obwodów.

Rys. 6.1. Widok układu umieszczonego w komorze silnika samochodu Toyota Corolla, użytego do badań

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

W skład układu wywołującego awarię układu hamulcowego wchodziły następujące elementy:

- elektrozawór wysokociśnieniowy,
- rozdzielacz trójdrogowy (trójnik),
- zawór zwrotny,
- przewód sztywny i elastyczny, redukcje i elementy uszczelniające,
- zbiorniczek na płyn hamulcowy,
- elektryczny układ sterujący (dwa przekaźniki elektryczne, w tym jeden z regulowaną zwłoką, przewody i konektory, włącznik bezpieczeństwa).

Działanie układu polegało na rozszczelnieniu przewodu hamulcowego przekazującego ciśnienie z rozdzielacza ABS-u do przedniego koła. Bezpośrednio za gniazdem wyjściowym z modulatora przeznaczonego dla przedniego 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, 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 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 obwodu (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 przekaźnik, 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. 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 koła. W takiej sytuacji następował przez elektrozawór wypływ płynu hamulcowego do zbiorniczka płynu zamocowanego w komorze silnika (atmosfery). W elektrycznym obwodzie sterującym umieszczony był wyłącznik (przycisk) bezpieczeństwa. Zadziałanie elektrozaworu determinowane było wciśnięciem tego przycisku - jego zwolnienie powodowało natychmiastowe zamkniecie elektrozaworu i przywrócenie sprawności układu hamulcowego. Takie rozwiązanie gwarantowało możliwość bezpiecznej jazdy pomiędzy poszczególnymi próbami hamowania, a w czasie wykonywania próby możliwość przywrócenia sprawności układowi hamulcowemu. W trakcie badań przeprowadzono również próby hamowania pojazdu w pełni szczelnym

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

układem hydraulicznym, z załączonym (działającym) układem ABS-u, oraz po wyłączeniu tego układu.

6.3. Wpływ uszkodzenia jednego obwodu układu hamulcowego na skuteczność hamowania

Przepisy prawne wymagają, aby urządzenia przenoszące siły sterujące do hamulców kół były dwuobwodowe. Według normy DIN 74000 istnieje pięć możliwości rozdziału dwóch obwodów na cztery hamowane koła. Typ każdego obwodu ma oznaczenie literowe: II, X, HI, LL i HH. Kształt tych liter odzwierciedla ułożenie przewodów hamulcowych między pompą hamulcową, a hamulcami kół [90].

W obecnie stosowanych dwuobwodowych układach uruchamiania hamulców uszkodzenie jednego z obwodów pozwala na hamowanie drugim. Należy jednak pamiętać, że zazwyczaj uszkodzenie jednego z obwodów jest związane z koniecznością pokonania przez kierowcę zwiększonego jałowego skoku pedału hamulca i wydłużenie czasu jego uruchomienia. Może to wywołać u kierowcy dodatkowy stres.

Uszkodzenie jednego z obwodów hamulcowych jak wynika z przeprowadzonych innowacyjnych badań znacząco zmniejsza skuteczność hamowania. Wyniki i analizę badań zamieszczono w następnych rozdziałach.

Z punktu widzenia mechaniki ruchu pojazdu, rozszczelnienie układu hamulcowego podczas hamowania stanowi nadal niezwykle skomplikowane zagadnienie.

6.3.1. Obiekt badań

Do przeprowadzenia pomiarów użyty został samochód osobowy Toyota Corolla (rys. 6.2 i rys. 6.3). Ciśnienie w ogumieniu zgodne z zaleceniami producenta. Podczas badań samochód był obciążony tylko kierowcą (masa własna pojazdu z kierowcą wynosiła 1275 kg, dopuszczalna masa całkowita 1665 kg). Typ nadwozia kombi, silnik o zapłonie iskrowym, pojemność silnika 1398 cm^3, moc silnika 71 kW, rok produkcji 2004, rozmiar opon 195/60 R15 o nośności 560 kg, firmy Fulda Monero 2, wysokość bieżnika wszystkich kół ok 3 mm, hamulce tarczowe na przedniej i tylnej osi.

Rys. 6.2. Widok przodu i boku samochód Toyota Corolla na stanowisku diagnostycznym

Rys. 6.3. Widok tyłu samochód Toyota Corolla na stanowisku diagnostycznym

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Samochód wyposażony był w układ wywołujący awarię jednego z obwodów hamulcowych w trakcie procesu hamowania. Zadaniem dodatkowego układu było wywołanie awaryjnego stanu układu hamulcowego polegającego na rozszczelnieniu jednego z obwodów.

6.3.2. Stanowisko pomiarowe

Badania skuteczności hamowania metodą quasi-statyczną wykonano w Okręgowej Stacji Kontroli Pojazdów w Gdańsku na stanowisko rolkowym do kontroli działania hamulców pojazdów samochodowych firmy Cartec (rys. 6.4).

Rys. 6.4. Stanowisko kontrolno-pomiarowe firmy CARTEC w Stacji Kontroli Pojazdów w Gdańsku

Stanowisko rolkowe typu BDE 4004P-OM posiada Certyfikat zgodności nr Z/15/64/04 wydany przez Instytut Transportu Samochodowego w Warszawie. Dwa zespoły rolek napędowych są identyczne i umieszczone po obu stronach kanału. Powierzchnia jezdna rolek pokryta jest siatką i tworzywem sztucznym z elektrokorundem, co zapewnia jej odpowiednio wysoki współczynnik przyczepności opony. Rolka tylna jest napędzana za pośrednictwem przekładni łańcuchowej przez motoreduktor. Natomiast rolka przednia jest napędzana od rolki tylnej za pośrednictwem dodatkowej przekładni łańcuchowej. Siły hamujące mierzone są przez czujniki tensometryczne, z których sygnały elektryczne przekazywane są do szafy wskaźnikowej.

Zgodnie z instrukcją obsługi stanowiska rolkowego [32] błąd pomiaru wynosi +/- 10 N.

6.3.3. Metodyka badań

Badanie na stanowisku diagnostycznym stanu technicznego układu hamulcowego pojazdu pozwala wyznaczyć siły hamowania na poszczególnych kołach.

W celu uzyskania jednolitych warunków badań, wszystkie pomiary sił hamowania wykonane zostały tego samego dnia. Wykonano dziesięć pomiarów dla sprawnego układu hamulcowego. Po pięć prób dla włączonego i wyłączonego układu ABS. Oraz dziesięć pomiarów dla niesprawnego układu hamulcowego (w którym podczas hamowania następował wyciek płynu hamulcowego – imitacja pęknięcia przewodu hamulcowego podczas

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

ekstremalnego hamowania). Przeprowadzono pięć prób dla włączonego oraz pięć dla wyłączonego układu ABS. Podczas każdego badania zmierzono siły hamowania dla poszczególnych kół oraz wyznaczono zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania według zależności 6.1 i rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania według zależności 6.2.

6.3.4. Prezentacja i analiza wyników badań

Częstym pytaniem organu procesowego stawianym biegłemu jest: czy pojazd, który brał udział w wypadku drogowym był sprawny technicznie? Dlatego szczególną wagę należy przywiązywać do badania rzeczywistego stanu i sprawności układu hamulcowego pojazdu. Nie wystarczy w protokole podać tylko, że pojazd miał sprawny lub niesprawny układ hamulcowy, ale należałoby podać zmierzoną wartość sił hamowania na poszczególnych kołach.

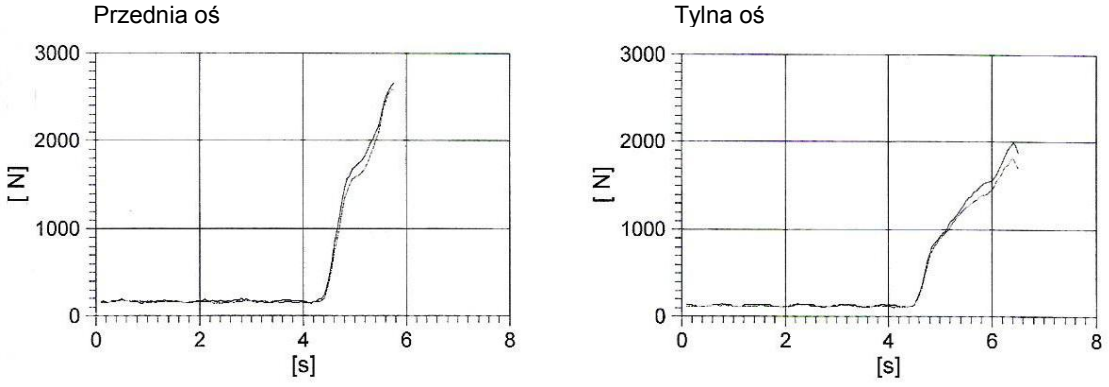
Szczególnym przedmiotem zainteresowania jest istotny z punktu widzenia rekonstrukcji wypadków, przypadek niepełnej sprawności układu hamulcowego, tj. sytuacja, kiedy jedno z kół samochodu wykazuje zaniżone wartości momentu hamującego. Dlatego przeprowadzono szereg badań stanowiskowych procesu hamowania samochodu w trakcie, którego wystąpiła niesprawność układu hamulcowego. Polegała ona na rozszczelnieniu jednego z układów, a w szczególności przewodu hamulcowego doprowadzającego płyn hamulcowy do elementów wykonawczych przedniego, lewego koła. Podstawowym celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu wystąpienia tego uszkodzenia na wskaźnik skuteczności hamowania.

Wyniki wybranego pomiaru sił hamowania samochodu Toyota Corolla dla sprawnego układu hamulcowego z włączonym układem ABS przedstawiono na rys. 6.5, a wykresy sił hamowania na rys. 6.6. Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania wynosił 70 %.

Test hamulców :

		Przednia oś			Tylna oś			Ham. postoj.		
		lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa
Opory toczenia	N	*0*		*0*	*596*		*576*	*119*		*119*
Siła ham.	N	*2563*		*2533*	*1997*		*1818*	*1579*		*1450*

Rys. 6.5. Fragment protokołu pomiaru sił hamowania samochodu ze sprawnym układem hamulcowym i włączonym ABS (na czerwono zaznaczono sił hamowania na osi przedniej, a na niebiesko na osi tylnej)



Rys. 6.6. Wykresy zmierzonych sił hamowania ze sprawnym układem hamulcowym i włączonym ABS

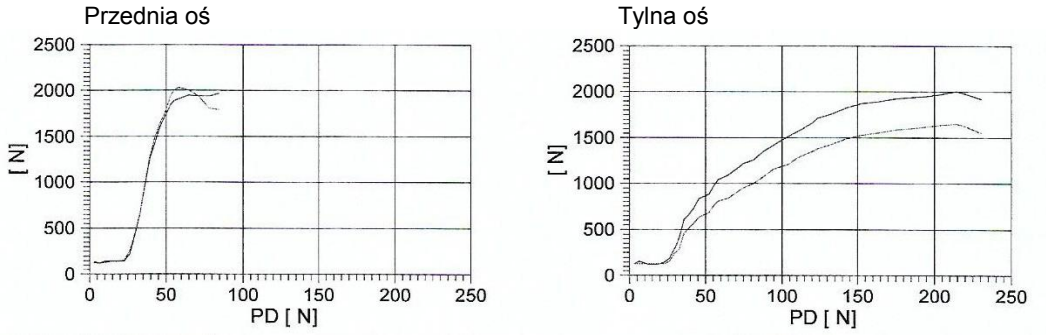
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Dla sprawnego układu hamulcowego z wyłączonym układem ABS wyniki wybranego pomiaru sił hamowania przedstawiono na rys. 6.7, a wykresy sił hamowania na rys. 6.8. Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania wynosił 59 %.

Test hamulców :

		Przednia oś			Tylna oś			Ham. postoj.		
		lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa
Opory toczenia	N	*130*		*130*	*150*		*120*	*0*		*0*
Siła ham.	N	*1887*		*2007*	*2007*		*1649*	*1063*		*1291*

Rys. 6.7. Fragment protokołu pomiaru sił hamowania samochodu ze sprawnym układem hamulcowym i bez ABS (na czerwono zaznaczono siły hamowania na osi przedniej, a na niebiesko na osi tylnej)



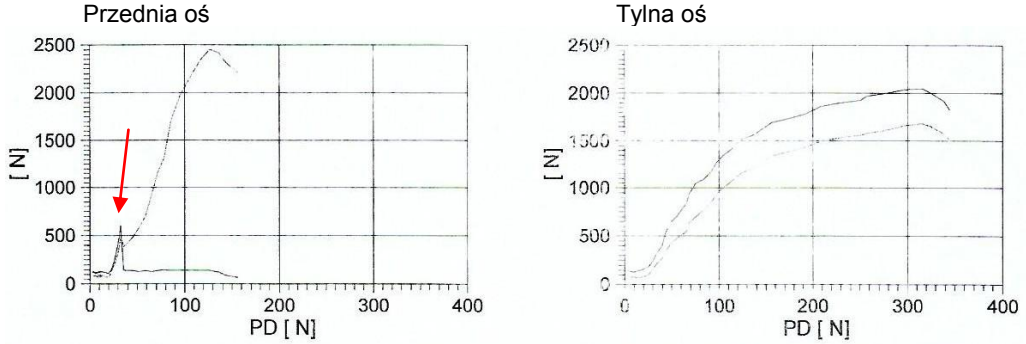
Rys. 6.8. Wykresy zmierzonych sił hamowania ze sprawnym układem hamulcowym i wyłączonym ABS

Natomiast na rys. 6.9 przedstawiono wykresy sił hamowania, a na rys. 6.10 fragment protokołu z wartościami zmierzonych sił hamowania dla niesprawnego układu hamulcowego z włączonym układem ABS. Uszkodzenie obwodu układu hamulcowego nastąpiło przy przednim, lewym kole. Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania wynosił 54 %. Należy jednak podkreślić, że wartość siły hamowania wynoszącej 695 N na lewym, przednim kole była wartością maksymalnie uzyskaną. Kiedy nastąpiło uszkodzenie układu hamulcowego (wyciek płynu hamulczego - co zaznaczono czerwona strzałką), to siła hamowania spadła do 0.

Test hamulców :

		Przednia oś			Tylna oś			Ham. postoj.		
		lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa
Opory toczenia	N	*149*		*79*	*139*		*79*	*149*		*89*
Siła ham.	N	*695*		*2454*	*2046*		*1679*	*954*		*1311*

Rys. 6.9. Fragment protokołu pomiaru sił hamowania samochodu z niesprawnym układem hamulcowym i włączonym ABS (na czerwono zaznaczono siły hamowania na osi przedniej, a na niebiesko na osi tylnej)



Rys. 6.10. Wykresy zmierzonych sił hamowania samochodu z niesprawnym układem hamulcowym i włączonym ABS (czerwoną strzałką zaznaczono rozszczelnienie układu i wyciek płynu hamulcowego)

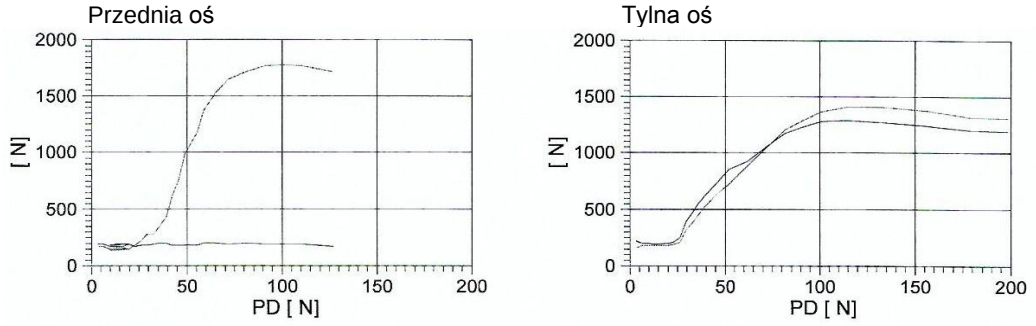
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Kolejne wyniki wybranego pomiaru sił hamowania samochodu Toyota Corolla dla niesprawnego układu hamulcowego z włączonym układem ABS przedstawiono na rys. 6.11, a wykresy sił hamowania na rys. 6.12. W tym pomiarze wyciek płynu hamulcowego występował już w trakcie wywierania siły na pedał hamulca. Siła maksymalna hamowania na lewym, przednim kole wynosiła zaledwie 209 N. Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania wynosił tylko 36 %.

Test hamulców :

		Przednia oś			Tylna oś			Ham. postoj.		
		lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa
Opory toczenia	N	~~179~~		~~149~~	~~219~~		~~179~~	*199*		*199*
Siła ham.	N	*209*		*1778*	*1281*		*1371*	*1103*		*1152*

Rys. 6.11. Fragment protokołu badania hamowania samochodu z niesprawny układem hamulcowym i włączonym ABS



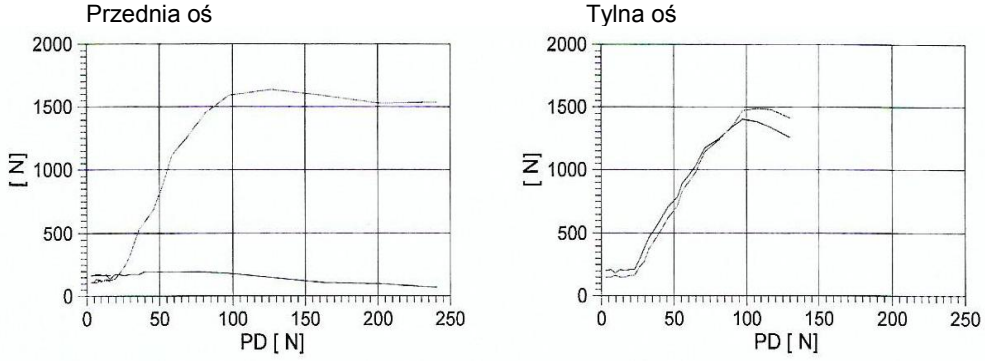
Rys. 6.12. Wykresy zmierzonych sił hamowania samochodu z niesprawnym układem hamulcowym i włączonym ABS

Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania dla samochodu z niesprawnym układem hamulcowym (z wyłączonym układem ABS), w którym wyciek płynu hamulcowego występował już w chwili hamowania wynosił 37 %. Wyniki pomiaru sił hamowania badanego samochodu przedstawiono na rys. 6.13, a wykresy sił hamowania na rys. 6.14.

Test hamulców :

		Przednia oś			Tylna oś			Ham. postoj.		
		lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa	lewa	różnica	prawa
Opory toczenia	N	*149*		*129*	*199*		*159*	*199*		*179*
Siła ham.	N	*189*		*1450*	*1411*		*1470*	*815*		*974*

Rys. 6.13. Fragment protokołu badania samochodu z niesprawnym układem hamulcowym i wyłączonym ABS (na czerwono zaznaczono siły hamowania na osi przedniej, a na niebiesko na osi tylnej)



Rys. 6.14. Wykresy zmierzonych sił hamowania samochodu z niesprawnym układem hamulcowym i wyłączonym ABS

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Wyniki zmierzonych sił hamowania i wyznaczonych wskaźników skuteczności hamowania zestawione zostały w tabelach 6.1 – 6.4.

Tabela 6.1. Wyniki badania samochodu ze sprawnym układem hamulcowym i włączonym układem ABS

		Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5
Siła hamowania koła lewego oś przednia	N	2474	2563	2515	2532	2497
Siła hamowania koła prawego oś przednia	N	2431	2533	2484	2509	2463
Suma sił hamowania osi przedniej	N	4902	5096	4999	5041	4960
Siła hamowania koła lewego oś tylna	N	1977	1997	1943	1962	1932
Siła hamowania koła lewego oś tylna	N	1802	1818	1765	1783	1752
Suma sił hamowania osi tylnej	N	3779	3815	3708	3745	3684
Suma sił hamowania obu osi	**N**	**8681**	**8911**	**8707**	**8786**	**8664**
Sprawny układ hamulcowy		tak	tak	tak	tak	tak
Włączony układ ABS		tak	tak	tak	tak	tak
Zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania	%	52	53	52	53	52
Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania	**%**	**68**	**70**	**69**	**69**	**68**

Tabela 6.2. Wyniki badania samochodu ze sprawnym układem hamulcowym i wyłączonym układem ABS

		Pomiar 6	Pomiar 7	Pomiar 8	Pomiar 9	Pomiar 10
Siła hamowania koła lewego oś przednia	N	1881	1855	1889	1887	1878
Siła hamowania koła prawego oś przednia	N	2002	1972	2010	2007	1995
Suma sił hamowania osi przedniej	N	3883	3827	3899	3894	3873
Siła hamowania koła lewego oś tylna	N	2003	1973	2009	2007	1996
Siła hamowania koła lewego oś tylna	N	1644	1620	1652	1649	1640
Suma sił hamowania osi tylnej	N	3647	3593	3661	3656	3636
Suma sił hamowania obu osi	**N**	**7530**	**7420**	**7560**	**7550**	**7509**
Sprawny układ hamulcowy		tak	tak	tak	tak	tak
Włączony układ ABS		nie	nie	nie	nie	nie
Zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania	%	45	44	45	45	45
Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania	**%**	**59**	**58**	**59**	**59**	**59**

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Tabela 6.3. Wyniki badania samochodu z niesprawnym układem hamulcowym i włączonym układem ABS

		Pomiar 11	Pomiar 12	Pomiar 13	Pomiar 14	Pomiar 15
Siła hamowania koła lewego oś przednia	N	695	238	209	261	199
Siła hamowania koła prawego oś przednia	N	2454	1818	1778	1832	1767
Suma sił hamowania osi przedniej	N	3149	2056	1987	2093	1966
Siła hamowania koła lewego oś tylna	N	2046	1351	1281	1329	1370
Siła hamowania koła lewego oś tylna	N	1679	1422	1371	1423	1364
Suma sił hamowania osi tylnej	N	3725	2773	2652	2752	2734
Suma sił hamowania obu osi	**N**	**6874**	**4829**	**4639**	**4845**	**4700**
Sprawny układ hamulcowy		nie	nie	nie	nie	nie
Włączony układ ABS		tak	tak	tak	tak	tak
Zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania	%	41	29	28	29	28
Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania	**%**	**54**	**38**	**36**	**38**	**37**

Tabela 6.4. Wyniki badania samochodu z niesprawnym układem hamulcowym i wyłączonym układem ABS

		Pomiar 16	Pomiar 17	Pomiar 18	Pomiar 19	Pomiar 20
Siła hamowania koła lewego oś przednia	N	201	189	197	195	182
Siła hamowania koła prawego oś przednia	N	1460	1450	1458	1456	1442
Suma sił hamowania osi przedniej	N	1660	1639	1655	1651	1624
Siła hamowania koła lewego oś tylna	N	1424	1411	1420	1415	1394
Siła hamowania koła lewego oś tylna	N	1483	1470	1479	1476	1465
Suma sił hamowania osi tylnej	N	2907	2881	2899	2891	2859
Suma sił hamowania obu osi	**N**	**4567**	**4520**	**4554**	**4542**	**4483**
Sprawny układ hamulcowy		nie	nie	nie	nie	nie
Włączony układ ABS		nie	nie	nie	nie	nie
Zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania	%	27	27	27	27	27
Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania	**%**	36	35	36	35	35

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

6.3.5. Problematyka niepewności pomiaru

Powyżej przedstawiono wyniki badań hamowania samochodu Toyota Corolla na stanowisku rolkowym. Każda seria pomiarów została wykonana tego samego dnia na ty samym stanowisku diagnostycznym przez tego samego diagnostę. Pomimo tego w każdej serii pomiarów widoczny jest pewien rozrzut otrzymanych wyników. Tu nasuwa się więc pytanie: czy nie popełniono „błędu" podczas przeprowadzonych badań?

Rozbieżność wyników badań wynika z faktu, że każdy pomiar obarczony jest błędem (niepewnością). Dlatego opracowanie pomiarów powinno zawierać także ocenę ich dokładności i wiarygodności, tzn., ocenę niepewności pomiarów.

Każdy pomiar wielkości fizycznej dokonywany jest ze skończoną dokładnością, co oznacza, a wynik tego pomiaru jest obarczony niepewnością pomiarową. Fakt ten związany jest nie tylko z niedoskonałością działań człowieka, lecz także z niedoskonałością wykonania przyrządów pomiarowych, przypadkowym stanem materii w chwili dokonywania pomiaru, wpływem procesu pomiarowego na wielkość mierzoną oraz przybliżonym charakterem modeli rzeczywistości opisywanych w postaci praw fizyki.

Pomiar jest to określenie liczbowej wartości danej wielkości fizycznej i przedstawienie jej w postaci liczby i jednostki miary danej wielkości. Wykonując pomiary posługujemy się przyrządami pomiarowymi.

Pomiary wartości fizycznych można podzielić na dwie metody:

- *bezpośrednią* – metoda pomiarowa, dzięki której wartość wielkości mierzonej otrzymuje się bezpośrednio, bez potrzeby wykonania dodatkowych obliczeń opartych na zależności funkcyjnej wielkości mierzonej od innych wielkości.
- *pośrednią* – metoda pomiarowa, dzięki której wartość mierzonej wielkości otrzymuje się pośrednio z pomiarów bezpośrednich innych wielkości związanych odpowiednio z wielkością mierzoną.

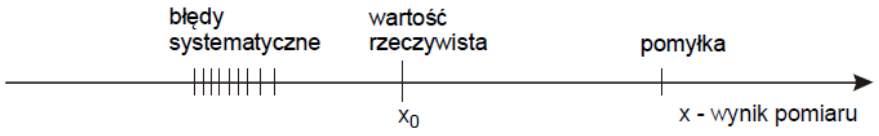
W 1995 r. uzgodniono międzynarodowe normy dotyczące niepewności w pomiarach. Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (Guide to Expression of Uncertainty in Measurements, ISO 1995, Switzerland) opublikowała dokument („Przewodnik", „Międzynarodowa Norma"), który po dokonaniu przekładu na język polski i przyjęciu odpowiedniej ustawy zobowiązuje Polskę do stosowania norm ISO w zakresie obliczania i podawania we wszystkich publikacjach wyników i niepewności pomiarów. Norma ta została przyjęta w Polsce w 1999 r.

Wskutek niedokładności użytych przez nas przyrządów pomiarowych oraz niedokładności naszych zmysłów każdy, nawet najstaranniej przygotowany i wykonany pomiar daje wynik obarczony pewną niepewnością, różny od wartości rzeczywistej. Stopień dokładności pomiaru zależy od używanych przyrządów i stosowanej metody pomiarowej.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

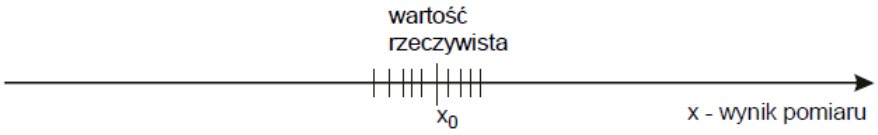
Błędy pomiaru wielkości fizycznych ze względu na przyczyny ich powstawania można podzielić na:

- błędy systematyczne – są one spowodowane niedokładnością przyrządów pomiarowych, jak również niedokładnie sprecyzowanymi metodami pomiarowymi;
- błędy grube (pomyłki) - powstają wskutek niestarannego odczytania wskazań przyrządów lub nieprawidłowego zapisu odczytu (np. pomyłka w jednostkach) lub też mogą być wywołane zmianą warunków, w których dokonywane są pomiary. Pomyłki takie daje się łatwo zauważyć, ponieważ otrzymany wynik różni się znacznie od innych wyników pomiaru tej samej wielkości (rys. 6.15);



Rys. 6.15. Przykładowe umiejscowienie błędów systematycznych oraz pomyłek względem wartości rzeczywistej wielkości x_0

- błędy przypadkowe, spowodowane są przyczynami na ogół nieprzewidywalnymi i niemożliwymi do uniknięcia. Może to być wpływ otoczenia, zakłócenia w pracy urządzeń (stanowisk) pomiarowych, które powodują, że wielokrotny pomiar tej samej wielkości fizycznej w tych samych warunkach daje wyniki nieznacznie różniące się od siebie. Na powstanie błędu przypadkowego nakłada się wiele niezależnych przyczyn, co prowadzi do tego, że wyniki pomiarów, w których dominują błędy przypadkowe układają się wokół wartości rzeczywistej co zostało zilustrowane na rys. 6.16.



Rys. 6.16. Przykładowe umiejscowienie błędów przypadkowych wartości rzeczywistej wielkości x_0

W analizie wypadków drogowych spotyka się niepewności wyników pomiaru będące efektem na przykład nie dość starannego ustalenia początku śladu hamowania pojazdu. Niedokładne zdarzają się też wyniki pomiaru wózkiem do pomiarów liniowych z powodu nieprecyzyjnego jego ustawienia (pomimo dość dużej dokładności wózka). Wyniki pomiarów pośrednich bywają niedokładne z uwagi na uproszczone modelowanie zjawiska (choćby pominiecie niektórych „mało znaczących" składników). Zdarza się także, że nieprawidłowo przyjmowane są wartości do obliczeń.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Błędy pomiarowe, zarówno systematyczne, jak i grube, mają wspólną cechę. Można je wyeliminować poprzez:

- użycie właściwie działających przyrządów;
- poprawne przeprowadzenie pomiarów;
- stosowanie poprawek matematycznych do wzorów przybliżonych;
- usunięcie z serii pomiarów wyniku obarczonego błędem grubym lub jego powtórzenie, o ile mamy taką możliwość.

6.3.5.1. Błąd pomiaru bezpośredniego

„Międzynarodowa Norma" jako podstawę przyjmuję nowa filozofię znaczenia słów „błąd" i „niepewność". Termin błąd pomiaru powinien być używany w znaczeniu jakościowym albo oznaczać różnicę (6.3):

błąd pomiaru = wartość zmierzona – wartość rzeczywista

$$\Delta x = \left| \; x - x_0 \; \right| \tag{6.3}$$

Błąd pomiaru Δx (zwany także błędem bezwzględnym pomiaru) jest zmienną losową, której realizację x_i przypisywanej wielkości mierzonej przedstawiają rozrzut wokół wartości prawdziwej. Na podstawie tego rozrzutu można oszacować przedział obejmujący nieznaną wartość prawdziwą. Ilościową miarą tego rozrzutu, który charakteryzuje niedokładność pomiaru, jest niepewność pomiaru. Zatem błąd jest wielkością losową, w odróżnieniu od niepewności która jest wielkością nielosową. Niepewność pomiaru zdefiniowana jest jako „parametr związany z wynikiem pomiaru, charakteryzujący rozrzut wartości, które można w uzasadniony sposób przypisać wielkości mierzonej" [137].

W praktyce błąd pomiaru Δx określony zależnością (6.3) nie jest przydatny. Wartości rzeczywistej nie znamy i nie możemy jej wyznaczyć, ponieważ przyrządy pomiarowe mają ograniczona dokładność.

Wartość bezwzględnego błędu pomiaru w pomiarach bezpośrednich można określić na podstawie danych technicznych podawanych w specyfikacji urządzenia (stanowiska) pomiarowego. Jeżeli nie dysponuje się takimi informacjami, można przyjąć jednostkę najmniejszego rzędu przypisaną do danego urządzenia (stanowiska) pomiarowego.

Często w obliczeniach trzeba ustalić, w jakim stopniu na obliczone wartości ma wpływ błąd pomiaru. Dlatego lepiej posłużyć się pojęciem błędu względnego. Definiowanego jako stosunek błędu bezwzględnego i wartości rzeczywistej. Błąd względny jest bezwymiarowy, najczęściej podawany w procentach.

$$\delta_x = \frac{|x - x_0|}{|x_0|} \cdot 100\% = \frac{\Delta_x}{|x_0|} \cdot 100\% \tag{6.4}$$

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Ponieważ nieznana jest rzeczywista wartość x_0, można w jej miejsce podstawić wartość średniej arytmetycznej $\bar{x}$ serii wyników pomiaru $x_1, x_2, ..., x_n$, która jest określona wzorem:

$$x_0 \approx \bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \tag{6.5}$$

Średnia arytmetyczna $\bar{x}$ jest wielkością nielosową dla danego zbioru wyników pomiaru.

Jeśli liczba pomiarów jest skończona, to wartości x_i nie rozłożą się idealnie równomiernie wokół x_0, z czego wynika, że wartość średnia $\bar{x}$ jest jedynie położona blisko wielkości x_0. Dlatego średnią arytmetyczną $\bar{x}$ nazywa się estymatorem (wartością przybliżoną, oszacowaniem) prawdziwej wartości x_0.

Odchylenie standardowe eksperymentalne zwane również estymatorem odchylenia standardowego jest miara rozproszenia wyników pomiarów, które można obliczyć za pomocą przedstawionego poniżej wyrażenia:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \tag{6.6}$$

Nazwa „estymator odchylenia standardowego" jest uzasadniona tym, że w zależności (6.6) nieznana prawdziwa wartość x_0 jest zastąpiona jej estymatorem $\bar{x}$.

Pojęciem przydatnym w analizie błędu jest średni błąd kwadratowy wartości średniej σ_x, który można wyznaczyć w następujący sposób:

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{6.7}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \tag{6.8}$$

6.3.5.2. Niepewność pomiaru pośredniego

W pomiarach pośrednich wielkość poszukiwana y nie jest mierzona bezpośrednio. Mierzymy natomiast pewne wielkości pierwotne $x_1, x_2, ..., x_n$ i obliczamy wartość wielkości y jako funkcji tych wielkości (6.9).

$$y = f(x_1, x_2, ..., x_n) \tag{6.9}$$

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Wyznaczanie niepewności Δy możliwe jest na dwa sposoby.

1. Wyznaczenie niepewności wielkości Δy w przypadku, gdy nie ma możliwości pomiarów wielkości $x_1, x_2, ..., x_n$, ale ich niepewności $\Delta x_1, \Delta x_2, ..., \Delta x_n$ można oszacować na podstawie wcześniejszych badań.

   Rozpatrując przypadek, w którym wyznaczona przez nas wielkość y jest funkcją tylko jednej zmiennej x obarczonej niepewnością pomiarową $\pm \Delta x$, otrzymujemy zależność:

$$y \pm \Delta y = f(x \pm \Delta x) \tag{6.10}$$

   Stosując rozwiniecie w szereg Taylora oraz zaniedbując w rozwinięciu wyrazy, w których występuje Δx w wyższej potędze niż pierwsza otrzymujemy :

$$y \pm \Delta y = f(x) \pm \frac{\partial y}{\partial x} \cdot \Delta x \tag{6.11}$$

   Ponieważ $y = f(x)$, więc możemy zapisać:

$$\Delta y = \left| \frac{\partial y}{\partial x} \cdot \Delta x \right| \tag{6.12}$$

   gdzie: $\frac{\partial y}{\partial x}$ jest pochodną cząstkową.

   Uogólniając ten przypadek na funkcję wielu zmiennych otrzymujemy:

$$\Delta y = \left| \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right) \Delta x_1 \right| + \left| \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right) \Delta x_2 \right| + ... + \left| \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \right) \Delta x_n \right| \tag{6.13}$$

   Zdefiniowana w ten sposób wartość Δy nazywana jest bezwzględną niepewnością maksymalną. Niepewność względną δy (6.14) otrzymamy, dzieląc wyrażenie (6.13) przez wartość funkcji $y = f(x_1, x_2, ..., x_n)$.

$$\delta_y = \frac{\Delta_y}{|y_0|} \cdot 100\% \tag{6.14}$$

2. Jeżeli możliwe są do wykonania bezpośrednie pomiary wielkości $x_1, x_2, ..., x_n$ oraz znane są średnie błędy kwadratowe wartości średnich *(i = 1, 2, …, n)*, wyznaczone za

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

pomocą zależności (6.8), to niepewność Δy wielkości y można obliczyć za pomocą następującej formuły (6.15) nazywanej niepewnością średnią kwadratową:

$$\Delta y = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)\delta_{x1}\right]^2 + \left[\left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)\delta_{x2}\right]^2 + \ldots + \left[\left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)\delta_{nx}\right]^2} \tag{6.15}$$

Oszacowanie niepewności średniej kwadratowej w porównaniu z określeniem bezwzględnej niepewności maksymalnej za pomocą różniczki zupełnej daje bardziej zawężony zakres prawdopodobieństwa. Wynika to z założenia, że prawdopodobieństwo występowania wartości nominalnej wielkości fizycznej w pobliżu wartości skrajnych jest mniejsze niż w jej otoczeniu. Natomiast szacowanie niepewności maksymalnej uwzględnia cały zakres możliwych wyników.

6.3.6. Analiza otrzymanych wyników pomiaru

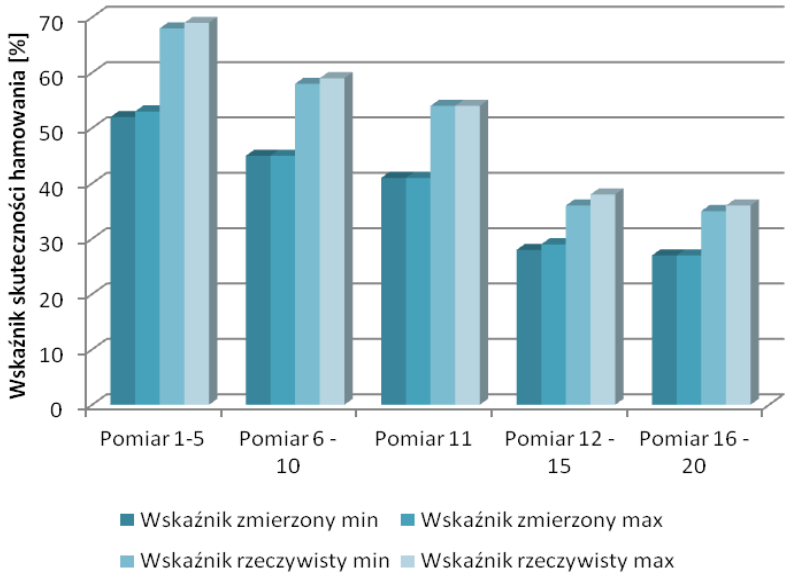
Z przeprowadzonych badań wynika jak ogromny wpływ na skuteczność hamowania ma sprawny, a w opisywanym przypadku szczelny układ hamulcowy. Zestawienie średnich sum sił hamowania obu osi z uwzględnieniem odchyleń standardowych pomiaru (a w przypadku pomiaru 11 – błędu pomiaru) przedstawiono w tablicy 6.5. Pomiar 11 został osobno rozpatrzony ponieważ uszkodzenie układu hamulcowego nastąpiło w trakcie wykonywanego pomiaru sił hamowania osi przedniej. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają fakt, że powypadkowe badania techniczne stanu technicznego układu hamulcowego (o ile jest to możliwe) powinno oceniać się także przy użyciu stanowiska diagnostycznego do pomiaru sił hamowania.

Tabela 6.5. Zestawienie średnich sił hamowania oraz średnich wyników zmierzonego i rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania samochodu Toyota Corolla

			Pomiar 1-5	Pomiar 6-10	Pomiar 11	Pomiar 12-15	Pomiar 16-20
Suma sił hamowania obu osi	N	Min	8648	7458	6834	4653	4500
		Max	8852	7570	6914	4853	4566
Sprawny układ hamulcowy			tak	tak	nie	nie	nie
Włączony układ ABS			tak	nie	tak	tak	nie
Zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania	%	Min	52	45	41	28	27
		Max	53	45	41	29	27
Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania	%	Min	68	58	54	36	35
		Max	69	59	54	38	36

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Zestawienie zmierzonych i rzeczywistych wskaźników skuteczności hamowania zamieszczonych w tabela 6.5 w formie graficznej pokazano na wykresie 6.1.



Wykres 6.1. Wykresy średnich wyników zmierzonego i rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania Pomiar 1 - 5 (sprawny układ hamulcowy, sprawny układ ABS), pomiar 6 – 10 (sprawny układ hamulcowy, niesprawny układ ABS), pomiar 11 – 15 (układ hamulcowy niesprawny, układ ABS sprawny), pomiar 16 – 20 (niesprawny układ hamulcowy, niesprawny układ ABS).

Uszkodzenie układu ABS w samochodzie Toyota Corolla wykonano poprzez wyjęcie odpowiedniego bezpiecznika. Na desce rozdzielczej zaświeciła się lampka kontrolna oznaczająca niesprawność układu ABS. Świecenie lampki w sposób ciągły wskazywało na trwałe uszkodzenie układu. Różnica rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania dla badanego samochodu ze sprawnym układem hamulcowym, z włączonym i wyłączonym układem ABS wynosiła ok 14…15 %. Analizując wyniki badań można zaobserwować, że w przypadku, kiedy układ ABS był niesprawny, nastąpiło zmniejszenie sił hamowania na osi przedniej, a sumy sił hamowania na osi przedniej i na osi tylnej miały zbliżone wartości.

W wyniku uszkodzenia (rozszczelnienia) hydraulicznego układu hamulcowego nastąpił wyraźny spadek siły hamowania na przednim, lewym kole, co obrazuje bardzo dobrze rys. 6.10. Różnice rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania dla włączonego układu ABS przy sprawnym i niesprawnym układzie hamulcowym wynosiła już 45…46 %, a po wyłączeniu układu ABS różnica opisywanego wskaźnika wynosiła ok 40 %. W badaniach, w których występowało uszkodzenie jednego z obwodów układu hamulcowego zmierzone siły hamowania kół po obu stronach przedniej osi różniły się więcej niż 30 % (przyjmując za 100 % siłę większą) co jest niezgodne z obowiązującymi przepisami.

Wartość 30 % dla różnicy sił hamowania kół jednej osi jest wielkością graniczną określoną przepisami. Z praktyki diagnozowania samochodów podczas okresowego badania technicznego przyjmuje się, że hamulec roboczy jest sprawny, jeżeli można doprowadzić na rolkach do zerwana przyczepności (zablokowania) jednego z kół każdej z osi, a różnica sił hamowania w całym zakresie pomiaru nie przekracza 10 %. Jeżeli różnica mieści się w granicach 11…30 % to układ hamulcowy może spowodować niebezpieczeństwo wypadku

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

i wymaga koniecznie sprawdzenia. Natomiast można uznać za sprawny hamulec awaryjny, jeżeli nastąpi przynajmniej częściowe wyniesienie samochodu z rolek, co skutkuje wyłączeniem napędu rolek, a różnica sił nie przekracza 30 %.

Należałoby w tym miejscu zadać sobie pytanie czy mając świadomość, że jadąc samochodem z niesprawnym układem hamulcowym lub który ma dość znacznie skorodowane, sztywne przewody hamulcowe, uda nam się uniknąć wypadku, gdy będziemy musieli intensywnie (awaryjnie) hamować.

6.4. Wpływ ciężaru samochodu na skuteczność hamowania

Zgodnie z obowiązującymi przepisami [150], wskaźnik skuteczności hamowania, określony na podstawie zmierzonej siły hamowania, oblicza się według wzoru 6.1. Przy czym nacisk na pedał hamulca nie może przekroczyć 500 N dla samochodów osobowych. Osiągnięcie takiej wartości siły nacisku dla obecnych układów hamulcowych jest jednak dość trudne w warunkach statycznych, ponieważ już wcześniej przy mniejszej sile nacisku następuje zablokowanie kół i pomiar siły hamowania zostaje przerwany. Na podstawie takiego pomiaru nie jest możliwe wyznaczenie oczekiwanej wartości skuteczności hamowania, co powoduje, że nie można dokonać oceny stanu hamulców zgodnie z zapisem obowiązującym w rozporządzeniu. Właściwie wykonany pomiar powinien być wykonany z użyciem miernika nacisku na pedał hamulca.

W powypadkowym badaniu technicznym pojazdu prawidłowo powinno określać się rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania według wzoru 6.2.

6.4.1. Obiekt badań

Do przeprowadzenia pomiarów użyty został samochód osobowy Seat Leon (rys. 6.17 i rys. 6.18). Zastosowano cieśnienie w ogumieniu zgodne z zaleceniami producenta. Podczas badań samochód był obciążony na początku tylko kierowcą, a następnie został zwiększony ładunek samochodu, aż osiągnięto wartość dopuszczalnej masy całkowitej (masa własna pojazdu z kierowcą wynosiła 1221 kg, dopuszczalna masa całkowita 1775 kg). Typ nadwozia hatchback, silnik o zapłonie samoczynnym, pojemność silnika 1896 cm^3, moc silnika 66 kW, rok produkcji 2001, rozmiar opon 195/65 R15 o nośności 615 kg, firmy Dunlop SP Winter Spory 3D, wysokość bieżnika wszystkich kół ok 5 mm, hamulce tarczowe na przedniej i tylnej osi;

Rys. 6.17. Widok przodu i boku samochód Seat Leon na stanowisku diagnostycznym

Rys. 6.18. Widok tyłu i boku samochód Seat Leon na stanowisku diagnostycznym

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

6.4.2. Stanowisko pomiarowe

Badania skuteczności hamowania metodą quasi-statyczną wykonano w Okręgowej Stacji Kontroli Pojazdów w Gdańsku na stanowisku rolkowym do kontroli działania hamulców pojazdów samochodowych firmy Cartec z użyciem miernika nacisku na pedał hamulca. Zastosowano przyrząd do pomiaru nacisku na pedał hamulca typu PD3 firmy Cartec, który zamocowano na prawej stopie osoby przeprowadzającej badanie. Przyrząd składał się z czujnika tensometrycznego siły, połączonego przewodem z szafką przełącznikowo-sterującą stanowiska.

6.4.3. Metodyka badań

W celu uzyskania jednolitych warunków badań, wszystkie pomiary sił hamowania wykonano tego samego dnia. Wykonano klika pomiarów sił hamowania dla różnych obciążeń samochodu oraz różnych intensywności hamowania. Podczas każdego badania zmierzono siły hamowania dla poszczególnych kół, siłę nacisku każdego koła, masę rzeczywistą samochodu oraz wyznaczono wskaźniki skuteczności hamowania i określono różnicę między nimi.

6.4.4. Prezentacja i analiza wyników badań

Oceniając stan techniczny układu hamulcowego na stanowisku diagnostycznym, należy pamiętać o istniejących różnicach w warunkach pracy układu na stanowisku i na drodze. Samochód stojący na drodze działa na nawierzchnię siłą ciężkości, w wyniku której powstają statyczne reakcje kół przednich i tylnych. Sytuacja zmienia się w warunkach drogowych podczas hamowania poprzez działanie siły bezwładności, która sprawia, że koła osi przedniej są dociążone, a tylne – odciążone (zjawisko nie występuje podczas badania na stanowisku). Hamowanie jest procesem energetycznym, polegającym na zamianie energii ruchu pojazdu w energię cieplną, która w większości jest bardzo duża podczas intensywnego hamowania. Ze względu na niewielką prędkość na stanowisku, hamulce pojazdu są badane w stanie „zimnym", a pomiar nie odwzorowuje rzeczywistej sytuacji na drodze.

Czasami na sali sądowej może pojawić się pytanie: jak był wykonany pomiar hamowania na stanowisku diagnostycznym? Dlatego wykonano również badanie mające na celu porównanie jaka może być różnica pomiędzy zmierzonymi siłami hamowania i wyznaczonym wskaźnikiem skuteczności hamowania dla powolnego (normalnego) i gwałtownego nacisku na pedał hamulca.

Badanie skuteczności hamowania wykonano dla samochodu obciążonego tylko kierowcą zarówno dla łagodnego wciskania pedału hamulca oraz dla szybkiego, gwałtownego nacisku na pedał hamulca. Wyniki zmierzonych sił hamowania i wyznaczonych wskaźników skuteczności dla łagodnego (rys. 6.19) i gwałtownego (rys. 6.20) hamowania zestawiono w tabeli 6.6.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

GTC LX55

Rodzaj pojazdu -Osobowy- -Badanie ham.

Parametr badany		HAMULEC ROBOCZY przednia oś	tylna oś	Wymagane wartości	HAM. POSTOJOWY	Wymagane wartości
Siła hamowania koła lewego	N	2573	1778		1123	
Siła hamowania koła prawego	N	2185	1103		358	
Opory toczenia koła lewego	N	99	60		0	
Opory toczenia koła prawego	N	60	79		0	
Nacisk na pedał hamulca	N	78	283	<=500		
Różnica przy zablokowaniu	%	16	38	<=30		
Wahania sił ham. koła lewego	%			<=20		<=20
Wahania sił ham. koła prawego	%			<=20		<=20
Wskaźnik zm. skut. ham. osi	%	27	17			
Ustawienie kół jezdnych	mm	0,0	1,0	<=4,0	1,0	<=4,0
Suma sił hamowania LE+PR hamulca	N	7639			1480	
Wskaźnik oblicz. skut. hamulca	%	>=50		>=50	9	>=16
Wskaźnik zm. skut. hamulca	%	44			9	

Rys. 6.19. Fragment protokołu pomiaru sił hamowania dla łagodnego hamowania (kolorem czerwonym zaznaczono zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania)

GTC LX55

Rodzaj pojazdu -Osobowy- -Badanie ham.

Parametr badany		HAMULEC ROBOCZY przednia oś	tylna oś	Wymagane wartości	HAM. POSTOJOWY	Wymagane wartości
Siła hamowania koła lewego	N	2096	854		725	
Siła hamowania koła prawego	N	1609	179		248	
Opory toczenia koła lewego	N	89	60		60	
Opory toczenia koła prawego	N	70	99		99	
Nacisk na pedał hamulca	N	318	406	<=500		
Różnica przy zablokowaniu	%	24	80	<=30		
Wahania sił ham. koła lewego	%			<=20		<=20
Wahania sił ham. koła prawego	%			<=20		<=20
Wskaźnik zm. skut. ham. osi	%	21	6			
Ustawienie kół jezdnych	mm	0,0	0,0	<=4,0	0,0	<=4,0
Suma sił hamowania LE+PR hamulca	N	4738			974	
Wskaźnik oblicz. skut. hamulca	%	41		>=50	6	>=16
Wskaźnik zm. skut. hamulca	%	27			6	

Rys. 6.20. Fragment protokołu pomiaru sił hamowania dla gwałtownego hamowania (kolorem czerwonym zaznaczono zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania)

Gwałtowne, energiczne naciskanie na pedał hamulca podczas badań na stanowisku rolkowym powoduje zaniżone wartości sił hamowania oraz wskaźnika skuteczności hamowania. Z przeprowadzonych badań wynika, że te różnice są powyżej 30 %. Taki stan rzeczy spowodowany jest wcześniejszym zablokowaniem rolek i zakończeniem pomiaru. Dlatego badanie hamulców z hydraulicznym układem przenoszenia na stanowisku rolkowym (powinno przeprowadzać się zgodnie z instrukcją urządzenia [32]) powoli zwiększając nacisk na pedał hamulca do granicy występowania nastawionego poślizgu jednego z kół .

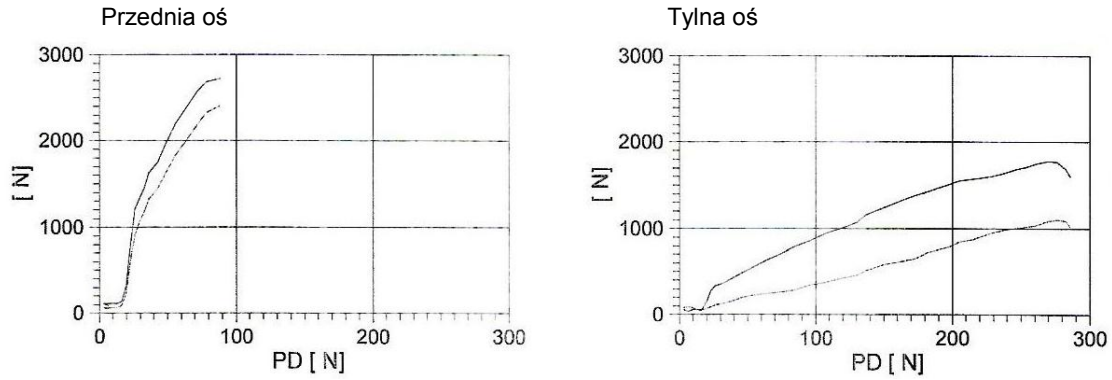
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Tabela 6.6. Zestawienie wyników badań sił hamowania i wyznaczonych wskaźników skuteczności hamowania dla łagodnego i gwałtownego naciskania na pedał hamulca (masa pojazdu 1221 kg)

		Łagodne hamowanie		**Gwałtowne hamowanie**		
		Hamulec roboczy		Hamulec roboczy		Różnica
Badany parametr		Przednia oś	Tylna oś	Przednia oś	Tylna oś	
Siła hamowania koła lewego	N	2573	1778	2096	854	
Siła hamowania koła prawego	N	2185	1103	1609	179	
Masa rzeczywista osi	kg	705	517	705	517	
Masa rzeczywista pojazdu	kg	1221		1221		
Dopuszczalna mas całkowita	kg	1775		1775		
Nacisk na pedał hamulca	N	78	283	318	406	
Różnica przy zablokowaniu	%	16	38	24	80	
Suma sił hamowania na osi	N	4758	2881	3705	1033	
Suma sił hamowania obu osi	N	7639		4738		2901
Wskaźnik rzeczywisty	**%**	**63**		**39**		**38**
Wskaźnik zmierzony	**%**	**44**		**27**		**37**

Ponieważ błąd pomiaru siły hamowania nie wpłynął znacząco na wyliczony rzeczywisty i zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania dlatego nie uwzględniono go w tabeli 6.6.

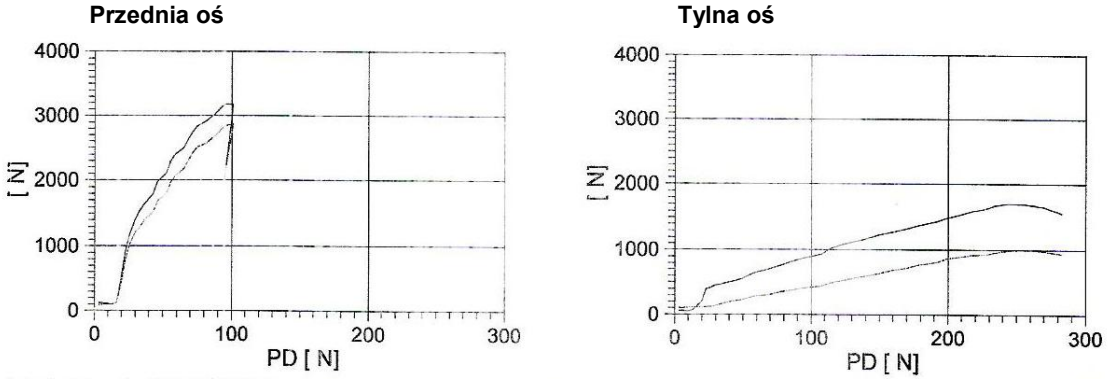
W kolejnych badaniach łagodnie zwiększano nacisk na pedał hamulca. Wykresy sił hamowania dla masy pojazdu 1221 kg pokazano na rys. 6.21.



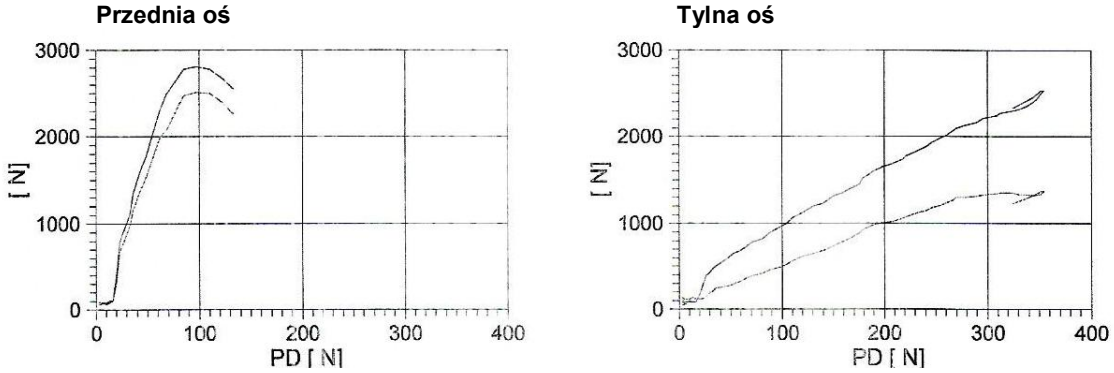
Rys. 6.21. Wykresy zmierzonych sił hamowania dla rzeczywistej masy pojazdu 1221 kg

Następnie przeprowadzono badanie dla masy pojazdu wynoszącej odpowiednio: ***1427 kg*** (rys. 6.22 i rys. 6.26); ***1506 kg*** (rys. 6.23 i rys. 6.27); ***1649 kg*** (rys. 6.24 i rys. 6.28) oraz dla dopuszczalnej masy całkowitej ***1775 kg*** (rys. 6.25 i rys. 6.29).

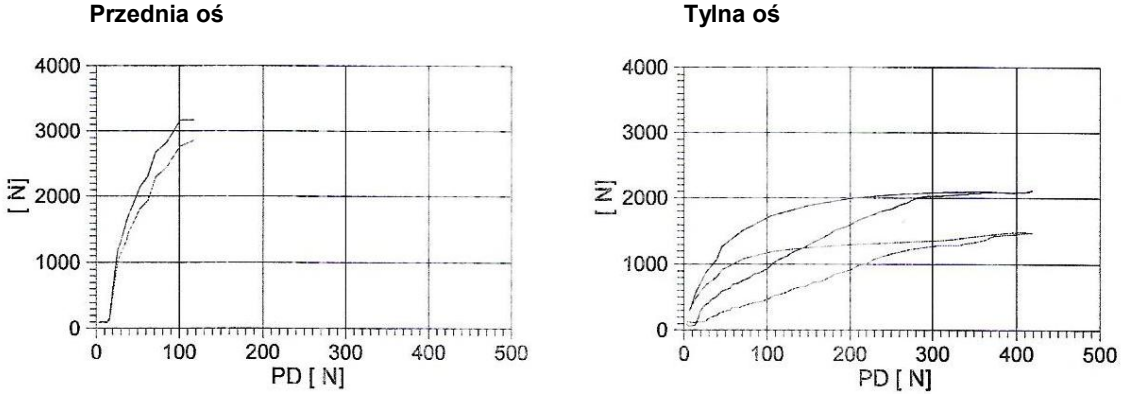
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



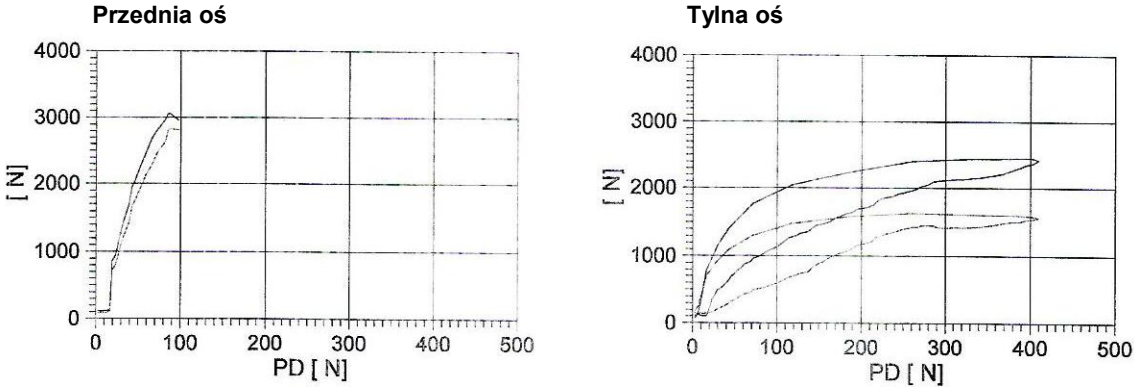
Rys. 6.22. Wykresy zmierzonych sił hamowania dla rzeczywistej masy pojazdu 1427 kg



Rys. 6.23. Wykresy zmierzonych sił hamowania dla rzeczywistej masy pojazdu 1506 kg



Rys. 6.24. Wykresy zmierzonych sił hamowania dla rzeczywistej masy pojazdu 1649 kg



Rys. 6.25. Wykresy zmierzonych sił hamowania dla dopuszczalnej masy całkowitej pojazdu 1775 kg

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Parametr badany		HAMULEC ROBOCZY przednia oś	tylna oś	Wymagane wartości	HAM. POSTOJOWY	Wymagane wartości
Siła hamowania koła lewego	N	3119	1709		1023	
Siła hamowania koła prawego	N	2772	983		397	
Opory toczenia koła lewego	N	99	60		507	
Opory toczenia koła prawego	N	99	99		238	
Nacisk na pedał hamulca	N	101	270	<=500		
Różnica przy zablokowaniu	%	12	43	<=30		
Wahania sił ham. koła lewego	%			<=20		<=20
Wahania sił ham. koła prawego	%			<=20		<=20
Wskaźnik zm. skut. ham. osi	%	34	15			
Ustawienie kół jezdnych	mm	0,0	0,0	<=4,0	0,0	<=4,0
Suma sił hamowania LE+PR hamulca	N	8583			1421	
Wskaźnik oblicz. skut. hamulca	%	[illegible]		>=50	8	>=16
Wskaźnik zm. skut. hamulca	%	49			8	

Rys. 6.26. Fragment protokołu pomiaru sił hamowania dla rzeczywistej masy pojazdu 1427 kg (kolorem czerwonym zaznaczono zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania)

Parametr badany		HAMULEC ROBOCZY przednia oś	tylna oś	Wymagane wartości	HAM. POSTOJOWY	Wymagane wartości
Siła hamowania koła lewego	N	2652	2533		805	
Siła hamowania koła prawego	N	2315	1361		318	
Opory toczenia koła lewego	N	79	79		70	
Opory toczenia koła prawego	N	79	109		139	
Nacisk na pedał hamulca	N	123	351	<=500		
Różnica przy zablokowaniu	%	13	47	<=30		
Wahania sił ham. koła lewego	%			<=20		<=20
Wahania sił ham. koła prawego	%			<=20		<=20
Wskaźnik zm. skut. ham. osi	%	29	22			
Ustawienie kół jezdnych	mm	0,0	6,0	<=4,0	6,0	<=4,0
Suma sił hamowania LE+PR hamulca	N	8861			1123	
Wskaźnik oblicz. skut. hamulca	%	[illegible]		>=50	6	>=16
Wskaźnik zm. skut. hamulca	%	51			6	

Rys. 6.27. Fragment protokołu pomiaru sił hamowania dla rzeczywistej masy pojazdu 1506 kg (kolorem czerwonym zaznaczono zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania)

Parametr badany		HAMULEC ROBOCZY przednia oś	tylna oś	Wymagane wartości	HAM. POSTOJOWY	Wymagane wartości
Siła hamowania koła lewego	N	3030	2126		1033	
Siła hamowania koła prawego	N	2652	1490		348	
Opory toczenia koła lewego	N	119	79		89	
Opory toczenia koła prawego	N	79	129		149	
Nacisk na pedał hamulca	N	101	419	<=500		
Różnica przy zablokowaniu	%	13	30	<=30		
Wahania sił ham. koła lewego	%			<=20		<=20
Wahania sił ham. koła prawego	%			<=20		<=20
Wskaźnik zm. skut. ham. osi	%	33	21			
Ustawienie kół jezdnych	mm	-2,5	3,9	<=4,0	3,9	<=4,0
Suma sił hamowania LE+PR hamulca	N	9298			1381	
Wskaźnik oblicz. skut. hamulca	%	[illegible]		>=50	8	>=16
Wskaźnik zm. skut. hamulca	%	53			8	

Rys. 6.28. Fragment protokołu pomiaru sił hamowania dla rzeczywistej masy pojazdu 1649 kg (kolorem czerwonym zaznaczono zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania)

Parametr badany		HAMULEC ROBOCZY przednia oś	tylna oś	Wymagane wartości	HAM. POSTOJOWY	Wymagane wartości
Siła hamowania koła lewego	N	3050	2454		864	
Siła hamowania koła prawego	N	2801	1629		288	
Opory toczenia koła lewego	N	119	99		377	
Opory toczenia koła prawego	N	79	139		199	
Nacisk na pedał hamulca	N	88	403	<=500		
Różnica przy zablokowaniu	%	9	34	<=30		
Wahania sił ham. koła lewego	%			<=20		<=20
Wahania sił ham. koła prawego	%			<=20		<=20
Wskaźnik zm. skut. ham. osi	%	34	23			
Ustawienie kół jezdnych	mm	-1,7	6,8	<=4,0	6,8	<=4,0
Suma sił hamowania LE+PR hamulca	N	9934			1152	
Wskaźnik oblicz. skut. hamulca	%	[illegible]		>=50	7	>=16
Wskaźnik zm. skut. hamulca	%	57			7	

Rys. 6.29. Fragment protokołu pomiaru sił hamowania dla dopuszczalnej masy całkowitej 1775 kg (kolorem czerwonym zaznaczono zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania)

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Widok załadowanego samochodu Seat Leon (5 litrowymi pojemnikami z płynem) w trakcie przeprowadzanych badań wpływu ciężaru pojazdu na wskaźnik skuteczności hamowania przedstawiają rys. 6.30 i rys. 6.31.

Rys. 6.30. Widok częściowego obciążonego samochodu Seat Leon w trakcie badań

Rys. 6.31. Widok maksymalnie obciążonego samochodu Seat Leon w trakcie badań

W tabeli 6.7 zamieszczono zestawienie zmierzonego i rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania dla różnego obciążenia samochodu Seat Leon. Zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania jest stosunkiem sumy sił hamowania i siły ciężkości od dopuszczalnej masy całkowitej. Jego wartość rośnie wraz ze zwiększającym się obciążeniem pojazdu, aż do osiągnięcia maksymalnego obciążenia (dopuszczalnej masy całkowitej, która jest sumą masy własnej i ładunku np. kierowca, pasażerowie i bagaż). Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania, używany przy rekonstrukcji wypadków drogowych, wraz ze wzrostem obciążenia nieznacznie maleje. Największą swoją wartość osiągnął dla masy pustego pojazdu z kierowcą, a najmniejszą wartość w granicach dopuszczalnego obciążenia pojazdu. Podczas powypadkowego badania technicznego powinniśmy tak obciążyć badany pojazd jak w chwili wypadku (o ile mamy dostęp do takich danych w aktach sprawy).

Tabela 6.7. Zestawienie zmierzonego i rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania dla różnego obciążenia samochodu Seat Leon

			Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5
Suma sił hamowania obu osi	N	Min	7599	8543	8821	9258	9894
		Max	7679	8623	8901	9338	9974
Rzeczywista masa pojazdu	kg		1221	1427	1506	1649	1775
Dopuszczalna masa całkowita	kg		1775	1775	1775	1775	1775
Zmierzony wskaźnik skuteczności hamowania	%		**43…44**	**48…49**	**50…51**	**52…53**	**56…57**
Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania	**%**		**62…63**	**60…61**	**59…60**	**56…57**	**56…57**

Opracowana, powypadkowa diagnostyka i metodyka układu hamulcowego sterowanego hydraulicznie w stacji kontroli pojazdów, została zamieszczona w załączniku C.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

7. PROCES HAMOWANIA POJAZDU W UJĘCIU TEORETYCZNYM I PRAKTYCZNYM

Układ hamulcowy w pojeździe samochodowym jest jednym z głównych układów, mających decydujący wpływ na bezpieczeństwo jazdy.

Zatrzymanie samochodu w wyniku nagłego hamowania powinno nastąpić na możliwie najkrótszej drodze, co pociąga za sobą konieczność maksymalnego wykorzystania przyczepności opon. Charakterystyki układu hamulcowego powinny być stałe, łatwe do kontrolowania przez kierowcę podczas zwalniania lub zatrzymania samochodu i dostosowujące się do aktualnych warunków jazdy.

Układy hamulcowe samochodu znajdują się na pierwszym miejscu podczas analizy wpływu na bezpieczeństwo ruchu drogowego, istnieje znaczna liczba przepisów zawierających wymagania jakim powinny sprostać. Najważniejsze - dotyczą budowy oraz metod badania - są sformułowane w regulaminach R13 lub R13-H EKG ONZ i dyrektywie 98/12/WE. Regulamin R13-H (H oznacza „zharmonizowanie" stanowi wzajemne dopasowanie przepisów europejskich. Szczegółowe ustalenia są zamieszczone w polskich normach, m.in. PN-88/S-47000 (skuteczność działania) i PN-ISO 611:1997 (terminologia) [191].

Każdy układ hamulcowy powinien uzyskać homologację. W badaniach homologacyjnych określa się skuteczność działania hamulców pojazdu podczas testów drogowych. Miarą skuteczności jest długość drogi hamowania i średnie opóźnienie. Pomija się przy tym wpływ czasu reakcji kierowcy, zatem mierzona jest długość drogi hamowania, a nie zatrzymania samochodu.

Przez stateczność hamowania rozumie się zwykle zdolność samochodu do zachowania (w czasie hamowania) założonego przez kierowcę toru jazdy.

Problem prawidłowego działania układu hamulcowego pojawia się przede wszystkim przy gwałtownym i intensywnym hamowaniu, a więc w sytuacji przedwypadkowej. Poprawne rozwiązanie układu hamulcowego powinno zapewnić uzyskiwanie zmiennych sił hamujących działających na poszczególne osie i koła samochodu w zależności od:

- zmiennego statycznego obciążenia osi samochodu;
- chwilowego opóźnienia, powodującego dociążenie osi przedniej i odciążenie tylnej;
- zmiennego współczynnika przyczepności kół do nawierzchni drogi.

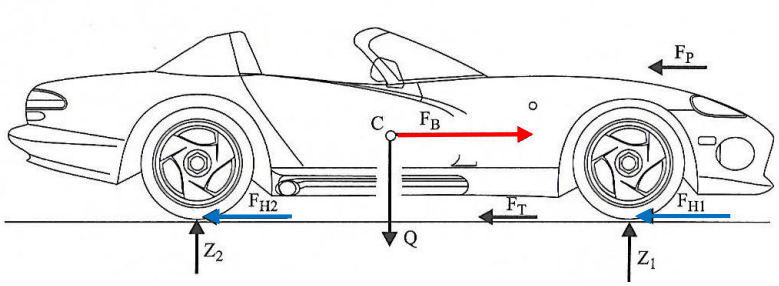
Zastosowanie układów hamulcowych wieloobwodowych, korektorów hamowania i urządzeń przeciwpoślizgowych pozwoliło na zbudowanie układów hamulcowych spełniających wymienione wyżej wymagania.

Zbudowanie systemu przeciwblokującego popularnie zwanego ABS spełniło wymogi skuteczności i stateczności hamowania. Istotą jego działania jest - bez względu na siłę nacisku na pedał hamulca - niedopuszczenie do sytuacji, w której siła hamowania przekracza siłę przyczepności.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

7.1. Siły działające na pojazd podczas hamowania

Podczas hamowania konieczne jest oddziaływanie na pojazd sił zewnętrznych, hamujących jego ruch. Stale działające na pojazd siły oporów ruchu są zbyt małe do intensywnego hamowania ruchu pojazdu, dlatego podczas hamowania są wykorzystywane reakcje styczne obwodowe na kołach. Na rys. 7.1 pokazano główne siły działające na pojazd podczas hamowania na drodze poziomej.



Rys. 7.1. Siły działające na pojazd podczas hamowania na poziomej drodze [136]
gdzie: *C* - środek ciężkości; *Q* - ciężar pojazdu ($Q = Z_1 + Z_2$); F_B – siła bezwładności; F_T - siła oporu toczenia; F_P - siła oporu powietrza; Z_1, Z_2 - reakcje normalne od drogi na koła; F_{H1}, F_{H2} - siły hamowania kół osi przedniej i tylnej

Analizując proces intensywnego hamowania, zwykle pomija się składniki F_P i F_T jako siły o małych wartościach w porównaniu z siłą hamowania F_H [N]. Cechą szczególną procesu hamowania jest oddziaływanie znacznych sił bezwładności. Z sumy rzutów sił na kierunek poziomy wynika:

$$F_H = F_{H1} + F_{H2} = F_B - F_P - F_T \approx F_B \tag{7.1}$$

Powyższe równanie nazwano równaniem prostoliniowego ruchu samochodu podczas hamowania. W równaniu tym siła bezwładności (oporu bezwładności) F_B obejmuje opór bezwładności ruchu postępowego (dotyczy całej masy samochodu) oraz opór bezwładności elementów w ruchu obrotowym, np. koła jezdne i niektóre elementy układu napędowego związane z kołami.

$$F_B = \delta \cdot m \cdot a_H = \delta \cdot \frac{Q}{g} \cdot a_H \tag{7.2}$$

gdzie:

δ - współczynnik mas wirujących silnika i układu napędowego (w procesie hamowania ta wartość jest zwykle niewielka i można ją pominąć, ponieważ układ napędowy w większości przypadków jest rozłączony. Stąd przyjmuje się δ =1;

g - przyspieszenie ziemskie [m/s^2];

m - masa własna pojazdu [kg];

a_H - opóźnienie ruchu pojazdu [m/s^2].

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Przebieg procesu hamowania jest ściśle związany ze zjawiskami fizycznymi, które zachodzą w obszarze styku ogumienia z nawierzchnią drogi. Wynika to przede wszystkim z faktu, że siły hamowania jako zewnętrzne oddziaływanie na pojazd od drogi są zależne od reakcji stycznych obwodowych na każdym kole.

Wartość siły hamowania jest ograniczona przyczepnością koła do nawierzchni. W przypadku gdy siła hamowania w danych warunkach przekroczy wartość siły przyczepności, dochodzi do zjawiska ślizgania się koła po nawierzchni drogi. Powstaje poślizg koła względem nawierzchni drogi.

Koło jest w poślizgu, jeżeli występuje różnica między aktualną prędkością postępową a prędkością wynikającą z prędkości kątowej i promienia koła.

Maksymalna siła hamowania dla pojedynczego koła musi spełniać warunek

$$F_{HK\max} = \mu \cdot Z_K \tag{7.3}$$

gdzie:

μ - współczynnik przyczepności koła do nawierzchni.

Maksymalna siła hamowania F_{Hmax} [N] całego pojazdu jest sumą sił hamowania działających na wszystkie koła lub wszystkie osie pojazdu. Jest to najbardziej korzystna sytuacja hamowania wszystkich kół pojazdu w takich samych warunkach i przy jednoczesnym wyczerpaniu ich przyczepności na drodze poziomej.

$$F_{H\max} = F_{H1\max} + F_{H2\max} = \mu \cdot (Z_1 + Z_2) = \mu \cdot Q \tag{7.4}$$

W trakcie hamowania pojazd porusza się ruchem zmiennym, z ujemnym przyśpieszeniem zwanym *opóźnieniem hamowania*, w którym

$$\frac{dv}{dt} = -a_H > 0 \qquad \text{czyli} \qquad a_H > 0 \tag{7.5}$$

Ponieważ $F_H \approx F_B$, to

$$F_{H\max} = \mu \cdot Q \approx \frac{Q}{g} \cdot a_{H\max} = F_B \tag{7.6}$$

Maksymalne opóźnienie hamowania wynosi

$$a_{H\max} = \mu \cdot g \tag{7.7}$$

Największa wartość opóźnienia, jaką można osiągnąć podczas hamowania, zależy od wartości współczynnika przyczepności kół do nawierzchni.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

7.2. Współczynnik przyczepności

Jednym z podstawowych zjawisk, charakterystycznych dla mechanizmu przenoszenia sił stycznych między oponą a jezdnią, jest to, że wartość współczynnika przyczepności (a więc i wartość siły przyczepności) zależna jest od tzw. poślizgu względnego koła. Jeżeli ogumione koło toczące się swobodnie ze stałą prędkością postępową v i prędkością kątową ω_0 poddamy działaniu stopniowo rosnącego momentu hamującego, to w obszarze styku opony z jezdnią pojawi się wzdłużna siła styczna, a równocześnie prędkość kątowa zacznie się zmniejszać – mimo, że prędkość postępowa środka koła v zostanie sztucznie utrzymana na niezmiennym poziomie.

Dla każdej określonej pary opona - nawierzchnia istnieją dwie charakterystyczne wartości współczynnika przyczepności:

- wartość maksymalna, nazywana współczynnikiem przyczepności przylgowej μ_p występująca przy kole toczącym się z częściowym poślizgiem względnym;
- wartość nazywana współczynnikiem przyczepności poślizgowej (lub ślizgowej) μ_s, występująca przy kole zablokowanym.

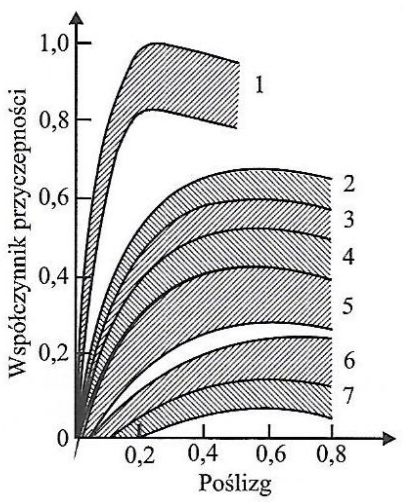
W tabeli 7.1 przedstawiono wartości współczynników przyczepność przylgowej i poślizgowej dla różnych nawierzchni i typowych opon samochodowych.

Tabela 7.1. Wartości współczynników przyczepności przylgowej i poślizgowej [191]

Rodzaj i stan nawierzchni		**Współczynnik przyczepności**	
		przylgowej	poślizgowej
Beton	suchy	0,8 – 1,05	0,7 – 0,8
	mokry	0,6 – 0,8	0,5 – 0,6
Asfalt	suchy	0,7 – 0,8	0,6 – 0,7
	mokry	0,4 – 0,5	0,3 – 0,4
Droga tłuczniowa	sucha	0,5 – 0,6	0,4 – 0,5
	mokra	0,3 – 0,4	0,2 – 0,3
Kostka granitowa	sucha	0,6 – 0,7	0,5 – 0,6
	mokra	0,3 – 0,5	0,3 – 0,5
Droga gruntowa	sucha	0,5 – 0,6	0,2 – 0,3
	mokra	0,3 – 0,4	0,2 – 0,3

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Obszary wartości współczynnika przyczepności są przedstawione na rys. 7.2 w postaci pasm o dość znacznej szerokości. Jest to bardzo trafny sposób zilustrowania zjawiska, jako że nawet w określonych warunkach pomiarowych rozrzut wartości współczynnika przyczepności jest znaczny (tzn. powtarzalność wyników jest dość mała), a ponadto wyniki pomiarów zależą w dużym stopniu od warunków i metod badania. Można więc, prowadząc pomiary przy użyciu różnych urządzeń pomiarowych (np. wózków dynamometrycznych o różnej konstrukcji) lub przy użyciu różnych opon na tej samej nawierzchni, albo przy użyciu tej samej opony na różnych odcinkach tej samej drogi – uzyskać wyniki dość znacznie różniące się między sobą.



Rys. 7.2. Obszary wartości współczynnika przyczepności od poślizgu [134]

Stosowana powszechnie w praktyce (podczas opiniowania wypadków drogowych) przez biegłych metodyka określenia intensywności hamowania za pomocą współczynnika przyczepności μ (wyrażająca się utożsamieniem osiąganego przez pojazd opóźnienia hamowania z wartością iloczynu $\mu \cdot g$) jest jedynie wyidealizowanym przybliżeniem. Jest to dostatecznie bliskie przybliżenie rzeczywistości jedynie w następujących przypadkach:

1. Gdy stwierdzone na miejscu wypadku ślady hamowania wykazują, że wszystkie koła pojazdu uległy zablokowaniu. Wtedy jednak do iloczynu $\mu \cdot g$ należy wstawić poślizgową wartość współczynnika przyczepności μ_s.
2. Gdy mamy do czynienia z pojazdem wyposażonym w urządzenia przeciwblokujące (optymalno-poślizgowe). Wtedy do iloczynu $\mu \cdot g$ wstawić należy maksymalną przylgową wartość współczynnika przyczepności μ_p. Dotyczy to również motocykli, jeżeli istnieją przesłanki pozwalające biegłemu przyjąć, że motocykl był hamowany dwoma hamulcami równocześnie, a poziom umiejętności kierowcy uzasadnia domniemanie, że potrafił on hamować przy pełnym wykorzystaniu przyczepności obu kół.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

7.3. Aquaplaning

Wartość siły przyczepności maleje do zera, jeśli podczas deszczu na jezdni utworzy się warstwa wody, po której samochód „płynie". Zjawisko to nazywa się *aquaplaningiem* - w wyniku tego zanika kontakt między oponą a nawierzchnią.

7.4. Długość drogi hamowania i zatrzymania

Skuteczność układu hamulcowego powinna być określona przez pomiar drogi hamowania w odniesieniu do prędkości początkowej lub pomiar średniego w pełni rozwiniętego opóźnienia hamowania podczas badań.

Droga hamowania jest drogą przebytą przez pojazd od momentu, gdy kierowca zaczyna uruchamiać sterowanie układu hamulcowego, aż do chwili, gdy pojazd zatrzymuje się. Prędkość początkowa jest to prędkością w chwili, gdy kierowca zaczyna uruchamiać sterowanie układu hamulcowego.

Drogą zatrzymania nazywa się odległość, którą przejedzie samochód od chwili zauważenia przez kierowcę przeszkody wywołującej, konieczność hamowania do zatrzymania samochodu.

Zanim podjęta przez kierowcę decyzja hamowania zostanie wprowadzona w czyn (tj. zanim mechanizmy hamulcowe faktycznie zadziałają na koła pojazdu momentami hamującymi), upłynąć musi zawsze pewien czas zwany *czasem reakcji* t_{RK} kierowcy lub *czasem zwłoki poprzedzającej hamowanie.*

Przy analizach wypadków drogowych przyjmuje się powszechnie, że przeciętna wartość tego czasu jest rzędu 0,8 – 1,0 sekundy, co zwykle jest dostatecznie bliskie rzeczywistości. Trzeba jednak zdawać sobie sprawę z tego, że czas ten w niektórych przypadkach może dość znacznie odbiegać od przeciętnej.

Przyłożenie przez kierowcę siły na pedał hamulca nie powoduje natychmiastowego pojawienia się sił hamujących na kołach i opóźnienia pojazdu. Czas potrzebny na pojawienie się efektu hamowania, liczony od chwili zadziałania przez kierowcę na pedał hamulca, jest nazywany *czasem zadziałania* t_A hamulca. Czas ten jest potrzebny na przepływ czynnika roboczego (płyn, powietrze) do siłowników uruchamiających mechanizmy hamulcowe, skasowanie luzów w tych mechanizmach i wywarcia nacisku na elementy cierne.

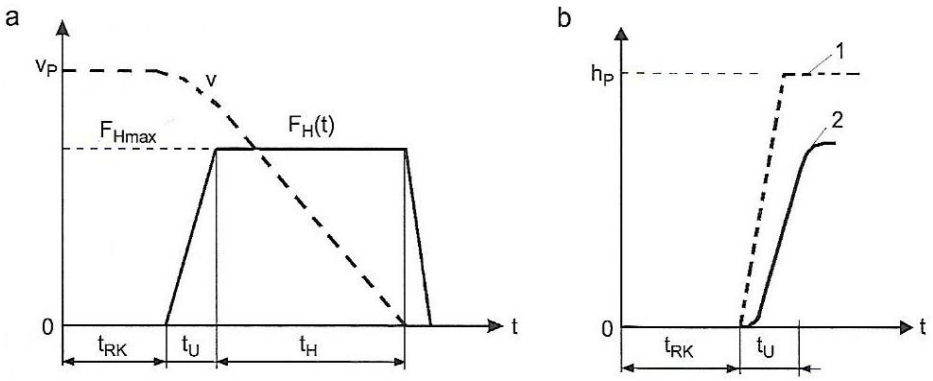
Następną fazą procesu uruchamiania hamulców jest *czas narastania opóźnienia* t_N. Można z dużym przybliżeniem przyjąć, że narastanie opóźnienia ma przebieg liniowy, tj., że prędkość narastania opóźnienia jest stała. Prędkość ta zależy w głównej mierze od prędkości przyrostu siły, z jaką kierowca działa na pedał hamulca. Przy gwałtownym, emocjonalnym hamowaniu, z jakim zazwyczaj mamy do czynienia w kolizyjnych sytuacjach drogowych, czas narastania opóźnienia w praktyce waha się w stosunkowo niewielkich granicach.

Wygodnie jest, zatem wprowadzić pojęcie *czasu uruchamiania hamulców* t_U [s], który jest sumą *czasu zadziałania* t_A i *czasu narastania opóźnienia* t_N.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

$$t_U = t_A + t_N \tag{7.8}$$

Przebieg procesu hamowania przedstawiono na rys. 7.3.



Rys. 7.3. Przebieg procesu hamowania [137]
a) - przybliżony przebieg siły hamowania i spadku prędkości; b) - opóźnienie narastania siły hamowania w stosunku do ruchu pedała hamulca; 1 - ruch pedału, 2 – narastanie siły hamowania

Łączny czas (czas zatrzymania t_Z), jaki upłynie od chwili zauważenia przeszkody, będącej impulsem do rozpoczęcia hamowania, do zatrzymania pojazdu, można zapisać w postaci sumy

$$t_Z = t_{RK} + t_U + t_H \tag{7.9}$$

gdzie:

t_H - czas pełnego hamowania, czyli z maksymalną efektywnością [s].

Czas uruchamiania układu hamulcowego t_U dla współczesnych samochodów przy gwałtownym naciskaniu na pedał hamulca, wynosi:

- 0,15 … 0,30 s w układach uruchamianych hydraulicznie;
- 0,30 … 0,50 s w układach pneumatycznych.

Drogę przebytą przez pojazd w *czasie zatrzymania* t_Z nazywamy *drogą zatrzymania* S_Z. Długość tej drogi oblicza się jako sumę dwóch odcinków drogi:

- przebytej w czasie $t_R = t_{RK} + \frac{t_U}{2}$, w którym przyjęto ruch jednostajny bez hamowania;
- przebytej w czasie $\frac{t_U}{2} + t_H$ jako drogi hamowania z siłą $F_{H\max}$ w ruchu jednostajnie opóźnionym a_H.

Przyjmując ruch jednostajnie opóźniony pojazdu w czasie hamowania, obliczyć można *drogę hamowania* S_H:

$$S_H = \frac{v_P^2 - v_K^2}{2 \cdot a_H} \ . \tag{7.10}$$

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Analizując przypadek, w którym pojazd hamuje do zatrzymania, więc $v_K = 0$. Wówczas długość *drogi hamowania* wynosi:

$$S_H = \frac{v_P^2}{2 \cdot a_H} = \frac{a_H}{2}\left(t_H + \frac{t_U}{2}\right)^2 \quad . \tag{7.11}$$

A zatem *droga zatrzymania* wynosi

$$S_Z = t_R \cdot v_P + S_H \tag{7.12}$$

$$S_Z = \left(t_{RK} + \frac{t_U}{2}\right) \cdot v_P + \frac{v_P^2}{2 \cdot a_H} = \left(t_{RK} + \frac{t_U}{2}\right) \cdot v_p + \frac{a_H}{2}\left(t_H + \frac{t_U}{2}\right)^2 \tag{7.13}$$

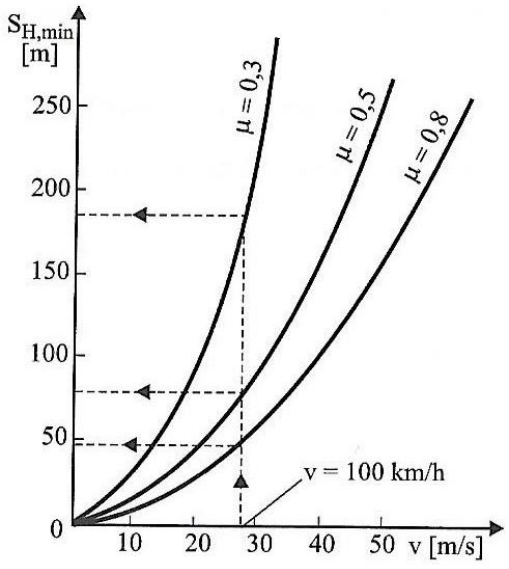
Podczas hamowania z maksymalną efektywnością i w najkorzystniejszych warunkach, zgodnie z zależnością (7.11)

$$a_H \rightarrow a_{H\max} = \mu \cdot g$$

otrzymamy wyrażenie (podstawiając do równania 7.7) do obliczenia drogi hamowania najkrótszej z możliwych

$$S_H = \frac{v_P^2 - v_K^2}{2 \cdot g \cdot \mu} \quad . \tag{7.14}$$

Z zależności 7.14 i 7.15 wynika, że *droga hamowania* wydłuża się proporcjonalnie do kwadratu prędkości jazdy na początku hamowania. Na rys. 7.4 zaznaczono dla przykładu długość drogi hamowania pojazdu od prędkości $v_P = 100$ km/h do zatrzymania dla różnych nawierzchni drogowych.



Rys. 7.4. Zależność minimalnej długości drogi hamowania od prędkości jazdy [137]

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Jeżeli nastąpi zatrzymanie pojazdu (prędkość końcowa $v_K = 0$), wtedy droga hamowania określona zależnością 7.14 ma postać:

$$S_H = \frac{v_P^2}{2 \cdot g \cdot \mu} \quad . \text{ gdy} \quad v_K = 0 . \tag{7.15}$$

7.5. Średnie w pełni rozwinięte opóźnienie hamowania

Idea zapisu parametrów ruchu pojazdów liczy już kilkadziesiąt lat. W tym czasie powstały różne koncepcje przeprowadzania pomiarów parametrów ruchu pojazdów, które dotyczą praktycznie wszystkich mierzalnych wielkości fizycznych. Urządzenia te obecnie znajdują powszechne zastosowanie zarówno do naukowych badań eksperymentalnych pojazdów, jak również w rekonstrukcji wypadków drogowych.

Zgodnie z Dziennikiem Urzędowym Unii Europejskiej z dnia 30.09.2010 r. załącznik nr 4 wartość średniego w pełni rozwiniętego opóźnienia hamowania a_{Hsr} (w m/s^2), należy obliczyć, jako opóźnienie średnie w odniesieniu do drogi w przedziale od v_B do v_A zgodnie z następującym wzorem:

$$a_{Hsr} = \frac{v_B^2 - v_A^2}{25{,}92 \cdot (S_A - S_B)} \tag{7.16}$$

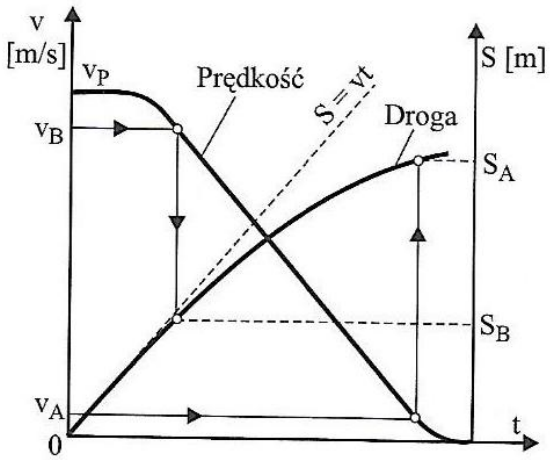
gdzie:

v_B - prędkość pojazdu odpowiadająca 0,8 v_P [km/h]

v_A - prędkość pojazdu odpowiadająca 0,1 v_p [km/h]

$S_A - S_B$ - odcinek drogi (w metrach), przejechany podczas hamowania od prędkości v_B do v_A.

Na rys. 7.5 pokazano sposób wyboru punktów na wykresie prędkości pojazdu i następnie przeniesienie tych punktów na wykres drogi hamowania.



Rys. 7.5. Schemat pomocniczy do określenia średniej wartości opóźnienia w czasie hamowania [137]
Linie na rysunku pokazują przebieg zmian prędkości jazdy i długości drogi przebytej przez pojazd podczas hamowania

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Zależność (7.16) wywodzi się bezpośrednio z Regulaminu nr 13 EKG ONZ i można ją wyprowadzić, korzystając z zależności (7.10). Liczba $25{,}92$ wynika z przeliczenia jednostek prędkości jazdy, a mianowicie $2 \cdot 3{,}6^2 = 25{,}92$.

7.6. Średnie opóźnienie hamowania wg ISO

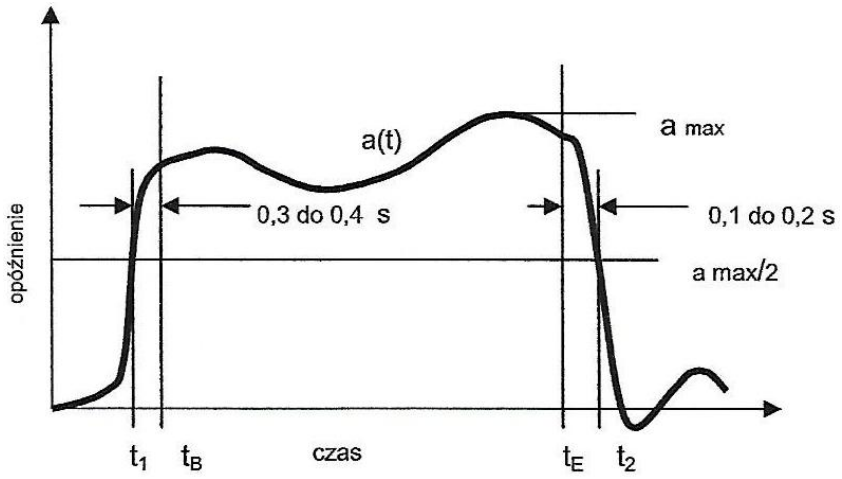
Nie ulega wątpliwości, że profesjonalna, badawcza aparatura pomiarowa jest bardzo droga oraz ponadto zajmuje znaczną objętość przestrzeni zarówno we wnętrzu, jak również na zewnątrz pojazdu. Dlatego do pomiaru opóźnienia hamowania pojazdu, który brał udział w zdarzeniu drogowym używa się samorejestrujących opóźnieniomierzy. Przyrządy te są na wyposażeniu funkcjonariuszy policji do spraw wypadków drogowych oraz stanowią obowiązkowe wyposażenie każdej stacji kontroli pojazdów.

Wartość średniego opóźnienia hamowania a_{Hiso} wg ISO [110] w przedziale czasu $t_B - t_E$ można wyznaczyć za pomocą zależności:

$$a_{Hiso} = \frac{1}{t_E - t_B} \sum_{t_B}^{t_E} a_i \tag{7.17}$$

Sposób wyznaczenia tego przedziału przedstawiono na rys. 7.6. Do obliczeń należy przyjąć następujące wartości (wg ISO):

$$t_B = t_1 + 0{,}3...0{,}4 \text{ [s]}$$
$$t_E = t_2 - 0{,}1...0{,}2 \text{ [s]} \tag{7.18}$$



Rys. 7.6. Schemat ilustrujący sposób wyznaczania przedziału do obliczenia średniego opóźnienia hamowania wg ISO względem czasu [38]

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

8. ANALIZA NIESTANDARDOWEGO BADANIA OPÓŹNIENIA HAMOWANIA

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 upłynął podczas gdy pojazd przebywa drogę hamowania nazywamy czasem hamowania i nie wlicza się do niego czasu reakcji kierowcy.

Pomysł zapisu parametrów ruchu pojazdów liczy już kilkadziesiąt lat. W tym czasie powstały różne koncepcje przeprowadzania pomiarów parametrów ruchu pojazdów, które dotyczą praktycznie wszystkich mierzalnych wielkości fizycznych. Przyrządy te obecnie znajdują powszechne zastosowanie zarówno do naukowych badań eksperymentalnych, jak również w powypadkowych badaniach technicznych oraz w stacjach kontroli pojazdów.

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

W celu poznania sposobu pomiaru, prezentacji wyników i metod obliczania opóźnień hamowania przeprowadzono szereg prób, analizując przebiegi opóźnień hamowania zmierzone przyrządami trzech różnych producentów. Opóźnieniomierze hamowania znajdują się na liście obowiązkowego wyposażenia każdej stacji kontroli pojazdów, ale także używane są przez biegłych sądowych zajmujących się problematyką rekonstrukcji wypadków drogowych.

Niekiedy w materiale dowodowym, jaki otrzymuje biegły do sporządzenia opinii w sprawie wypadku drogowego, spotykane są wyłącznie wartości maksymalne odczytane z opóźnieniomierzy. Podanie tylko tych wartości może wynikać z nieznajomości obsługi danego przyrządu oraz sposobu obliczenia opóźnienia. Wykorzystanie tych wartości w rekonstrukcji konkretnego wypadku drogowego może prowadzić do znacznych błędów. Przyjęcie niewłaściwej (zaniżonej lub zawyżonej) wartości możliwego do osiągnięcia opóźnienia hamowania samochodu może skutkować błędnym wyliczeniem prędkości początkowej lub drogi zatrzymania, co, w skrajnym przypadku może prowadzić do wydania błędnej, co do przyczyn wypadku opinii sądowej [24].

Istnieje wiele publikacji, w których przedstawione są wyniki badań opóźnienia hamowania samochodów podczas maksymalnego hamowania ze sprawnym układem hamulcowym. Natomiast bardzo mało jest publikowanych badań, analizujących różnice opóźnienia hamowania (bądź też drogi hamowania) samochodu ze sprawnym i uszkodzonym układem hamulcowym.

Analiza przebiegu procesu hamowania jest jedną z podstawowych czynności przeprowadzanych w ramach rekonstrukcji zdarzenia drogowego. Dlatego (jeżeli jest to możliwe) należy wykonać powypadkowe badanie techniczne pojazdu wraz z próbą ustalenia

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

czy podczas hamowania poprzedzającego zdarzenie drogowe nie doszło do zakłócenia procesu hamowania przez uszkodzenie lub niesprawność układu hamulcowego.

Wykonano szereg prób hamownia samochodu osobowego ze sprawnym oraz niesprawnym układem ABS oraz ze sprawnym i niesprawnym układem hamulcowym. Badania przeprowadzono na prostoliniowym torze jazdy na nawierzchni asfaltowej, szutrowej oraz na płycie poślizgowej „Autodromu Pomorze" Pomorskiego Ośrodka Ruchu Drogowego.

Przeprowadzono analizę porównawczą zmierzonych wartości opóźnień hamowania badanego samochodu ze sprawnym i niesprawnym układem hamulcowym.

Na podstawie otrzymanych doświadczalnie wyników badań wyznaczono współczynnik f_N niesprawności układu hamulcowego.

8.1. Opóźnieniomierze użyte do badań drogowych

Do badań drogowych użyto popularnych modeli opoźnieniomierzy bezwładnościowych stosowanych powszechnie na stacjach diagnostycznych podczas badań kontrolnych układów hamulcowych. Użyte opóźnieniomierze były wyposażone w układy kompensacji opóźnienia, uniezależniający wskazania przyrządu od występującego podczas pomiaru opóźnienia pochylenia pojazdu

Do pomiaru opóźnienia hamowania badanego samochodu używano zamiennie trzech samorejestrujących opóźnieniomierzy: Brake Tester LWS-2/MC (producent: Zakład Mechaniki Precyzyjnej, Elektromechaniki i Automatyki Test-Pol), CL 170 (producent: Zakład Elektroniki Pomiarowej Wielkości Nieelektrycznych J. Czerwiński i wspólnicy) oraz AMX 520 (producent: firma Automex).

8.2. Parametry techniczne opóźnieniomierzy

Ogólny widok opóźnieniomierzy użytych podczas badań drogowych przedstawiono na rys. 8.1, a w tabeli 8.1 zestawiono podstawowe ich parametry techniczne.

Rys. 8.1. Opóźnieniomierze użyte do badań
(od lewej strony: Brek Test LWS-2/MC, CL 170, AMX 520)

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Tabela 8.1. Parametry techniczne opóźnieniomierzy

Opóźnieniomierz	Jednostka	LWS – 2/MC	CL 170	AMX 520
Zakres pomiarowy przyspieszenia	m/s^2	+/- 16	+/- 15	+/- 10
Częstotliwość próbkowania	1/s	100	100	100
Liczba pamiętanych pomiarów	-	30	16	10
Maksymalny czas trwania pomiaru	s	20	10	5
Błąd pomiaru przyspieszenia	m/s^2	0,1	0,1	0,1
Czujnik nacisku na pedał hamulca	-	Tak	Tak	Tak
Głowica czujnika przyspieszenia	-	Zewnętrzna	Wewnętrzna	Wewnętrzna
Wyzwalacz zewnętrzny	-	Nie	Tak	Nie
Eksport wyników pomiaru	-	Tak	Tak	Tak

8.3. Opóźnienie hamowania

W poprzednim rozdziale przedstawiono teoretyczne zagadnienia dotyczące procesu hamowania. Omówiono między innymi sposoby pomiaru drogi hamowania, średniego opóźnienia hamowania wg ISO oraz średniego w pełni rozwiniętego opóźnienia hamowania MFDD wywodzącego się z Regulaminu nr 13 EKG ONZ.

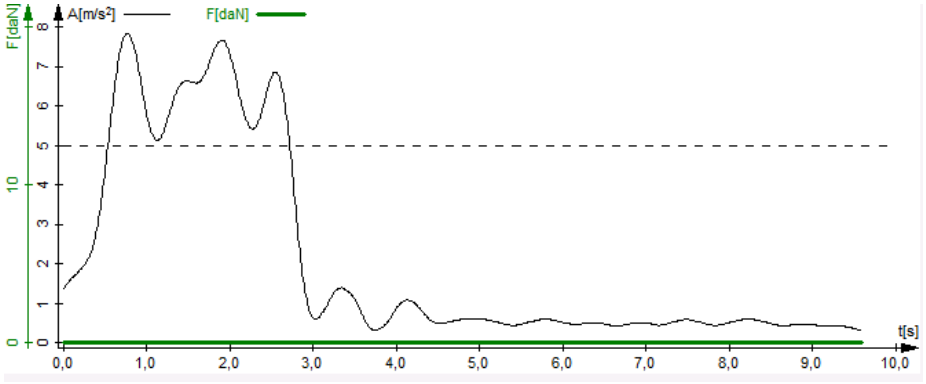
8.3.1. Maksymalne opóźnienie hamowania

W protokole powypadkowego badania technicznego oprócz wartości maksymalnego opóźnienia hamowania należy podać także wartość średniego opóźnienia hamowania oraz sposób jego wyliczenia. Mając tylko podaną wartość maksymalnego opóźnienia hamowania można nieprawidłowo określić rzeczywistą skuteczność hamowania badanego pojazdu.

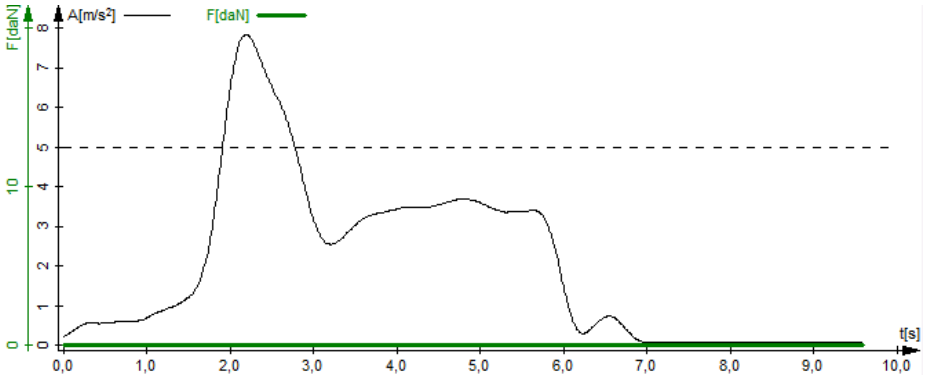
Podanie tylko maksymalnego opóźnienia hamowania może być przydatne do obliczenia wskaźnika skuteczności hamowania podczas przeprowadzanych badań technicznych w stacjach kontroli pojazdów zgodnie z obowiązującymi przepisami. Natomiast do rekonstrukcji wypadku drogowego potrzebna jest obliczona wartość średniego opóźnienia hamowania [116].

Poniżej zamieszczono przykładowe charakterystyki opóźnienia hamowania dla sprawnego i niesprawnego układu hamulcowego badanego samochodu Toyota Corolla. Pomiary przeprowadzono w tych samych warunkach drogowych i pogodowych na suchej jezdni o nawierzchni asfaltowej. Samochód był rozpędzony do prędkości ok. 50 km/h, a następnie intensywnie hamowany. Na rys. 8.2 i rys. 8.3 przedstawiono charakterystyki maksymalnego opóźnienia hamowania wynoszącego 7,8 m/s^2, a na rys. 8.4 i rys. 8.5 o wartości 8 m/s^2. Przy podobnym maksymalnym opóźnieniu hamowania inny był czas hamowania i średniego opóźnienia hamowania. Do przeprowadzenia badania użyto przyrządu pomiarowego CL 170.

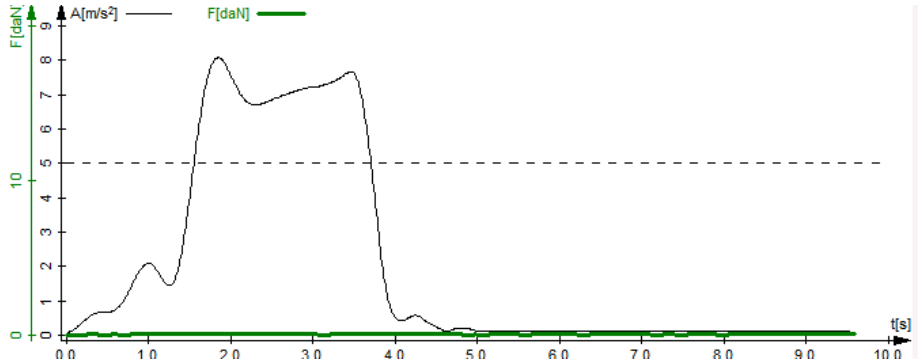
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



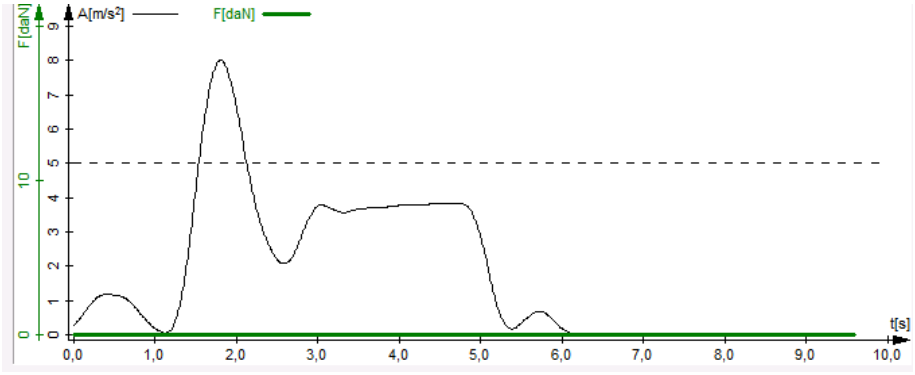
Rys. 8.2. Przebieg opóźnienia hamowania samochodu ze sprawnym układem hamulcowym. Maksymalne opóźnienie hamowania 7,8 m/s^2, średnie opóźnienie 5,7 m/s^2, czas hamowania 2,3 s.



Rys. 8.3. Przebieg opóźnienia hamowania samochodu z niesprawnym układem hamulcowym. Maksymalne opóźnienie hamowania 7,8 m/s^2, średnie opóźnienie 3,8 m/s^2, czas hamowania 3,9 s.



Rys. 8.4. Przebieg opóźnienia hamowania samochodu ze sprawnym układem hamulcowym. Maksymalne opóźnienie hamowania 8 m/s^2, średnie opóźnienie 5,2 m/s^2, czas hamowania 2,4 s.



Rys. 8.5. Przebieg opóźnienia hamowania samochodu z niesprawnym układem hamulcowym. Maksymalne opóźnienie hamowania 8 m/s^2, średnie opóźnienie 3,7 m/s^2, czas hamowania 3,5 s.

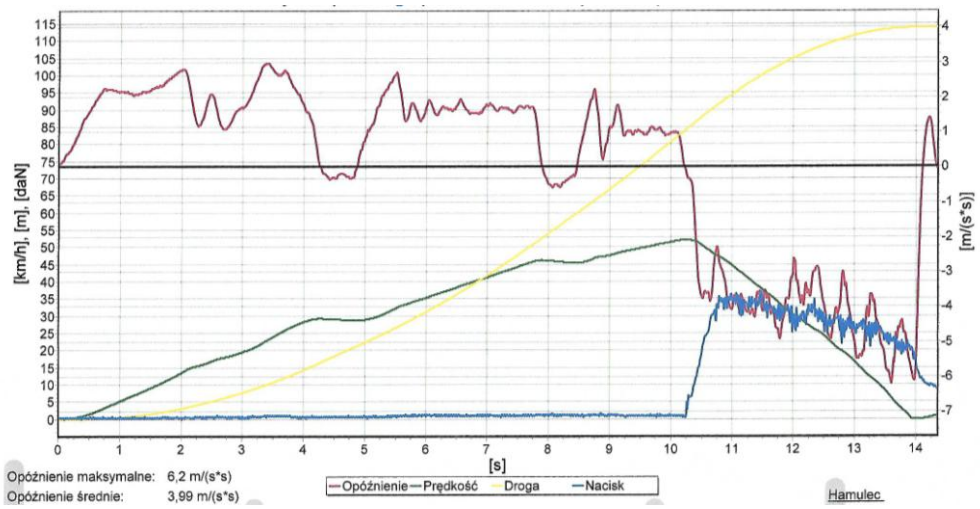
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

8.3.2. Średnie opóźnienie hamowania

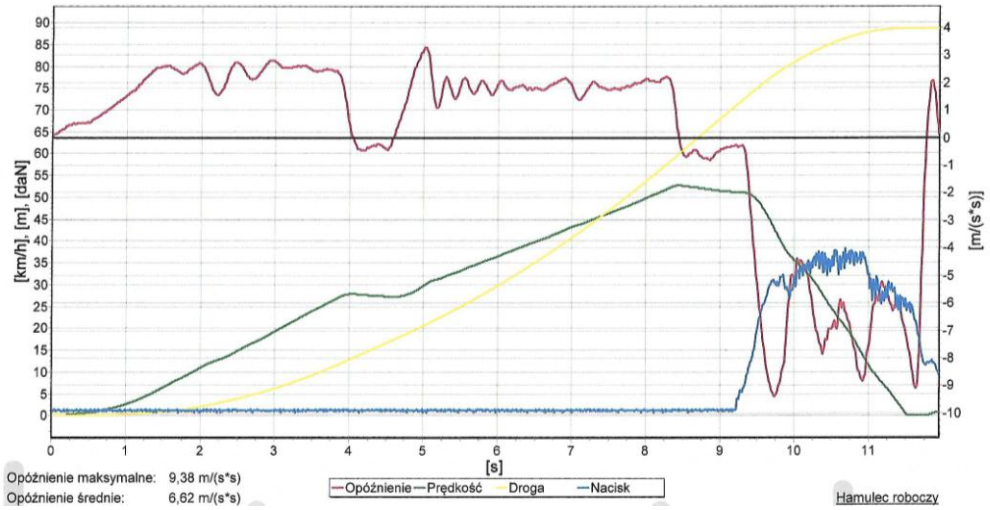
Podczas pomiarów drogowych wykonywanych w trakcie przeprowadzonego powypadkowego badania technicznego dla prawidłowej oceny skuteczności hamulców przyjmuje się wartość tzw. średniego opóźnienia hamowania.

Spośród trzech opóźnieniomierzy tylko oprogramowanie przyrządu Brek Test LWS-2/MC umożliwiało obliczenie wartości średniego w pełni rozwiniętego opóźnienia hamowania a_{Hsr} (w m/s^2) zgodnie z wzorem 7.16. Dlatego wartość średniego opóźnienia hamowania dla pozostałych dwóch opóźnieniomierzy najlepiej wyliczyć wg ISO (wzór 7.17 i wzór 7.18)

Przeprowadzono także szereg prób hamowania na suchej jezdni asfaltowej samochodem Seat Leon ze sprawnym układem ABS. Zmierzone wartości maksymalnego opóźnienia, a także wyliczone wartości średniego opóźnienia hamowania wg ISO oraz wg MFDD zamieszczono w tabeli 8.2 i tabeli 8.3. Badania wykonano w tych samych warunkach drogowych i pogodowych na suchej jezdni o nawierzchni asfaltowej. Wybrane wykresy dla próby niegwałtownego (rys. 8.6) i gwałtownego hamowania (rys. 8.7) zamieszczono poniżej.



Rys. 8.6. Wykres przebiegu parametrów ruchu dla niegwałtownego hamowania - pomiar nr 8.2



Rys. 8.7. Wykres przebiegu parametrów ruchu dla gwałtownego hamowania - pomiar nr 8.4

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Wartości średniego opóźnienia hamowania a_{Hiso} wg ISO obliczono w przedziale czasu $t_B - t_E$ dla przyjętych wartości: $t_B = t_1 + 0{,}3$[s], $t_E = t_2 - 0{,}1$[s].

Tabela 8.2. Zestawienie parametrów dla niegwałtownego hamowania

Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Hamowanie	Max nacisk na pedał [N]	Opóźnienie hamowania [m/s^2]			Różnica $\lvert a_{Hsr} - a_{Hiso} \rvert$
				$a_{H\max}$	a_{Hsr}	a_{Hiso}	
8.1	53	Niegwałtowne	414	5,55	3,57	3,67	0,10
8.2	52	Niegwałtowne	370	6,20	3,99	4,14	0,15
8.3	52	Niegwałtowne	397	5,96	4,35	4,30	0,05
Średnia arytmetyczna			**394**	**5,90**	**3,97**	**4,04**	**0,10**

Niegwałtowne hamowanie występuje często w ruchu ulicznym np. przed dojeżdżaniem do skrzyżowania na którym znajdowała sygnalizacja świetlna i nastąpiła zmiana świateł.

Tabela 8.3. Zestawienie parametrów dla gwałtownego hamowania

Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Hamowanie	Max nacisk na pedał [N]	Opóźnienie hamowania [m/s^2]			Różnica [m/s^2] $\lvert a_{Hsr} - a_{Hiso} \rvert$
				$a_{H\max}$	a_{Hsr}	a_{Hiso}	
8.4	53	Gwałtowne	381	9,38	6,62	6,58	0,04
8.5	55	Gwałtowne	374	9,59	6,85	6,97	0,12
8.6	59	Gwałtowne	394	9,34	6,53	6,71	0,18
Średnia arytmetyczna			**383**	**9,44**	**6,67**	**6,75**	**0,11**

Przeprowadzono analizę statystyczną i uogólnienie otrzymanych wyników opóźnienia hamowania. Wyniki wartości średnich arytmetycznych z uwzględnieniem odchyleń standardowych eksperymentalnych δ (wzór 6.6) przedstawiono w tabeli 8.4.

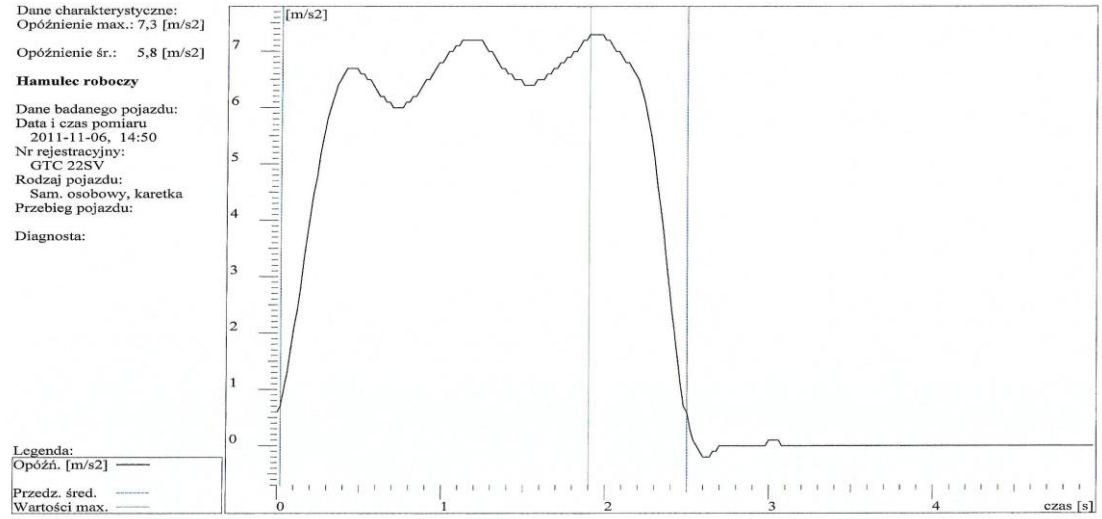
Tabela 8.4. Średnie arytmetyczne z uwzględnieniem odchylenia standartowego

Hamowanie	Opóźnienie hamowania [m/s^2]									Różnica [m/s^2]		
	$a_{H\max}$			a_{Hsr}			a_{Hiso}			$\lvert a_{Hsr} - a_{Hiso} \rvert$		
	δ	min	max	δ	min	max	δ	min	max	δ	min	max
Niegwałtowne	0,33	5,57	6,23	0,39	3,58	4,36	0,33	3,71	4,37	0,05	0,05	0,15
Gwałtowne	0,13	9,31	9,57	0,17	6,50	6,84	0,19	6,56	6,94	0,07	0,04	0,18

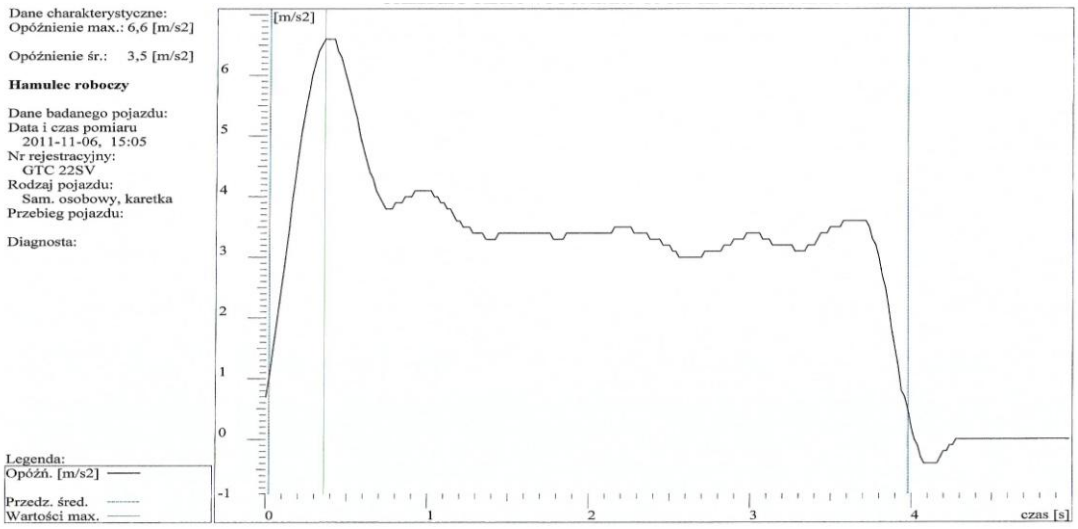
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Różnica pomiędzy wyliczoną wartością średniego opóźnienia hamowania wg ISO oraz wg MFDD dla przeprowadzonych pomiarów przy hamowaniu niegwałtownym wynosiła 0,05…0,15 m/s^2, a dla hamowania gwałtownego 0,04…0,18 m/s^2. Niewielka różnica pomiędzy obliczonymi wartościami średniego opóźnienia hamowania różnymi metodami pozwala na stosowanie ich zamiennie.

Pomiary opóźnienia hamowania dla sprawnego (rys. 8.8) i niesprawnego (rys. 8.9) układu hamulcowego badanego samochodu Toyota Corolla, zostały wykonane przy pomocy opóźnieniomierza AMX 520. Badania przeprowadzono w tych samych warunkach drogowych i pogodowych na suchej jezdni o zniszczonej nawierzchni asfaltowej.



Rys. 8.8. Przebieg czasowy pomiaru opóźnienia hamowania, sprawny układ hamulcowy.
Max opóźnienie hamowania 7,3 m/s^2, średnie opóźnienie hamowania $a_{0,5}$ = 5,8 m/s^2, pomiar 8.7



Rys. 8.9. Przebieg czasowy pomiaru opóźnienia hamowania, niesprawny układ hamulcowy.
Max opóźnienie hamowania 6,6 m/s^2, średnie opóźnienie hamowania $a_{0,5}$ = 3,5 m/s^2, pomiar 8.15

Wykonano po pięć pomiarów gwałtownego hamowania dla sprawnego i uszkodzonego układu hamulcowego. Niesprawność układu hamulcowego polegała na tym, że podczas

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

hamowania następował wyciek płynu hamulcowego z przedniego prawego koła – awaria (nieszczelność) przewodu hamulcowego podczas ekstremalnego hamowania. Prędkość początkowa wynosiła ok 50 km/h. Układ przeciwpoślizgowy ABS był sprawy.

Oprogramowanie przyrządu AMX520 umożliwiało wyznaczenie wartości opóźnienia maksymalnego oraz średniej wartości opóźnienia hamowania $a_{0,5}$ z przedziału, powyżej od 0,5 m/s^2. Wartości średniego opóźnienia hamowania a_{Hiso} wg ISO obliczono w przedziale czasu $t_B - t_E$ dla przyjętych wartości: $t_B = t_1 + 0{,}3$[s], $t_E = t_2 - 0{,}1$[s]. Zestawienie otrzymanych i obliczonych wyników opóźnienia hamowania dla sprawnego układu hamulcowego zamieszczono w tabeli 8.5, a dla niesprawnego układu hamulcowego w tabeli 8.6.

Tabela 8.5. Zestawienie parametrów dla intensywnego hamowania – układ hamulcowy sprawny

Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]			Różnica [m/s^2]
				$a_{H\max}$	a_{Hiso}	$a_{0,5}$	$\lvert a_{ISO} - a_{0,5} \rvert$
8.7	50	Sprawny	Tak	7,3	6,7	5,8	0,9
8.8	50	Sprawny	Tak	7,5	6,9	5,9	1,0
8.9	50	Sprawny	Tak	7,4	6,7	5,8	0,9
8.10	50	Sprawny	Tak	7,6	6,7	5,9	0,8
8.11	50	Sprawny	Tak	7,5	6,6	5,7	0,9
Średnia arytmetyczna				**7,5**	**6,7**	**5,8**	**0,9**

W ramach opracowania wyników obliczono również różnicę średniego opóźnienia hamowania a_{Hiso} i średniego opóźnienia w którym opóźnienie było większe od 0,5 m/s^2.

Tabela 8.6. Zestawienie parametrów dla intensywnego hamowania – układ hamulcowy niesprawny

Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]			Różnica [m/s^2]
				$a_{H\max}$	a_{Hiso}	$a_{0,5}$	$\lvert a_{ISO} - a_{0,5} \rvert$
8.12	50	Niesprawny	Tak	6,2	3,4	3,3	0,1
8.13	50	Niesprawny	Tak	6,4	3,5	3,4	0,1
8.14	50	Niesprawny	Tak	6,5	3,7	3,5	0,2
8.15	50	Niesprawny	Tak	6,6	3,6	3,5	0,1
8.16	50	Niesprawny	Tak	6,4	3,5	3,3	0,2
Średnia arytmetyczna				**6,4**	**3,5**	**3,4**	**0,1**

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Wyniki wartości średnich arytmetycznych z uwzględnieniem odchyleń standardowych eksperymentalnych δ (wzór 6.6) przedstawiono w tabeli 8.7.

Tabela 8.7. Średnie arytmetyczne gwałtownego hamowania z uwzględnieniem odchylenia standartowego

Układ Hamulcowy	Opóźnienie hamowania [m/s^2]									Różnica [m/s^2]		
	$a_{H\max}$			a_{Hiso}			$a_{0,5}$			$\lvert a_{ISO} - a_{0,5} \rvert$		
	δ	min	max	δ	min	max	δ	min	max	δ	min	max
Sprawny	0,1	7,4	7,6	0,1	6,6	6,8	0,1	5,7	5,9	0,1	0,8	1,0
Niesprawny	0,1	6,3	6,5	0,1	3,4	3,6	0,1	3,3	3,5	0,1	0,1	0,2

Dla przeprowadzonych pomiarów występowało małe odchylenie standardowe wynoszące $\delta = 0{,}1$. Świadczy to o tym, że poszczególne wyniki pomiaru skupiały się wokół średniej arytmetycznej.

Średnie opóźnienie hamowania dla przeprowadzonych badań wg ISO wynosiło 6,6…6,8 m/s^2 dla sprawnego układu hamulcowego, a dla hamowania, w którym występował wyciek płynu hamulcowego 3,4..3,6 m/s^2. Różnica średniego opóźnienia hamowania a_{Hiso} i średniego opóźnienia, w którym opóźnienie było większe od 0,5 m/s^2 wynosiła 0,8…1,0 m/s^2 dla pierwszych pięciu pomiarów (w których układ hamulcowy był sprawny), a dla kolejnych pięciu pomiarów przy niesprawnym układzie hamulcowym wynosiła 0,1…0,2 m/s^2.

Czas rejestracji w opóźnieniomierzu AMX 520 wynosił 5 s. Jest to wartość zbyt mała do wykonywania pomiarów intensywnego hamowania na nawierzchniach o małym współczynniku przyczepności oraz przy niesprawnym układzie hamulcowym.

Oprogramowanie dołączone do opóźnieniomierza CL 170 umożliwiało, przy wydruku, obliczenie średniej wartości opóźnienia z przedziału czasu, zadanego przez użytkownika. Podobnie jak w opóźnieniomierzu AMX 520, ustalenie wartości średniego opóźnienia hamowania wg ISO wymaga niestety czasochłonnych obliczeń.

Przyrządy CL 170 oraz AMX 520 są przydatne do pojedynczych pomiarów podczas powypadkowego badania technicznego oraz do badań wskaźnika skuteczności hamowania w stacji kontroli pojazdów.

Spośród trzech przyrządów, którymi wykonywano pomiary, opóźnieniomierz Brek Test LWS-2/MC jako jedyny posiada możliwość obliczenia wartości średniego pełnego opóźnienia hamowania. W związku z czym, wydaje się, że może on zostać wykorzystany do celów badawczych, niezwiązanych z powypadkowymi badaniami pojazdów.

Korzystając z opóźnieniomierza podczas wykonywania powypadkowego badania technicznego pojazdu, należy pamiętać o dołączeniu do opinii raportu zawierającego wykres, przedstawiający przebieg zmian opóźnienia oraz pliku zawierającego dane zarejestrowane w czasie próby hamowania. Biegły, który będzie wykonywał opinię rekonstrukcyjną, będzie mógł na podstawie wykresu oszacować wartość średniego opóźnienia, jakie mógł osiągnąć

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

badany pojazd, a dysponując plikiem z zarejestrowanymi danymi, będzie miał możliwość samodzielnego obliczenia wartości średniego opóźnienia hamowania.

8.4. Hamowanie na nawierzchni gruntowej

Warunkiem zachowania prostoliniowego toru jazdy podczas hamowania są zbliżone wartości sił hamowania prawej i lewej strony samochodu.

W większości przypadków kluczowym elementem rekonstrukcji wypadku drogowego jest ustalenie prędkości początkowej samochodu oraz drogi zatrzymania.

Ślady hamowania, a ściślej blokowania kół, widoczne na jezdni, zawierają cenne informacje z punktu widzenia rekonstrukcji zderzenia. Ogólnie można przyjąć, że ślad intensywnego hamowania zawsze pozostaje na nawierzchni drogi, choć nie zawsze jest ujawniony w miejscu zdarzenia.

Podczas awaryjnego hamowania opony zaczynają przenosić maksymalną siłę hamowania zanim jeszcze zaczną pozostawiać na nawierzchni drogi widoczny ślad. Dlatego przyjęcie długości widocznych śladów hamowania jako drogi przebytej przy maksymalnej intensywności hamowania, z założenia zaniża rzeczywistą długość drogi hamowania [95].

8.4.1. Obiekt badań

Do przeprowadzenia badań posłużył samochód osobowy Toyota Corolla (rys. 8.10 i rys. 8.11). Ciśnienie w ogumieniu zgodne z zaleceniami producenta. W czasie wykonywanych prób hamowania, samochód był obciążony tylko kierowcą.

Rys.8.10. Widok przodu i boku samochód Toyota Corolla oraz ślady hamowania

Rys.8.11. Widok tyłu samochód Toyota Corolla oraz ślady hamowania

8.4.2. Przyrządy pomiarowe

Pomiary wykonano przy użyciu opóźnieniomierza CL 170 oraz Brek Test LWS-2/MC.

8.4.3. Metodyka badań

Badania zostały wykonane w dwóch seriach pomiarowych. Każda poszczególna seria pomiarów została wykona tego samego dnia w tych samych warunkach pogodowych, na tej samej nawierzchni gruntowej. Celem pomiarów w pierwszej serii było określenie wpływu

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

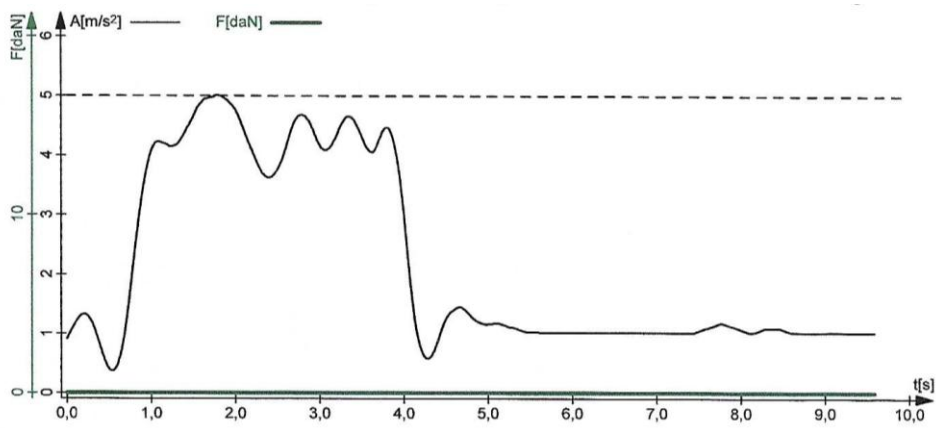
sprawności i niesprawności układu ABS na wartość uzyskanego opóźnienia hamowania dla kompletnego i szczelnego układu hamulcowego. Badania przeprowadzono na mokrej nawierzchni gruntowej (piaszczystej).

W drugiej serii wykonywano próby intensywnego hamowania na suchej, utwardzonej nawierzchni gruntowej. Zmierzono długość śladów hamowania oraz obliczono drogę zatrzymania pojazdu uwzględniając niepewność otrzymanych wyników. Pomiary wykonano przy niesprawnym układzie ABS. Podczas hamowania nastąpiła awaria (rozszczelnienie) układu hamulcowego. Wszystkie próby hamowania były wykonywane przez tego samego kierowcę.

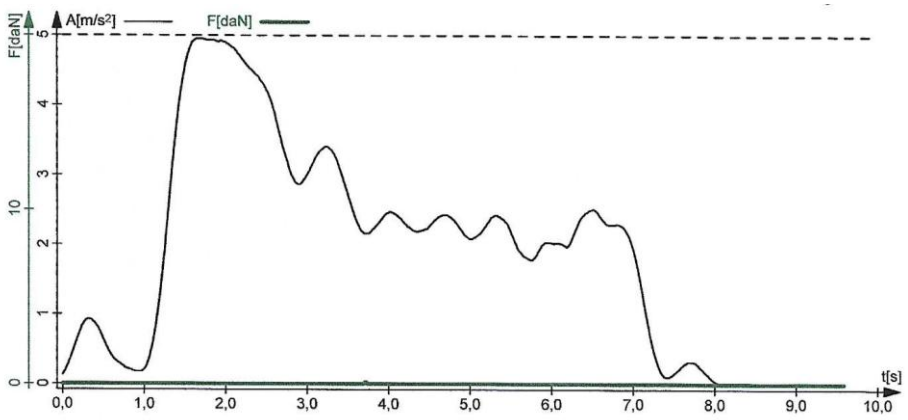
Badany samochód był wyposażony w układ wywołujący awarię jednego z obwodów hamulcowych w trakcie procesu hamowania. Zadaniem dodatkowego układu było wywołanie awaryjnego stanu układu hamulcowego polegającego na rozszczelnieniu jednego z obwodów.

8.4.4. Prezentacja i analiza wyników badań

Otrzymane charakterystyki opóźnienia hamowania samochodu z pierwszej serii pomiarów na mokrej nawierzchni gruntowej zamieszczono na rys. 8.12 i rys. 8.13.



Rys. 8.12. Przebieg opóźnienia hamowania samochodu na mokrej nawierzchni gruntowej ze sprawnym układem ABS - pomiar 8.17



Rys. 8.13. Przebieg opóźnienia hamowania samochodu na mokrej nawierzchni gruntowej z niesprawnym układem ABS - pomiar 8.21

Samochód był rozpędzony do prędkości około 50 km/h, a następnie intensywnie hamowany. Wykonano trzy pomiary dla sprawnego układu ABS i dwie dla niesprawnego układu

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

ABS. Wyniki uzyskane z pierwszej serii pomiarów hamowania samochodu, które zostały wykonane przy prostoliniowym torze jazdy na nawierzchni gruntowej (piaszczystej), zestawiono w tabeli 8.8 i tabeli 8.9. Pomiary opóźnienia hamowania mierzone były przy użyciu opóźnieniomierza CL 170.

Tabela 8.8. Zestawienie parametrów dla intensywnego hamowania na nawierzchni gruntowej (seria1)

Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]		Czas hamowania [s]
				$a_{H\max}$	a_{Hiso}	t_H
8.17	50	Sprawny	Tak	5,0	4,3	2,8
8.18	50	Sprawny	Tak	5,0	4,3	2,8
8.19	50	Sprawny	Tak	4,8	4,4	3,0
Średnia arytmetyczna				**4,9**	**4,3**	**2,9**

Podczas każdego badania zmierzono wartość maksymalnego opóźnienia hamowania oraz wyznaczono wartość opóźnienia średniego.

Tabela 8.9. Zestawienie parametrów dla intensywnego hamowania na nawierzchni gruntowej (seria 1)

Nr próby	Prędkość Początkowa [km/h]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]		Czas hamowania [s]
				$a_{H\max}$	a_{Hiso}	t_H
8.20	50	Sprawny	Nie	5,4	3,0	4,7
8.21	50	Sprawny	Nie	4,9	2,9	4,9
Średnia arytmetyczna				**5,1**	**2,9**	**4,8**

Wyniki wartości średnich arytmetycznych z uwzględnieniem odchyleń standardowych δ (wzór 6.6) przedstawiono w tabeli 8.10 (dla hamowania na nawierzchni gruntowej).

Tabela 8.10. Średnie arytmetyczne badania intensywnego hamowania z uwzględnieniem odchylenia standartowego (seria 1 dla mokrej nawierzchni gruntowej)

Układ ABS	Układ Hamulcowy	Opóźnienie hamowania [m/s^2]						Czas hamowania [s]		
		$a_{H\max}$			a_{Hiso}			t_H		
		δ	min	max	δ	min	max	δ	min	max
Tak	Sprawny	0,1	4,8	5,0	0,1	4,2	4,4	0,1	2,8	3,0
Nie	Sprawny	0,3	4,8	5,4	0,1	2,8	3,0	0,1	4,7	4,9

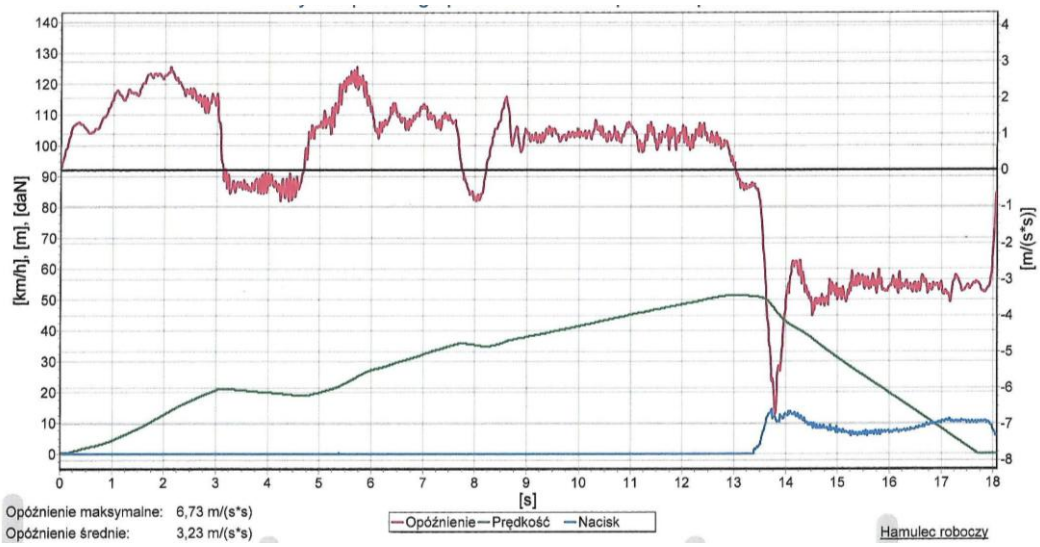
Różnica pomiędzy średnim opóźnieniem hamowania dla sprawnego i uszkodzonego układu ABS mierzonego na mokrej nawierzchni gruntowej wynosi 31…33 %.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

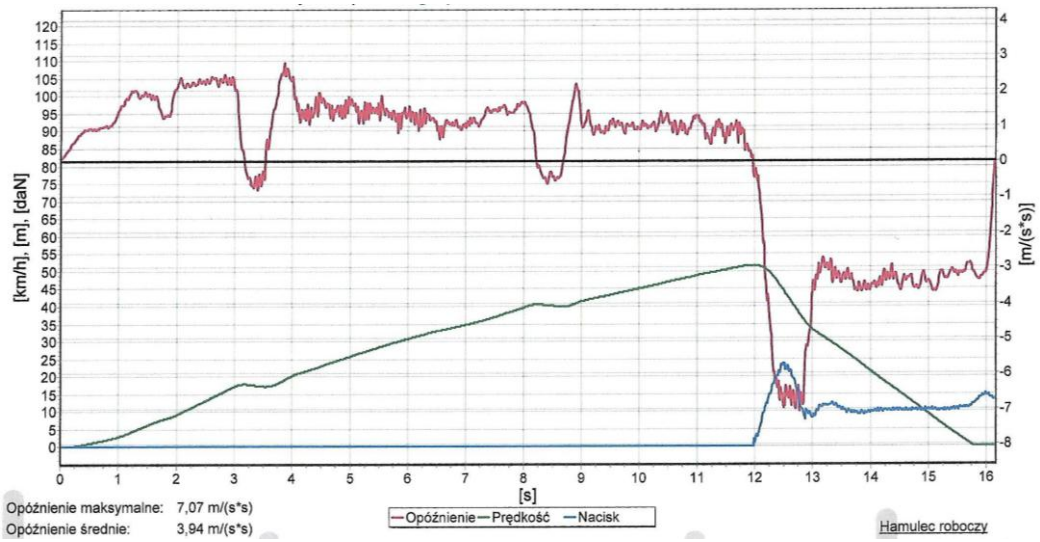
Drugą serię pomiarów wykonano na suchej, utwardzonej nawierzchni gruntowej. Do badań użyto opóźnieniomierza Brek Test LWS-2/MC. Samochód z niesprawnym układem ABS był rozpędzany do prędkości około 50 km/h, a następnie intensywnie hamowany. Wykonano dwie próby dla niesprawnego układu hamulcowego. Wybrane pomiary zamieszczono w tabeli 8.11, a otrzymane charakterystyki opóźnienia hamowania z drugiej serii pomiarów zamieszczono na rys. 8.14 i rys. 8.15. Zmierzono również widoczne ślady hamowania na nawierzchni gruntowej.

Tabela 8.11. Zestawienie parametrów dla intensywnego hamowania na nawierzchni gruntowej (seria 2)

Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]		Długość śladu hamowania [m]
				$a_{H\max}$	a_{Hsr}	S_L
8.22	50	Niesprawny	Nie	6,7	3,2	29,3
8.23	50	Niesprawny	Nie	7,1	3,9	23,9



Rys. 8.14. Przebieg parametrów ruchu podczas intensywnego hamowania na utwardzonej nawierzchni gruntowej, bez układu ABS, układ hamulcowy niesprawny - pomiar 8.22

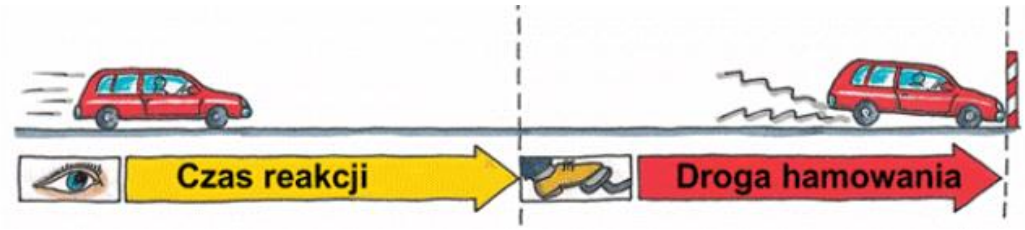


Rys. 8.15. Przebieg parametrów ruchu podczas intensywnego hamowania na utwardzonej nawierzchni gruntowej, bez układu ABS, układ hamulcowy niesprawny - pomiar 8.23

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Droga zatrzymania jest suma dwóch odcinków drogi (rys. 8.16):

- przebytej w czasie reakcji kierowcy na powstały stan zagrożenia,
- drogi hamowania.



Rys. 8.16. Droga zatrzymania = droga w czasie reakcji kierowcy + droga hamowania

Na podstawie otrzymanych wyników zamieszczonych w tabeli 8.12 wyznaczono drogę zatrzymania (tabela 8.13) z uwzględnieniem oceny niepewności wyniku obliczeń. Celem obliczeń było wyznaczenie drogi zatrzymania omówionej już w rozdziale 7 (wzór 7.12 i wzór 7.13). Bezwzględna niepewność została obliczona z wykorzystaniem metody różniczki zupełnej pierwszego rzędu (wzór 6.13) oraz metody wartości skrajnych.

Tabela 8.12. Obliczona droga zatrzymania samochodu na nawierzchni gruntowej (seria 2)

Nr próby	Prędkość początkowa [km]	Prędkość początkowa [m/s]	Czas reakcji [s]	Czas narastania [s]	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	Droga hamowania [m]	Droga zatrzymania [m]
8.22	50	13,9	1,0	0,3	3,2	30,2	46,2
8.23	50	13,9	1,0	0,3	3,9	24,8	40,8

Przyjęty do obliczeń zestaw danych umieszczono w tabeli 8.13. Prędkość początkowa wykonanych pomiarów odpowiada prędkości dopuszczalnej na terenie zabudowanym, z 10 % tolerancją. Wartość zmierzonego opóźnienia przyjęto z niepewnością zgodną z dokumentacją techniczną opóźnieniomierza. W przypadku czasu reakcji i czasu narastania opóźnienia wartości niepewności oszacowano na podstawie danych zawartych w literaturze [134].

Tabela 8.13. Zestawienie parametrów przyjętych do obliczeń

Parametr	Oznaczenie	Wartość nominalna	Oznaczenie	Przyjęta niepewność bezwzględna
Prędkość początkowa	v_P	13,9 m/s	Δv_P	1,39 m/s
Opóźnienie hamowania	a_H	3,2 m/s^2	Δa_H	0,10 m/s
Opóźnienie hamowania	a_H	3,9 m/s^2	Δa_H	0,10 m/s
Czas reakcji kierowcy	t_{RK}	1,0 s	Δt_{RK}	0,20 s
Czas narastania opóźnienia	t_U	0,3 s	Δt_U	0,10 s

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Wzory potrzebne do obliczenia drogi zatrzymania metodą różniczki zupełnej:

$$S_Z = \left(t_{RK} + \frac{t_U}{2} \right) \cdot v_P + \frac{v_P^2}{2 \cdot a_H} = \left(t_{RK} + \frac{t_U}{2} \right) \cdot v_p + S_H$$

$$\Delta S_Z = \left| \left(\frac{\partial S_Z}{\partial V_P} \right) \Delta V_p \right| + \left| \left(\frac{\partial S_Z}{\partial a_H} \right) \Delta a_H \right| + \left| \left(\frac{\partial S_Z}{\partial t_{RK}} \right) \Delta t_{RK} \right| + \left| \left(\frac{\partial S_Z}{\partial t_R} \right) \Delta t_R \right| \qquad (8.1)$$

Współczynniki wrażliwości pierwszego rzędu:

$$\frac{\partial S_Z}{\partial V_p} = t_{RK} + \frac{t_U}{2} + \frac{V_P}{a_H}$$

$$\frac{\partial S_Z}{\partial a_H} = -\frac{{V_P}^2}{2 \cdot a_H}$$

$$\frac{\partial S_Z}{\partial V_p} = V_P$$

$$\frac{\partial S_Z}{\partial V_p} = \frac{V_P}{2}$$

Niepewność bezwzględna drogi zatrzymania dla pomiaru 8.22 wynosi: $\Delta S_Z = 14{,}2$ m

Niepewność bezwzględna drogi zatrzymania dla pomiaru 8.23 wynosi: $\Delta S_Z = 12{,}6$ m

Metoda wartości skrajnych, nazywana jest również zasada maksymalnego błędu [19]. Zakłada, że wartość poszukiwanej wielkości, znajduje się pomiędzy wartościami minimalnymi i maksymalnymi. Wartości skrajne możemy wyznaczyć z poniższych wzorów:

$$S_{Z\min} = \left(t_{RK\min} + \frac{t_{U\min}}{2} \right) \cdot v_{P\min} + \frac{v_{P\min}^2}{2 \cdot a_{H\min}} \qquad (8.2)$$

$$S_{Z\max} = \left(t_{RK\max} + \frac{t_{U\max}}{2} \right) \cdot v_{P\max} + \frac{v_{P\max}^2}{2 \cdot a_{H\max}} \qquad (8.3)$$

Długość drogi zatrzymania stanowi połowę sumy $S_{Z\min}$ i $S_{Z\max}$.

$$S_Z = (S_{Z\max} + S_{Z\min})/2 \qquad (8.4)$$

Za niepewność bezwzględną należy przyjąć połowę różnicy między $S_{Z\min}$ i $S_{Z\max}$.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

$$\Delta S_Z = (S_{Z\max} - S_{Z\min})/2 \tag{8.5}$$

Dla pomiaru 8.22 długość drogi zatrzymania wynosiła:

$$S_Z = 46{,}8\,\text{m}, \quad S_{Z\min} = 35{,}7\,\text{m}, \quad S_{Z\max} = 57{,}9\,\text{m}.$$

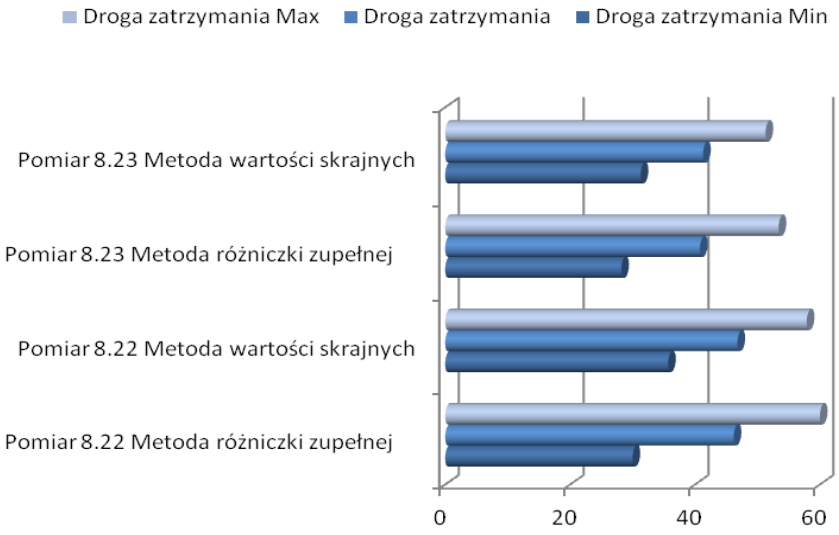
Dla pomiaru 8.23 długość drogi zatrzymania wynosiła:

$$S_Z = 41{,}3\,\text{m}, \quad S_{Z\min} = 31{,}3\,\text{m}, \quad S_{Z\max} = 51{,}4\,\text{m}.$$

Zestawienie wyników obliczeń dwiema metodami z uwzględnieniem niepewności dla modelu matematycznego opisanego wzorem 7.13 zamieszczono w tabeli 8.14 oraz na wykresie 8.1.

Tabela 8.14. Zestawienie niepewności obliczeń wykonanych dwiema metodami

Pomiar	Metoda	Długość drogi zatrzymania [m]	Niepewność w ocenie długości drogi zatrzymania		Możliwy zakres długości drogi zatrzymania [m]	
			bezwzględna	względna		
		S_Z [m]	ΔS_Z [m]	$\Delta S_Z / S_Z$ [%]	$S_{Z\min}$	$S_{Z\max}$
8.22	Metoda różniczki zupełnej	46,2	14,2	31	30,0	60,4
8.22	Metoda wartości skrajnych	46,8	11,1	24	35,7	57,9
8.23	Metoda różniczki zupełnej	40,8	12,6	31	28,2	53,4
8.23	Metoda wartości skrajnych	41,3	10,0	24	31,3	51,3



Wykres 8.1. Zestawienie niepewności obliczeń wykonanych dwiema metodami

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Z analizy wyników przedstawionych w tabeli 8.14, można wnioskować, że wprowadzenie do obliczeń niepewności danych prowadzi do dużych różnic rezultatów w stosunku do rozwiązań nominalnych (tzn. bez uwzględnienia tych niepewności).

Przeprowadzając obliczenia z rekonstrukcji wypadku drogowego, powinniśmy uwzględnić niepewność danych, ponieważ pominięcie niepewności może prowadzić do fałszywej hipotezy o przebiegu danej sytuacji wypadkowej. Niewłaściwie postawiona hipoteza o przebiegu wypadku może mieć poważne konsekwencje prawne dla jej uczestników.

Szacowanie niepewności metodą różniczki zupełnej oraz metodą wartości skrajnych są bardzo przydatne podczas analizy przypadków w których nie ma możliwości wielokrotnego pomiaru wielkości, stanowiących dane do obliczeń. Dlatego bardzo ważne jest oszacowanie niepewności na podstawie wiedzy ogólnej lub na podstawie wiarygodnych wyników badań zamieszczonych w literaturze fachowej.

8.5. Hamowanie na nawierzchni asfaltowej

Opóźnienie hamowania jest jednym z podstawowych parametrów ustalenia prędkości pojazdu w okresie bezpośrednio poprzedzającym zderzenie z przeszkoda lub też innym uczestnikiem ruchu. Parametr ten jest zależny od wielu czynników, które biegły rekonstruujący wypadek drogowy, powinien uwzględnić. Czynniki te, to między innymi: stan nawierzchni podłoża, po którym przemieszcza się hamujący pojazd, rodzaj i stan ogumienia kół, stan techniczny układ hamulcowego i zawieszenia pojazdu. Aby określić w sposób zadawalający stan techniczny układu hamulcowego, należy wykonać powypadkowe badanie techniczne pojazdu.

W rekonstrukcji wypadku drogowego podczas szacowania prędkości pojazdu bezpośrednio przed rozpoczęciem intensywnego hamowania, do wzorów często wprowadzane są wartości, które przyjmuje się na podstawie zestawień tabelarycznych literatury.

Analizując znaczenie niepewności obliczeń w rekonstrukcji wypadku, należy postawić sobie pytanie, jaka będzie wiarygodność naszych obliczeń jeżeli prędkość początkową samochodu wyznaczymy na podstawie wartości opóźnienia hamowania przyjętej z literatury?

Dostępne w literaturze tablice określają najczęściej występujące zakresy współczynnika przyczepności na danej nawierzchni jezdni ze sprawnym układem hamulcowym.

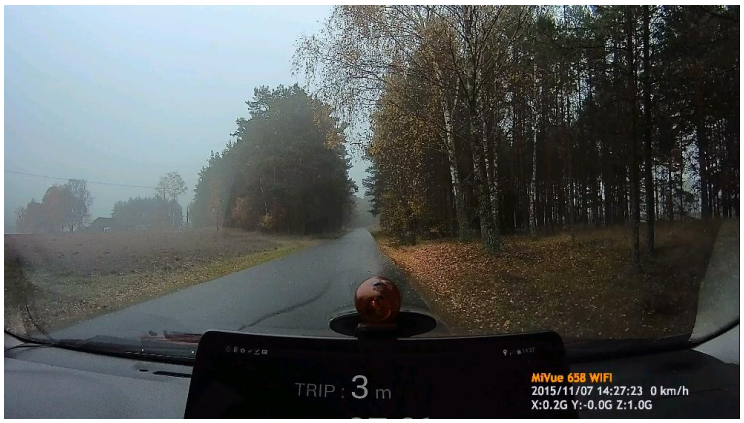
Przeprowadzono szereg prób intensywnego hamowania w celu określenia wpływu niesprawności układu hamulcowego oraz uszkodzenia układu ABS na proces hamowania.

8.5.1. Obiekt badań

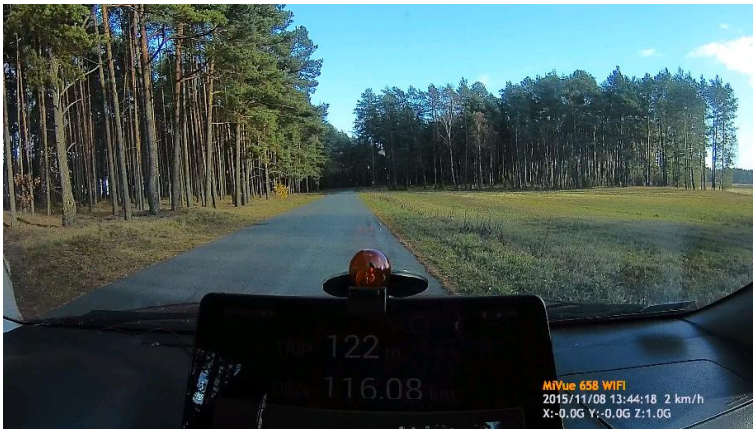
Do przeprowadzenia badań posłużył samochód osobowy Toyota Corolla. Widok jezdni, na której wykonywano pomiary z kamery zainstalowanej wewnątrz samochodu pokazano na rys. 8.17 i rys. 8.18. Ciśnienie w ogumieniu zgodne z zaleceniami producenta. W czasie wykonywanych prób hamowania, samochód był obciążony tylko kierowcą.

W samochodzie zamontowano układ wywołujący awarię jednego z obwodów hamulcowych w trakcie procesu hamowania.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 8.17. Widok mokrej nawierzchni jezdni z wnętrza samochodu Toyota Corolla



Rys. 8.18. Widok suchej nawierzchni jezdni z wnętrza samochodu Toyota Corolla

8.5.2. Przyrząd pomiarowy

Pomiary wykonano przy użyciu opóźnieniomierza Brek Test LWS-2/MC.

8.5.3. Metodyka badań

Przedstawiono zarys problematyki dotyczącej uszkodzeń mogących wystąpić w układach hamulcowych pojazdów oraz wyniki innowacyjnych badań drogowych procesu hamowania samochodu osobowego na suchej i mokrej 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 działającym układem ABS oraz po jego wyłączeniu. Wyniki badań drogowych przedstawiono w postaci charakterystyk wybranych parametrów ruchu pojazdu w funkcji czasu.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Badanie zostały wykonane w dwóch seriach pomiarowych na suchej i mokrej nawierzchni asfaltowej, przy temperaturze dodatniej. Każda poszczególna seria pomiarów została wykona tego samego dnia w tych samych warunkach pogodowych, na tej samej nawierzchni asfaltowej. Celem pomiarów w pierwszej serii było określenie wpływu sprawności i niesprawności układu hamulcowego dla sprawnego i niesprawnego układu ABS na wartość uzyskanego opóźnienia hamowania na suchej nawierzchni asfaltowej. Natomiast w drugiej serii wykonywano próby intensywnego hamowania na tej samej nawierzchni asfaltowej, ale po opadach deszczu. Wszystkie próby hamowania były wykonywane przez tego samego kierowcę. Podczas przeprowadzanych pomiarów samochód był rozpędzany do prędkości około 50 – 60 km/h, a następnie intensywnie hamowany.

8.5.4. Hamowania na suchej nawierzchni asfaltowej

Wykonano szereg pomiarów intensywnego hamowania na suchej, gładkiej nawierzchni asfaltowej. Otrzymane wyniki zestawiono w tabelach od 8.15 do 8.18. Wybrane charakterystyki z pierwszej serii pomiarów zamieszczono na rys. 8.19 – rys. 8.30.

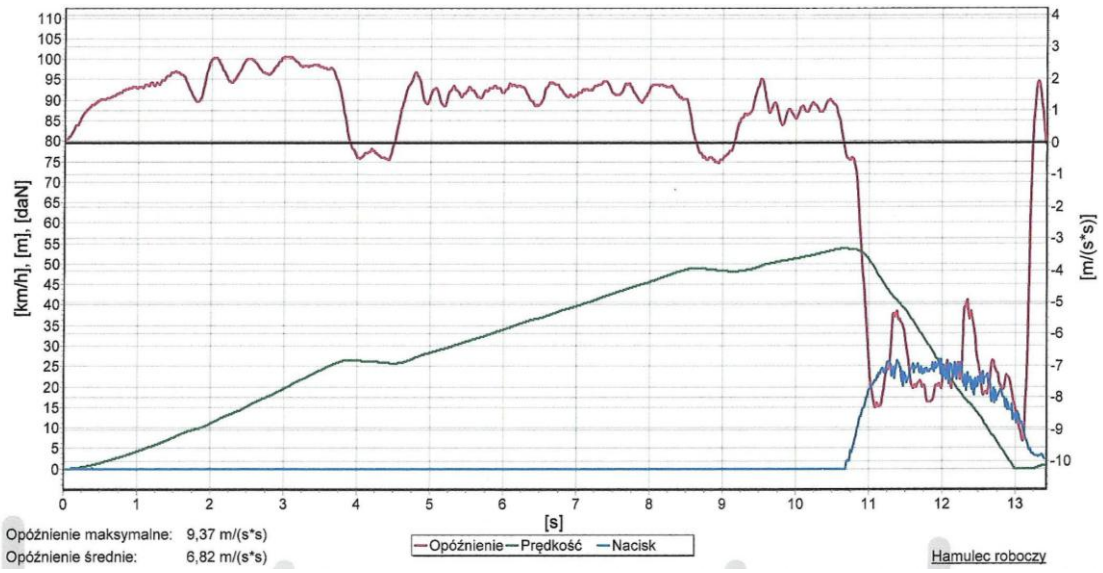
Tabela 8.15. Hamowania na suchej nawierzchni asfaltowej, układ hamulcowy sprawny, ABS sprawny

Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Prędkość początkowa [m/s]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	
					$a_{H\max}$	a_{Hsr}
8.24	55	15,3	Sprawny	Tak	9,6	7,1
8.25	54	15,0	Sprawny	Tak	9,4	6,8
8.26	53	14,7	Sprawny	Tak	8,4	6,9
8.27	53	14,7	Sprawny	Tak	9,4	6,7
8.28	58	16,1	Sprawny	Tak	9,6	6,9
		Średnia arytmetyczna			**9,3**	**6,9**

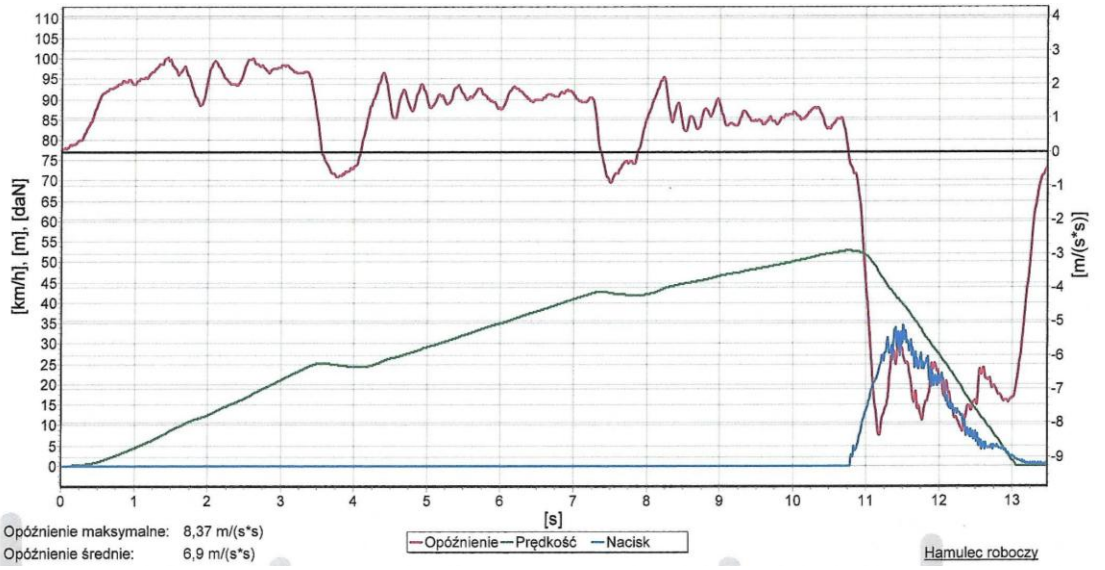
Tabela 8.16. Hamowania na suchej nawierzchni asfaltowej, układ hamulcowy sprawny, ABS niesprawny

Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Prędkość początkowa [m/s]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	
					$a_{H\max}$	a_{Hsr}
8.29	53	14,7	Sprawny	Nie	8,8	6,9
8.30	55	15,3	Sprawny	Nie	8,9	7,2
8.31	53	14,7	Sprawny	Nie	8,7	6,8
8.32	55	15,3	Sprawny	Nie	8,8	6,9
8.33	54	15,0	Sprawny	Nie	9,0	6,7
		Średnia arytmetyczna			**8,8**	**6,9**

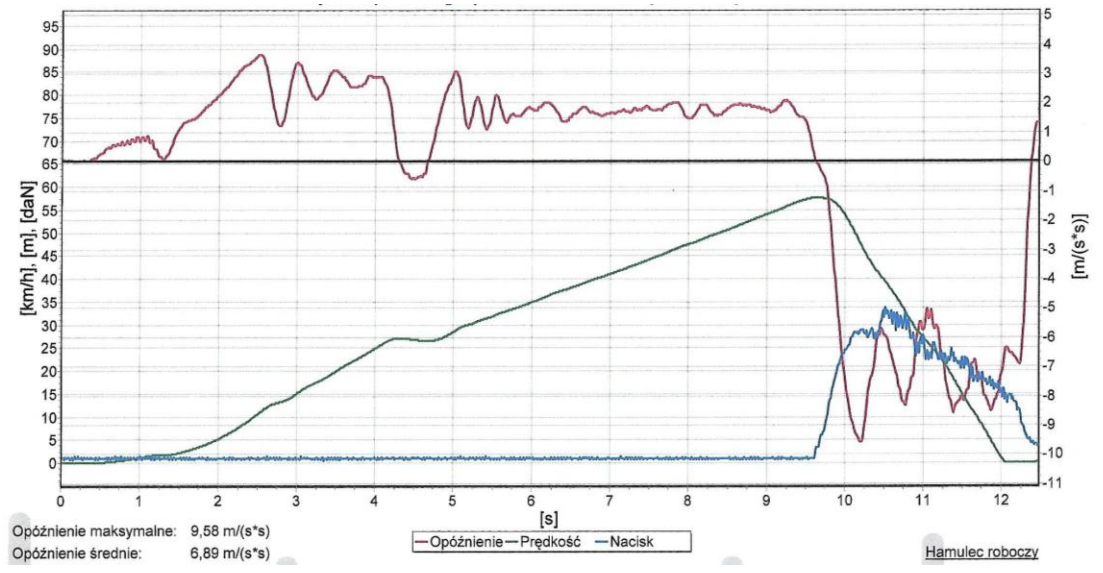
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 8.19. Przebieg parametrów ruchu intensywnego hamowania (z układem ABS) - pomiar 8.25

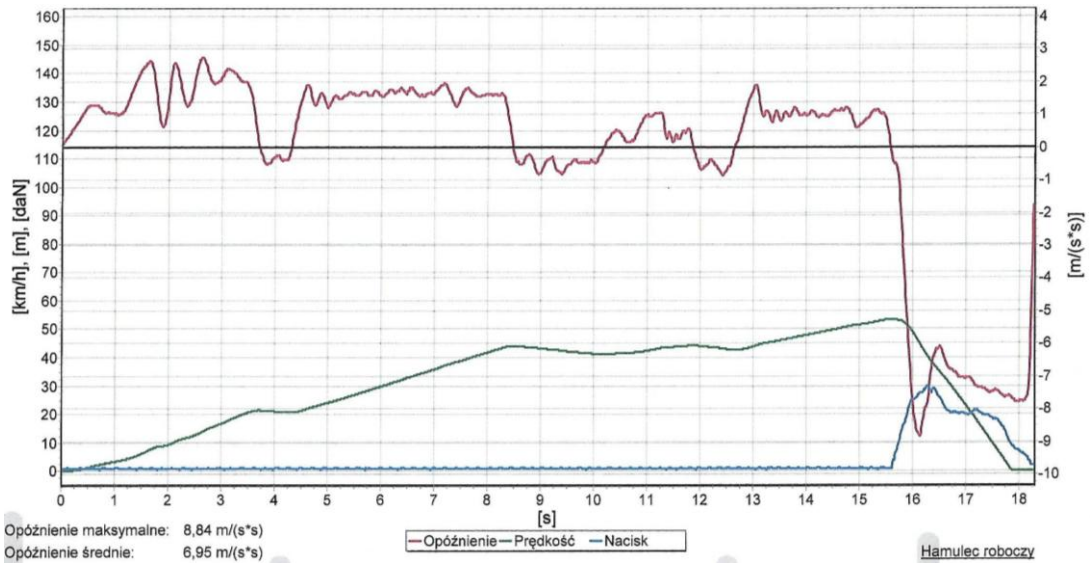


Rys. 8.20. Przebieg parametrów ruchu intensywnego hamowania (z układem ABS) - pomiar 8.26

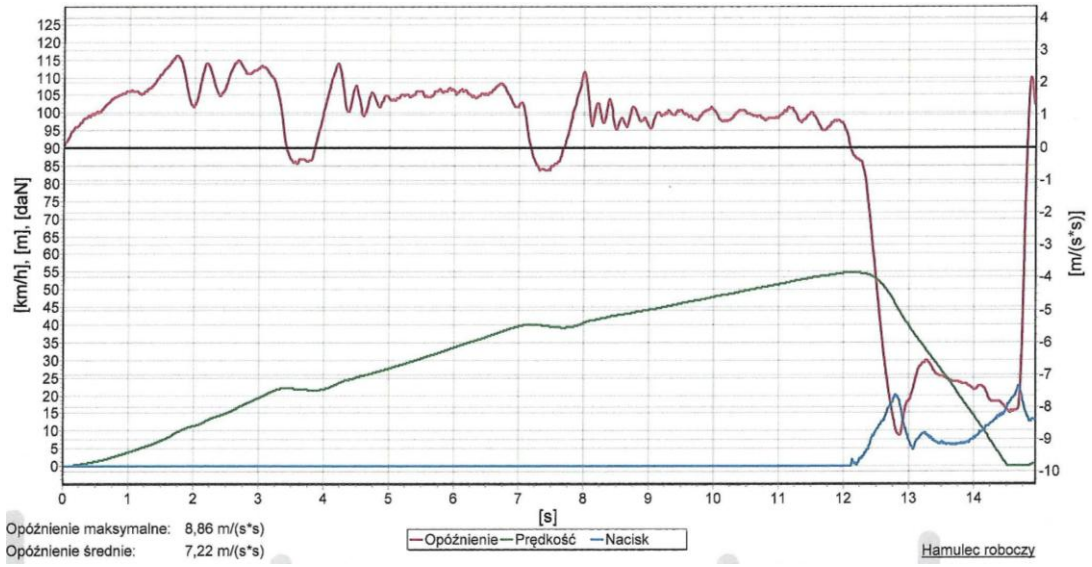


Rys. 8.21. Przebieg parametrów ruchu intensywnego hamowania (z układem ABS) - pomiar 8.28

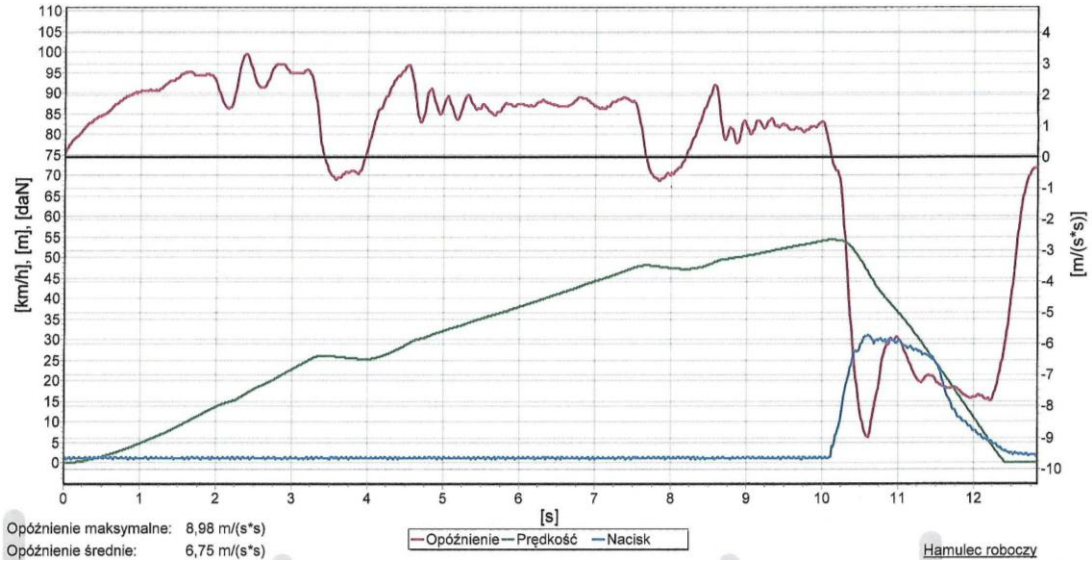
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 8.22. Przebieg parametrów ruchu intensywnego hamowania (bez układu ABS) - pomiar 8.29



Rys. 8.23. Przebieg parametrów ruchu intensywnego hamowania (bez układu ABS) - pomiar 8.30



Rys. 8.24. Przebieg parametrów ruchu intensywnego hamowania (bez układu ABS) - pomiar 8.33

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

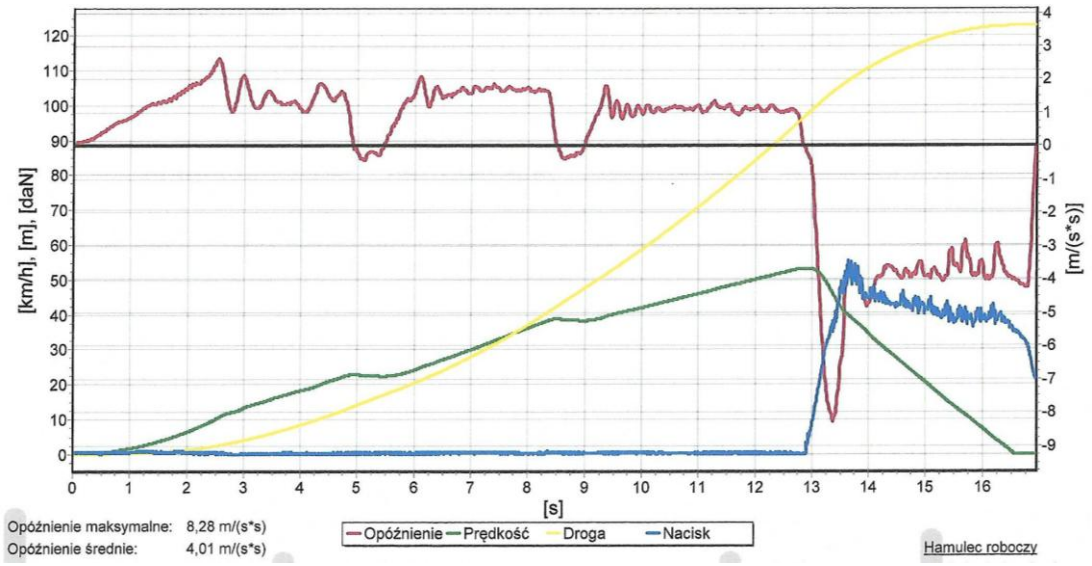
Tabela 8.17. Hamowania na suchej nawierzchni asfaltowej, układ hamulcowy niesprawny, ABS sprawny

Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Prędkość początkowa [m/s]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	
					$a_{H\max}$	a_{Hsr}
8.34	53	14,7	Nieprawny	Tak	8,3	4,0
8.35	53	14,7	Niesprawny	Tak	8,6	3,9
8.36	52	14,4	Niesprawny	Tak	8,0	4,1
8.37	52	14,4	Niesprawny	Tak	8,1	4,0
8.38	53	14,7	Niesprawny	Tak	9,5	4,3
8.39	56	15,6	Niesprawny	Tak	8,7	5,1
8.40	58	16,1	Niesprawny	Tak	9,2	4,6
8.41	55	15,3	Niesprawny	Tak	8,4	4,2
8.42	57	15,8	Niesprawny	Tak	9,1	4,7
8.43	54	15,0	Niesprawny	Tak	8,9	4,4
8.44	57	15,8	Niesprawny	Tak	7,8	4,5
8.45	60	16,7	Niesprawny	Tak	8,2	5,5
8.46	59	16,4	Niesprawny	Tak	8,7	4,9
8.47	58	16,1	Niesprawny	Tak	8,2	4,4
8.48	59	16,4	Niesprawny	Tak	8,7	6,4
8.49	55	15,3	Niesprawny	Tak	8,2	4,8
		Średnia arytmetyczna			**8,5**	**4,6**

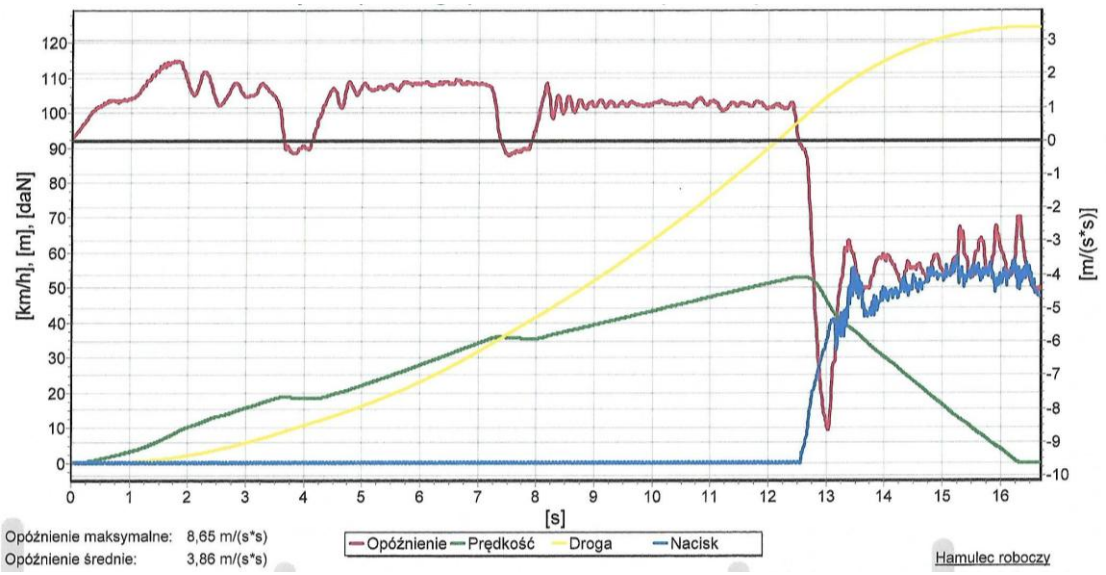
Tabela 8.18. Hamowania na suchej nawierzchni asfaltowej, układ hamulcowy niesprawny, bez ABS

Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Prędkość początkowa [m/s]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	
					$a_{H\max}$	a_{Hsr}
8.50	54	15,0	Niesprawny	Nie	9,1	4,4
8.51	53	14,7	Niesprawny	Nie	9,0	4,7
8.52	52	14,4	Niesprawny	Nie	7,9	3,5
8.53	53	14,7	Niesprawny	Nie	8,6	4,1
8.54	51	14,2	Niesprawny	Nie	8,3	3,9
8.55	52	14,4	Niesprawny	Nie	8,2	3,7
		Średnia arytmetyczna			**8,5**	**4,0**

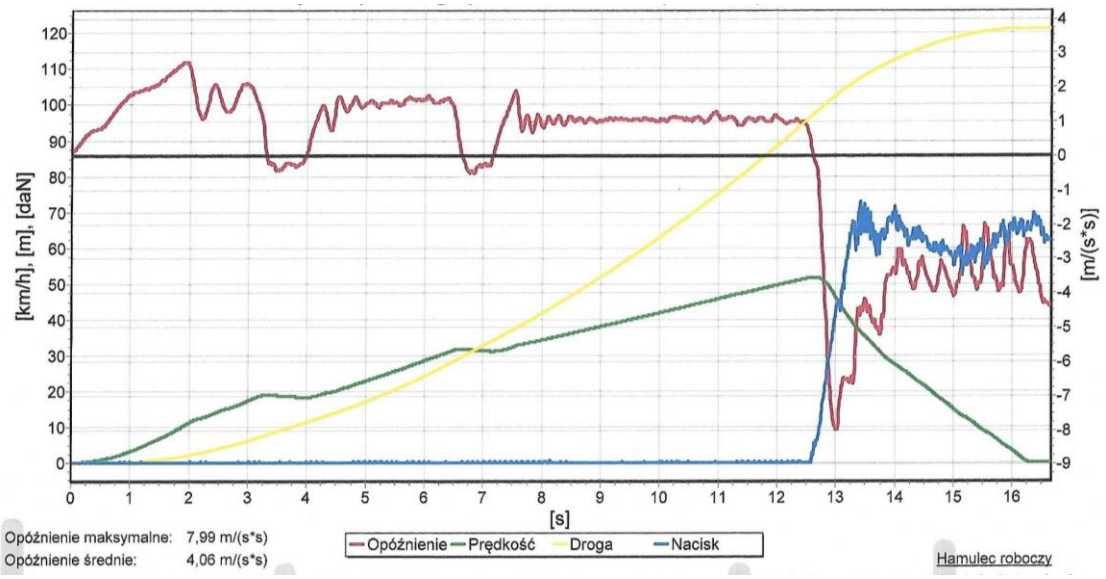
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 8.25. Przebieg hamowania z niesprawnym układem hamulcowym (z układem ABS) - pomiar 8.34

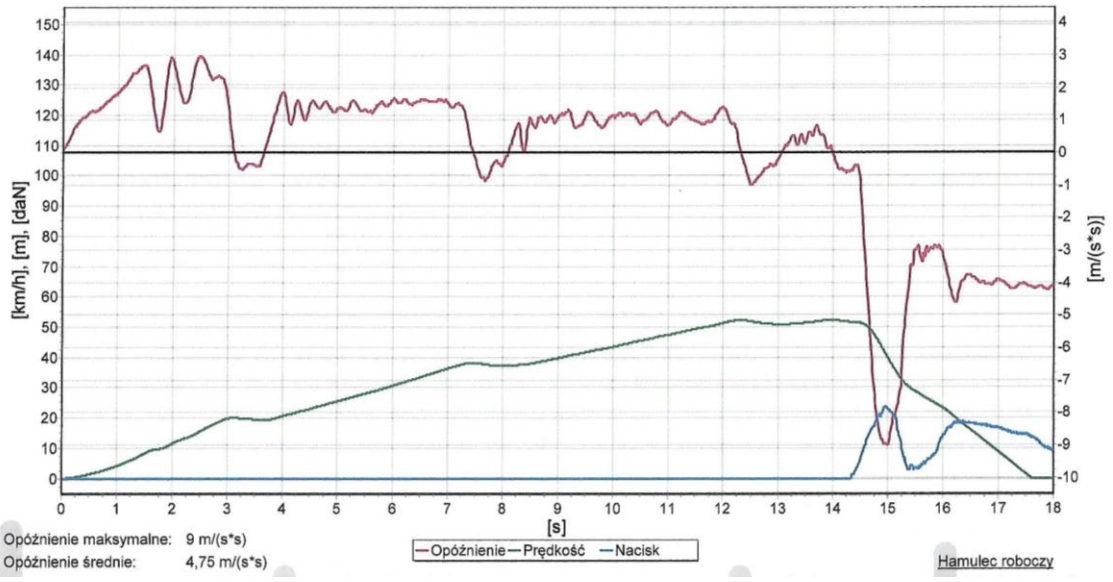


Rys. 8.26. Przebieg hamowania z niesprawnym układem hamulcowym (z układem ABS) - pomiar 8.35

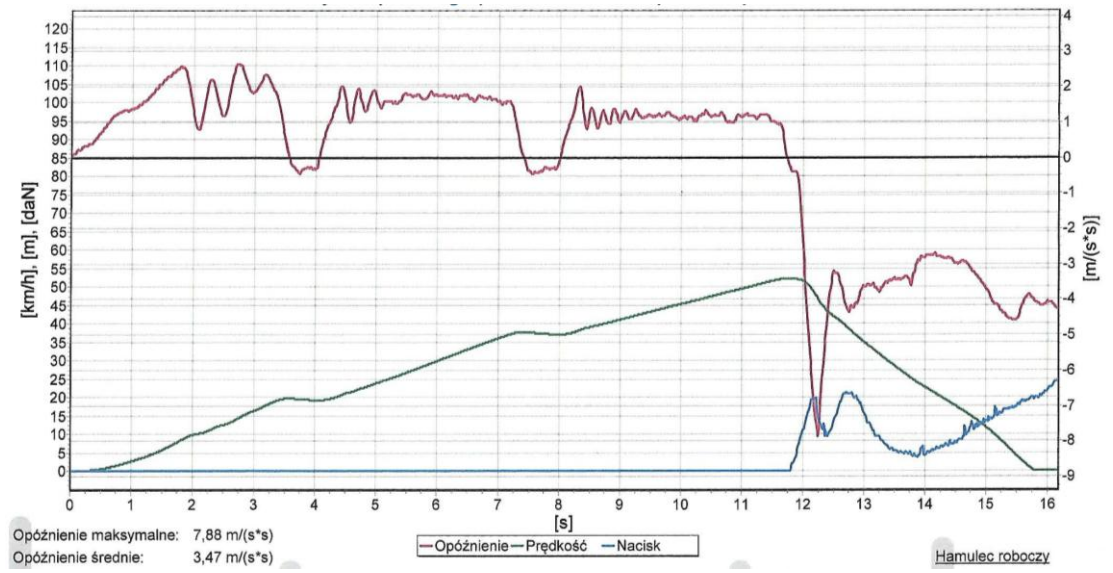


Rys. 8.27. Przebieg hamowania z niesprawnym układem hamulcowym (z układem ABS) - pomiar 8.36

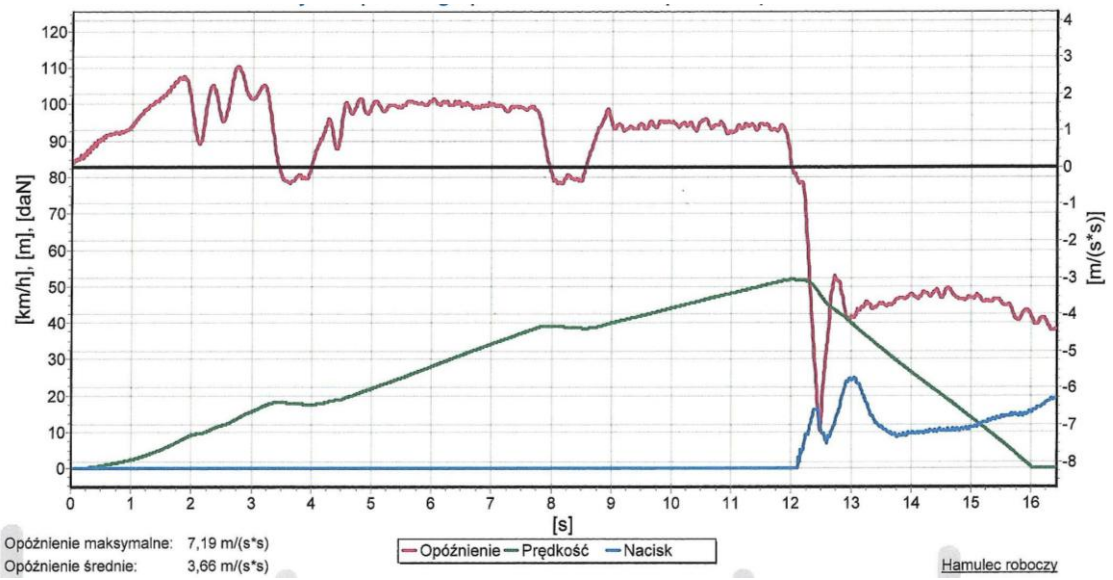
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 8.28. Przebieg hamowania z niesprawnym układem hamulcowym (bez układu ABS) - pomiar 8.51



Rys. 8.29. Przebieg hamowania z niesprawnym układem hamulcowym (bez układu ABS) - pomiar 8.52



Rys. 8.30. Przebieg hamowania z niesprawnym układem hamulcowym (bez układu ABS) - pomiar 8.55

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

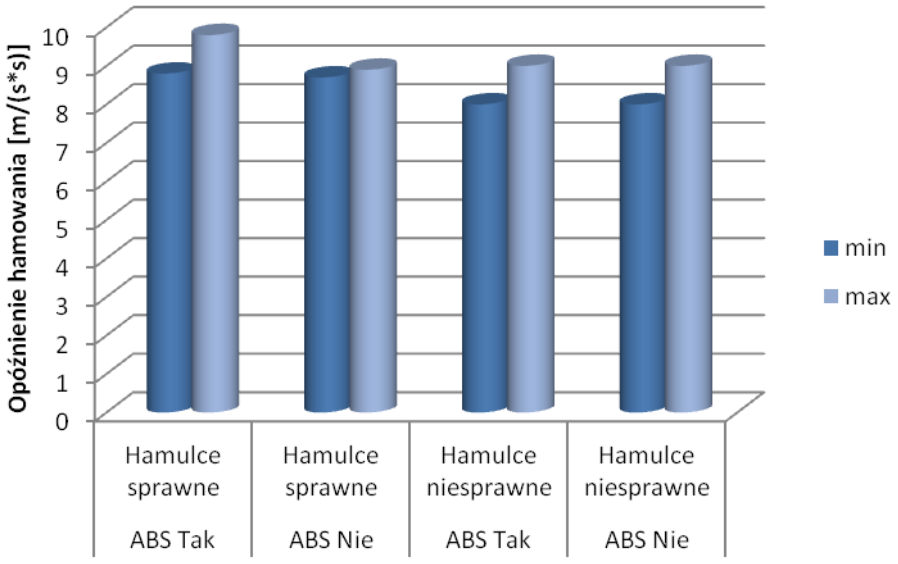
Analizując wartości średniego opóźnienia hamowania zamieszczone w tabeli 8.17 i tabeli 8.18 można zaobserwować znaczne różnice w otrzymanych wynikach badań. Wynika to z faktu, że uszkodzenie obwodu układu hamulcowego podczas intensywnego hamowania nie następowało zawsze w tym samym czasie po naciśnięciu na pedał hamulca. Można to zaobserwować analizując przedstawione wybrane wykresy przebiegu parametrów ruchu podczas hamowania (rys. 8.25 – rys. 8.30).

Zestawienie średnich arytmetycznych z uwzględnieniem odchylenia standardowego pomiarów intensywnego hamowania wykonanych na suchej, gładkiej nawierzchni asfaltowej zamieszczono w tabeli 8.19. Zestawienie wartości maksymalnych opóźnienia hamowania pokazano na wykresie 8.2, a wartości średnich opóźnienia hamowania na wykresie 8.3.

Drogę hamowania wyliczono dla prędkości początkowej hamowania wynoszącej 50 km/h (13,9 m/s) na podstawie wzoru 7.10, zestawieni zamieszczono na wykresie 8.4.

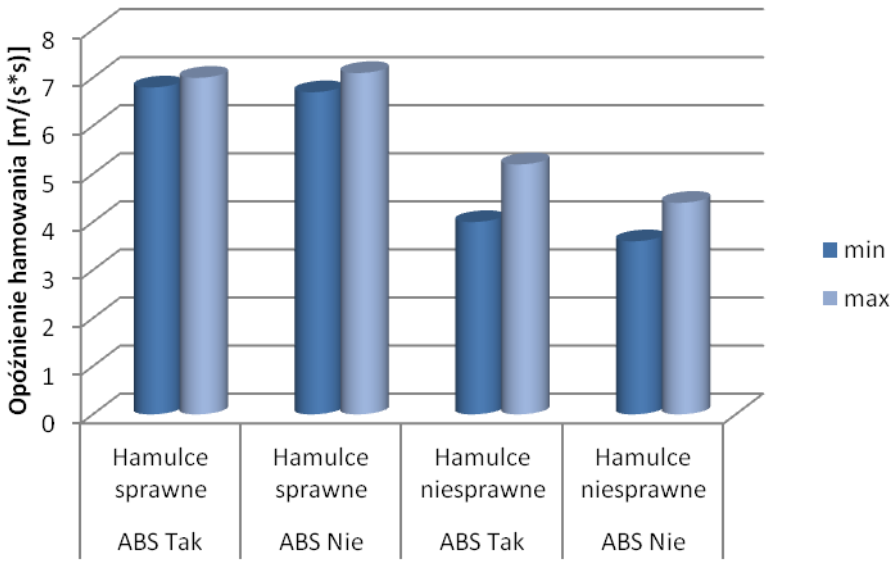
Tabela 8.19. Średnie arytmetyczne badania intensywnego hamowania z uwzględnieniem odchylenia standardowego (seria 1 dla suchej, gładkiej nawierzchni asfaltowej)

Układ ABS	**Układ Hamulcowy**	**Opóźnienie hamowania [m/s^2]**						**Droga hamowania [m]**	
		$a_{H\max}$			a_{Hsr}			S_H	
		δ	min	max	δ	min	max	min	max
Tak	Sprawny	**0,5**	8,8	9,8	**0,1**	6,8	7,0	13,8	14,2
Nie	Sprawny	**0,1**	8,7	8,9	**0,2**	6,7	7,1	13,6	14,4
Tak	Niesprawny	**0,5**	8,0	9,0	**0,6**	4,0	5,2	18,6	24,1
Nie	Niesprawny	**0,5**	8,0	9,0	**0,4**	3,6	4,4	22,0	26,8



Wykres 8.2. Zestawienie maksymalnych wartości opóźnienia hamowania dla suchej jezdni asfaltowej

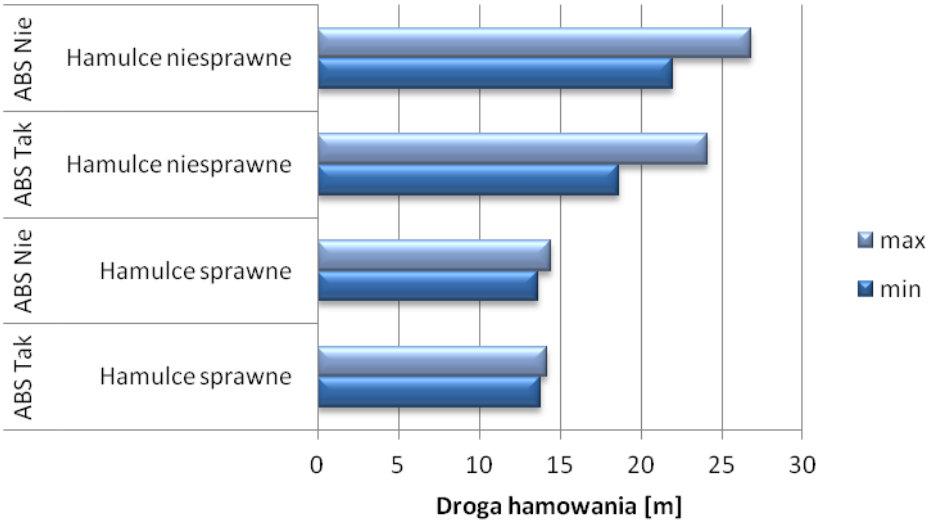
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Wykres 8.3. Zestawienie średnich wartości opóźnienia hamowania dla suchej jezdni asfaltowej

Różnica pomiędzy średnim opóźnieniem hamowania dla sprawnego i uszkodzonego układu hamulcowego przy sprawnym układzie ABS dla suchej nawierzchni asfaltowej wynosi 26…41 %. Natomiast dla pomiarów wykonanych przy niesprawnym układzie ABS różnica średniego opóźnienia hamowania dla sprawnego i niesprawnego układu hamulcowego wynosiła 38…46 %. Średnie w pełni rozwinięte opóźnienie hamowania (MFDD) dla sprawnego układu hamulcowego i sprawnego układu ABS wynosiło 6,8…7,0 m/s^2, w przypadku, gdy wystąpiło uszkodzenie obwodu hamulcowego i nastąpił wyciek płynu hamulcowego, to wartość średniego opóźnienia hamowania wyniosła już 4,0…5,2 m/s^2.

W wyniku uszkodzenia (rozszczelnienia) obwodu hydraulicznego układu hamulcowego nastąpił wyraźny spadek opóźnienia hamowania uzyskiwanego przez badany pojazd.



Wykres 8.4. Zestawienie drogi hamowania z prędkości początkowej 50 km/h, badania wykonane na suchej jezdni asfaltowej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

8.5.5. Hamowania na mokrej nawierzchni asfaltowej

Wykonano 14 pomiarów intensywnego hamowania na mokrej, gładkiej nawierzchni asfaltowej. Otrzymane wyniki zestawiono w tabelach od 8.20 do 8.22. Wybrane charakterystyki z drugiej serii pomiarów zamieszczono na rys. 8.31 – rys. 8.39.

Tabela 8.20. Hamowania na mokrej nawierzchni asfaltowej, układ hamulcowy sprawny, ABS sprawny

Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Prędkość początkowa [m/s]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	
					$a_{H\max}$	a_{Hsr}
8.56	52	14,4	Sprawny	Tak	8,2	6,9
8.57	52	14,7	Sprawny	Tak	8,5	6,8
8.58	53	15,0	Sprawny	Tak	8,4	7,0
8.59	52	14,4	Sprawny	Tak	8,1	6,6
		Średnia arytmetyczna			**8,3**	**6,8**

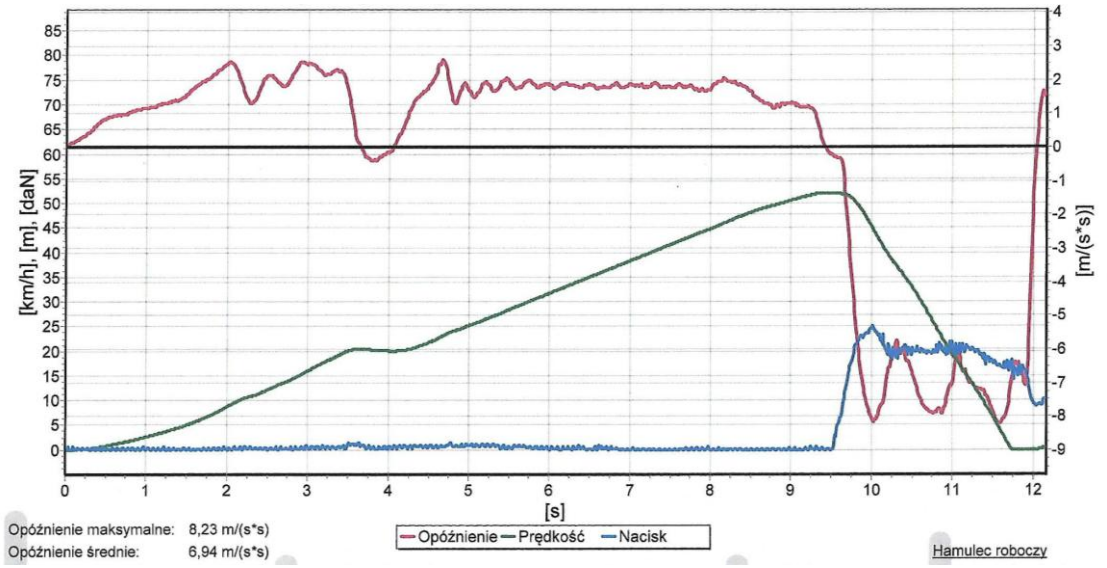
Tabela 8.21. Hamowania na mokrej nawierzchni asfaltowej, układ hamulcowy sprawny, ABS niesprawny

Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Prędkość początkowa [m/s]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	
					$a_{H\max}$	a_{Hsr}
8.60	53	14,7	Sprawny	Nie	9,0	6,1
8.61	54	15,0	Sprawny	Nie	8,7	6,3
8.62	53	14,7	Sprawny	Nie	8,5	6,3
8.63	52	14,4	Sprawny	Nie	8,6	6,4
		Średnia arytmetyczna			**8,7**	**6,3**

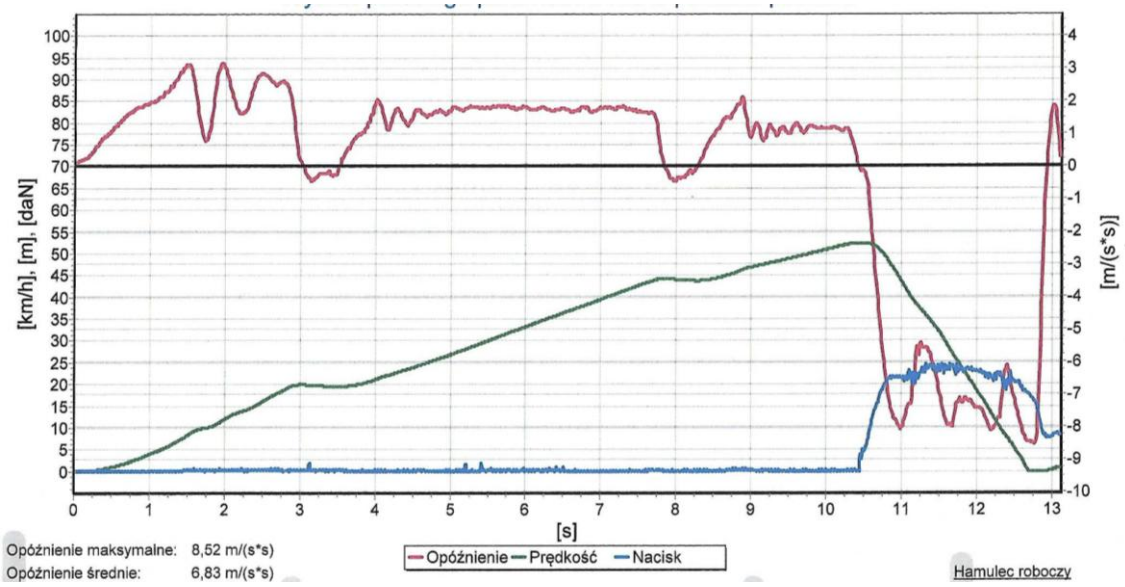
Tabela 8.22. Hamowania na mokrej nawierzchni asfaltowej, układ hamulcowy niesprawny, ABS sprawny

Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Prędkość początkowa [m/s]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	
					$a_{H\max}$	a_{Hsr}
8.64	52	14,4	Niesprawny	Tak	8,7	4,0
8.65	53	14,7	Niesprawny	Tak	8,6	3,9
8.66	52	14,4	Niesprawny	Tak	8,0	4,1
8.67	53	14,7	Niesprawny	Tak	8,3	4,0
8.68	51	14,2	Niesprawny	Tak	8,4	3,9
8.69	53	14,4	Niesprawny	Tak	8,5	4,0
		Średnia arytmetyczna			**8,4**	**4,0**

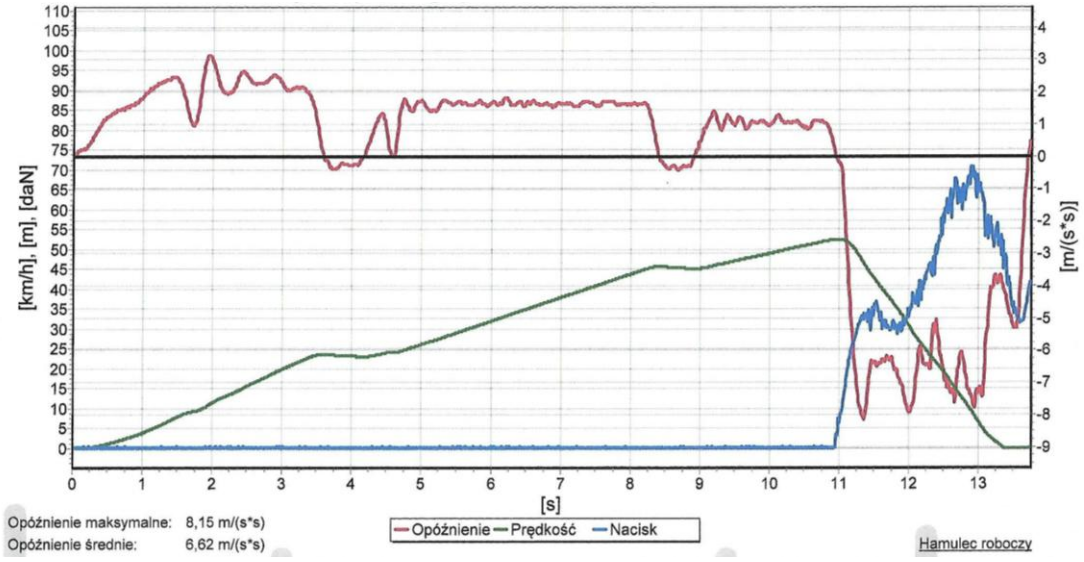
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 8.31. Przebieg hamowania z sprawnym układem hamulcowym (układ ABS tak) - pomiar 8.56

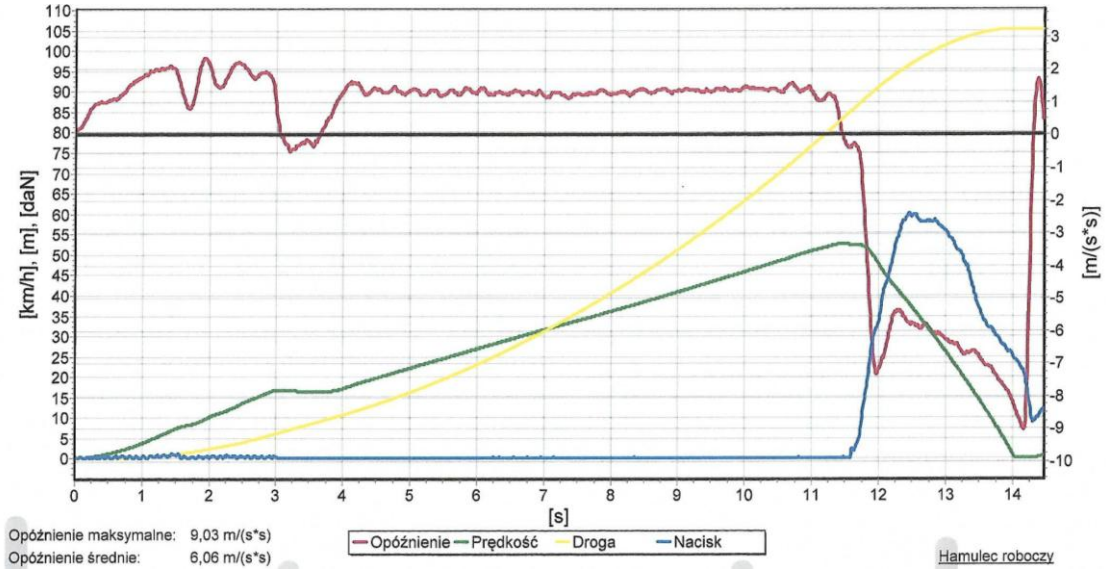


Rys. 8.32. Przebieg hamowania z sprawnym układem hamulcowym (układ ABS tak) - pomiar 8.57

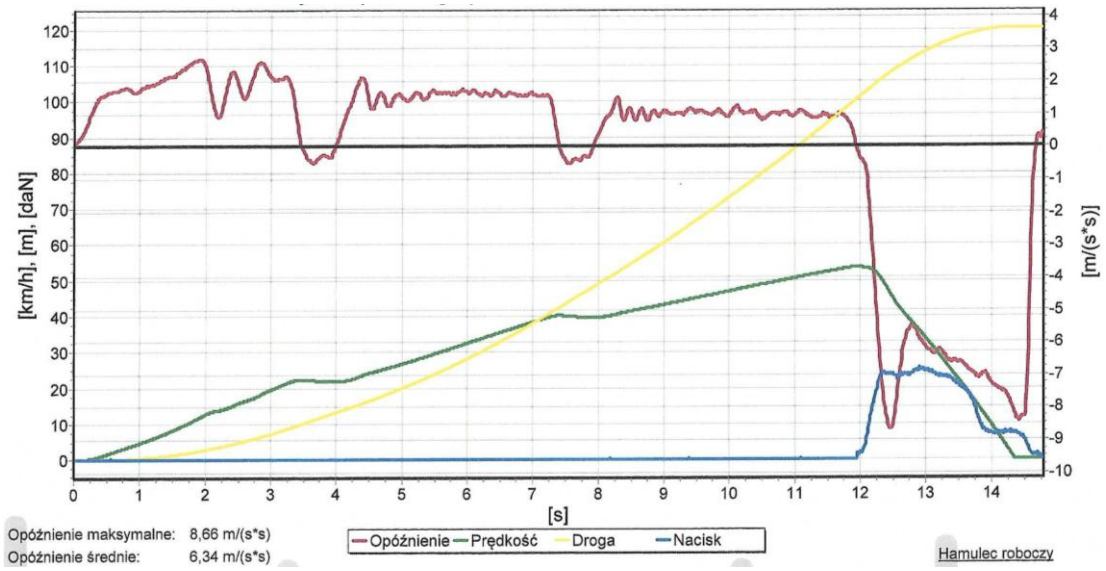


Rys. 8.33. Przebieg hamowania z sprawnym układem hamulcowym (układ ABS tak) - pomiar 8.59

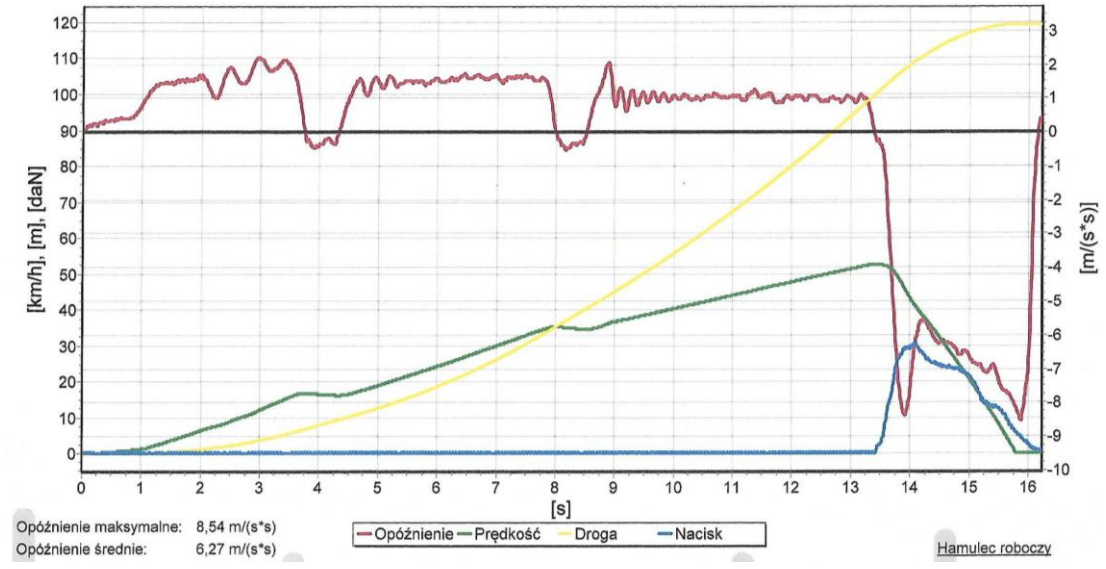
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 8.34. Przebieg hamowania z sprawnym układem hamulcowym (układ ABS nie) - pomiar 8.60

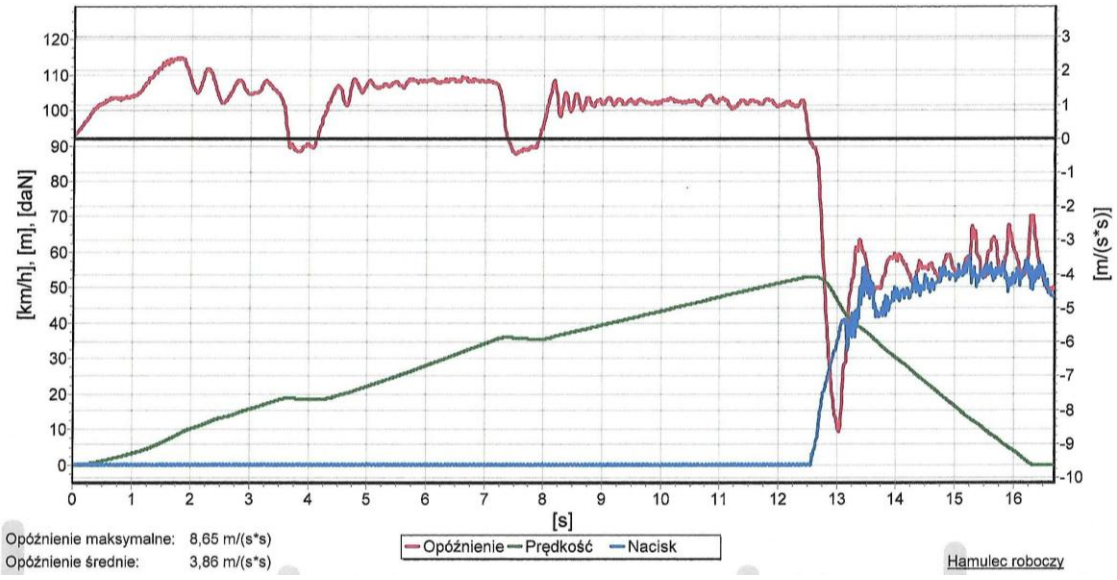


Rys. 8.35. Przebieg hamowania z sprawnym układem hamulcowym (układ ABS nie) - pomiar 8.61

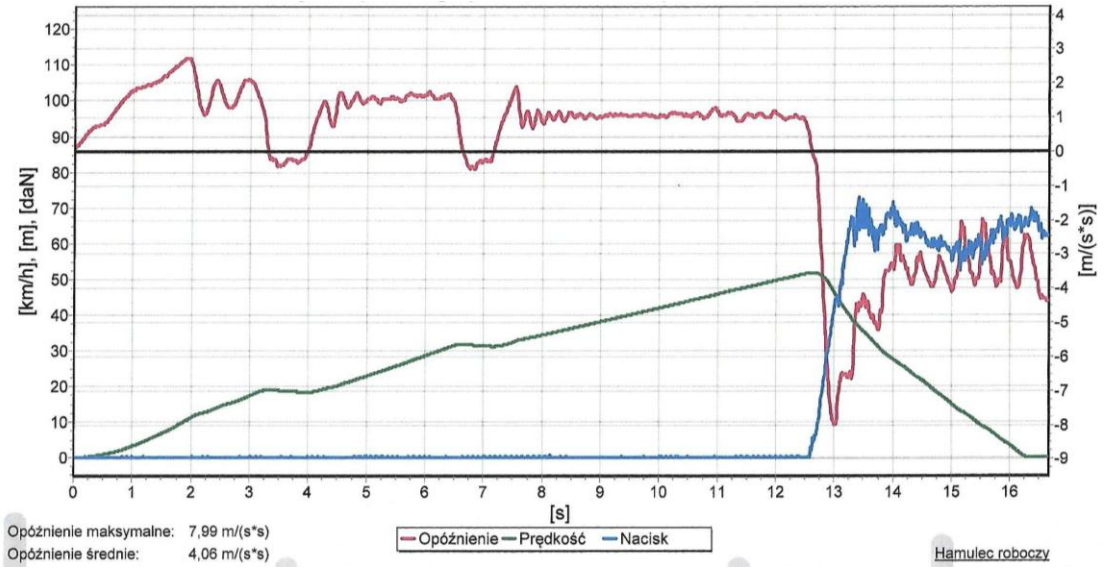


Rys. 8.36. Przebieg hamowania z sprawnym układem hamulcowym (układ ABS nie) - pomiar 8.62

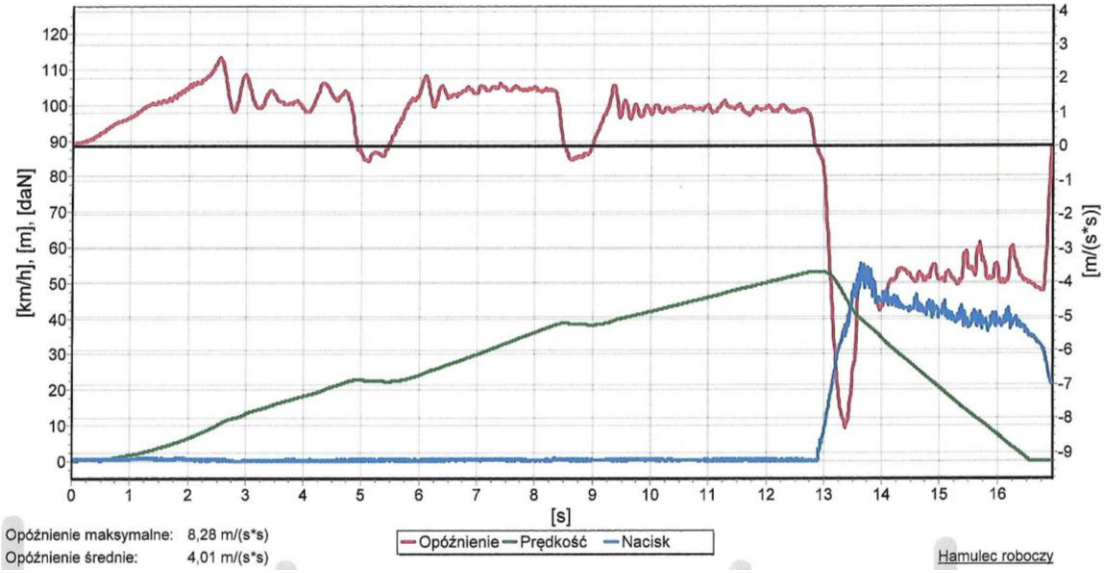
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 8.37. Przebieg hamowania z niesprawnym układem hamulcowym (układ ABS tak) - pomiar 8.65



Rys. 8.38. Przebieg hamowania z niesprawnym układem hamulcowym (układ ABS tak) - pomiar 8.66



Rys. 8.39. Przebieg hamowania z niesprawnym układem hamulcowym (układ ABS tak) - pomiar 8.67

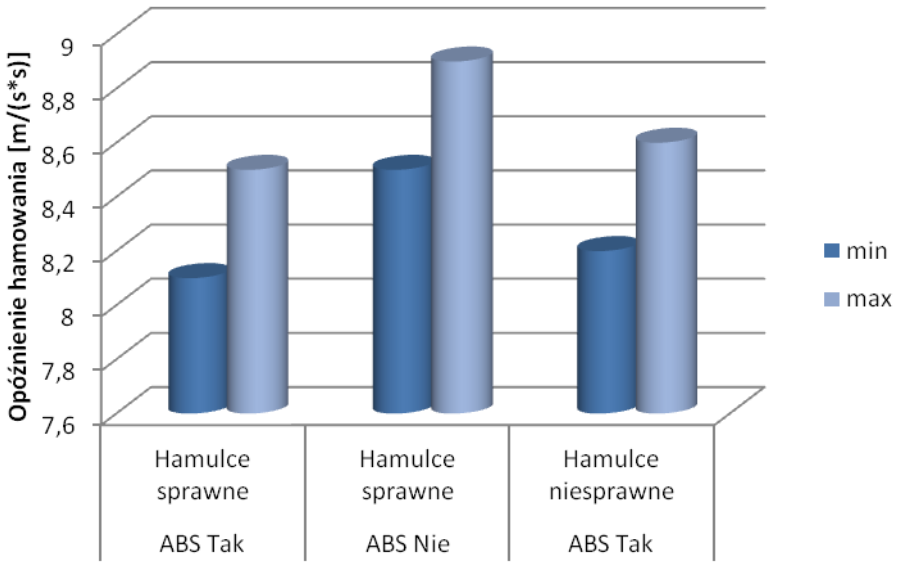
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Zestawienie średnich arytmetycznych z uwzględnieniem odchylenia standardowego pomiarów intensywnego hamowania wykonanych na mokrej, gładkiej nawierzchni asfaltowej zamieszczono w tabeli 8.23. Zestawienie maksymalnych wartości opóźnienia hamowania pokazano na wykresie 8.5, a wartości średnie opóźnienia hamowania na wykresie 8.6.

Drogę hamowania wyliczono dla prędkości początkowej hamowania wynoszącej 50 km/h (13,9 m/s) na podstawie wzoru 7.10, zestawienie zamieszczono na wykresie 8.7.

Tabela 8.23. Średnie arytmetyczne badania intensywnego hamowania z uwzględnieniem odchylenia standartowego (seria 2 dla mokrej, gładkiej nawierzchni asfaltowej)

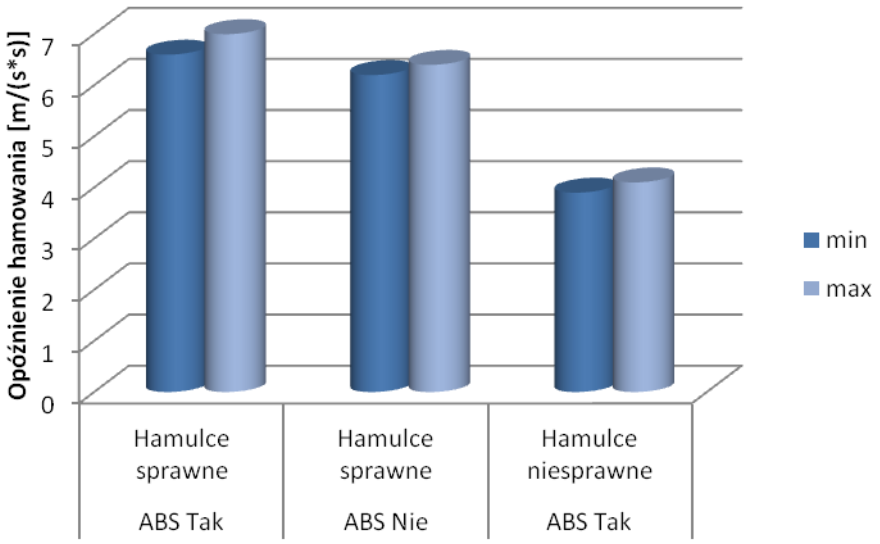
Układ ABS	**Układ Hamulcowy**	**Opóźnienie hamowania [m/s^2]**						**Droga hamowania [m]**	
		$a_{H\max}$			a_{Hsr}			S_H	
		δ	min	max	δ	min	max	min	max
Tak	Sprawny	**0,2**	8,1	8,5	**0,2**	6,6	7,0	13,8	14,6
Nie	Sprawny	**0,2**	8,5	8,9	**0,1**	6,2	6,4	15,1	15,6
Tak	Niesprawny	**0,2**	8,2	8,6	**0,1**	3,9	4,1	23,6	24,8



Wykres 8.5. Zestawienie maksymalnych wartości opóźnienia hamowania dla mokrej jezdni asfaltowej

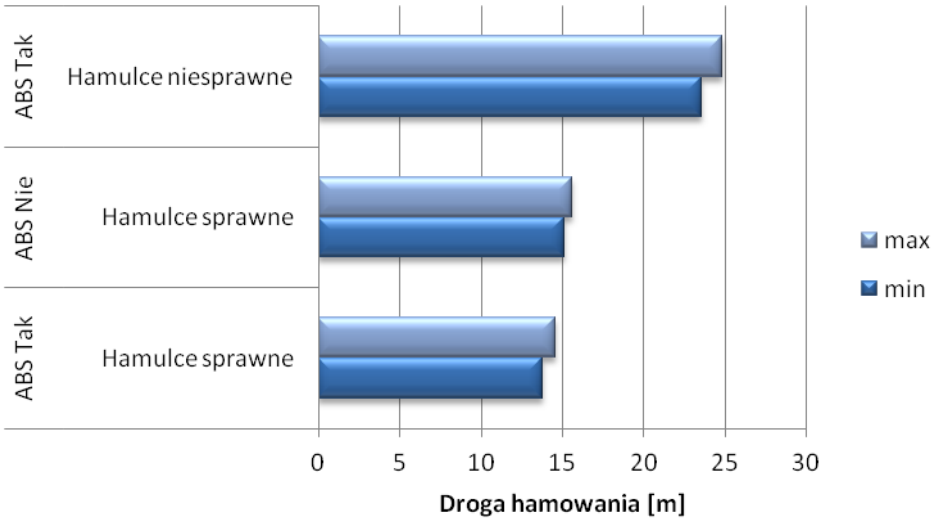
Jak wynika z przeprowadzonych badań różnica średniego opóźnienia hamowania przy sprawnym i niesprawnym układzie ABS dla sprawnego układu hamulcowego wynosiła około 10 %. Natomiast różnica pomiędzy średnim opóźnieniem hamowania dla sprawnego i niesprawnego (nieszczelnego) układu hamulcowego przy sprawnym układzie ABS dla mokrej nawierzchni asfaltowej wynosi około 41 %. Średnie w pełni rozwinięte opóźnienie hamowania (MFDD) dla sprawnego układu hamulcowego i sprawnego układu ABS wynosiło 6,6…7,0 m/s^2, w przypadku gdy wystąpiło uszkodzenie obwodu hamulcowego i nastąpił wyciek płynu hamulcowego, to wartość średniego opóźnienia hamowania wynosiła już 3,9…4,1 m/s^2.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Wykres 8.6. Zestawienie średnich wartości opóźnienia hamowania dla mokrej jezdni asfaltowej

Podczas hamowania pojazdu z włączonym układem ABS wartość opóźnienia hamowania znacznie się zmniejszyła od chwili, w której nastąpiła niesprawność, hamulca koła przedniego prawego, co można zaobserwować na rys. 8.37 – rys. 8.39.



Wykres 8.7. Zestawienie drogi hamowania z prędkości początkowej 50 km/h, badania wykonano na mokrej jezdni asfaltowej

Często zadawanym pytaniem przez organ procesowy jest: czy kierowca, jadący z dozwoloną prędkością, mógł uniknąć wypadku np. potrącenia pieszego.

Średnia długość drogi hamowania dla badanego samochodu na mokrej nawierzchni asfaltowej, wynosiła 13,8…14,6 m – dla sprawnego układu hamulcowego. Ale już w przypadku jak po wciśnięciu na pedał hamulca nastąpiłaby (awaria) wyciek płynu hamulcowego, to droga hamowania zwiększyła się już do 23,6…24,8 m.

Uszkodzenie obwodu hydraulicznego układu hamulcowego podczas intensywnego hamowania może mieć poważne konsekwencje np. podczas potrącenia pieszego.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

8.6. Hamowanie na płycie poślizgowej

Podstawowym układem w samochodzie osobowym odpowiedzialnym za bezpieczeństwo czynne jest układ hamulcowy. Współcześnie jego działanie wspomagane jest przez układ ABS. Stosowanie układu optymalno-poślizgowego zapobiegającego blokowaniu kół jest obecnie szeroko stosowane w samochodach wszystkich klas. System ten zapewnia poprawę czynnego bezpieczeństwa ruchu. Jego zadaniem jest modyfikacja procesu hamowania w celu uniknięcia blokowania kół, umożliwiająca kontrolę nad zachowaniem kierunku jazdy samochodu, zarówno na nawierzchni o dużym współczynniku przyczepności (jezdnia asfaltowa sucha) jak i na nawierzchni o małym współczynniku przyczepności (jezdnia oblodzona). Układ ABS pozwala na zachowanie kierowalności pojazdu, również podczas hamowania awaryjnego, na nawierzchniach o małej przyczepności, dając możliwość zmiany kierunku jazdy pojazdu w celu ominięcia przeszkody. Nie byłoby to możliwe w przypadku zablokowania kół pojazdu.

Trzeba jednocześnie pamiętać, że na opóźnienie hamowania i długość drogi hamowania samochodu w istotny sposób wpływa stan techniczny elementów mechanicznych i hydraulicznych układu hamulcowego.

Przeprowadzono badania intensywnego hamowania na nawierzchni o małym współczynniku przyczepności - płycie poślizgowej o długości 100 m. Przed przystąpieniem do badań na Autodromie Pomorze – Pomorskiego Ośrodka Ruchu Drogowego w Gdańsku należało obowiązkowo odbyć szkolenie z zakresu doskonalenia techniki jazdy.

8.6.1. Obiekt badań

Do przeprowadzenia pomiarów został użyty samochód osobowy Toyota Corolla, o nadwoziu kombi, wyposażony w silnik benzynowy, rok produkcji 2004. Ciśnienie w ogumieniu zgodne z zaleceniami producenta. Wszystkie wykonane próby hamowania zostały wykonane przez tego samego kierowcę.

W samochodzie zamontowany był układ wywołujący awarię jednego z obwodów hamulcowych w trakcie procesu hamowania. Zadaniem dodatkowego układu było wywołanie awaryjnego stanu układu hamulcowego polegającego na rozszczelnieniu jednego z obwodów.

Niesprawność układu ABS następowała po wyjęciu bezpiecznika od tego układu.

8.6.2. Przyrząd pomiarowy

Do pomiarów opóźnienia hamowania samochodu użyto samorejestrującego urządzenia pomiarowego Brek Test LWS-2/MC firmy TEST-POL wyprodukowanego przez Zakład Mechaniki Precyzyjnej. Przyrząd obliczał i podawał wartość średniego pełnego opóźnienia hamowania (MFDD).

8.6.3. Metodyka badań

Przeprowadzono szereg prób ekstremalnego hamowania samochodu z sprawnym i niesprawnym układem ABS oraz ze sprawnym i uszkodzonym układem hamulcowym. Próby

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

przeprowadzono przy prostoliniowym torze jazdy na płycie poślizgowej Autodromu Pomorze. Niesprawność układu hamulcowego polegała na rozszczelnieniu jednego z obwodów układu tj. uszkodzeniu przewodu hamulcowego doprowadzającego płyn hamulcowy do elementów wykonawczych przedniego prawego koła. Podstawowym celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu wystąpienia tego uszkodzenia na rzeczywiste opóźnienia hamowania uzyskiwane przez pojazd na płycie poślizgowej o grubości warstwy wody około 2 mm. Badania wykonano z działającym układem ABS oraz po jego wyłączeniu. Poniżej przedstawione zostały wartości rzeczywistych opóźnień hamowania na podstawie, których obliczona została droga zatrzymania samochodu dla każdego z pomiarów.

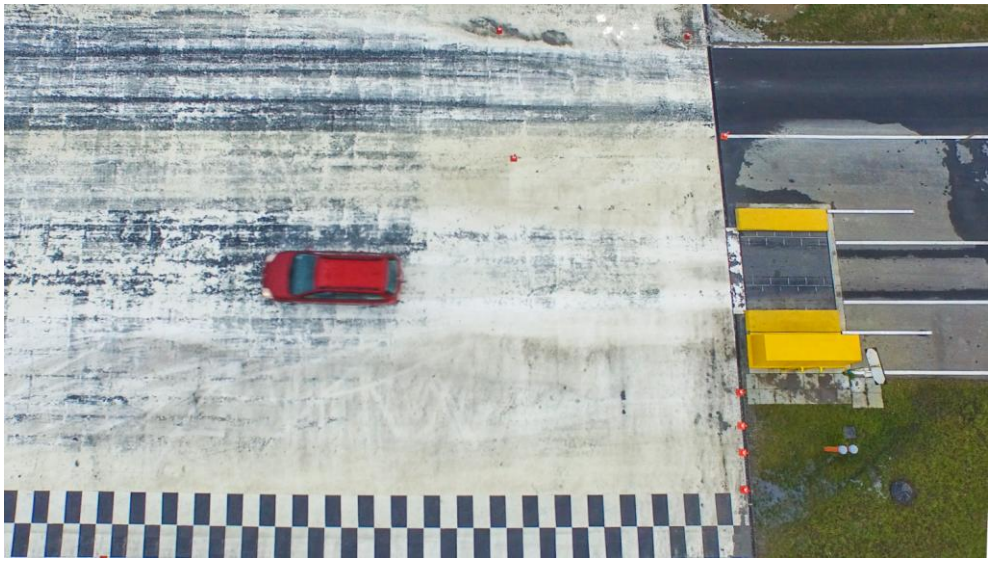
W celu uzyskania jednolitych warunków drogowych, wszystkie pomiary opóźnień hamowania wykonano na tym samym odcinku pomiarowym płyty poślizgowej przy dodatniej temperaturze otoczenia. Samochód rozpędzany był do prędkości około 40, 50, 60 km/h (według wskazań prędkościomierza), następnie prędkość była stabilizowana, a po wjechaniu na płytę poślizgową intensywnie hamowany. Pomiar prędkości pojazdu mierzony był również przy pomocy radaru prędkości zamontowanego przed płytą poślizgową. Wykonano próby dla sprawnego i niesprawnego układu hamulcowego (w którym podczas hamowania następował wyciek płynu hamulcowego – awaria (rozszczelnienie) obwodu hamulcowego podczas ekstremalnego hamowania) oraz dla sprawnego i niesprawnego układu ABS.

Pomiary hamowania były nagrywane przez operatora kamery z firmy MG Motorsoprt film oraz za pomocą profesjonalnego drona.

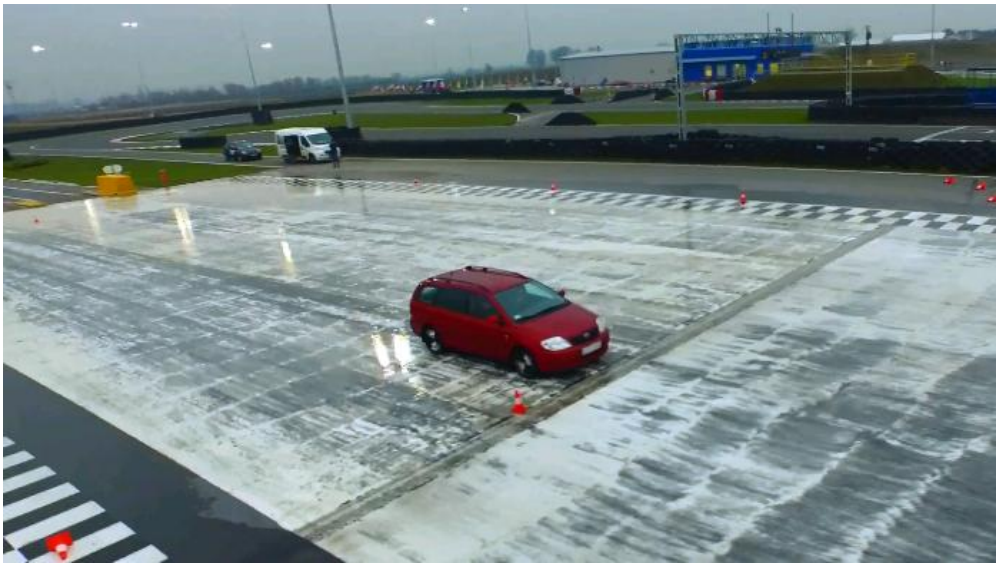
Dokumentację fotograficzną z przeprowadzonych badań przedstawiono na rys. 8.40 – rys. 8.43.

Rys. 8.40. Ośrodek Doskonalenia Techniki Jazdy - Autodrom Pomorze, widok z góry zdjęcie zrobiono dronem podczas wykonywania badań

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys.8.41. Widok samochodu z góry podczas hamowania na płycie poślizgowej



Rys.8.42. Widok samochód badawczego po hamowaniu na płycie poślizgowej

Rys.8.43. Analiza wyników badań

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

8.6.4. Prezentacja i analiza wyników

Wykonano szereg pomiarów intensywnego hamowania na płycie poślizgowej Autodromu Pomorze o grubości warstwy wody około 2 mm.

W tabeli 8.24 zestawiono przykładowe wyniki otrzymanych wartości opóźnienia hamowania z przeprowadzonych pomiarów intensywnego hamowania dla prędkości początkowej około 40, 50, 60 km/h. Charakterystyki z pomiarów zamieszczono na rys. 8.46 – rys. 8.48. Badania zostały wykonane przy działającym układzie ABS i sprawnym układzie hamulcowym. Z analizy materiału filmowego nagranego podczas hamowania wynika, że koła samochodu w trakcie hamowania nie zostały zablokowane rys. 8.44 i rys. 8.45.

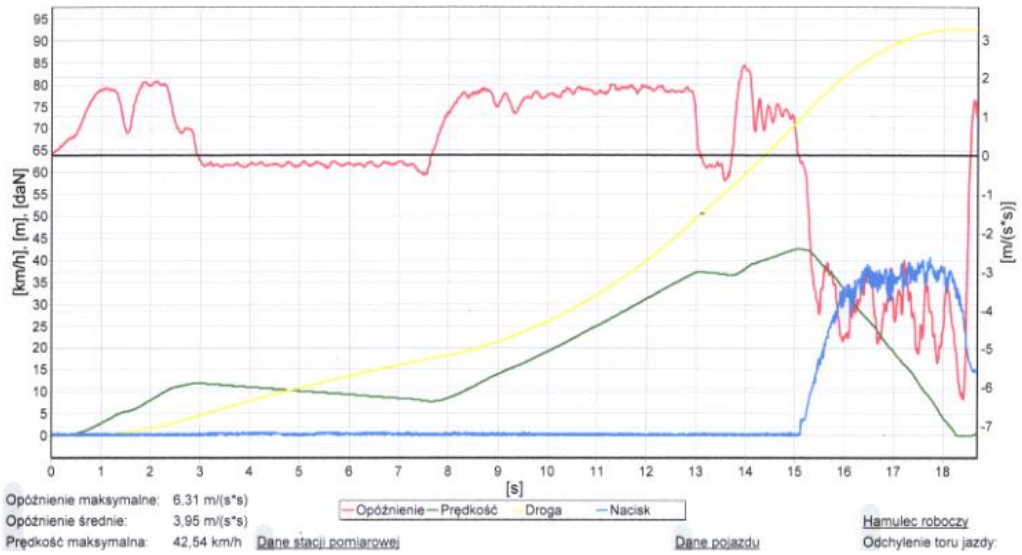
Tabela 8.24. Hamowania na płycie poślizgowej, układ hamulcowy sprawny, ABS sprawny

Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Prędkość początkowa [m/s]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	
					$a_{H\max}$	a_{Hsr}
8.70	43	11,9	Sprawny	Tak	6,5	4,0
8.71	52	14,4	Sprawny	Tak	6,2	4,0
8.72	60	16,7	Sprawny	Tak	6,9	4,0
		Średnia arytmetyczna			**6,5**	**4,0**

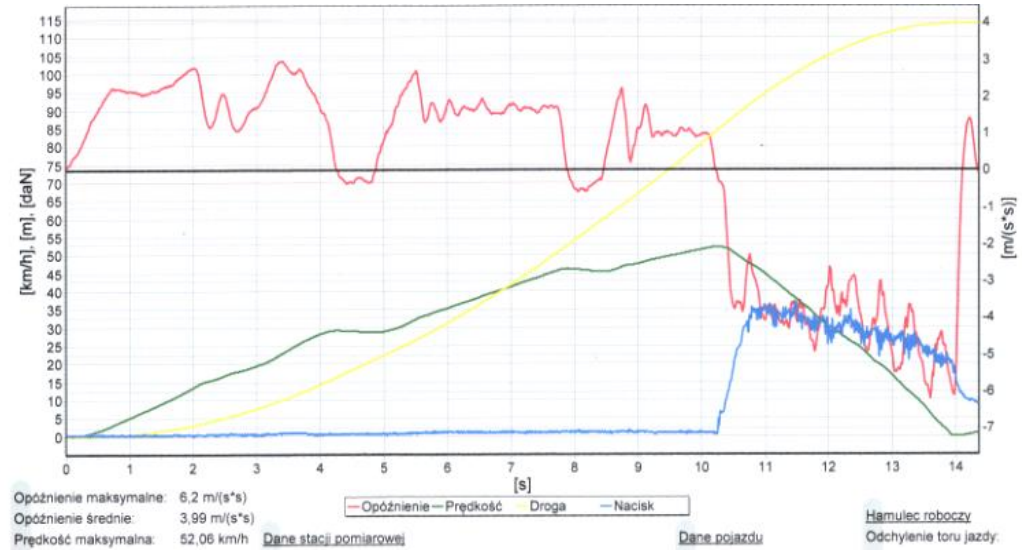
Rys.8.44. Widok samochodu w początkowej fazie hamowania, układ hamulcowy sprawny, układ ABS tak

Rys.8.45. Widok samochodu w końcowej fazie hamowania, układ hamulcowy sprawny, układ ABS tak

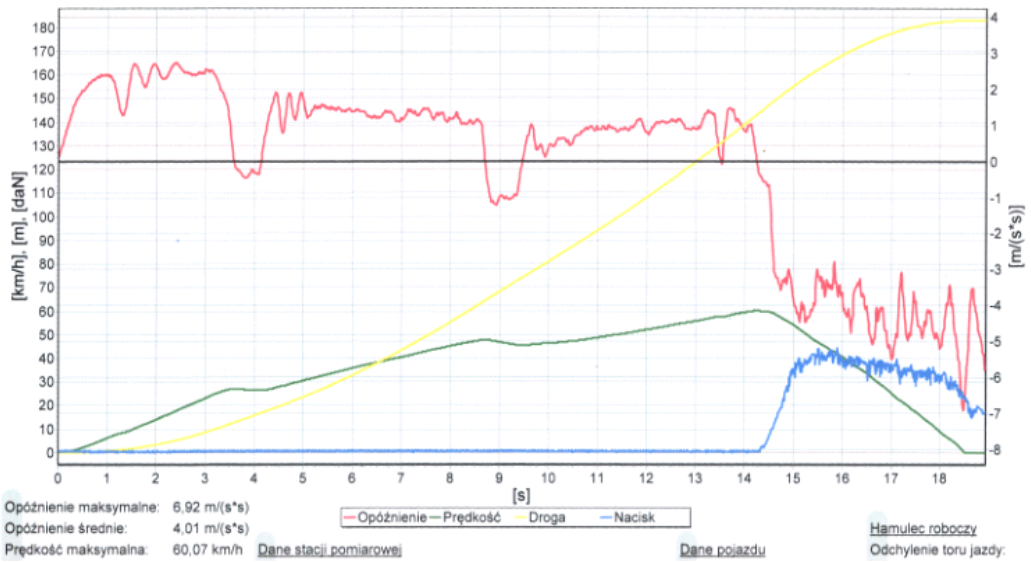
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 8.46. Charakterystyki parametrów hamowania ze sprawnym układem ABS (40 km/h) - pomiar 8.70



Rys. 8.47. Charakterystyki parametrów hamowania ze sprawnym układem ABS (50 km/h) - pomiar 8.71



Rys. 8.48. Charakterystyki parametrów hamowania ze sprawnym układem ABS (60 km/h) - pomiar 8.72

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Zestawienie uzyskanych wyników badań opóźnienia hamowania na płycie poślizgowej ze sprawnym układem hamulcowym i działającym układem ABS zamieszczono w tabeli 8.25. Wybrane przebiegi parametrów ruchu podczas intensywnego hamowania zamieszczono na rys. 8.49 – rys. 8.51. Natomiast w tabeli 8.26 zamieszczono wyniki badań opóźnienia hamowania dla sprawnego układu hamulcowego, ale dla niesprawnego układu ABS, wybrane charakterystyki przebiegu ruchu samochodu zamieszczono na rys. 8.52 – rys. 8.54. Prędkość początkowa około 50 km/h.

Tabela 8.25. Hamowania na płycie poślizgowej, układ hamulcowy sprawny, układ ABS sprawny

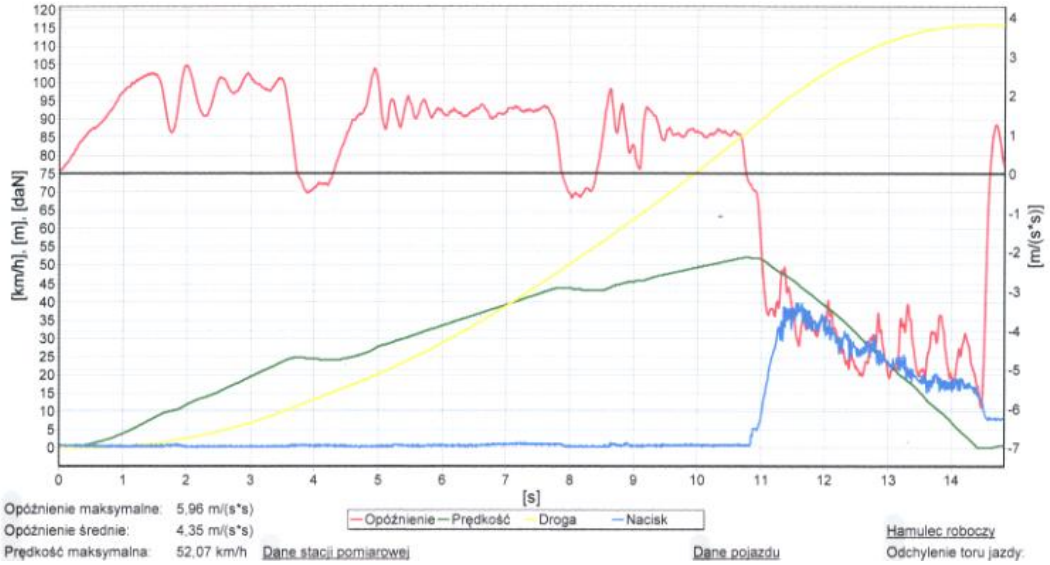
Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Prędkość początkowa [m/s]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	
					$a_{H\max}$	a_{Hsr}
8.73	52	14,4	Sprawny	Tak	6,0	4,3
8.74	52	14,4	Sprawny	Tak	6,1	4,3
8.75	52	14,4	Sprawny	Tak	6,3	4,0
8.76	52	14,4	Sprawny	Tak	6,7	3,8
8.77	53	14,7	Sprawny	Tak	6,0	3,9
		Średnia arytmetyczna			**6,2**	**4,1**

Tabela 8.26. Hamowania na płycie poślizgowej, układ hamulcowy sprawny, układ ABS niesprawny

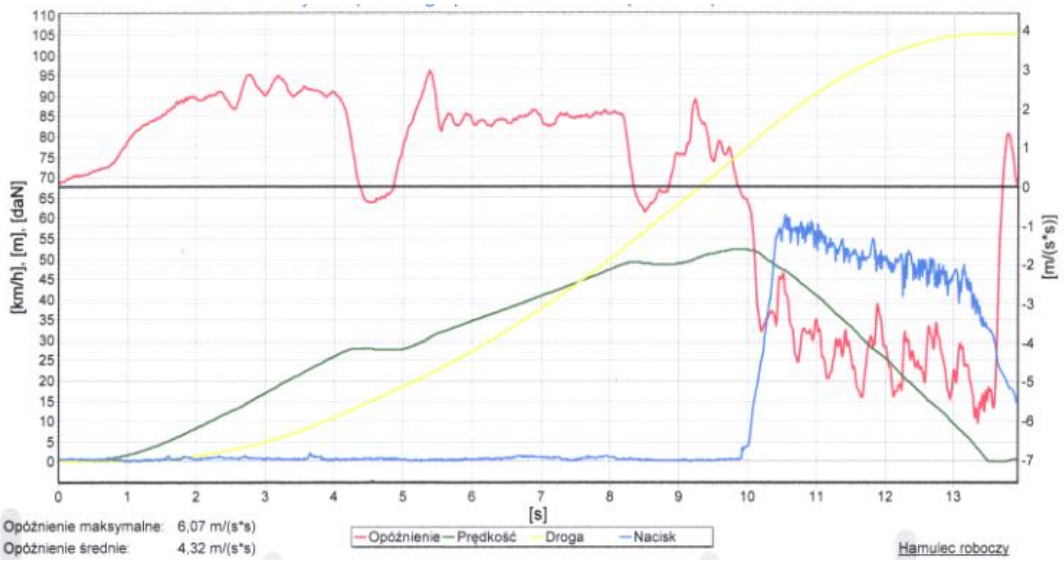
Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Prędkość początkowa [m/s]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	
					$a_{H\max}$	a_{Hsr}
8.78	52	14,4	Sprawny	Nie	6,5	2,3
8.79	53	14,7	Sprawny	Nie	6,2	2,5
8.80	52	14,4	Sprawny	Nie	6,0	2,8
8.81	52	14,4	Sprawny	Nie	5,5	2,6
8.82	53	14,7	Sprawny	Nie	5,9	2,7
		Średnia arytmetyczna			**6,0**	**2,6**

Podczas hamowania z niesprawnym układem ABS nastąpiło zablokowanie kół osi przedniej i tylnej. Dokumentacje fotograficzną z przebiegu hamowania zamieszczono na rys. 8.55 – rys. 8.58.

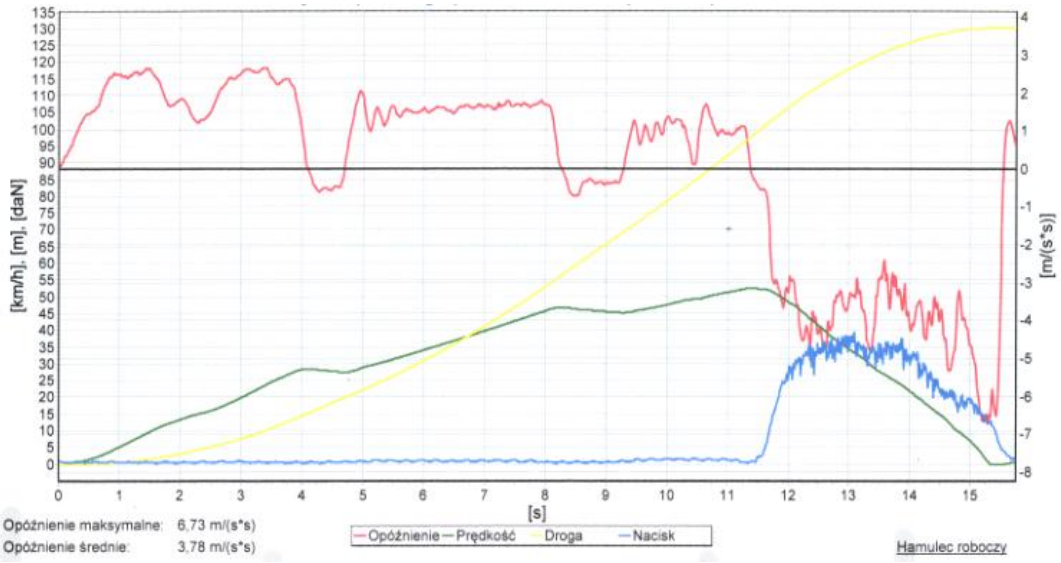
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 8.49. Przebieg hamowania ze sprawnym układem hamulcowym (układ ABS tak) - pomiar 8.73

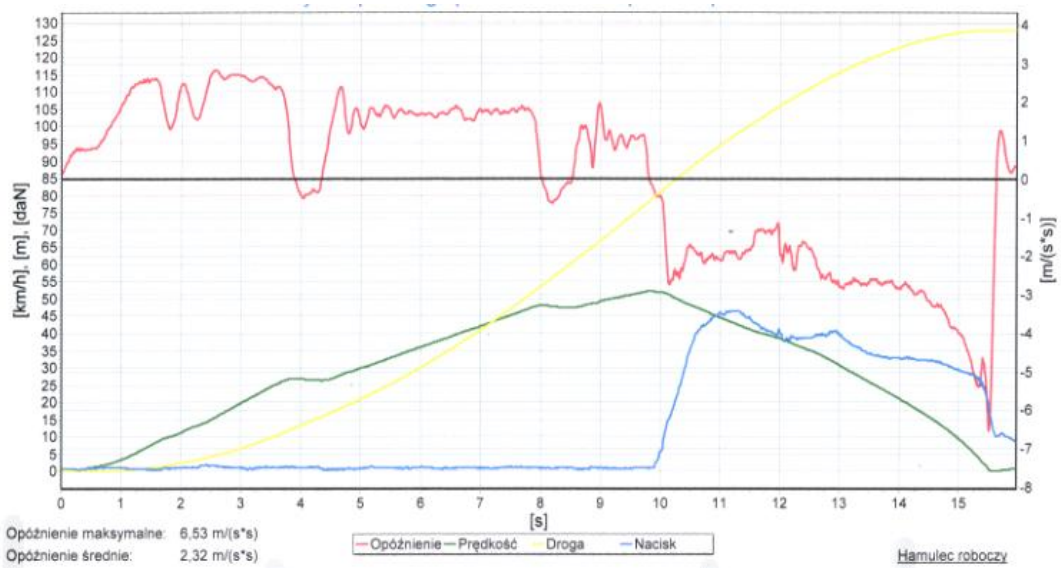


Rys. 8.50. Przebieg hamowania ze sprawnym układem hamulcowym (układ ABS tak) - pomiar 8.74

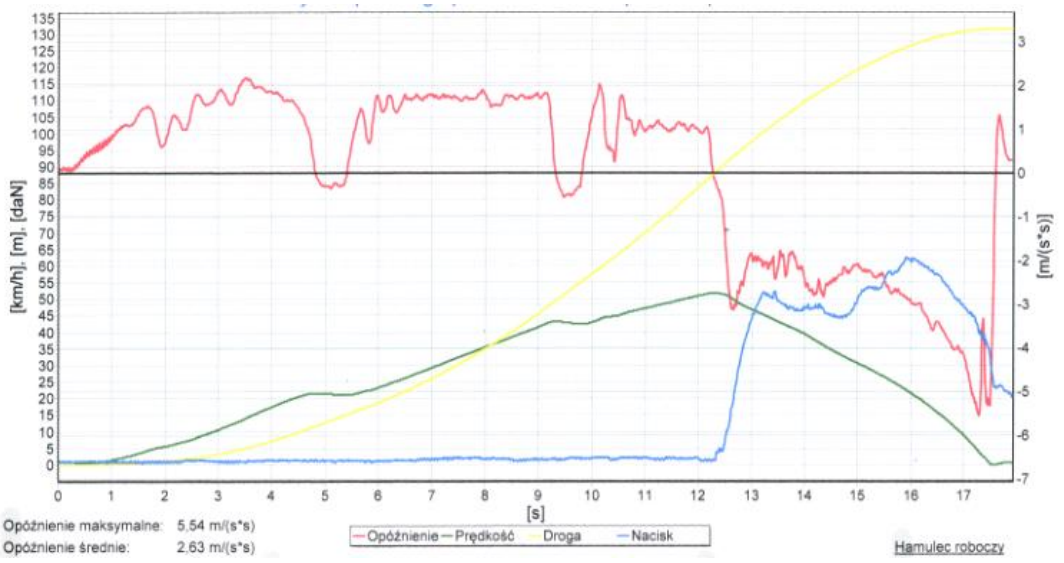


Rys. 8.51. Przebieg hamowania ze sprawnym układem hamulcowym (układ ABS tak) - pomiar 8.77

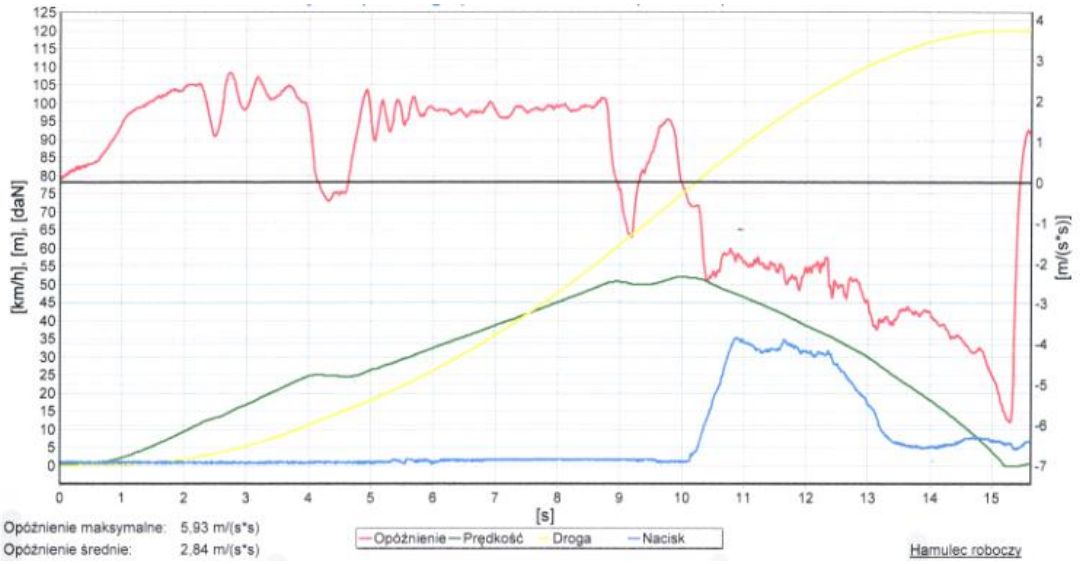
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 8.52. Przebieg hamowania ze sprawnym układem hamulcowym (układ ABS nie) - pomiar 8.78



Rys. 8.53. Przebieg hamowania ze sprawnym układem hamulcowym (układ ABS nie) - pomiar 8.80



Rys. 8.54. Przebieg hamowania ze sprawnym układem hamulcowym (układ ABS nie) - pomiar 8.81

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rys. 8.55. Widok samochodu w początkowej fazie hamowania, układ hamulcowy sprawny, bez ABS

Rys. 8.56. Widok samochodu w fazie hamowania, układ hamulcowy sprawny, bez ABS

Rys. 8.57. Widok samochodu w fazie hamowania, układ hamulcowy sprawny, bez ABS

Rys. 8.58. Widok samochodu pod koniec hamowania, układ hamulcowy sprawny, bez ABS

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Zestawienie uzyskanych wyników badań opóźnienia hamowania na płycie poślizgowej z niesprawnym układem hamulcowym i z działającym układem ABS zamieszczono w tabeli 8.27. Wybrane przebiegi parametrów ruchu podczas intensywnego hamowania zamieszczono na rys. 8.59 – rys. 8.61. Natomiast w tabeli 8.28 zamieszczono wyniki badań opóźnienia hamowania z niesprawnym układem hamulcowym i niesprawnym układem ABS, wybrane charakterystyki przebiegu ruchu samochodu zamieszczono na rys. 8.62 – rys. 8.64. Prędkość początkowa około 50 km/h.

Tabela 8.27. Hamowania na płycie poślizgowej, układ hamulcowy niesprawny, układ ABS sprawny

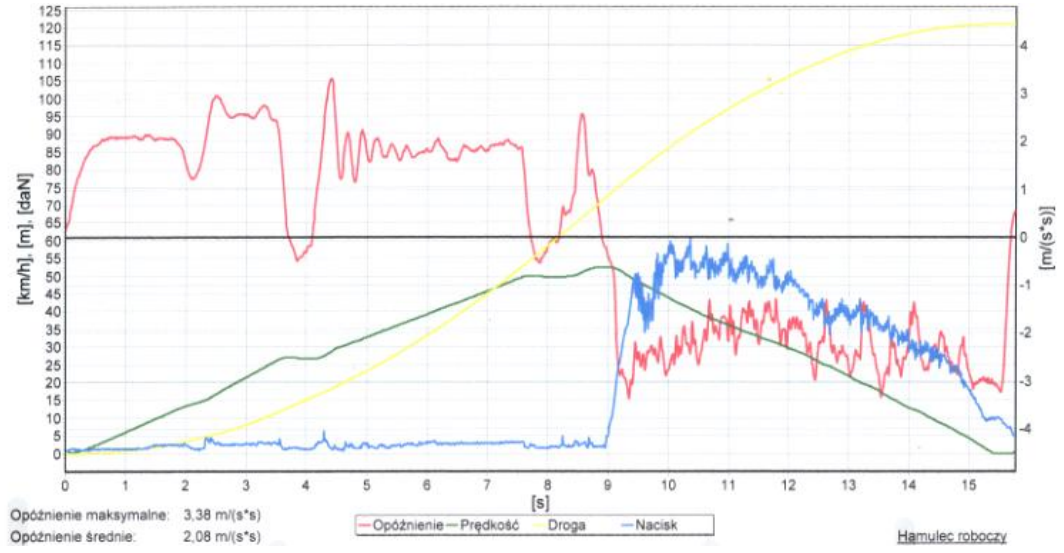
Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Prędkość początkowa [m/s]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	
					$a_{H\max}$	a_{Hsr}
8.83	53	14,7	Niesprawny	Tak	3,5	2,4
8.84	52	14,4	Niesprawny	Tak	3,4	2,1
8.85	52	14,4	Niesprawny	Tak	4,5	2,8
8.86	52	14,7	Niesprawny	Tak	4,2	2,5
8.87	53	14,7	Niesprawny	Tak	4,3	2,7
		Średnia arytmetyczna			**4,0**	**2,5**

Tabela 8.28. Hamowania na płycie poślizgowej, układ hamulcowy niesprawny, układ ABS niesprawny

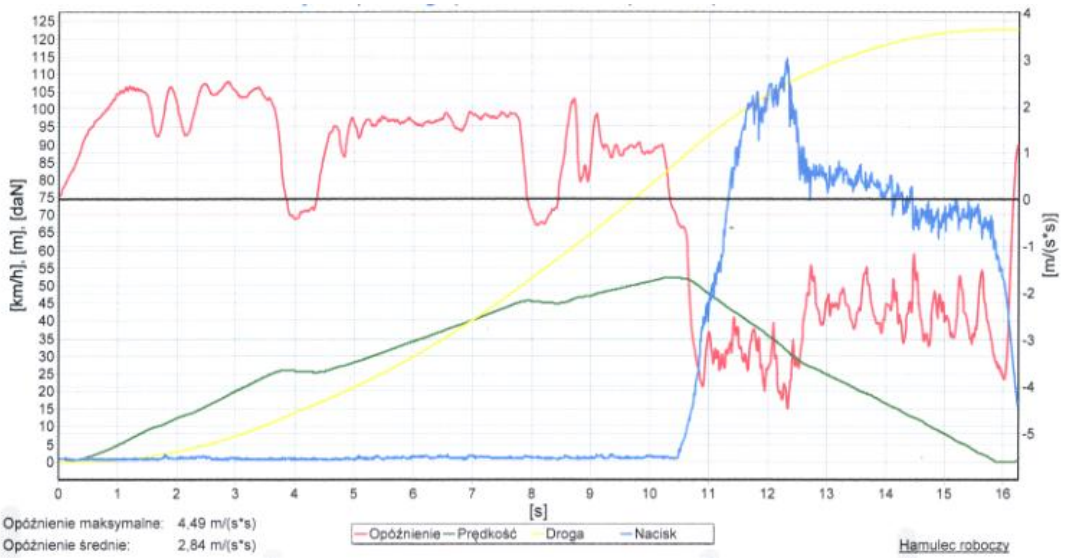
Nr próby	Prędkość początkowa [km/h]	Prędkość początkowa [m/s]	Układ hamulcowy	Układ ABS	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	
					$a_{H\max}$	a_{Hsr}
8.88	53	14,7	Niesprawny	Nie	3,7	1,4
8.89	53	14,7	Niesprawny	Nie	3,4	1,3
8.90	52	14,4	Niesprawny	Nie	3,4	1,5
8.91	53	14,7	Niesprawny	Nie	3,6	1,5
8.92	53	14,7	Niesprawny	Nie	3,3	1,4
		Średnia arytmetyczna			**3,5**	**1,4**

Podczas hamowania z niesprawnym układem ABS (po rozszczelnieniu obwodu hamulcowego przy prawym przednim kole) nastąpiło zablokowanie kół osi tylnej, a koła osi przedniej się toczyły. Dokumentację fotograficzna z przebiegu hamowania zamieszczono na rys. 8.65 – rys. 8.68. Na rys. 8.68 widać samochód po zatrzymaniu przed końcem płyty poślizgowej, której długość wynosiła 100 m. Dla porównania należałoby spojrzeć na rys. 8.42, gdzie zatrzymał się samochód ze sprawnym układem hamulcowym i działającym układem ABS.

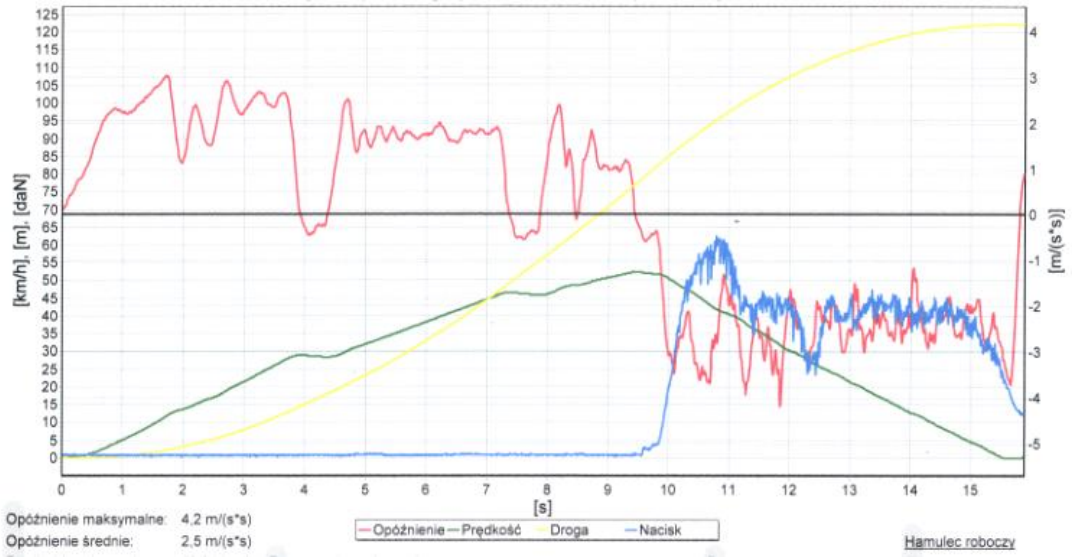
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 8.59. Przebieg hamowania z niesprawnym układem hamulcowym (układ ABS tak) - pomiar 8.84

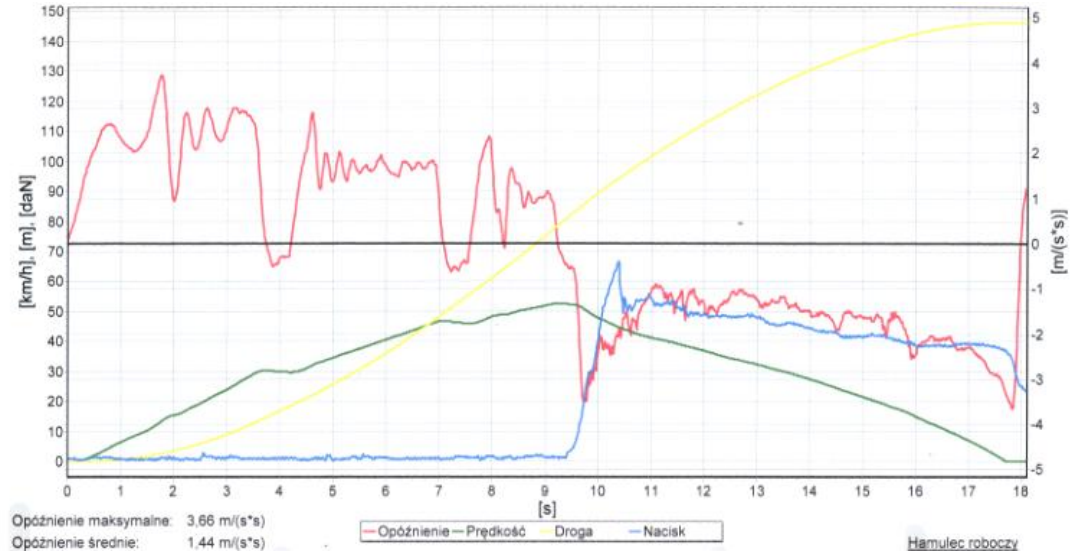


Rys. 8.60. Przebieg hamowania z niesprawnym układem hamulcowym (układ ABS tak) - pomiar 8.85

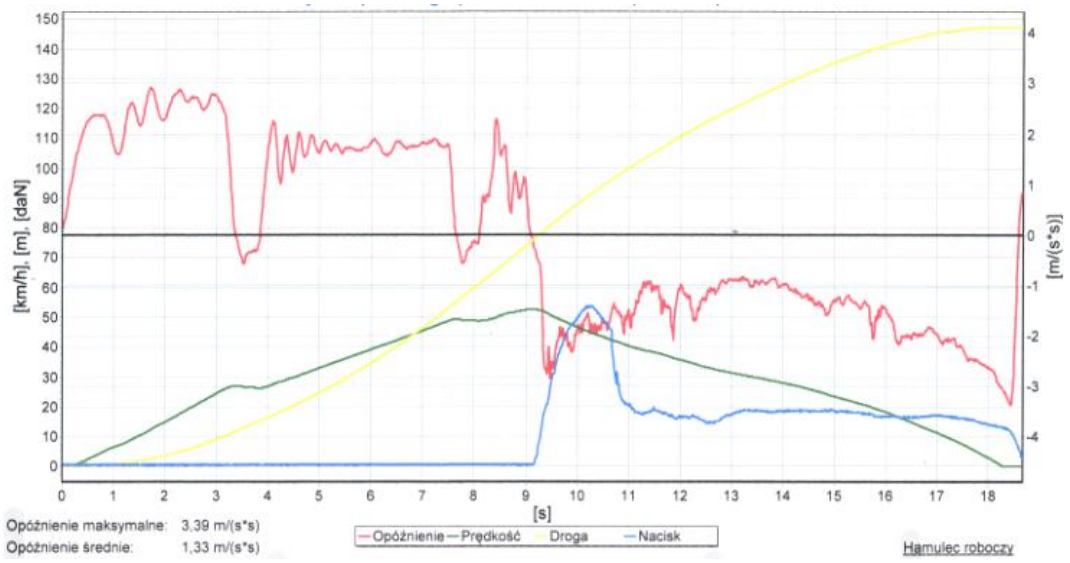


Rys. 8.61. Przebieg hamowania z niesprawnym układem hamulcowym (układ ABS tak) - pomiar 8.86

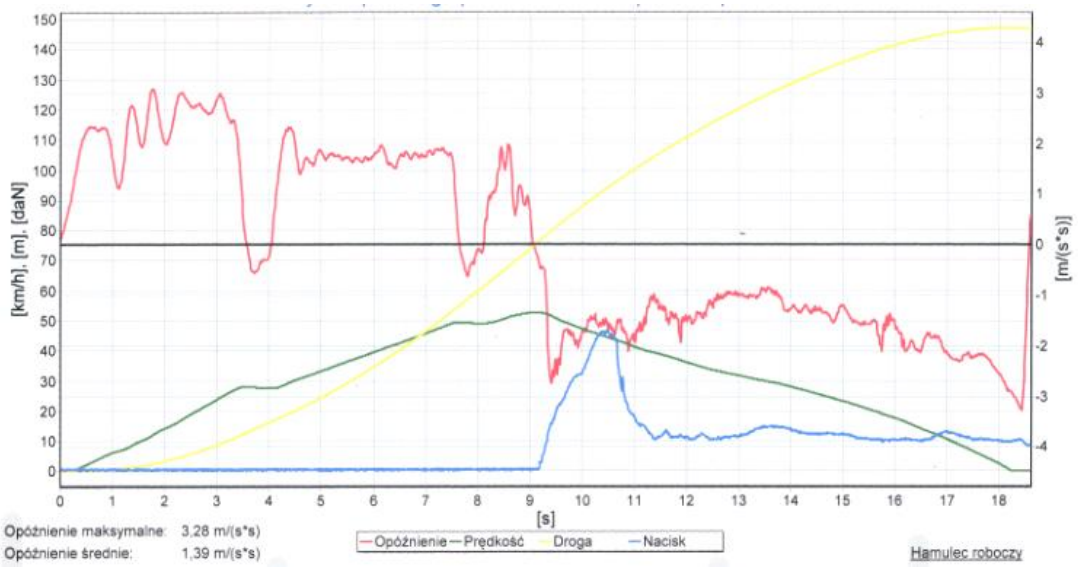
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 8.62. Przebieg hamowania z niesprawnym układem hamulcowym (układ ABS nie) - pomiar 8.88



Rys. 8.63. Przebieg hamowania z niesprawnym układem hamulcowym (układ ABS nie) - pomiar 8.89



Rys. 8.64. Przebieg hamowania z niesprawnym układem hamulcowym (układ ABS nie) - pomiar 8.92

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rys.8.65. Widok samochodu w początkowej fazie hamowania, układ hamulcowy niesprawny, bez ABS

Rys.8.66. Widok samochodu w fazie hamowania, układ hamulcowy niesprawny, bez ABS

Rys.8.67. Widok samochodu w fazie hamowania, układ hamulcowy niesprawny, bez ABS

Rys.8.68. Widok samochodu na końcu drogi hamowania, układ hamulcowy niesprawny, bez ABS

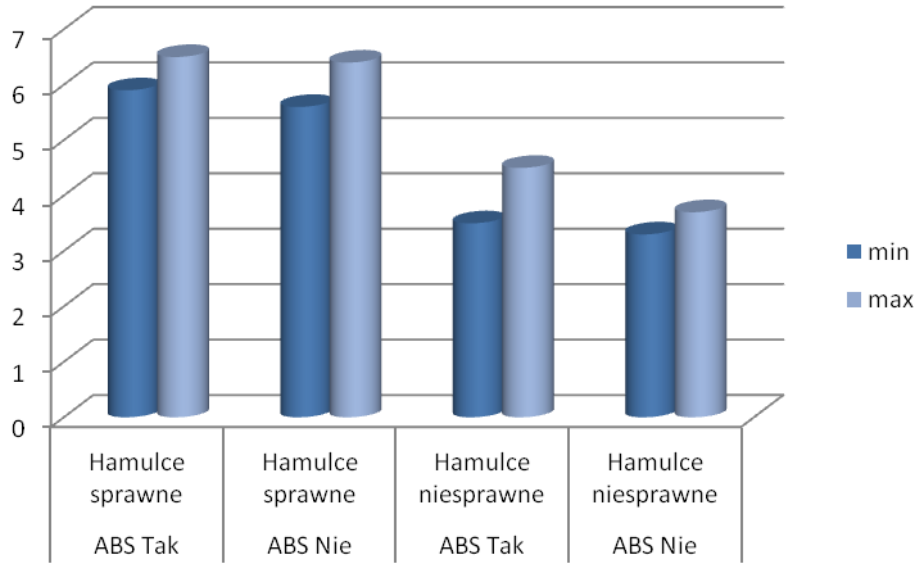
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Zestawienie średnich arytmetycznych z uwzględnieniem odchylenia standardowego pomiarów intensywnego hamowania wykonanych na płycie poślizgowej Autodromu Pomorze zamieszczono w tabeli 8.29. Zestawienie maksymalnych wartości opóźnienia hamowania pokazano na wykresie 8.8, a wartości średniego opóźnienia hamowania na wykresie 8.9.

Drogę hamowania wyliczono dla prędkości początkowej hamowania wynoszącej 50 km/h (13,9 m/s) na podstawie wzoru 7.10, zestawienie zamieszczono na wykresie 8.10.

Tabela 8.29. Średnie arytmetyczne badania intensywnego hamowania na płycie poślizgowej z uwzględnieniem odchylenia standartowego

Układ ABS	**Układ Hamulcowy**	**Opóźnienie hamowania [m/s^2]**						**Droga hamowania [m]**	
		$a_{H\,max}$			a_{Hsr}			S_H	
		δ	min	max	δ	min	max	min	max
Tak	Sprawny	**0,3**	5,9	6,5	**0,2**	3,9	4,3	22,5	24,8
Nie	Sprawny	**0,4**	5,6	6,4	**0,2**	2,4	2,8	34,5	40,3
Tak	Niesprawny	**0,5**	3,5	4,5	**0,3**	2,2	2,8	34,5	43,9
Nie	Niesprawny	**0,2**	3,3	3,7	**0,1**	1,3	1,5	64,4	74,3

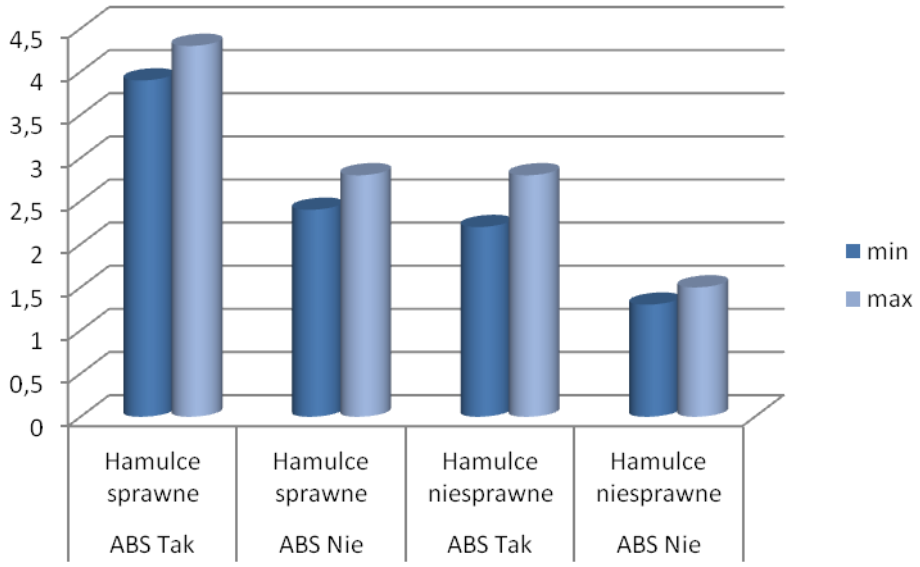


Wykres 8.8. Zestawienie maksymalnych wartości opóźnienia hamowania uzyskanych na płycie poślizgowej Autodromu Pomorze

Różnica średniego opóźnienia hamowania z pomiarów na płycie poślizgowej przy działającym i nie działającym układzie ABS dla sprawnego układu hamulcowego wynosiła 35…40 %. Natomiast różnica pomiędzy średnim opóźnieniem hamowania dla sprawnego i uszkodzonego układu hamulcowego przy działającym układzie ABS wynosi 35…44 %. Średnie w pełni rozwinięte opóźnienie hamowania (MFDD) dla sprawnego układu hamulcowego

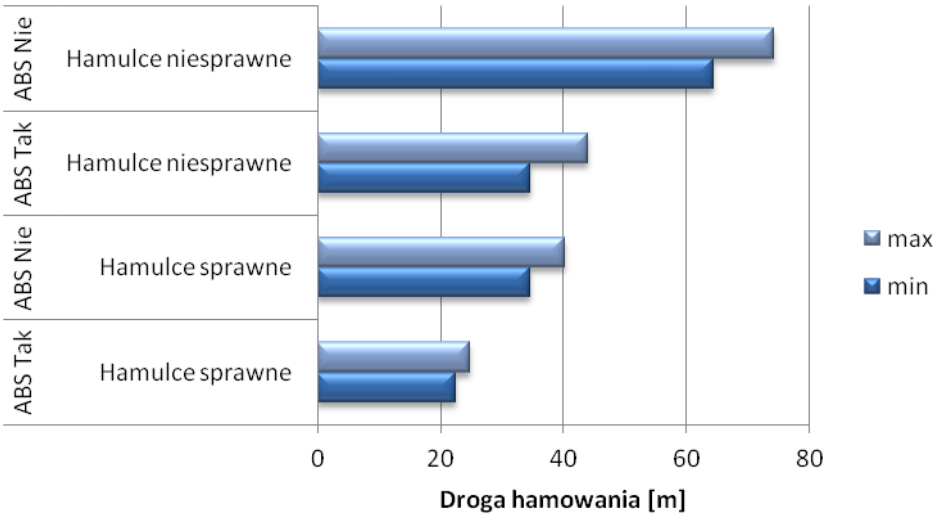
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

i sprawnego układu ABS wynosiło 3,9…4,3 m/s^2, w przypadku, gdy wystąpiło uszkodzenie obwodu hamulcowego i nastąpił wyciek płynu hamulcowego, to wartość średniego opóźnienia hamowania wynosiło już 2,2…2,8 m/s^2.



Wykres 8.9. Zestawienie średnich wartości opóźnienia hamowania uzyskanych na płycie poślizgowej Autodromu Pomorze

Często można spotkać się z opiniami kierowców, że dopuszczalna prędkość w terenie zabudowanym jest zbyt mała. Ale w naszej strefie geograficznej występuje tez pora zimowa. Przeprowadzone badania intensywnego hamowania na płycie poślizg o grubości warstwy wody ok 2 mm można porównać do jazdy po oblodzonej nawierzchni jezdni. Wystarczy spojrzeć na wykres 8.10 gdzie przedstawiono jaka może być „długa" nasza droga hamowania.



Wykres 8.10. Zestawienie drogi hamowania z prędkości początkowej 50 km/h, badania wykonano na płycie poślizgowej Autodromu Pomorze.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

8.7. Wnioski

Trzynastoletni staż pracy jako diagnosta samochodowy w Okręgowej Stacji Kontroli pojazdów oraz dziesięcioletnie doświadczenie zdobyte jako rzeczoznawca samochodowy oraz biegły sądowy upoważnia do stwierdzenie, że nie wszystkie pojazdy poruszające się po naszych drogach są sprawne techniczne. Dlatego zasadne jest wykonywanie (o ile jest to możliwe) powypadkowego badania technicznego. Potwierdzają to również przeprowadzone badania.

Wynika stąd postulat, aby organ procesowy nie podejmował pochopnie decyzji o wydaniu samochodu biorącego udział w wypadku jego właścicielowi, dopóki nie zostanie sporządzona rzetelna opinia techniczna.

Nowoczesne techniki rekonstrukcyjne (symulacje komputerowe) są bezużyteczne jeżeli nie został zbadany powypadkowy stan techniczny pojazdu, biorącego udział w wypadku i nie wiemy czy był sprawny technicznie. Może podczas intensywnego hamowanie nastąpiło, np. pęknięcie przewodu hamulcowego lub czy w ogóle układ hamulcowy był kompletny. Brak opinii technicznej jest jedną z przyczyn powodującej, że nie można w sposób jednoznaczny odtworzyć przebiegu wypadku i nie można sformułować trafnych wniosków.

Jaka jest wiarygodność rekonstrukcji wypadku drogowego jeżeli nie jest znany stan techniczny pojazdu biorącego w nim udział. Powinniśmy znać wartość opóźnienia hamowania, która jest jednym z podstawowych parametrów ustalenia prędkości pojazdu w okresie poprzedzającym wypadek.

Przyjęcie zaniżonej lub zawyżonej wartości 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.

Biegły badający zdarzenie drogowe posiada wiedzę specjalistyczną, ale też, dla ustalenia przyczyn wypadku, dysponuje znacznie większą ilością czasu niż policjant na miejscu zdarzenia. Może, a nawet powinien, tę wiedzę i ten czas wykorzystać do wnikliwego, a nie powierzchownego zbadania okoliczności powstania wypadku. Wnikliwa i rzetelna praca biegłego skutkuje mniejszą niepewnością w analizowaniu wypadków drogowych.

Przedstawiona koncepcja powypadkowych badań technicznych pojazdów zawarta w pracy okazała się cennym oraz trafnym pomysłem.

Przeprowadzone symulacyjne badania skuteczności hamowania samochodu, ze sprawnym i niesprawnym układem hamulcowym oraz ze sprawnym i niesprawnym układem ABS, umożliwiły wyznaczenie innowacyjnego współczynnika f_N niesprawności układu hamulcowego – zaprezentowanego i zdefiniowanego w następnym rozdziale.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

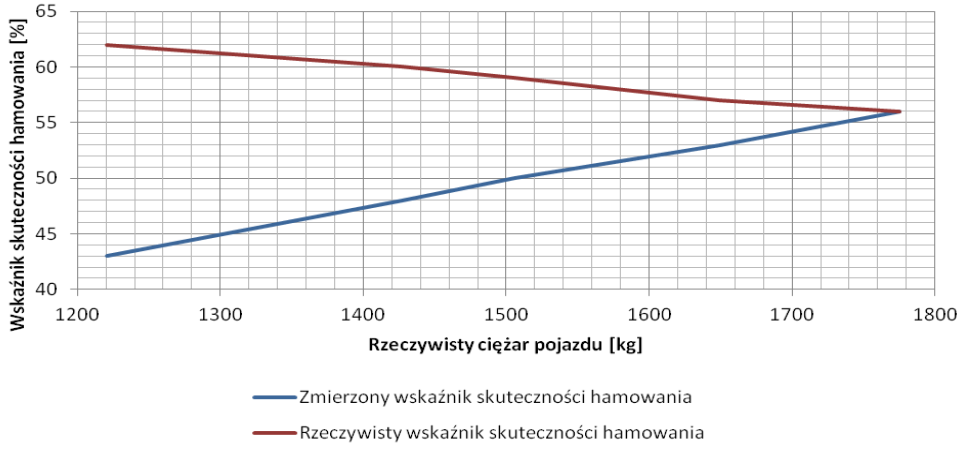
9. PRAKTYCZNE WYKORZYSTANIE WYNIKÓW INNOWACYJNYCH BADAŃ W REKONSTRUKCJI WYPADKÓW DROGOWYCH

Analiza metodyki powypadkowych badań technicznych (rozdział 4) zawiera rzeczywiste przykłady oględzin pojazdów biorących udział w zderzeniach drogowych. Bogata dokumentacja fotograficzna obrazuje jak ważnym elementem dla rzetelnej rekonstrukcji wypadku drogowego jest powypadkowe badanie techniczne. Zidentyfikowanie, wykrycie niekompletności, niesprawności bądź uszkodzeń układów mających wpływ na sprawność techniczną samochodu, podczas powypadkowych badań jest bardzo istotnym elementem (zwłaszcza w późniejszej rekonstrukcji wypadku). Zaprezentowana w niniejszej pracy metodyka powypadkowych badań technicznych uświadamia, jak ważne jest nie tylko badanie organoleptyczne, ale również jeżeli jest to tylko możliwe, wykonanie próby drogowej oraz badania stanowiskowego. Opinia techniczna samochodu powypadkowego nie powinna ograniczać się tylko do ujawnienia szeroko rozumianych śladów na pojeździe, ale również do przebadania (w miarę istniejących możliwości technicznych) sprawności poszczególnych układów pojazdu.

9.1. Badania stanowiskowe

Niekonwencjonalna koncepcja badania układu hamulcowego na stanowisku rolkowym (rozdział 6) zawiera praktyczne wskazówki dla biegłych przeprowadzających powypadkowe badania pojazdów w stacji diagnostycznej. Opracowaną metodykę i nowatorski protokół powypadkowego badania sprawności i skuteczności hamowania, samochodu w stacji kontroli pojazdów, zamieszczono w załączniku C.

Wskaźnik skuteczności hamowania jest to stosunek wszystkich sił hamowania działających na koła pojazdu do ciężaru samochodu. Różnice pomiędzy średnimi wartościami zmierzonego i rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania dla różnego obciążenia badanego samochodu osobowego Seat Leon o dopuszczalnej masie całkowitej 1775 kg przedstawiono na wykresie 9.1.



Wykres 9.1. Porównanie wartości zmierzonego i rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania dla różnego obciążenia samochodu Seat Leon, sprawny układ hamulcowy, sprawny układ ABS

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Podczas badania samochodu powypadkowego na stanowisku diagnostycznym należy wyznaczyć rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania, który zależy od rzeczywistej masy pojazdu (razem z kierowcą), a nie od dopuszczalnej masy całkowitej.

Na wskaźnik skuteczności hamowania istotny wpływ mają siły hamowania badanego pojazdu, które zależą w dużym stopniu od sprawności układu hamulcowego.

Obecnie, zgodnie z obowiązującymi przepisami, stosuje się układy hamulcowe dwuobwodowe. W przypadku uszkodzenia jednego z obwodów drugi powinien umożliwić zatrzymanie pojazdu. Na próżno szukać w literaturze informacji w jakim stopniu rozszczelnienie jednego z obwodów wpływa na proces hamowania.

Ważnym zagadnieniem w rekonstrukcji wypadków drogowych jest przypadek niepełnej sprawności układu hamulcowego, czyli sytuacja, kiedy koło (koła) samochodu wykazuje zaniżone wartości momentu hamującego. Dlatego dla potrzeb niniejszej pracy przeprowadzono szereg innowacyjnych badań stanowiskowych i drogowych hamowania samochodu w trakcie, którego nastąpiła awaria układu hamulcowego. Niesprawność polegała na rozszczelnieniu jednego z obwodów układu hamulcowego, a dokładniej przewodu hamulcowego doprowadzającego płyn hamulcowy do elementów wykonawczych przedniego lewego koła. Podstawowym celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu wystąpienia tego rodzaju uszkodzenia na skuteczność hamowania.

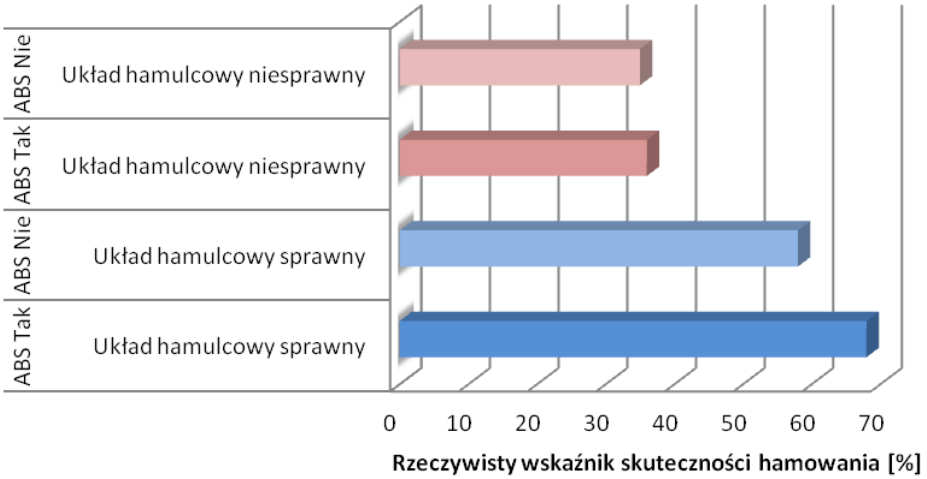
Zestawienie średnich sił hamowania dla poszczególnych kół i dla poszczególnych osi badanego samochodu Toyota Corolla dla sprawnego i niesprawnego układu hamulcowego oraz rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania przedstawiono w tabeli 9.1. Badania wykonano dla sprawnego i niesprawnego układu ABS. W trakcie badania skuteczności hamowania samochodu na stanowisku rolkowym nastąpił wyciek płynu hamulcowego z przewodu hamulcowego przedniego koła. Masa samochodu z kierowca wynosiła 1275 kg.

Tabela 9.1. Zestawienie średnich sił hamowania oraz rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania samochodu Toyota Corolla dla sprawnego i niesprawnego układu hamulcowego

Siła hamowania koła lewego – oś przednia	N	2516	1878	227	193
Siła hamowania koła prawego – oś przednia	N	2484	1997	1799	1453
Siła hamowania koła lewego – oś tylna	N	1962	1998	1332	1413
Siła hamowania koła prawego – oś tylna	N	1782	1641	1395	1475
Suma sił hamowania osi przedniej	N	5000	3875	2026	1646
Suma sił hamowania osi tylnej	N	3744	3639	2727	2888
Suma sił hamowania obu osi	N	8744	7514	4753	4534
Sprawny układ hamulcowy		tak	tak	nie	nie
Włączony układ ABS		tak	nie	tak	nie
Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania	%	69	59	37	36

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Średnie wartości rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania samochodu Toyota Corolla otrzymane na podstawie przeprowadzonych badań stanowiskowych zaprezentowano na wykresie 9.2. Pomiary sił hamowania wykonano ze sprawnym i niesprawnym układem ABS oraz ze sprawnym i niesprawnym układem hamulcowym.



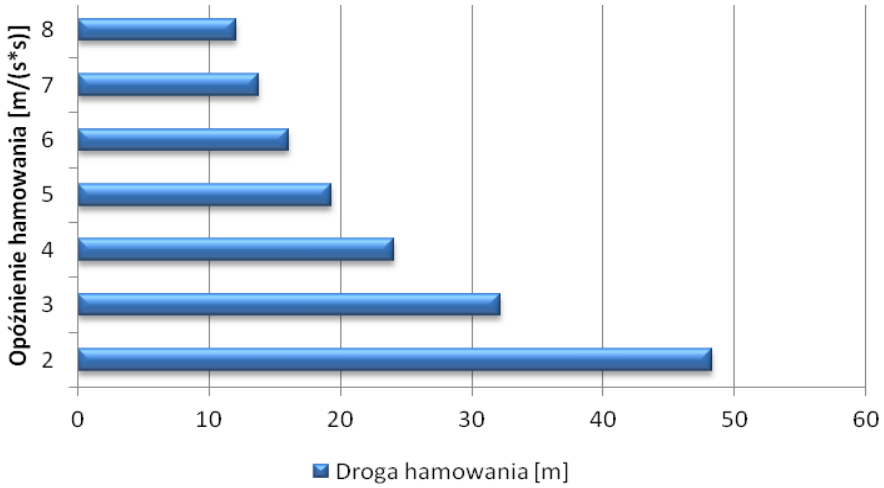
Wykres 9.2. Zestawienie rzeczywistych wskaźników skuteczności hamowania samochodu Toyota Corolla na stanowisku rolkowym z działającym i nie działającym układem ABS oraz ze sprawnym i niesprawnym układem hamulcowym

Różnica rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania badanego samochodu z sprawnym układem ABS dla sprawnego i niesprawnego układu hamulcowego wynosiła około 46 %, a dla niesprawnego układu ABS różnica opisywanego wskaźnika wynosiła około 39 %.

9.2. Wpływ opóźnienia hamowania na długość drogi hamowania

Na wartość opóźnienia hamowania i długość drogi hamowania ma wpływ stan techniczny pojazdu, a w szczególności sprawny i kompletny układ hamulcowy.

Długość drogi hamowania z prędkości 50 km/h do zatrzymania pojazdu w zależności od przyjętej wartości opóźnienia hamowania przedstawiono na wykresie 9.3.



Wykres 9.3. Zestawienie długości drogi hamowania w zależności od wartości opóźnienia hamowania dla prędkości początkowej 50 km/h

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

9.3. Przykładowa analiza wypadku pojazd-pieszy

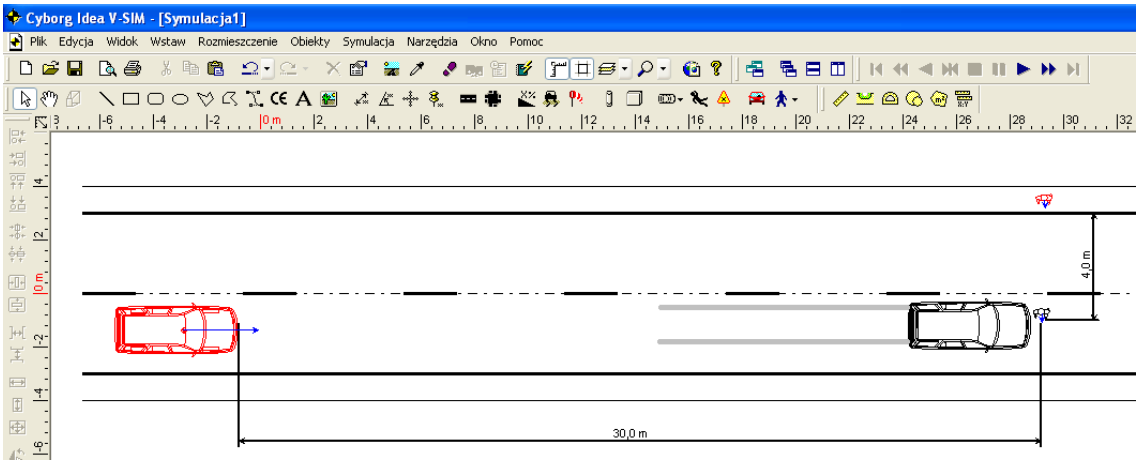
Rozważmy typowy przykład wtargnięcie pieszego na jezdnię przed nadjeżdżający samochód. Taka sytuacja powoduje stan zagrożenia i podjęcie przez kierowcę samochodu decyzji o wykonaniu manewru obronnego, którym jest najczęściej awaryjne hamowanie.

Przyjmijmy, że samochód jechał z prędkością $v_p = 50$ [km/h] na poziomej, asfaltowej, suchej nawierzchni drogi o współczynniku przyczepności $\mu = 0{,}7$. Czas uruchomiania hamulców hydraulicznych wynosił $t_U = 0{,}2$ [s], a czas reakcji kierowcy $t_{RK} = 1$ [s]. Kiedy pieszy wszedł na jezdnię, nadjeżdżający samochód znajdował się od niego w odległości około 30 m.

Długość drogi zatrzymania samochodu ze sprawnym układem hamulcowym wynosi:

$$S_Z = \left(t_{RK} + \frac{t_U}{2}\right) \cdot v_P + S_H = \left(t_{RK} + \frac{t_U}{2}\right) \cdot v_p + \frac{v_p^2}{2 \cdot \mu \cdot g} \approx 30 \text{ [m]}$$

Czyli, samochód powinien zatrzymać się przed torem ruchu pieszego. Kolorem czarnym na rysunku 9.1 zaznaczono położenie pieszego i samochodu w chwili powstania stanu zagrożenia, a kolorem czerwonym położenie pieszego i samochodu po intensywnym hamowaniu.



Rys. 9.1. Fragment okna programu V-SIM (Cyborg Idea), droga zatrzymania samochodu hamującego z opóźnieniem 7,0 [m/s^2], prędkość początkowa 50 [km/h]

Dla przedstawionego powyżej przykładu rozważmy sytuację wejścia pieszego na jezdnię przed nadjeżdżający samochód z niesprawnym układem hamulcowym. Analiza czasowo-przestrzenna w formie analitycznej została wykonana dla samochodu, którego zmierzona rzeczywista wartość opóźnienia hamowania wynosiła 4,5 [m/s^2].

Rekonstrukcja wypadków drogowych pojazdu z pieszym obejmuje:

- ustalenie pozycji pieszego względem samochodu,
- miejsce potrącenia wzdłuż i wszerz drogi,
- prędkość kolizyjną samochodu.

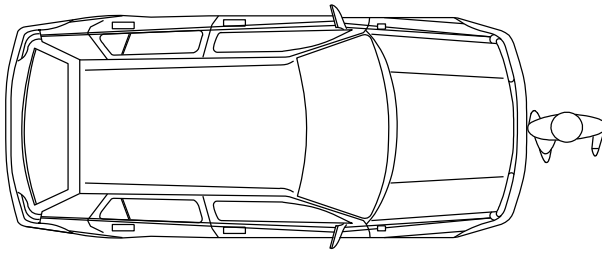
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Analiza położenia uszkodzeń samochodu (rys. 9.2 i rys. 9.3) oraz obrażeń dziesięcioletniego pieszego prowadzi do wniosku, że ich względne położenie w chwili początkowej kolidowania powinno być takie jak na rys. 9.4. Pieszy znajdował się wówczas przed ścianą czołową samochodu, zwrócony swym prawym bokiem do samochodu.

Rys. 9.2. Widok uszkodzonej pokrywy silnika samochodu Opel Astra

Rys. 9.3. Widok ogólny samochodu Opel Astra, który potrącił małoletniego pieszego

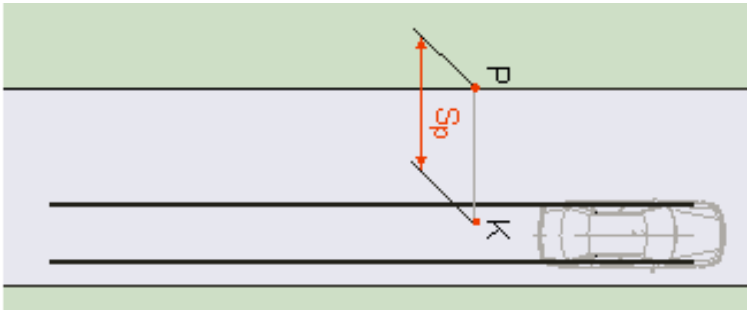
Bezpośrednio przed potrąceniem pieszy przemieszczał się po jezdni ze strony lewej na prawą, patrząc zgodnie z kierunkiem jazdy samochodu.



Rys. 9.4. Względne położenie samochodu Opel Astra i pieszego w chwili początkowej kolidowania

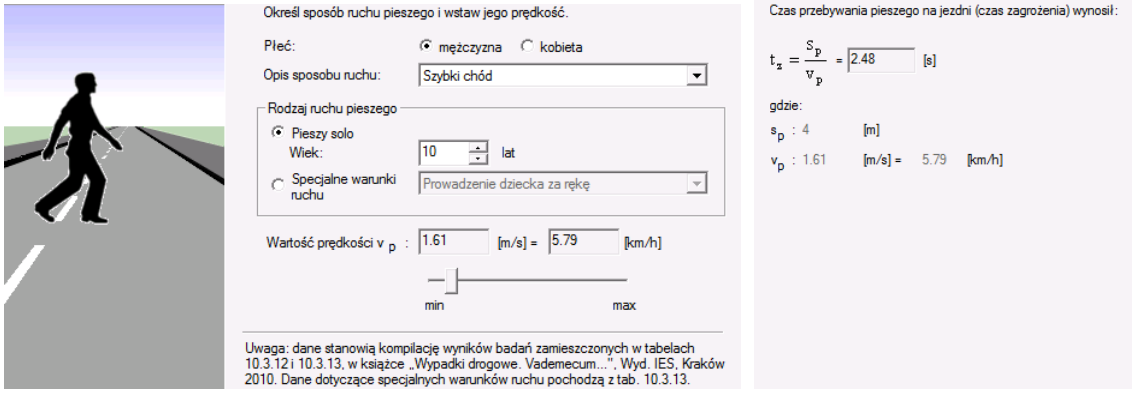
Analizę potrącenia pieszego przeprowadzono przy użyciu programu komputerowego RWD, opracowanego praz Instytut Ekspertyz Sądowych w Krakowie (od rys. 9.5 do rys. 9.12).

Powstanie stanu zagrożenia nastąpiło w momencie wejście pieszego na jezdnię (punkt *P*). Na rys. 9.5 pokazano powypadkowe położenie pojazdu oraz miejsce kolidowania pojazdu z pieszym (punkt *K)* .

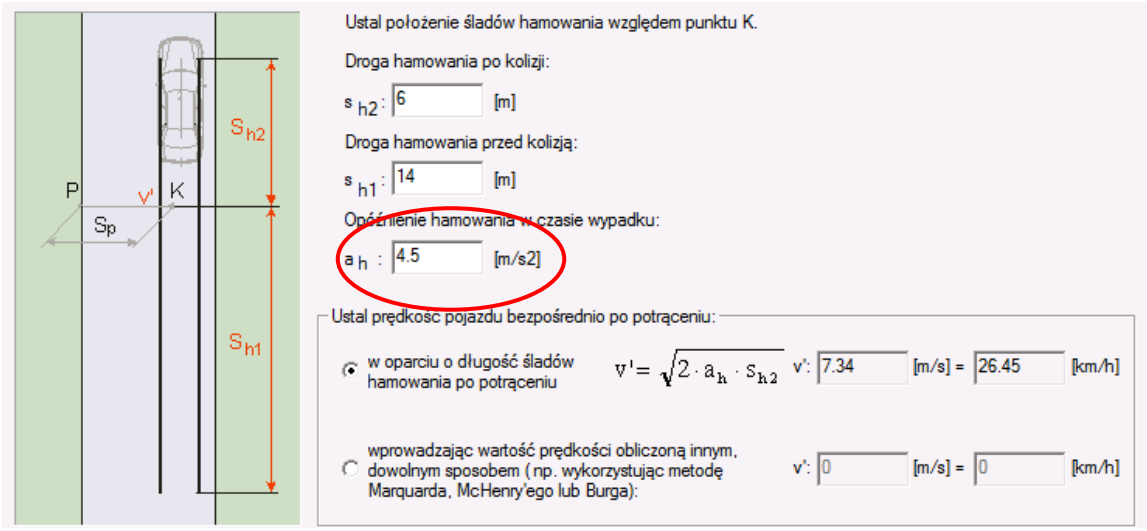


Rys. 9.5. Fragment okna dialogowego programu RWD,
długość drogi ruchu pieszego S_p w stanie zagrożenia od punktu P do punktu K

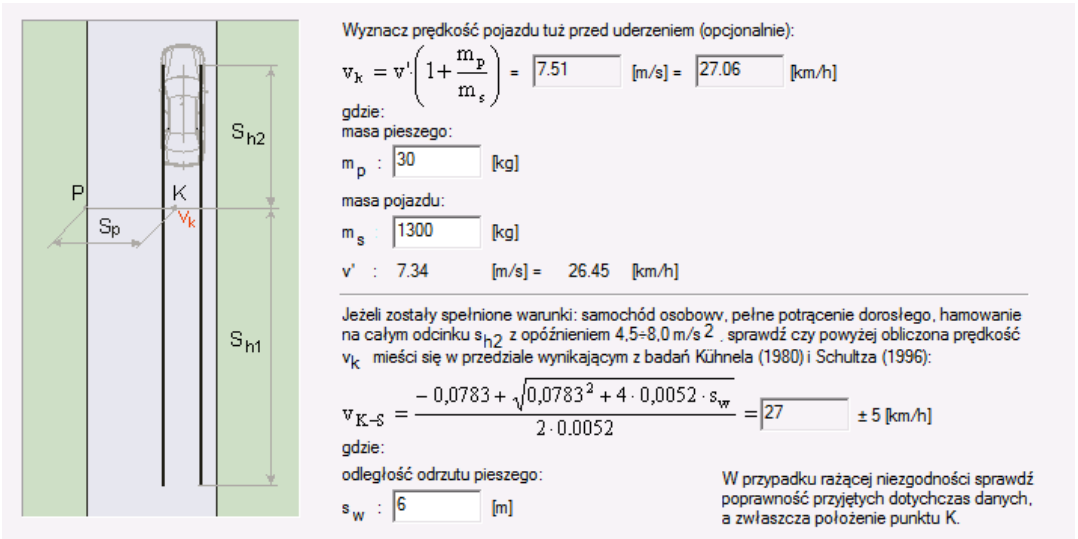
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 9.6. i rys. 9.7. Fragment okna dialogowego programu RWD,
określenie sposobu ruchu pieszego i czasu przebywania na jezdni (stan zagrożenia)

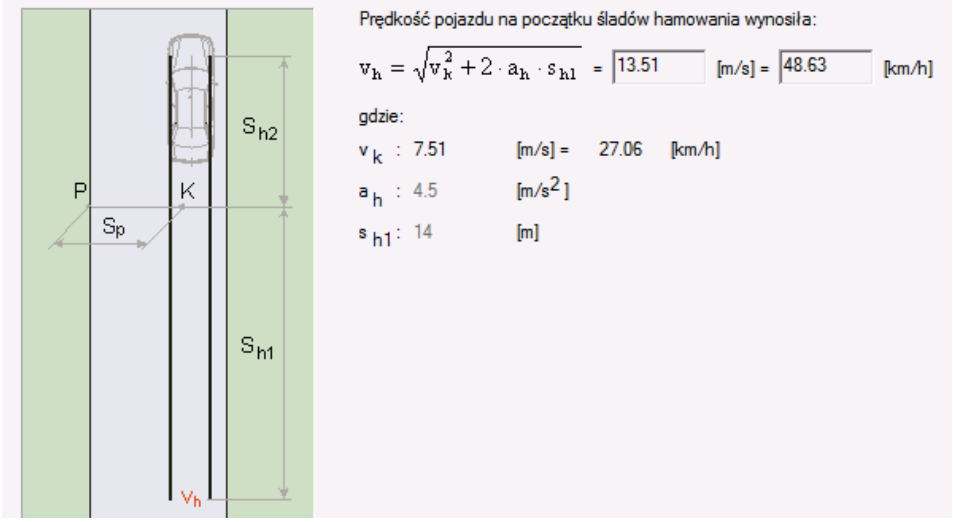


Rys. 9.8. Fragment okna dialogowego programu RWD, droga hamowania samochodu przed i po zdarzeniu dla przyjętej wartości opóźnienia hamowania a_h= 4,5 m/s^2

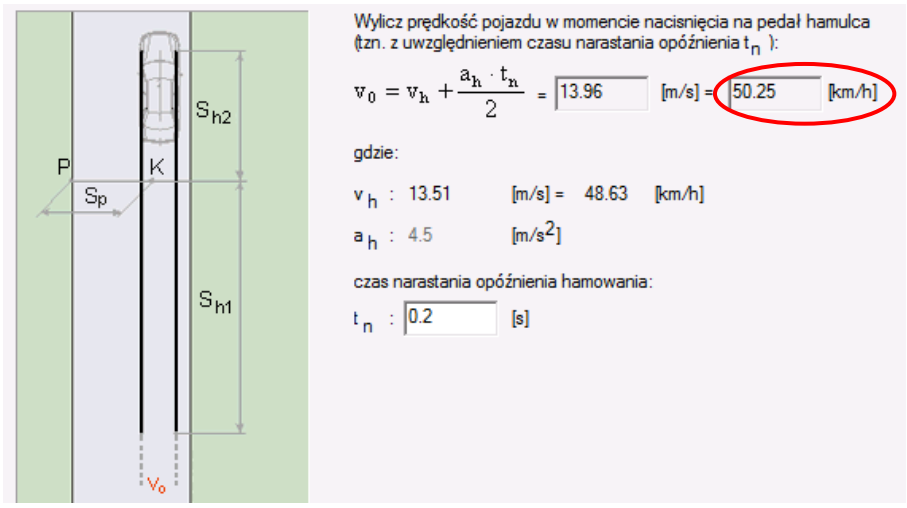


Rys. 9.9. Fragment okna dialogowego programu RWD, spadek prędkości samochodu w czasie kontaktu z ciałem pieszego

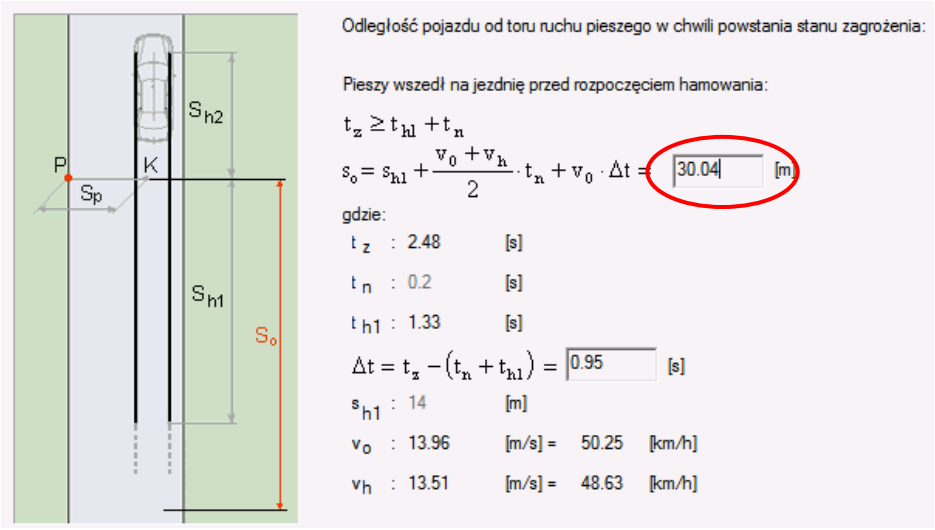
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 9.10. Fragment okna dialogowego programu RWD, prędkość samochodu na początku drogi hamowania przed zderzeniem



Rys. 9.11. Fragment okna dialogowego programu RWD, prędkość samochodu w momencie naciśnięcia przez kierowcę na pedał hamulca



Rys. 9.12. Fragment okna dialogowego programu RWD, odległość pojazdu od toru ruchu pieszego w chwili powstania stanu zagrożenia

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

W zaprezentowanym przykładzie (dla dwóch przypadków sprawności układu hamulcowego) prędkość początkowa samochodu była taka sama i wynosiła 50 [km/h]. Odległość samochodu od toru ruchu pieszego w chwili powstania stanu zagrożenia wynosiła około 30 [m]. Przeprowadzona analiza obrazuje jakie tragiczne w skutkach konsekwencje może mieć jazda samochodem z niesprawnym układem hamulcowym. Droga hamowania samochodu z niesprawnym układem hamulcowym była aż o 6 [m] dłuższa od drogi hamowania samochodu ze sprawnym układem hamulcowym. Prędkość samochodu w początkowej chwili kolidowania z pieszym wynosiła około 27 [km/h], ale była wystarczająca, by małoletni pieszy wypadku nie przeżył.

W celu sporządzenia prawidłowej i wiarygodnej opinii biegły powinien znać (założyć) realne (rzeczywiste) opóźnienie hamowania. W szczególności w wypadkach pojazd - pieszy powinna być wykonana opinia techniczna, która będzie zawierała nie tylko opis stanu technicznego pojazdu, ale również wartość zmierzonego opóźnienia hamowania lub pomiaru sił hamowania na stanowisku diagnostycznym.

Biegły powinien umieć uzasadnić przyjętą w obliczeniach przez siebie wartość opóźnienia hamowania. Ponieważ może ona zostać bezlitośnie zakwestionowana w sądzie przez jedną ze stron procesu.

W większości przypadków samochodem po potrąceniu pieszego lub rowerzysty można wykonać jazdę próbną i zmierzyć wartość opóźnienia hamowania lub przeprowadzić odpowiednie badanie na stanowisku diagnostycznym. Innowacyjne badania drogowe wykazały jak znaczne różnice wartości opóźnienia hamowania mogą wystąpić dla sprawnego i niesprawnego układu hamulcowego.

9.4. Współczynnik niesprawności układu hamulcowego

Głównym założeniem pracy „koncepcja powypadkowych badań technicznych pojazdów w aspekcie rekonstrukcji wypadków drogowych” było określenie wpływu niesprawności układu hamulcowego na skuteczność hamowania oraz na podstawie badań doświadczalnych wyznaczenie współczynnika niesprawności układu hamulcowego f_N.

Współczynnik niesprawności układu hamulcowego f_N jest to stosunek wartości średniego opóźnienia hamowania dla niesprawnego układu hamulcowego do wartości średniego opóźnienia hamowania dla sprawnego układu hamulcowego i wyliczamy go za pomocą wzoru:

$$f_N = \frac{a_{Nsr}}{a_{Hsr}} \tag{9.1}$$

gdzie:

a_{Nsr} - średnie opóźnienie hamowania dla niesprawnego układu hamulcowego [m/s^2],

a_{Hsr} - średnie opóźnienie hamowania dla sprawnego układu hamulcowego [m/s^2].

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

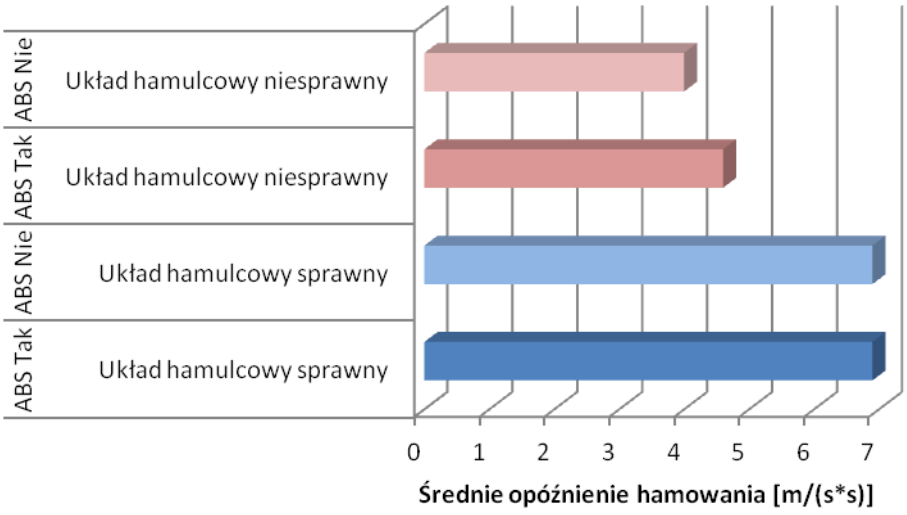
Wykonano szereg prób hamownia samochodem Toyota Corolla ze sprawnym i niesprawnym układem ABS oraz ze sprawnym i niesprawnym układem hamulcowym (rozdział 8). Innowacyjne badania przeprowadzono przy prostoliniowym torze jazdy na nawierzchni szutrowej, asfaltowej oraz na płycie poślizgowej „Autodromu Pomorze" Pomorskiego Ośrodka Ruchu Drogowego. Niesprawność układu hamulcowego polegała na rozszczelnieniu jednego z obwodów układu hamulcowego - przewodu hamulcowego doprowadzającego płyn hamulcowy do elementów wykonawczych przedniego koła.

Zestawienie średnich wartości opóźnienia hamowania i drogi hamowania samochodu Toyota Corolla na suchej nawierzchni asfaltowej przedstawione zostało w tabeli 9.2 i na wykresie 9.4. Badania wykonano ze sprawnym i niesprawnym układem hamulcowym oraz ze sprawnym i niesprawnym układem ABS dla prędkości początkowej około 50 km/h. Pomiary wykonano przy użyciu opóźnieniomierza Brek Test LWS-2/MC.

Podstawowym celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu uszkodzenia (nieszczelności) jednego obwodu hamulcowego na rzeczywiste opóźnienie pojazdu.

Tabela 9.2. Średnie wartości opóźnienia hamowania i drogi hamowania samochodu Toyota Corolla dla suchej nawierzchni asfaltowej

Układ ABS	**Układ Hamulcowy**	**Opóźnienie hamowania [m/s^2]**	**Droga hamowania [m]**
		a_{Hsr}	S_H
Tak	Sprawny	6,9	14,0
Nie	Sprawny	6,9	14,0
Tak	Niesprawny	4,6	21,0
Nie	Niesprawny	4,0	24,1



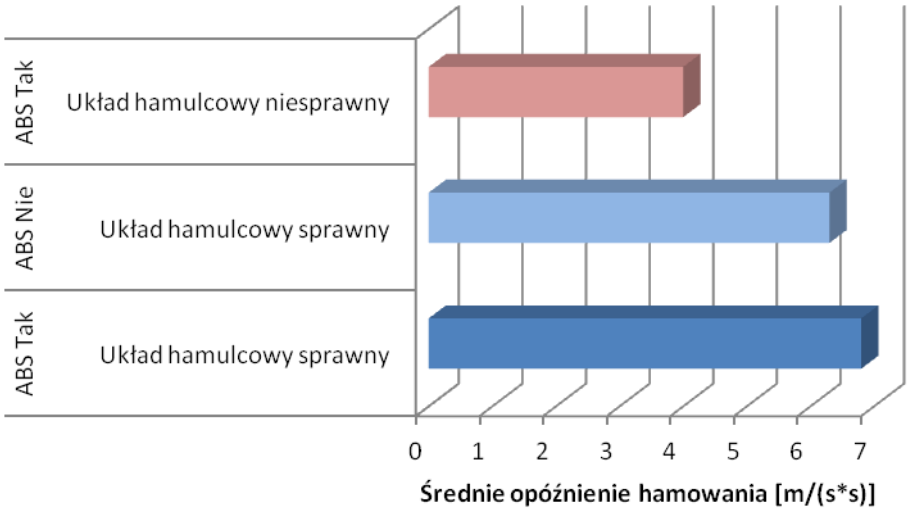
Wykres 9.4. Średnie wartości opóźnienia hamowania samochodu Toyota Corolla wyliczone z pomiarów przeprowadzonych na suchej nawierzchni asfaltowej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Zestawienie średnich wartości opóźnienia hamowania i drogi hamowania samochodu Toyota Corolla dla mokrej nawierzchni asfaltowej przedstawiono w tabeli 9.3 i na wykresie 9.5. Badania wykonano ze sprawnym i niesprawnym układem hamulcowym oraz z sprawnym i niesprawnym układem ABS.

Tablica 9.3. Średnie wartości opóźnienia hamowania i drogi hamowania samochodu Toyota Corolla dla mokrej nawierzchni asfaltowej

Układ ABS	Układ Hamulcowy	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	Droga hamowania [m]
		a_{Hsr}	S_H
Tak	Sprawny	6,8	14,2
Nie	Sprawny	6,3	15,3
Tak	Niesprawny	4,0	24,1



Wykres 9.5. Średnie wartości opóźnienia hamowania samochodu Toyota Corolla wyliczone z pomiarów przeprowadzonych na mokrej nawierzchni asfaltowej

Jeżeli podczas powypadkowego badania technicznego zostanie ujawniona nieszczelność układu hamulcowego (wyciek płynu hamulcowego), która nastąpiła podczas intensywnego hamowania przed zderzeniowego to należy wartość opóźnienia hamowania a_{Nsr} [m/s^2] wyliczyć ze wzoru:

$$a_{Nsr} = a_{Hsr} \cdot f_N \tag{9.2}$$

gdzie:

a_{Hsr} - średnie opóźnienie hamowania [m/s^2],

f_N - współczynnik niesprawności układu hamulcowego.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Na podstawie przeprowadzonych innowacyjnych badań wyznaczono współczynnik niesprawności układu hamulcowego f_N, którego wartości zamieszczono w tabeli 9.4.

Tabela 9.4. Wartości współczynnika niesprawności układu hamulcowego

Rodzaj nawierzchni	Stan drogi	Układ ABS	Współczynnik niesprawności f_N	
			min	max
Asfalt	Suchy	Tak	0,59	0,74
Asfalt	Suchy	Nie	0,54	0,62
Asfalt	Mokry	Tak	0,58	0,59
Płyta poślizgowa	Mokry	Tak	0,56	0,65
Płyta poślizgowa	Mokry	Nie	0,53	0,55

Uzyskane podczas prób drogowych przebiegi i wartości opóźnienia hamowania dla sprawnego i niesprawnego układu hamulcowego badanego samochodu stanowią cenne źródło w opiniowaniu wypadków drogowych.

Przyjmując ruch jednostajnie opóźniony pojazdu w czasie hamowania z niesprawnym (nieszczelnym) układem hamulcowym , drogę hamowania S_{HN} możemy obliczyć:

$$S_{HN} = \frac{v_P^2 - v_K^2}{2 \cdot a_{Nsr}} = \frac{v_P^2 - v_K^2}{2 \cdot a_{Hsr} \cdot f_N}. \tag{9.3}$$

oraz

$$S_{HN} = \frac{v_P^2}{2 \cdot a_{Nsr}} = \frac{v_P^2}{2 \cdot a_{Hsr} \cdot f_N}, \text{ gdy} \quad v_K = 0. \tag{9.4}$$

Droga zatrzymania S_{ZN} samochodu z niesprawnym (nieszczelnym) układem hamulcowym wynosi:

$$S_{ZN} = t_R \cdot v_P + S_{HN} \tag{9.5}$$

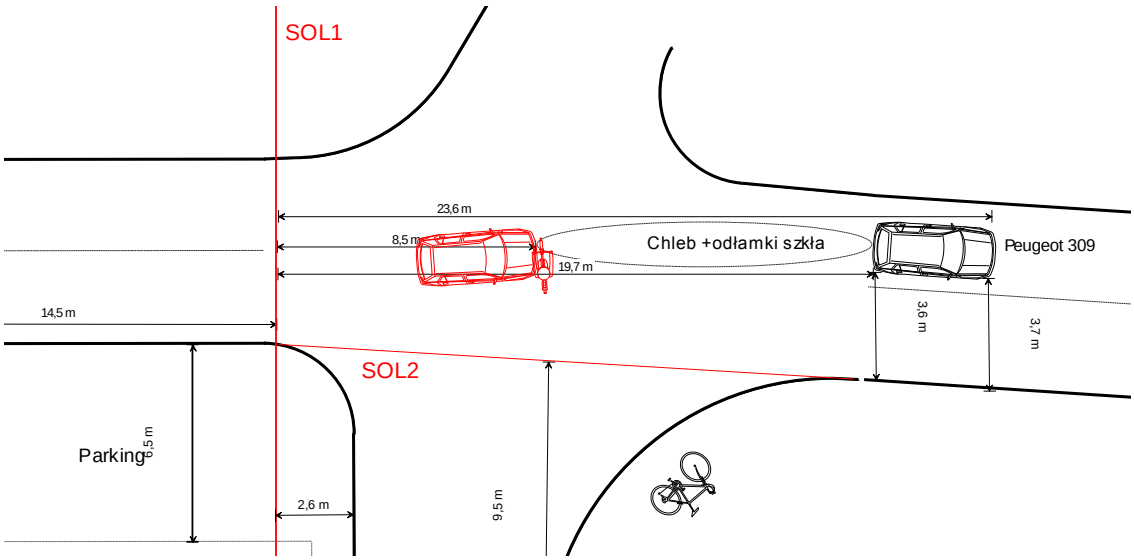
$$S_{ZN} = \left(t_{RK} + \frac{t_U}{2} \right) \cdot v_P + \frac{v_P^2}{2 \cdot a_{Hsr} \cdot f_N} = \left(t_{RK} + \frac{t_U}{2} \right) \cdot v_p + \frac{a_{Hsr} \cdot f_N}{2} \left(t_H + \frac{t_U}{2} \right)^2 \tag{9.6}$$

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

9.5. Praktyczne wykorzystanie innowacyjnych badań opóźnienia hamowania

W praktyce zdarzają się sytuacje, w których, podobnie jak podczas prowadzonych badań następuje awaria (rozszczelnienie) układu hamulcowego podczas intensywnego hamowania.

Poniżej przykład wypadku, który wydarzył się w okolicach Tczewa. Kierujący samochodem na skrzyżowaniu potrącił rowerzystę, który wyjechał z drogi gruntowej znajdującej się po prawej stronie. Szkic miejsca wypadku przestawiono na rys. 9.13. Kolorem czerwonym zaznaczono samochód i rowerzystę w chwili początkowej kolidowania, a czarnym położenie powypadkowe pojazdów.



Rys. 9.13. Szkic miejsca zderzenia samochodu z rowerzystą, powypadkowe położenie pojazdów

Długość drogi przebytej przez samochód po zderzeniu z rowerzystą wynosiła S_h = 15,1 m. Z protokołu oględzin samochodu wykonanego przez funkcjonariuszy Policji na miejscu wypadku wynikało, że: *„samochód nie był wyposażony w układ ABS, układ hamulcowy hydrauliczny – nieszczelny. Stwierdzono wyciek płynu hamulcowego ze sztywnego przewodu hamulcowego przy tylnym prawym kole. Układ kierowniczy w normie. Pozycja dźwigni zmiany biegów – czwarty bieg”.* Do wypadku doszło na poziomej, suchej asfaltowej nawierzchni drogi. Współczynniku przyczepności dla sprawnego układu hamulcowego wynosi $\mu = 0{,}7$.

W opisywanym samochodzie ujawniono niesprawny (nieszczelny) układ hamulcowy. Obliczając prędkość samochodu w początkowej chwili kolidowania z rowerzystą uwzględniono wzór 9.2 oraz wyniki badań zamieszczone w tabeli 9.4.

$$V_{hN} = \sqrt{2 \cdot a_{Nsr} \cdot S_h} = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 07 \cdot (0{,}54..0{,}62) \cdot 15{,}1} = 10{,}6...11{,}3\,[\mathrm{m/s}]$$

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, ze prędkość uderzenia samochodu (z nieszczelnym układem hamulcowym) w rowerzystę wynosiła 38…41 km/h (10,6…11,3 m/s).

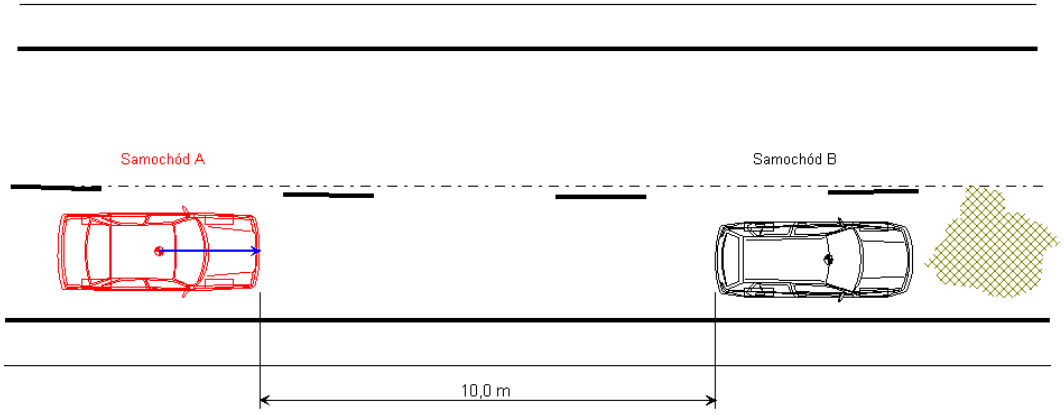
Jeżeli nie uwzględnimy współczynnika niesprawności układu hamulcowego, to obliczona prędkości samochodu w początkowej chwili kolidowania z rowerzystą wynosiła:

$$V_h = \sqrt{2 \cdot a_{Hsr} \cdot S_h} = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 07 \cdot 15{,}1} = 14{,}4\,[\mathrm{m/s}]$$

Obliczona prędkość kolizyjna samochodu wynosząca około 52 km/h (14,4 m/s) jest nieadekwatna do obrażeń rowerzysty. Dlatego, aby uniknąć błędów i niepewności w rekonstrukcji wypadków drogowych, należy wykonywać powypadkowe badanie techniczne. Rzetelnie wykonana opinia techniczna jest bardzo cennym dowodem materialnym, a także zmniejsza niepewność obliczeń w późniejszej rekonstrukcji.

Kolejną dziedziną rekonstrukcji wypadków drogowych, w której mogą być przydatne innowacyjne badania opóźnienia hamowania z niesprawnym (nieszczelnym) układem hamulcowym są zderzenia pojazdów.

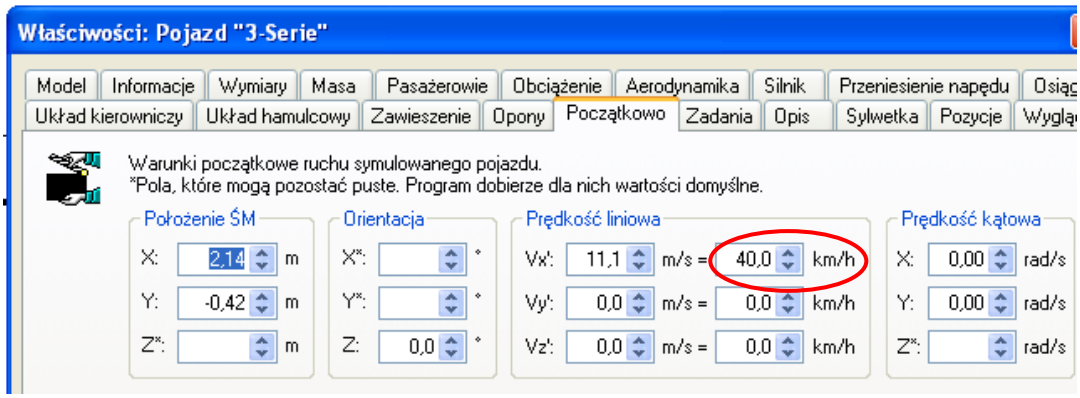
Przeanalizujmy proces hamowania samochodu A, czy zdąży wyhamować przed tyłem samochodu B, który zatrzymał się na jezdni przed plamą ropopochodną (rys. 9.14).



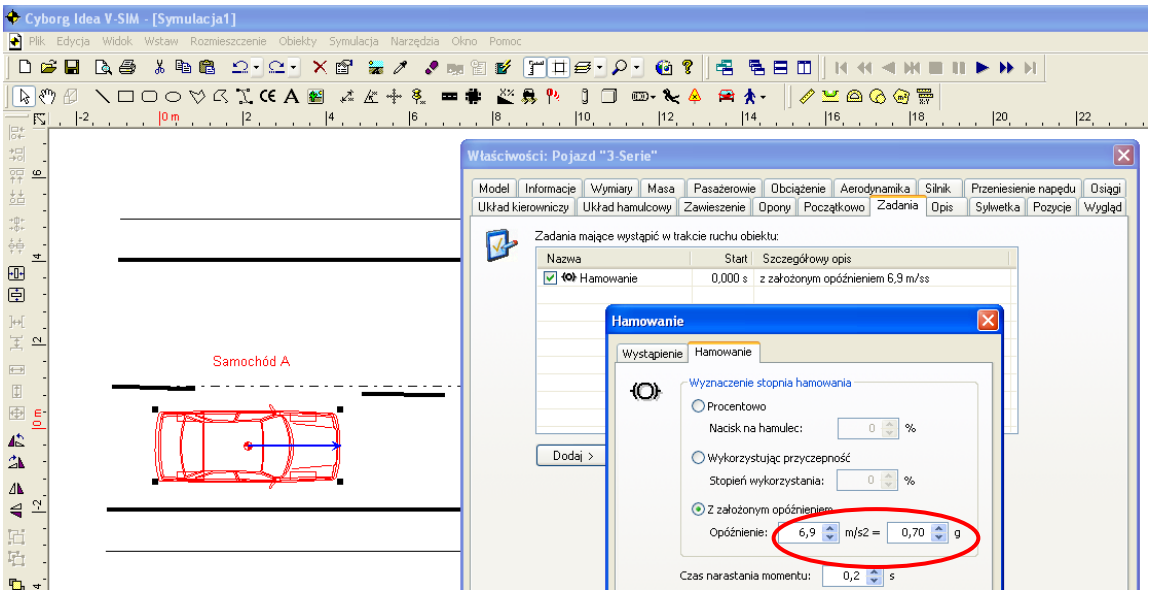
Rys. 9.14. Widok wzajemnego położenia samochodów A i B

Samochód A poruszał się z prędkością 40 km/h (rys. 9.15). Za pomocą programu komputerowego V-SIM przeprowadzono symulację czy przyjęta odległość wynosząca 10 m pomiędzy samochodami wystarczy do wyhamowania samochodu A przed najechaniem na tył samochodu B. Symulacja nie uwzględnia czasu reakcji kierowcy, ale tylko drogę hamowania samochodu A. Samochód wyposażony był w układ ABS i miał sprawny układ hamulcowy (rys.9.16). Przyjęty współczynnik przyczepności dla sprawnego układu hamulcowego wynosił $\mu = 0{,}7$. Położenia samochodu A po zatrzymaniu przedstawiono na rys. 9.17.

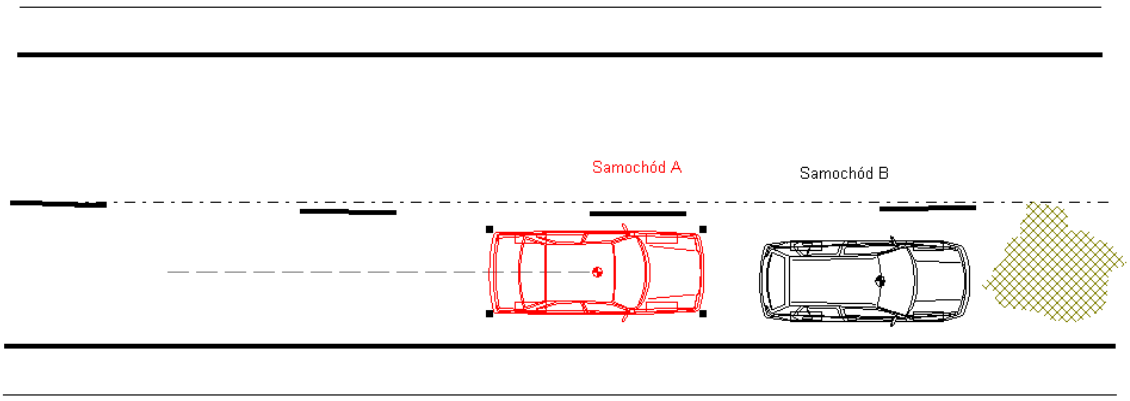
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 9.15. Fragment okna programu V-SIM, zakładka określająca warunki początkowe ruchu pojazdu



Rys. 9.16. Fragment okna dialogowego programu V-SIM, przyjęte opóźnienie hamowania 6,9 m/s^2



Rys. 9.17. Widok samochodu A, który zatrzymał się przed tyłem samochodem B

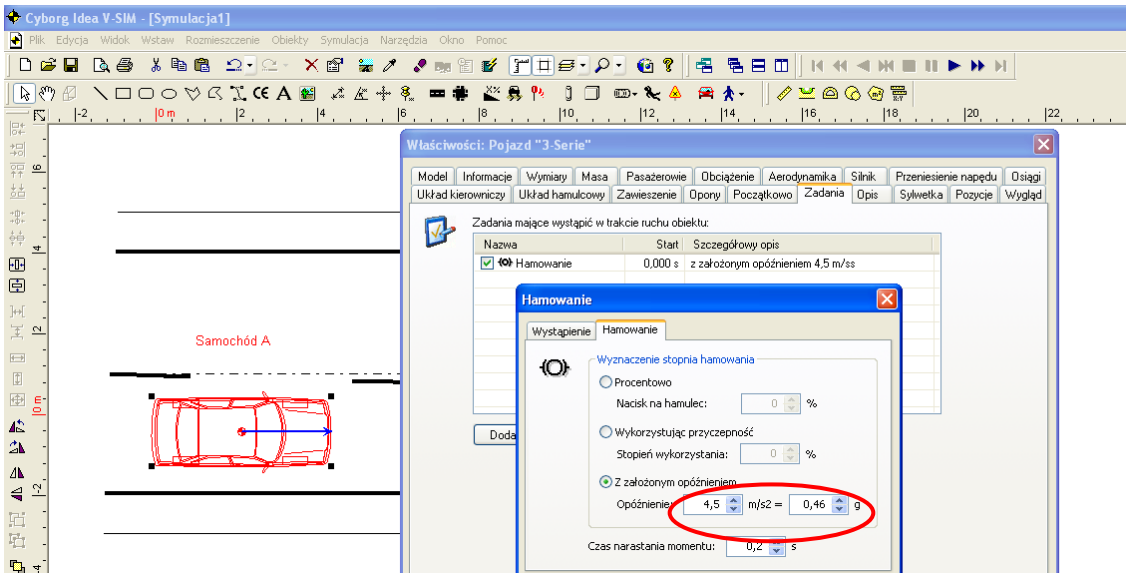
Ponownie rozpatrzymy przedstawioną powyżej sytuację, ale tym razem dla przypadku , gdy samochód A miał niesprawny układ hamulcowy. Podczas hamowania nastąpił wyciek płynu hamulcowego ze znacznie skorodowanego sztywnego przewodu hamulcowego. Średnia wartość współczynnika niesprawności (nieszczelności) układu hamulcowego dla suchej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

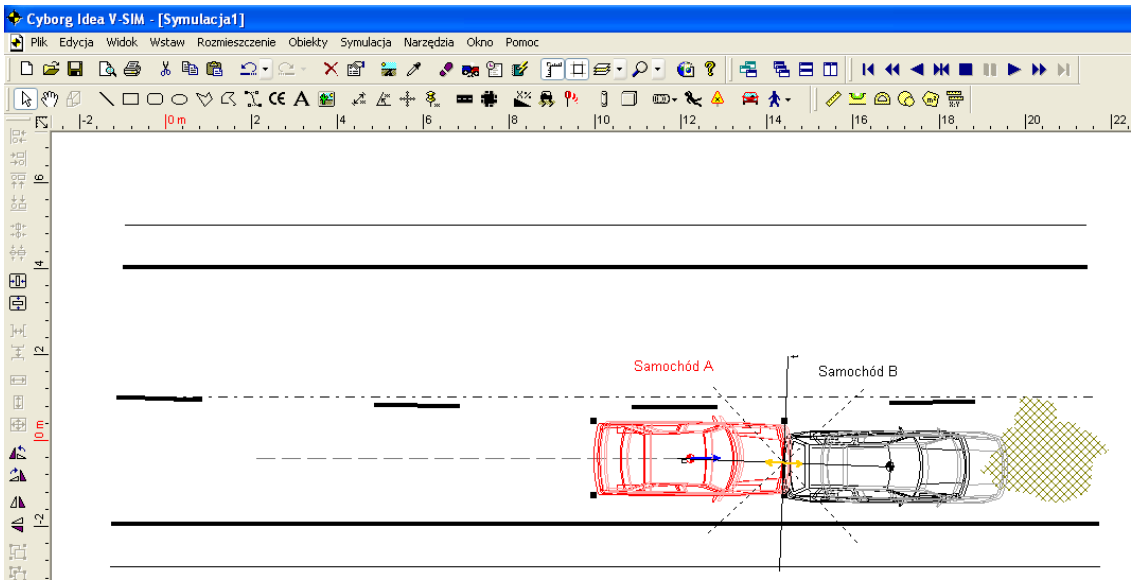
nawierzchni asfaltowej wynosiła $f_N = 0{,}66$ (tabela 9.4).Zatem wartość opóźnienia hamowania wynosiła:

$$a_N = a_{Hsr} \cdot f_N = 9{,}81 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}66 = 4{,}5\,[\text{m/s}]$$

Uwzględniając wpływ uszkodzenia (nieszczelności) układu hamulcowego na wartość opóźnienia hamowania (rys. 9.18) otrzymamy sytuację, w której długość drogi hamowania samochodu A była większa niż 10 m i doszło do zderzenia. Samochód A najechał na tył samochodu B co przedstawiono na rys. 9.19.



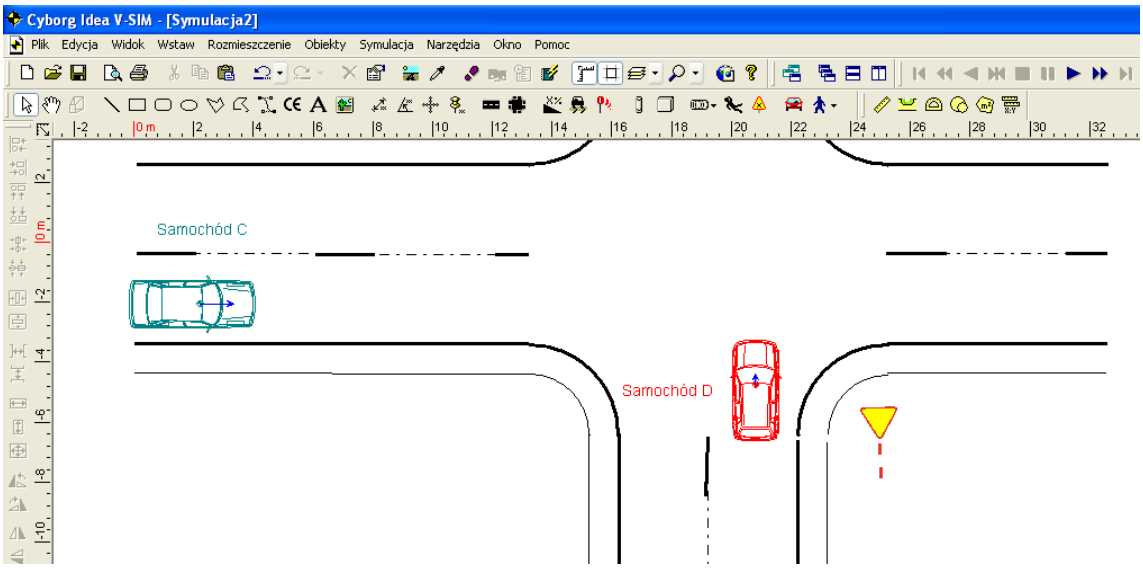
Rys. 9.18. Fragment okna dialogowego programu V-SIM, przyjęte opóźnienie hamowania 4,5 m/s^2



Rys. 9.19. Widok samochodu A z niesprawnym układem hamulcowym, który uderzył w tył samochodu B

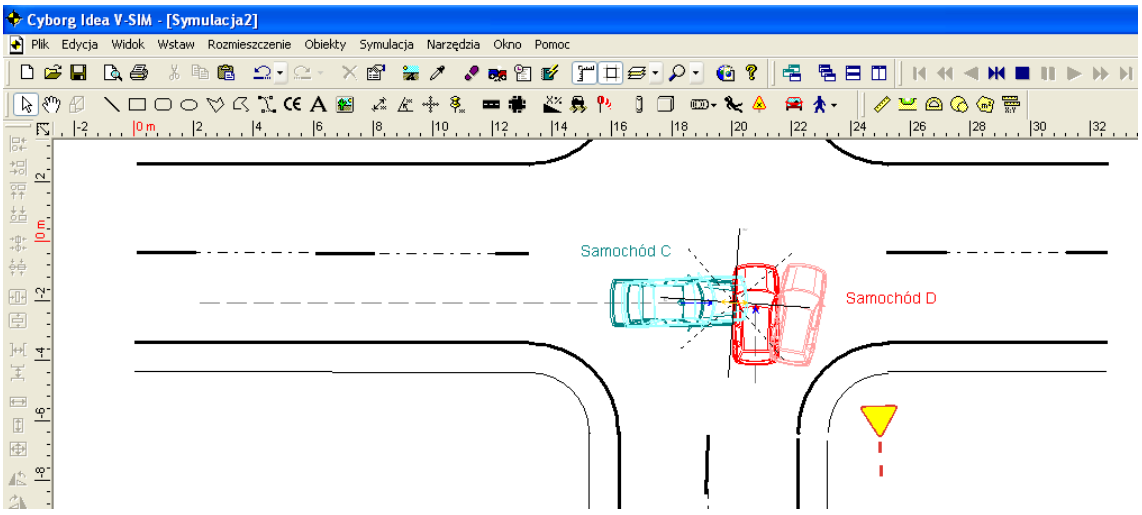
Na rys. 9.20 przedstawiono sytuację, w której kierujący samochodem D wyjeżdżając z drogi podporządkowanej, wymusił pierwszeństwo przejazdu i w konsekwencji zmusił kierującego samochodem C do hamowania.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 9.20. Widok samochodu D, który spowodował stan zagrożenia i zmusił kierującego samochodem C do intensywnego hamowania

Analizując możliwość uniknięcia wypadku, należy między innymi sprawdzić stan techniczny pojazdów biorących udział w zdarzeniu (rys. 9.21).



Rys. 9.21. Widok samochodu C, który nie wyhamował i uderzył w boku samochodu D

Jeżeli podczas powypadkowego badania technicznego w samochodzie biorącym udział w zdarzeniu, wykryto nieszczelność obwodu hamulcowego (która powstała podczas intensywnego hamowania przed zderzeniowego), to przy rekonstrukcji wypadku należy uwzględnić niesprawności (nieszczelność) układu hamulcowego.

Przedstawione przykłady nie wyczerpują wszystkich możliwości wykorzystania innowacyjnych badań i praktycznego zastosowania współczynnika niesprawności układu hamulcowego f_N.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

10. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Rozdziały pracy zostały zakończone szczegółowymi wnioskami oraz analizą wyników badań. Cel pracy został osiągnięty, ponieważ zostały udowodnione założone tezy. Przeprowadzone prace badawcze dotyczą kilku ważnych dziedzin związanych z bezpieczeństwem ruchu drogowego, diagnostyką i rzeczoznawstwem samochodowym, rekonstrukcją wypadków drogowych oraz opiniowaniem techniczno-kryminalistycznym dla organów procesowych. Innowacyjne badania drogowe i stanowiskowe oraz obszerny materiał uzyskany dzięki nabytemu doświadczeniu i kompetencji podczas wykonywanej pracy diagnosty i rzeczoznawcy samochodowego, biegłego sądowego w zakresie ekspertyzy i rekonstrukcji wypadków drogowych, pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1) Na podstawie przeprowadzonej wnikliwej analizy zamieszczonej w niniejszej pracy udowodniono twierdzenie tezy 1. Pojazdy biorące udział w wypadkach drogowych, w których były ofiary śmiertelne lub osoby poszkodowane doznały obrażeń ciała, powinny zostać poddane obowiązkowo powypadkowym badaniom technicznym. Przytoczone w rozdziale 4 liczne przykłady ujawnionych i zidentyfikowanych, rzeczywistych niekompletności, niesprawności oraz nieszczelności układów hamulcowych w przejrzysty sposób obrazują jak bardzo ważnym elementem dla rzetelnej i wiarygodnej rekonstrukcji wypadków drogowych jest przeprowadzanie powypadkowych badań technicznych.
   Zaniechanie stosowania powypadkowego badania technicznego pojazdów ogranicza wykrycie niekompletności, niesprawności układów mogących być przyczyną wypadków oraz uniemożliwia w pewnym zakresie możliwości dochodzenia prawdy, co w konsekwencji może skutkować wydaniem niesprawiedliwego wyroku.
2) Problem niesprawności układu hamulcowego pojazdów poruszających się po naszych drogach widoczny jest także podczas przeprowadzania okresowego badania technicznego. W rozdziale 5 zamieszczono przykłady uszkodzenia przez autora elementów lub przewodów hamulcowych pojazdów, podczas badania sił hamowania na stanowisku rolkowym. Jak już wcześniej wspomniano na początku pracy problem awarii (rozszczelnienia) układu hamulcowego podczas gwałtownego hamowania w sytuacjach np. przedkolizyjnych nie jest chętnie poruszany w literaturze związanej z rekonstrukcją wypadków drogowych. Zawarta w pracy koncepcja powypadkowych badań technicznych pojazdów porusza bardzo istotną problematykę dotyczącą niesprawności układów hamulcowych pojazdów biorących udział w wypadkach drogowych. Opracowana została na podstawie autentycznych opinii biegłych sądowych pisanych dla sądów, prokuratur i policji oraz rzeczywistych powypadkowych badań technicznych pojazdów.
   W pracy udowodniono tezę 2 przedstawiając procedurę oraz metodykę przeprowadzania powypadkowych badań technicznych w warunkach drogowych oraz stanowiskowych, aby miały one wartość procesową. Proponowany protokół powypadkowych badań technicznych pojazdu zamieszczono w zał. A, a przykładowy protokół zamieszczono w zał. B. Metodyka powypadkowego diagnozowania sprawności układu hamulcowego pojazdu na stanowisku diagnostycznym została zamieszczona w zał. C.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Nowością w proponowanej koncepcji badań powypadkowych pojazdu jest uwzględnienie stanu technicznego układu hamulcowego (niesprawności, nieszczelności) badanego pojazdu oraz działanie układu ABS w procesie rekonstrukcji wypadku drogowego.

Wyniki przeprowadzonych badań drogowych i stanowiskowych mogą być wykorzystane przez biegłych sądowych i rzeczoznawców samochodowych w trakcie analizowania i opracowywania opinii techniczno – kryminalistycznej dla policji, prokuratur, sądów z zakresu ekspertyzy i rekonstrukcji wypadków drogowych.

Kompleksowe prace badawcze związane z opracowaniem koncepcji powypadkowych badań technicznych pojazdów mają również na celu zainteresowanie szerszej społeczności ważnym problemem, jakim jest powypadkowe badanie stanu technicznego pojazdu, jako dowodu rzeczowego w prowadzonym postępowaniu dochodzeniowym bądź sądowym. Wyniki innowacyjnych badań będą mogły być wykorzystane również do celów edukacyjnych, w celu poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, a przez to zmniejszenie liczby wypadków drogowych. Uświadomienie kierowcom, że jazda niesprawnym technicznie pojazdem, przyczynia się do zwiększenia skutków wypadku i zmniejszenia szansy na przeżycie w zdarzeniu drogowym. Śmierć lub kalectwo człowieka poza aspektem moralnym, powoduje duże koszty służb ratowniczych, natomiast wartości odszkodowania przekładają się na ujemny bilans ekonomiczny regionu. Aspekt edukacyjny wynikający z analizy wyników przeprowadzonych badań naukowych (doświadczalnych), może również przyczynić się do podwyższenia świadomości społecznej w zakresie bezpiecznego poruszania się po drogach pojazdami w pełni sprawnymi technicznie. Spełni, więc on funkcje społeczne, a przyczyni się też do poprawy ochrony zdrowia, a nawet życia uczestników ruchu drogowego. Opublikowanie wyników prac badawczych oraz opracowana metodyka sposobu i zakresu ich wykorzystania, będą przydatne przy opiniowaniu wypadków drogowych, co może przyczynić się do rzetelnych opinii sądowych oraz pozwoli na skrócenie czasu postępowania procesowego w niektórych rozprawach sądowych.

3) Dla potrzeb niniejszej pracy (udowodnienia tezy 3) zaprojektowano i zbudowano urządzenie, które powodowało uszkodzenie układu hamulcowego. Przeprowadzono szereg innowacyjnych badań drogowych hamowania samochodu w trakcie, którego nastąpiła awaria (nieszczelność) układu hamulcowego. Niesprawność polegała na rozszczelnieniu jednego z obwodów układu hamulcowego, a dokładniej przewodu hamulcowego doprowadzającego płyn hamulcowy do elementów wykonawczych przedniego koła. Innowacyjne badania przeprowadzono dla sprawnego i niesprawnego układu hamulcowego oraz dla sprawnego i niesprawnego układu ABS (rozdział 8).

Niestandardowe badania symulacyjne opóźnienia hamowania przeprowadzono przy prostoliniowym torze jazdy na nawierzchni gruntowej, asfaltowej (suchej i mokrej) oraz na płycie poślizgowej Autodromu Pomorze o grubości warstwy wody około 2 mm.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań opracowano dane tabelaryczne. Zestawienie średnich wartości opóźnienia hamowania i drogi hamowania

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

z uwzględnieniem odchylenia standardowego pomiarów intensywnego hamowania dla sprawnego i niesprawnego układu hamulcowego zamieszczono w tabeli 10.1. Badany samochód rozpędzany był do prędkości 50 km/h, a następnie intensywnie hamowany.

Tabela 10.1. Średnie wartości opóźnienia hamowania a_{Hsr} [m/s^2] i drogi hamowania samochodu S_H [m]

Rodzaj nawierzchni	Stan drogi	Układ ABS	Układ hamulcowy	Opóźnienie hamowania		Droga hamowania	
				a_{Hsr} min	a_{Hsr} max	S_H min	S_H max
Asfalt	Suchy	Tak	Sprawny	6,8	7,0	13,8	14,2
Asfalt	Suchy	Nie	Sprawny	6,7	7,1	13,6	14,4
Asfalt	Suchy	Tak	Niesprawny	4,0	5,2	18,6	24,1
Asfalt	Suchy	Nie	Niesprawny	3,6	4,4	22,0	26,8
Asfalt	Mokry	Tak	Sprawny	6,6	7,0	13,8	14,6
Asfalt	Mokry	Nie	Sprawny	6,2	6,4	15,1	15,6
Asfalt	Mokry	Tak	Niesprawny	3,9	4,1	23,6	24,8
Płyta poślizgowa	Mokry	Tak	Sprawny	3,9	4,3	22,5	24,8
Płyta poślizgowa	Mokry	Nie	Sprawny	2,4	2,8	34,5	40,3
Płyta poślizgowa	Mokry	Tak	Niesprawny	2,2	2,8	34,5	43,9
Płyta poślizgowa	Mokry	Nie	Niesprawny	1,3	1,5	64,4	74,3

Wyniki przeprowadzonych badań w warunkach miejskich pozwalają stwierdzić, że opóźnienie hamowania uważa się za niegwałtowne, jeżeli jego wartość nie przekracza 4 m/s^2. Przeprowadzone badania symulacyjne odznaczają się oryginalnością i nowatorstwem, ponieważ wykonywane były przy użyciu specjalnie zaprojektowanego i wykonanego dodatkowego układu, którego zadaniem było wywołanie awaryjnego stanu układu hamulcowego, polegającego na rozszczelnieniu jednego z obwodów.

Część wyników z przeprowadzonych innowacyjnych badań stanowiskowych i drogowych została już opublikowana w formie kilku artykułów w czasopiśmie Autobusy, Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe. Napisane publikacje zostały pozytywnie ocenione przez biegłych i rzeczoznawców samochodowych.

Jednym z głównych założeń pracy było określenie wpływu niesprawności (nieszczelności) układu hamulcowego na skuteczność hamowania oraz na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych wyznaczenie współczynnika f_N niesprawności układu hamulcowego.

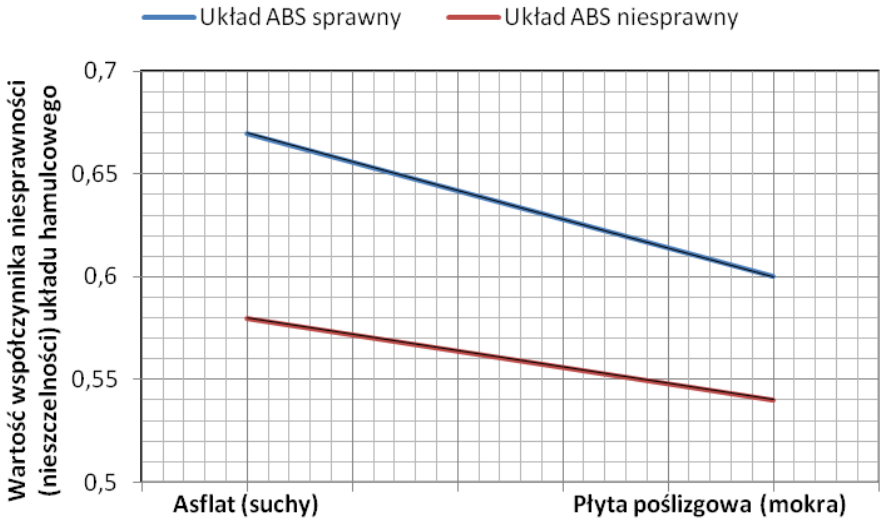
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Współczynnik f_N niesprawności układu hamulcowego jest to stosunek wartości średniego opóźnienia hamowania a_{Nsr} dla niesprawnego (nieszczelnego) układu hamulcowego do wartości średniego opóźnienia hamowania a_{Hsr} dla sprawnego układu hamulcowego i wyliczamy go za pomocą wzoru:

$$f_N = \frac{a_{Nsr}}{a_{Hsr}}$$

Na podstawie przeprowadzonych badań wyznaczono wartości współczynnika niesprawności układu hamulcowego f_N dla różnego rodzaju nawierzchni przy sprawnym i niesprawnym układzie ABS. Wyniki otrzymanych wartości zamieszczono w tabeli 9.4. Wyznaczone wartości współczynnika niesprawności układu hamulcowego stanowią udowodnienie twierdzenia tezy 3. Na wykresie 10.1 zamieszczono średnie wartości współczynnika f_N niesprawności układu hamulcowego w zależności od rodzaju nawierzchni (suchy asfalt – mokra płyta poślizgowa).

Wykres 10.1. Średnie wartości współczynnika f_N niesprawności układu hamulcowego w zależności od rodzaju nawierzchni (suchy asfalt – mokra płyta poślizgowa)



Analizując możliwość uniknięcia wypadku drogowego poprzez manewr ekstremalnego hamowania, musimy przyjąć pewną realną dla danych warunków wartość opóźnienia hamowania pojazdu. W pojazdach biorących udział w wypadkach drogowych, w których wykryto awarię (uszkodzenie, rozszczelnienie układu hamulcowego) należy podczas wyznaczania wartości opóźnienia hamowania uwzględnić wyznaczony doświadczalnie współczynnik f_N niesprawności układu hamulcowego. Wyznaczona wartość współczynnika f_N przydatna jest również, jako dana wyjściowa do określania wartości opóźnienia hamowania przy użyciu programów komputerowych do rekonstrukcji wypadków drogowych. Niektóre przykłady możliwości zastosowania praktycznego innowacyjnych badań zostało omówione w rozdziale 9.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

11. PROPOZYCJA DALSZYCH PRAC BADAWCZYCH

Kierowca jest najważniejszym elementem bezpieczeństwa ruchu drogowego, gdyż za jego przyczyną, a konkretnie z błędów przez niego popełnionych, występuje najwięcej wypadków drogowych. Dlatego kierowanie pojazdem wymaga nabycia określonej wiedzy dotyczącej zasad ruchu drogowego i określonych umiejętności bezpiecznego kierowania pojazdem. Posiadanie prawa jazdy określonej kategorii nie oznacza, że dana osoba jest dobrym i rozważnym kierowcą. Wiedza z czasem zanika i wymaga uzupełnienia, a umiejętności praktyczne nie zawsze są wykorzystywane w sposób gwarantujący bezpieczne prowadzenie pojazdu.

W kierowaniu pojazdem ważną cechą jest zdolność przewidywania, to znaczy umiejętność dokonania w każdej chwili oceny warunków ruchu i podjęcia na jej podstawie właściwej decyzji.

Proces stabilizacji ruchu pojazdu polega na tym, że kierowca po zauważeniu odchylenia od założonego toru (przebiegi drogi), podejmuje decyzję, czy oszacowane przez niego położenie pojazdu lub podjęte działania (kąt obrotu kierownicy, położenie pedału przyspieszenia) muszą być skorygowane, aby samochód nie wpadł w poślizg lub nie wypadł z drogi. Im lepiej kierowca potrafi dobrać parametry ruchu w procesie kierowania, tym mniejsze działania będzie musiał podejmować w procesie stabilizacji (korygowania ruchu) i tym bardziej optymalny będzie przebieg ruchu samochodu.

Celem dalszych badań jest analiza rzeczywistego toru ruchu pojazdu na płycie poślizgowej po destabilizacji toru jazdy. Badania mają umożliwić wypracowanie modelu, w jaki sposób kierowca może uniknąć zakłócenia stateczności ruchu pojazdu w sytuacji krytycznej.

Przeprowadzono wstępne badania w ośrodku doskonalenia techniki jazdy na Autodromie Pomorze. Nagrywano i analizowano zachowania się samochodu osobowego na płycie poślizgowej o obniżonej przyczepności po przejechaniu przez „płytę dynamiczną", na której został zaburzony ruch pojazdu. Samochód rozpędzano do prędkości około 40, 45, 50, 60 km/h, a następnie wjeżdżano na „płytę dynamiczną", która znajdowała się przed płytą poślizgową (pokrytą warstwą wody o grubości ok 2 mm). Gdy przednie koła samochodu zjeżdżały już z „płyty dynamicznej", a koła tylne poruszały się jeszcze po niej następowało gwałtowne jej przesunięcie poprzecznie w stosunku do toru ruchu samochodu. Podczas jazdy na płycie poślizgowej samochód był w ostatniej fazie poślizgu hamowany. Po destabilizacji toru ruchu samochodu nie wykonywano manewrów obronnych kołem kierownicy. Wykonano kilka przejazdów przez „płytę dynamiczną". Zachowanie się samochodu podczas wykonywanych badań dokumentowano za pomocą kamery oraz aparatu fotograficznego z ziemi oraz z „lotu ptaka" przy wykorzystaniu profesjonalnego drona wyposażonego w kamerę cyfrową. Wszystkie próby hamowania były wykonywane przez tego samego kierowcę.

Fragment wstępnych pilotażowych badań zamieszczono w załączniku D.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

BIBLIOGRAFIA

[1] Appel H., Krabbel G.: *Unfallforschung, Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion*, Verlag INFORMATION Ambs, Kippenheim 1994.

[2] Appel H., Stürtz G., Gotzen L.: *Influence of impact speed and vehicle parameters on injuries of children and adults in pedestrian accidents*, Proceedings of the 2nd IRCOBI (International Research Council on the biomechanics of Injury) Conference 1976, IRCOBI, s. 83-110.

[3] Bailey M. N., J. M., Fowler S. J., Williamson P. B., Cliff W. E., Nickel J. S.: *Data from five staged car-to-car collisions and comparison with simulations*, SAE Technical Paper No.2000-01-0849, Warrendale PA 2000.

[4] Baran G.: *Odpowiedzialność prawna w wypadkach drogowych*, Materiały pomocnicze, Studium podyplomowe „Ekspertyza Wypadku Drogowego", wydanie IV, Kraków 2006.

[5] Blak M., Augustyniak P., Kulmaga T.: *Wybrane zagadnienia dotyczące rekonstrukcji wypadków drogowych*, zeszyt merytoryczny nr 19, Wydawnictwo Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego Komendy Głównej Policji, Warszawa 2003, s. 5-54.

[6] Bogdański J.: *Diagnostyka w SKP – układ hamulcowy i światła.* Poradnik serwisowy, kompendium praktycznej wiedzy warsztatowej numer 6/2005, Wydawnictwo Instalator Polski 2005, s. 7-54.

[7] Brach R. M.: *Tire models for vehicle dynamic simulation and accident reconstrution*, SAE Technical Paper No. 2009-01-0102, Werrendale Pa 2009.

[8] Brach R. M.: *Vehicle Accident Analysis and Reconstrution Methods*, SAE Publisher, Warrendale PA 2005.

[9] Brach R. M.: *Desing of experiments and parametric sensitivity of planar impact mechanics,* Proceedings of the 16th Annual Congress of the European Association for Accident Research and Analysis (EVU), Institute of forensic Research Publishers. Kraków 2007, s. 9-21.

[10] Brach R. M., Dunn P. F.: *Uncertainty analysis for forensic science*, Second edition, Lawyers & Judge Publishing Co, Tuscon AZ 2004.

[11] Brach R. M.: *Uncertainty in accident reconstriction calculations*, SAE Technical Paper No. 940722, Warrendale Pa 1994.

[12] Bryniarski P.: *Wypadek drogowy. Jak poprawnie wykonać oględziny miejsca wypadku drogowego*, Vademecum techniki kryminalistyki, Wolters Kluwer Polska, Warszawa 2009, s. 253–274.

[13] Buczyński M.: *Poradnik diagnosty SKP 2007. Obowiązkowe i zalecane akty prawne*, Regionalne Centrum Szkolenia Motoryzacji Polskiego Związku Motorowego, Poznań 2007.

[14] Bułka D., Curło J., Wolak S., Śleziak M.: *Technika obrazowania 2D/3D na miejscu wypadku drogowego*, Paragraf na drodze, Prawne i kryminalistyczne problemy ruchu drogowego, numer specjalny XV konferencja Naukowo-Techniczna, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2017.

[15] Bułka D., Duś S.: *Metody detekcji kolizji między obiektami w przestrzeni 3D, stosowane w rekonstrukcji wypadków drogowych*, Paragraf ma drodze, Numer specjalny 2011, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2011, s. 45-55.

[16] Bułka D., Walczak S., Wolak S.: *Proces hamowania – aspekt prawny i techniczny w ujęciu symulacyjnym i analitycznym*, III Konferencja Naukowo-Szkoleniowa „Rozwój techniki samochodowej a ubezpieczenia komunikacyjne", Wyższa Szkoła Biznesu im. Chrapka w Radomiu, Radom 2006, s. 19–52.

[17] Burg H.: *EDR i CDR: stan aktualny, przykłady i bezpieczeństwo danych*, Paragraf na drodze, Prawne i kryminalistyczne problemy ruchu drogowego, numer specjalny 2015, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2015, s. 7-25.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

[18] Burg H., Lindenmann M.: *Unfallversuche*, Verlag INFORMATION Ambs, Kippenheim 1982.

[19] Burg H., Moser A.: *Handbuch der Verkehrsunfallrekostrution*, 2. Auflage,Vieweg+ Teubner Verlag, Wiesbaden 2009.

[20] Burg H., Rau H.: *Handbuch der Verkehrsunfallrekostrution*, Verlag INFORMATION Ambs, Kippenheim 1981.

[21] Burg H.: *Rechnerunterdtützte Rekonstrution von Pkw/Pkw- Unfällen*, Dissertation, TU Berlin 1984, Verlag INFORMATION Ambs, Kippenheim 1984.

[22] Campbell K. L.: *Energy basis for collision severity,* SAE Paper 740565, Warrendale PA 1974.

[23] Cannon J. W.: *A study of errors in yaw-based speed estimates due to effective braking*, SAE Technical Paper 2003-01-0888, Warrendale PA 2003.

[24] Ciępka P, Reza A.: *Wyniki badań porównawczych opóźnieniomierzy*, Paragraf na drodze, Prawne i kryminalistyczne problemy ruchu drogowego, numer specjalny 2013, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2013, s. 65–77.

[25] Cliff W, E., Bowler J. J.: *The measured rolling resitance of vehicles for accident roconstrution*, SAE Technical Paper No. 980368, Werrendale PA 1998.

[26] Cliff W. E., Lawrence J. M., Heinrichs B. E., Fricker T. R.: *Yaw testing of an instrumented vehicle with and without braking*, SAE Technical Paper 2004-01-1187, Warrendale PA 2004.

[27] Czech R., Posmyk A.: *Ocena skuteczności hamowania samochodowych układów hamulcowych na podstawie badań stanowiskowych*, Tribologia nr 2/2015, Wydawca Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Mechaników Polskich, Warszawa 2015, s. 21-29.

[28] Czub k., Świder P.: *Badania poligonowe i obliczenia intensywności hamowania motocykla użyciem hamulca przedniego, tylnego i obu jednocześnie,* Paragraf na drodze numer 08/2011, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2011, s. 101-112.

[29] Czwordon T.: *Współczesne zaawansowane układy hamulcowe w motocyklach, X Konferencja*, Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Szczyrk 2006, s. 281-287.

[30] Dettinger J.: *Beitrag zur Verfeinerung der Rekonstruktion von Fußgängerunfällen-Abwicklungsdifferenz – Anstoßfaktor - Längswurfweiten von Fußgängern – Lage von Glassplittern*, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 1996/1997, 34(12) / 35(1), s. 324- 330 / s. 25-30.

[31] Diupero T.: *Narożnikowe uderzenie pieszego*, X Konferencja, Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Szczyrk 2006, s. 247-261.

[32] Dokumentacja Techniczno-Ruchowa: *Urządzenie do badania układów hamulcowych typ: BDE 4004P-O/M*, Cartec, Katowice 2004.

[33] Fischer W . C.: *Challenging the critical speed formula in light of the Daubert decision*, SAE Technicsl Paper 2005-01-3141, Werrendale PA 2005.

[34] Fittanto D. A., Ruhl R. A., Southcombe E. J., Burg H., Burg J.: *Overview of CARAT- 4, a multi-body simulation and collision modelling program*, SAE Technical Paper No. 2002-01-1566, Warrendale PA 2002.

[35] Gabryelewicz M.: *Podwozia i nadwozia pojazdów samochodowych. Układy hamulcowy i kierowniczy, zawieszenie oraz nadwozie*, tom 2, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2011.

[36] Gajek A.: Kierunki rozwoju okresowych badań technicznych pojazdów samochodowych w zakresie bezpieczeństwa, Wydawnictwo Naukowe Przemysłowego Instytutu Motoryzacji, Archiwum Motoryzacji, Warszawa 2018, tom 80 nr 2, s. 37-51.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

[37] Gajek A.: *Niektóre problemy diagnozowania hamulców samochodów w warunkach stanowiskowych*, Materiały szkoleniowe, Politechnika Krakowska 2002.

[38] Gajek A., Szczypiński-Sala W., Strzępek P.: *Ocena metod pomiarów opóźnienia hamowania pojazdu w warunkach drogowych*, Logistyka nr 06/2010, Wydawnictwo Instytut Logistyki i Magazynowania 2010, s. 841-848.

[39] Gajek A., Szczypiński-Sala W., Strzępek P.: *Ocena przydatności układu przeciwblokującego ABS przy niepełnej sprawności układu hamulcowego*, Logistyka nr 01/2013, Wydawnictwo Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2013, s. 1572-1580.

[40] Gajek A. Woś A.: *Ocena stanu samochodowych płynów hamulcowych w warunkach eksploatacji*, Paragraf na drodze numer 5/2011, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2011, s. 35-45.

[41] Gidlewski M., Jemioł L.: *Analiza ruchu samochodów po zderzeniu prostopadłym*, Paragraf na drodze, Prawne i kryminalistyczne problemy ruchu drogowego, numer specjalny 2015, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2015, s. 85-107.

[42] Giglewski M., Jemioł L.: *Badanie zderzeń bocznych samochodów. Prędkość samochodów po zdarzeniu*, IX International Science-Technical Conference Automotive Safety 2014- Problemy bezpieczeństwa w pojazdach samochodowych, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2014, s. 79-93.

[43] Glasner von Ch.: *History of EDR – Development, Proceedings of the 21th Anual Congress of the European Association for Accident Research and Analysis (EVU)*, Published by Asociatia EVU Grup Romanänia, Brasov 2012, s. 1-3.

[44] Guzek M., Lozia Z., Jurecki R., Stańczyk T. L.: *Badania zachowania się kierowców w sytuacjach przedwypadkowych realizowane w symulatorze jazdy samochodem*, Zbiór referatów z X Konferencji „Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych", Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2006, s. 139-156.

[45] Guzek M.: *Metody wyznaczania błędów obliczeń w analizie wybranych sytuacji przedwypadkowych w ruchu drogowym.* Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Warszawa 2002.

[46] Guzek M.*: Niepewność w analizie wypadków drogowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2016.

[47] Guzek M.*: Samochodowe „czarne skrzynki" jako urządzenia wspomagające analizę przebiegu wypadku drogowego.* Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012, z. 82, s. 41–54.

[48] Herner A., Hans-Jurgen R.: *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2011.

[49] Hugemann W.: *Unfallrekonstruktion, Band 1: Grundlagen*, Verlag autorenteam, Münster 2007.

[50] Idzikowski A.:, *Boolean model of hsuh leakage testing for the purpose of designing a diagnosing unit of selected dama ges of vehicle kraking mechanisms*, Naukowe Przemysłowego Instytutu Motoryzacji, Archiwum Motoryzacji, Warszawa 2017, tom 78 nr 4, s. 79-92.

[51] Informator techniczny Bosch: *Konwencjonalne i elektroniczne układy hamulcowe*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006.

[52] Informator techniczny Bosch: *Układy bezpieczeństwa i komfortu jazdy*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000.

[53] Informator techniczny Bosch: *Układy stabilizacji toru jazdy ESP*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000.

[54] Instrukcja obsługi: *Opóźnieniomierz AMX 520*, Ośrodek Doradztwa i Usług Technicznych Automex, Gdańsk 2006.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

[55] Instrukcja obsługi: *Opóźnieniomierz Brake Test LWS-2/MC*, Zakład Mechaniki Precyzyjnej, Elektromechaniki i Automatyki TEST-POL, Kraków 2012.

[56] Instrukcja obsługi: *Opóźnieniomierz CL 170*. Przyrząd do sprawdzania skuteczności hamulców pojazdów samochodowych, motocykli i ciągników rolniczych, Zakład Elektroniki Pomiarowej Wielkości Nieelektrycznych, Marki 2000.

[57] Instrukcja użytkownika: *Program komputerowy Titan. Czasowo-przestrzenny analizator ruchu dla potrzeb wspomagania rekonstrukcji wypadków drogowych*, Cyborg Idea, Kraków 2007.

[58] Instrukcja użytkownika: *Program komputerowy V-SIM. Symulacja ruchu i zderzenia dowolnej liczby pojazdów*, Cyborg Idea, Kraków 2007.

[59] Janczur R.: *Porównanie wyników badań drogowych z ich symulacją programem V-SIM na przykładzie ekstremalnego hamowania samochodu wyposażonego w układ ABS,* Paragraf na drodze numer 4/2004, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2004, s. 34-44.

[60] Janczur R., Świder P.: *Ciśnienie w ogumieniu a opory toczenia samochodu*, Paragraf na drodze numer 10/2001, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2001, s. 40-46.

[61] Janczur R., Świder P.: *Wpływ ciśnienia w ogumieniu na sterowalność samochodu*, VIII Konferencja, Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2002, s. 193-200.

[62] Janczur R., Świder P.: *Wpływ niesprawności układu ABS na przebieg procesu hamowania*, Paragraf na drodze, Prawne i kryminalistyczne problemy ruchu drogowego, numer specjalny 2015, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2015, s. 109-120.

[63] Jankowski K., Gidlewski M., Jemioł L.: *Comparative study of vehicle absorber Energy determination for road accident reconstruction*, Proceedings of the 16th Annual Congres of the European Association for Accident Research and Analysis (EVU), Institute of forensic Research Publishers, Kraków 2007, s. 235-248.

[64] Jankowski Z., Gos T., Witkowski Z., Dziedzic-Witkowska T., Bardzik S., Smoliński J., Hauser R.: *Katastrofa drogowa w Gdańsku–Kokoszkach,* Materiały IV Sympozjum, Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 1994, s. 161-162.

[65] Jamroz K.: *Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej*, Monografia, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2011 .

[66] Jamroz K., Michalski L. i inni.: *Ocena realizacji Krajowego Programu BRD GAMBIT 2005 i doświadczenia z tego wynikające,* Fundacja Rozwoju Inżynierii Lądowej na zlecenie Sekretariatu Krajowej Rady Ruchu Drogowego, Gdańsk 2012.

[67] Kalinowski S.: *Biegły i jego opinia*, Wydawnictwo Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego Komendy Głównej Policji, Warszawa 1985.

[68] Kasanický, G., Kohút, P., Priester, J.: *Analysis of single-track vehicle accidents*, EDIS – University of Žilina Publisher, Žilina 2003.

[69] Kasanický G., Vertal P.: *EDR i CDR: stan aktualny, przykłady i bezpieczeństwo danych*, Paragraf na drodze, Prawne i kryminalistyczne problemy ruchu drogowego, numer specjalny 2015, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2015, s. 7-25.

[70] Kędziora K. Krzemień P., Wach W.*: Problematyka interpretacji danych z wybranych urządzeń rejestrujących parametry ruch pojazdów*, Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering 2012, 57(2), s. 103-112.

[71] Kłak C.: *Eksperyment procesowy a eksperyment rzeczoznawczy w zakresie wypadków drogowych w świetle orzecznictwa sądu Najwyższego*, X Konferencja, Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Szczyrk 2006, s. 187-194.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

[72] Kobyś R., Piotrowski J., Bocian M.: *Wypadek drogowy – wybrane aspekty obsługi zdarzenia drogowego*, Kwartalnik policyjny nr 4/2011, Nauka w służbie policji, Warszawa 2011, s. 32-38.

[73] Kolator B., Olszewski A., Walczak S., Wolak S.: *Układ ABS ślady hamowania. Badania z wykorzystaniem aparatury V-BOX*, Zeszyty Naukowe Instytut Pojazdów 4(100)/2014, Wydawnictwo Politechnika Krakowska, Kraków 2014, s. 95-102.

[74] Kohút P.: *Opóźnienie hamowania nowoczesnych samochodów i metodyka jego pomiaru*, Paragraf na drodze, Prawne i kryminalistyczne problemy ruchu drogowego, numer specjalny 2017, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2017.

[75] Kohút P.: *Technicko-právna problematyka analýzy dopravných nehôd*, Žilinská univerzita v Žiline, Žilina 2011.

[76] Konik T., Surowiec G., Pierewicz M., Buczek W.: *Akademia 4x4*, Off-Road pl, Kraków 2009.

[77] Kończykowski W.: *Odtwarzanie i analiza przebiegu wypadku drogowego*, Stowarzyszenie Rzeczoznawców Techniki Samochodowej i Ruchu Drogowego, Warszawa 1993.

[78] Krašna S., Ambrož M., Prebil D., Ravnik D., Hribernik M.: *The multibody model – influence of model parameters on motions during simulation,* Proceedings of the 14th Annual Congress of the European Association for Accident Research and Analysis Research and Analysis (EVU), Published by EVU, Bratislava 2005.

[79] Krzmień P., Kędziora K., Wach W.: *Optymalizacja zderzenia pojazdów z uwzględnieniem parametrów ruchu pozderzeniowego*, Paragraf na drodze, Numer specjalny 2013, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2013, s. 165-178.

[80] Krzemień P., Gajek A.: *Powypadkowa ocena stanu samochodowych płynów hamulcowych*, Paragraf na drodze numer 5/2011, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2011, s. 46-57.

[81] Krzemień P., Unarski J.: *Wykorzystanie możliwości rejestracyjnych odbiorników GPS w rekonstrukcji wypadków drogowych*, Paragraf na drodze, Numer specjalny 2013, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2011, s. 199-219.

[82] Kudlich H.,: *Beitreag zur Mechanik des Kraftfahrzeung- Verkehrsunfalls*, Disseration, TU-Wien, 1966.

[83] Kühnel A.: *Der Fußgängernfall und seine Rekonsrtuktion* – Dissertation, Techniksche Universität Berlin, Berlin 1980.

[84] Kühnel A.: *Vehicle-pedestrian experiments with the use of a moving dummy*, Proceedings of the American Association of Automotive Medicine 1974, AAAM, s. 223- 245.

[85] Kuranowski A.: *Granice interpretacji prędkości odczytanej z zatrzymanego szybkościomierza pojazdu*, XIV Konferencja, Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Szczyrk 2015, s. 223-229.

[86] Lambourn R. F., Jenings P., Knight I.: *Critical speed yaw mark calculations with and without electronic stability control*, Proceedings of the 1st joint ITAI-EVU Conference, ITAI + EVU Publishers, Hinckley 2009, s. 209-235.

[87] Lambourn R. F.: *The calculation of motor car speeds from curved tyre marks*, Journal of the Forensic Society 1986, 29, s. 371-386.

[88] Lewandowski A.: *Analiza dynamiki ruchu płaskiego samochodu osobowego na podstawie geometrycznych cech śladów zarzucania*, Paragraf na drodze, Prawne i kryminalistyczne problemy ruchu drogowego, numer specjalny 2013, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2013, s. 207-214.

[89] Lewandowski A.: *Awaryjne hamowanie na różnych nawierzchniach samochodu osobowego wyposażonego w układ ABS*, VIII Konferencja, Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2002, s. 145-158.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

[90] Lozia Z.: *Modelowanie i symulacja zakłócenia ruchu samochodu w trakcie wjazdu na płytę poślizgową w ośrodku doskonalenia techniki jazdy*, Naukowe Przemysłowego Instytutu Motoryzacji, Archiwum Motoryzacji, Warszawa 2015, tom 69 nr 3, s. 173-188.

[91] Lozia Z.: *Symulacyjna ocena dwóch sposobów zakłócenia ruchu samochodu w trakcie wjazdu na płytę poślizgową w ośrodku doskonalenia techniki jazdy*, Wydawnictwo Naukowe Przemysłowego Instytutu Motoryzacji, Archiwum Motoryzacji, Warszawa 2015, tom 72 nr 2, s. 111-125.

[92] Lozia Z.: *Symulacja ruchu pojazdu w trakcie testów wykonanych w ośrodku doskonalenia techniki jazdy*, Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium", Radom 2018, tom 19 nr 9, s. 45–50.

[93] Lozia z., Guzek M.: *Uncertainty study of road accident reconstruction – computational methods*, SAE Technical Paper No. 2005-01-1195, SAE Transactions 2005, Journal of passenger cars : mechanical systems 2005, 114(6), s. 1342-1356.

[94] Lozia Z., Zdanowicz P.: *Ocena dyssypacji energii w zawieszeniu i pneumatyku podczas badania amortyzatorów samochodowych metodą EUSAMA*, International Science-Technical Conerence Automotive Safety 2014 – Problemy bezpieczeństwa w pojazdach samochodowych, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2014, s. 243-248.

[95] Luty W.: *Ocena przyczepności kół jezdnych pojazdu do podłoża na podstawie próby hamowania z wykorzystaniem zestawu typu „shot market",* Paragraf na drodze, Prawne i kryminalistyczne problemy ruchu drogowego, numer specjalny 2015, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2015, s. 271-283.

[96] Mackay M.: *From accident reconstruction to injury causation*, Zbiór referatów IX Konferencji Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2004, s. 269-280.

[97] Madej B., Michniak J., Madaj R., Kurcz J.: *Kompetencje instruktora doskonalenia techniki jazdy*, Akademia Transportu i Przedsiębiorczości, Warszawa 2015.

[98] Majewski G., Majewski P.: *Spowodowanie niebezpieczeństwa katastrofy, w szczególności w ruchu drogowym*, Paragraf na drodze numer 2/2018, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2018.

[99] Materiały KG Policji, Wypadki drogowe w Polsce, Warszawa 2018.

[100] Materiały VI Konferencji szkoleniowej: *Badania techniczne w świetle obowiązujących przepisów - 2005*, Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa 2005.

[101] Materiały szkoleniowe firmy *Hella* Polska, Warszawa 2007.

[102] Materiały szkoleniowe PZU: *Wypadki drogowe z udziałem pieszych*, Warszaw 2005.

[103] Mazepa J.: *Oględziny*, Vademecum techniki kryminalistyki, Wolters Kluwer Polska, Warszawa 2009, s. 13-76.

[104] Milewski K.: *Elementy budowy i powypadkowej diagnostyki pojazdów*, Materiały pomocnicze, Studium podyplomowe „Ekspertyza wypadku Drogowego", Kraków 2006.

[105] Mitunevicius A., Mitunevicius V., Nagurnas S.: *Badanie hamowania pojazdów w warunkach miejskich*, Paragraf na drodze, Prawne i kryminalistyczne problemy ruchu drogowego, numer specjalny 2013, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2013, s. 215-223.

[106] Momot W., Pankiewicz B.: *Analiza parametrów ruchu samochodu w czasie wypadku, za pomocą różnych modeli stosowanych zazwyczaj przez rzeczoznawców przy opracowaniu opinii dla organów wymiaru sprawiedliwośc*i, V Konferencja Naukowo – Techniczna, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2006, s. 265-276.

[107] Muttart J. W.: *Development and evaluation of driver response time predictors based upon meta analysis*, SAE Technical Paper No. 2003-01-0885, Warrendale PA 2003.

[108] Muttart J. W, Kauderer Ch., Unarski J., Barlett W, Johnston G., Barshinger D., Romoser M.: *Determining when an object enters the headlight beam pattern of a vehicle*, SAE Technical Paper 2013-01-0787, Warrendale PA 2013.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

[109] Muttart J. W., Messerschmidt W. F., Gillen L.G.: *Relationship between relative velocity detection and driver response Times in vehicle-following situations*, SAE Technical Paper 2005-01-0427, Warrendale PA 2005.

[110] Norma ISO/DTR 13487 F:Braking of road Vehicles – Definition of mean fully developed deceleration.

[111] Nowoczesny Warsztat: *ABS w milionie motocykli*, nr 2 (177) luty 2014, Wydawca Goldman, Tczew 2014, s. 1-3.

[112] Nowoczesny Warsztat: *Obowiązkowe ESP*, nr 11 (186) listopad 2014, Wydawca Goldman, Tczew 2014, s. 1-2.

[113] Olszewski A., Wolak S.: *Budowa modelu pojazdu w programie V-SIM. Część 1: pojazd silnikowy*, Paragraf na drodze numer 10/2010, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2010, s. 35-58.

[114] Orzełowski S.: *Budowa podwozi i nadwozi samochodowych*, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1998.

[115] Owczarz M., Witkiewicz M., Taryma S.: *Badania zależności pomiędzy deformacją powypadkową a prędkością kolizyjną samochodów osobowych w chwili początkowej zderzenia*, czasopismo Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium", Radom 2014, tom 15 nr 6, s. 214-217.

[116] Owczarz M., Witkiewicz M., Taryma S.: *Pomiar wartości opóźnienia hamowania dla sprawnego i niesprawnego układu hamulcowego samochodu osobowego*, czasopismo Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium", Radom 2015, tom 16 nr 6, s. 182-185.

[117] Owczarz M., Witkiewicz M., Taryma S.: *Ustalenie prędkości zderzenia w oparciu o zakres uszkodzeń samochodu z wykorzystaniem metod energetycznych – badania pilotażowe*, czasopismo Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium", Radom 2013, tom 14 nr 10, s. 216-218.

[118] Owczarz M., Witkiewicz M., Taryma S.: *Wpływ wartości ciśnienia w oponach-terenowych na opóźnienie hamowania samochodu terenowego*, XV Forum motoryzacji, czasopismo Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium", Radom 2012, tom 13 nr 5, s. 376–379.

[119] Owsiański R.: Rastry energetyczne współczesnych samochodów osobowych w obliczeniach zderzeń, Paragraf na drodze, Numer specjalny 2011, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2011, s. 309-328.

[120] Pankiewicz B.: *Powypadkowe badanie pojazdów uczestniczących w zderzeniu drogowym*, materiały szkoleniowe, Stowarzyszenie Rzeczoznawców samochodowych „EKSPERTMOT", Warszawa 2006, s. 35-50.

[121] Paprzycki L.: *Felietony na drodze*, Biblioteka paragrafu na drodze, tom 1, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2005.

[122] Paprzycki L.: *Felietony na drodze*, Biblioteka paragrafu na drodze, tom 2, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2012.

[123] Paprzycki L.: *Zabójstwo, samobójstwo, czy wypadek drogowy*, Paragraf na drodze numer 2/2009, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2009, s. 44-56.

[124] Pieniążek W., Kuranowski A., Wolak S.: Powypadkowa diagnostyka pojazdów drogowych, IV Konferencja Naukowo –Techniczna, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskskiej, Kielce 2004, s. 75-89.

[125] Pawelec T., Diupero T.: *Rekonstrukcja wypadku drogowego i zdarzenia drogowego*, Dom Wydawniczy ABC, Warszawa 2006.

[126] Poradnik serwisowy: *Diagnozowanie układów hamulcowych,* kompendium praktycznej wiedzy warsztatowej numer 4/2008, Wydawnictwo Instalator Polski 2001.

[127] Poradnik serwisowy: *Hamulce tarczowe*, kompendium praktycznej wiedzy warsztatowej numer 1/2001, Wydawnictwo Instalator Polski 2001.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

[128] Praca zbiorowa: *Budowa pojazdów samochodowych*, część II, Podręcznik dla uczniów średnich i zawodowych szkół samochodowych, Wydawnictwo REA, Warszawa 2003.

[129] Praca zbiorowa: *Diagnostyka samochodowa – Laboratorium,* Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2016.

[130] Praca zbiorowa: *Opiniowanie wypadków drogowych – niektóre zagadnienia*, Stowarzyszenie Rzeczoznawców Techniki Samochodowej i Ruchu Drogowego, Warszawa 2006.

[131] Praca zbiorowa: *Podwozia i nadwozia pojazdów samochodowych*, Podręcznik do nauki zawodu. Technik pojazdów samochodowych, Wydawnictwo REA, Warszawa 2008.

[132] Praca zbiorowa: *Poradnik techniki samochodowej*, Wydawnictwo REA, Warszawa 2010.

[133] Praca zbiorowa: *Metodyka badań doświadczalnych*, skrypt Politechniki Krakowskiej , Kraków 1984.

[134] Praca zbiorowa: *Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądowego*. Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2006.

[135] Praca zbiorowa: *Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu, synteza*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2010.

[136] Prochowski L.: *Pojazdy samochodowe. Mechanika ruchu*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008.

[137] Prochowski L., Unarski J., Wach W., Wicher J.: *Pojazdy samochodowe. Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2014.

[138] Raatz B.: *Nowoczesne technologie pomiarów i napraw karoserii powypadkowych*, Biblioteka lakiernika, Oficyna Wydawnicza Troton, Ząbrowo 2005.

[139] Rau H., Otte D., Schulz B.: *Pkw-Fußgängerkollisionen im hohem Geschwindigkeits bereich – Ergebnisse von Dummyversuchen mit Lollisiongeschwindigkeit zwischen 70 und 90 km/h,* Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 2000,38(12), s. 341-351.

[140] Regulamin nr 13 Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej poz. z dnia 30.09.2010 r. PL.

[141] Report from the expertise by the Institute for Crime Research of the French Gendarmerie (IRCGN), 2007.

[142] Reurings M., Janssen T.: *Accident prediction models for urban and rural carriageways*, Publication R-2006-14, SWOV Institute of road Safety Research, Leidchendam 2007.

[143] Reusch K.: *Digital tachograph in the context of accident reconstruction*, Proceedings of the 21 th Annual Congress of the European Association for Accident Research and Analysis (EVU), Published by Asociata EVU Grup Romania, Brasov 2012, s. 37-42.

[144] Reza A.: *Wpływ kształtu nadwozia samochodu osobowego na ustalenie ich prędkości w chwili potracenia pieszego*, X Konferencja, Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Szczyrk 2006, s. 231-246.

[145] Reza A., Zębala J., Pieniążek W.: *Badania eksperymentalne wybranych parametrów hamowania samochodu osobowego*, VI Konferencja, Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 1998, s. 281-294.

[146] Richardson S., Orton T., Josevski N., Pok W. P., Sandvik A., Jones Ch.: *A critique of critical speed yaw mark research,* SAE Technical Paper 2012-01-0600, Warrendale PA 2012.

[147] Rostocki A.: *Historia starych samochodów*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1981.

[148] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia, Dz. U. poz. 305, Warszawa, dnia 5 marca 2015 r. z późniejszymi zmianami.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

[149] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie szczegółowych wymagań w stosunku do stacji przeprowadzających badania techniczne pojazdów, Dz. U. nr 40 poz. 0275, z dnia 10 lutego 2006 r. z późniejszymi zmianami.

[150] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz wzorów dokumentów stosowanych przy tych badaniach. Dz. U. poz. 996, Warszawa, 7 września 2012 r. z późniejszymi zmianami.

[151] Rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie doskonalenia techniki jazdy. Dz. U. poz. 91, Warszawa, dnia 18 stycznia 2013 r.

[152] Salaani M. K., Guenther D. A., Heydinger G. J., Guenther D. A.: *Validation results from using NADSdyna vehicle dynamics simulation*, SAE Technical Paper No. 970565, Warrendale PA 1997.

[153] Schmidt-Clausen H. J., Diem C.: *Eye movement behaviour of car drivers in real traffic situation at day- and night- time driving*, Tagungsband, 8. Jahrestagung des Europäischen Vereins Für Unfallforschung und Unfallanalyse e.V. (EVU) Institute of Forensic Research Publischers, Kraków 1999, s. 115-123.

[154] Schmmelpfennig K.H., Becke M.: *Unfallrekonsrtuktion und - gutachten in der verkehrs-rechtlichen Praxis, Handbuch für Juristen, Sachbearbeiter und Beteilgte*, ZAP Verlag, Münster 2011.

[155] Sitek K, Syta S.: *Pojazdy samochodowe. Badania stanowiskowe i diagnostyka*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2011.

[156] Sledge N.H. Jr., Marshek K. M.: *Formulas for estimating vehicle critical speed from yaw marks – a review*, SAE Technical Paper 971147, Warrendale PA 1997.

[157] Sledge N.H. Jr., Marshek K. M.: *Vehicle critical speed formula – values for the coefficient of friction – a review*, SAE Technical Paper 971148, Warrendale PA 1997.

[158] Stcherbatcheff G., Tarriere C., Ducols P., Fayon A., Got C., Patel A.: *Simulation of collisions between pedestrians and vehicles using adult and child dummies*, SAE Technical Paper 751167, Warrendale PA 1975.

[159] Sumiński K.: *Badanie procesu hamowania pojazdu wyposażonego w różne systemy ABS*. IV Konferencja Naukowo –Techniczna, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004, s. 335-342.

[160] Szczuraszek T.: *Prędkość pojazdów w warunkach drogowego ruchu swobodnego,* Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Warszawa 2008.

[161] Szczypiński R., Dąbrowski A.: *Powypadkowe badanie pojazdów*, Paragraf na drodze numer 3/2013, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2013, s. 49-63.

[162] Szczypiński-Sala W., Strzępek P.: *Dokładność i błędy w drogowych pomiarach opóźnienia hamowania*, Logistyka nr 03/2011, Wydawnictwo Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2011, s. 2613-2618.

[163] Świder P.: *Obliczanie opóźnienia hamowania na podstawie wyników badań hamulców na stanowisku diagnostycznym. Pilotażowa wersja metody*, VIII Konferencja, Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2002, s. 217-231.

[164] Świder P.: *Wyniki badania hamulców na stanowisku diagnostycznym a wartość opóźnienia osiąganego przez samochód na drodze*, Paragraf na drodze numer 4/2003, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2003, s. 35-42.

[165] Taryma S.: *Opór toczenia opon samochodowych*, Monografia, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2007.

[166] Taylor B., Kuyatt C.: *Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results*, National Institute of Standards and Technology, Technical Note 1297, 1994.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

[167] Taylor J. R.: *An introduction to error analysis*, University Science Books, Oxford University Press, Mill Valley CA 1982.

[168] Teresiński G.: *Biomechanika zderzenia z pieszym*. Wydawnictwo Akademii Medycznej, Lublin 2004.

[169] Teresiński G.: *Obszary kompetencji biegłych nauk technicznych i medycyny sadowej przy ustaleniu osoby kierującej pojazdem w chwili wypadku*, Paragraf na drodze numer 7/2011, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2011, s. 33-49.

[170] Trzeciak K.: *Diagnostyka samochodów osobowych*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2014.

[171] Unarski J., Wach W.: *Analiza ryzyka w ruchu drogowym*, Międzynarodowy Kongres BRD ,,Interdyscyplinarne zarządzanie bezpieczeństwem drogowym" 13-14 grudnia 2010, Teresin, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, s. 69-85.

[172] Unarski J., Wach W., Ciępka P.: *Determining visibility distance based on measurements with LMK system*, Proceedings oh the 22th Annual Congress of the European Association for Accident Research an Analysis (EVU), Published by EVU, Firenze 2013, s. 85-94.

[173] Unarski J., Wach W.: *Prędkość a skutki wypadków drogowych – symulacja w programach PC-Crash HVE*, Seminarium szkoleniowe ,,Nadmierna prędkość jako główna przyczyna wypadków drogowych w Polsce", 29-30 listopada 2010 r., Terasin, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, s. 25-33.

[174] Unarski J., Wach W., Wierciński J.: *Programy kontrolne do sporządzania opinii, Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych*, VIII Konferencja, Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2002, s. 23-35.

[175] Unarski J., Zębala.: *Zbiór podstawowych wzorów i równań stosowanych w analizie wypadków drogowych*, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2006.

[176] Vangi D., Begani F.: *Fuzzy logic in car accidents*, Proceedings of the 16th Annual Congress of the European Association for Accident Research and Analysis (EVU), Institute of Forensic Research Publishers, Kraków 2007, s. 27-34.

[177] Vangi D.: *Collision stage reconstruction in traffic accidents: sensitivity analysis*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering 2005, s. 285-294.

[178] Vangi D.: *A fuzzy approach for vehicle-pedestrian collision reconstruction*, Vehicle System Dynamics 2009, 47(9), s. 11156-1135.

[179] Wach W.: *Analiza zarzucenia pojazdu po zderzeniu*, Paragraf na drodze numer 9/2000, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2000, s. 33-36.

[180] Wach W.: *Analiza zderzenia pojazdów w aspekcie niepewności modelowania,* Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Budowa i eksploatacja maszyn 8/2008, Kielce 2008, s. 273-285.

[181] Wach W.: *Bayesian networks for hypothesis assessment in road accident reconstruction*, ITAI Conference 2011 Leeds, ITAI Publishers, Shrewsbury 2011, s. 87-96.

[182] Wach W.: *PC-Crash. Optymalizacja obliczeń parametrów zderzenia pojazdów*, Paragraf na drodze numer 6/1999, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 1999, s. 51-60.

[183] Wach W., Unarski J.: *Determination of vehicle velocities and collision location by means of Monte Carlo simulation method*, SAE Special Publication SP-1999 Accident Reconstruction 2006, SAE Technical Paper 2006-01-0907, Warrendale PA 2006.

[184] Wach W., Unarski J.: *Niekonwencjonalne problemy w rekonstrukcji wypadków drogowych*, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 2005, Politechnika Warszawska, 2(57), s. 5-12.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

[185] Wach W.: *Structural reliability of road accidents reconstruction*, Forensic Science International 2013, 228 (1-3), s. 83-93.

[186] Wach W.: *Weryfikacja symulacji zderzenia pojazdów ze względu na niepewność modelowania*, Paragraf na drodze numer 1/2011, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2011, s. 43-63.

[187] Wach W.: *Wiarygodność obliczeń w kontekście wiarygodność i rekonstrukcji wypadku drogowego*, IX International Science-Technical Conference Automotive Safety 2014- Problemy bezpieczeństwa w pojazdach samochodowych, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2014, s. 396-403.

[188] Wach W.: *Wiarygodność strukturalna rekonstrukcji wypadków drogowych*, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2014.

[189] Wach W.: *Wiarygodność ustalenia przyczyny wypadku drogowego*, Paragraf na drodze 2009, Numer specjalny, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych 2009, s.115-133.

[190] Weyde W.: *Możliwość wykorzystania zaaranżowanych prób zderzeniowych do odtworzenia rzeczywistych wypadków,* Paragraf na drodze numer 12/2013, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2013, s. 32-57.

[191] Wicher J.: *Pojazdy samochodowe. Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2012.

[192] Wierciński J.: *Metodyka opiniowania, Materiały pomocnicze*, Studium podyplomowe „Ekspertyza wypadku Drogowego", wydanie IV, Kraków 2006.

[193] Wierciński J.: *Problematyka prawna i techniczna wypadków drogowych*, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Wydanie II, Kraków 1998.

[194] Witkiewicz M., Owczarz M., Taryma S.: *Analiza porównawcza drogi hamowania motocykla z włączonym i wyłączonym układem ABS*, czasopismo Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium", Radom 2017, tom 18 nr 7-8, s. 229–232.

[195] Witkiewicz M., Owczarz M., Taryma S.: *Analiza porównawcza zmierzonych wartości opóźnienia hamowania samochodu osobowego ze sprawnym i uszkodzonym układem hamulcowym*, czasopismo Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium", Radom 2016, tom 17 nr 8, s. 154–157.

[196] Witkiewicz M., Owczarz M., Taryma S., Romanowska A.: *Koncepcja powypadkowych badań technicznych w stacji kontroli pojazdów w aspekcie rekonstrukcji wypadków drogowych*, XV Forum motoryzacji, czasopismo Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium", Radom 2012, tom 13 nr 5, s. 468-471.

[197] Wolak S.: *Program V-SIM. Wprowadzenie i ogólna charakterystyka*, Paragraf na drodze numer 9/2010, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2010, s. 50-66.

[198] Wolak S., Walczak S.: *Intensywność hamowania motocykla a ślady pozostawione na jezdni*, Paragraf na drodze numer 5/2010, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2010, s. 42-45.

[199] Wong J. W.: *Terramechanics and off-road vehicles*, Elsevier, Amsterdam 1989.

[200] Wood, D. P., O'Riordain, S.: *Monte Carlo simulation methods applied to accident reconstruction and avoidance analysis*, Special Publication Accident Reconstruction: Technology and Animation IV SP-1030, SAE Technical Paper No. 940720, Warrendale PA 1994.

[201] Woźniak G, Zalewska A.: *Analiza i rekonstrukcja wypadku drogowego pojazd samochodowy - nieletni pieszy*, Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium", Radom 2017, tom 18 nr 12, s. 500-504.

[202] Zahorski R.: *Dowody w rekonstrukcji wypadku drogowego*, Wydawnictwo LEX, Warszawa 2012.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

[203] Zahorski R.: *Metodyka pracy biegłego sądowego. Rekonstrukcja wypadku drogowego,* Wydawnictwo Difin, Warszawa 2010.

[204] Zębala J.: *Porównanie badania opóźnień hamowania pojazdów ciężarowych za pomocą różnych urządzeń*, Paragraf na drodze numer 1/2013, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2013, s. 55-61.

[205] Zębala J.: *26 Annual EVU Conference – Haarlem (Holland) 2017*, Paragraf na drodze numer 4/2018, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2018, s. 31-36.

[206] Zębala J., Ciępka P., Reza A.: *Pedestrian speeds and acceleration - results of research on contemporary population*, Proceedings of the 21th Annual Congress of the European Association fo Accident Research and Analysis (EVU), Published by Asociatia EVU Grup Romania, Brasov 2012, s. 141-148.

[207] Zębala J., Wach W., Ciępka P., Janczur R., Walczak S.: *Bypassing manoeuvre driving a car with reduced and no tire pressure,* Proceedings of the 22 th Annual Congress of the European Association for Accident Reserach and Analysis (EVU), Published by EVU, Firenze 2013, s. 145-155.

[208] Ziernicki R., Leiloglou A.: *Nowe technologie w opiniodawstwie w USA*, XIII Konferencja Problemy Rekonstrukcji Wypadków Drogowych, Paragraf na drodze, numer specjalny, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2013, s. 339-349.

[209] Zou T., Cai M., Shu X.: *Response surface methodology and improved interval analysis method – for analyzing uncertainty in accident reconstruction,* Forensic Science International 2012, s. 306-312.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

WYKAZ TABELI

4.1. Wypadki z udziałem pieszych wg obszaru w 2017 roku 67
6.1. Wyniki badania samochodu ze sprawnym układem hamulcowym i włączonym układem ABS 82
6.2. Wyniki badania samochodu ze sprawnym układem hamulcowym i wyłączonym układem ABS 82
6.3. Wyniki badania samochodu z niesprawnym układem hamulcowym i włączonym układem ABS 83
6.4. Wyniki badania samochodu z niesprawnym układem hamulcowym i wyłączonym układem ABS 83
6.5. Zestawienie średnich sił hamowania oraz średnich wyników zmierzonego i rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania samochodu Toyota Corolla .. 89
6.6. Zestawienie wyników badań sił hamowania i wyznaczonych wskaźników skuteczności hamowania dla łagodnego i gwałtownego naciskania na pedał hamulca 94
6.7. Zestawienie zmierzonego i rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania dla różnego obciążenia samochodu Seat Leon 97
7.1. Wartość współczynników przyczepności przylgowej i poślizgowej 101
8.1. Parametry techniczne opóźnieniomierzy 110
8.2. Zestawienie parametrów dla niegwałtownego hamowania 113
8.3. Zestawienie parametrów dla gwałtownego hamowania 113
8.4. Średnie arytmetyczne z uwzględnieniem odchylenia standardowego 113
8.5. Zestawienie parametrów dla intensywnego hamowania – układ hamulcowy sprawny 115
8.6. Zestawienie parametrów dla intensywnego hamowania – układ hamulcowy niesprawny 115
8.7. Średnie arytmetyczne intensywnego hamowania z uwzględnieniem odchylenia standardowego 116
8.8. Zestawienie parametrów dla intensywnego hamowania na nawierzchni gruntowej (seria1) 119
8.9. Zestawienie parametrów dla intensywnego hamowania na nawierzchni gruntowej (seria 1) 119
8.10. Średnie arytmetyczne badania intensywnego hamowania z uwzględnieniem odchylenia standartowego (seria 1 dla mokrej nawierzchni gruntowej) 119
8.11. Zestawienie parametrów dla intensywnego hamowania na nawierzchni gruntowej (seria 2) 120
8.12. Obliczona droga zatrzymania samochodu na nawierzchni gruntowej (seria 2) 121
8.13. Zestawienie parametrów przyjętych do obliczeń 121
8.14. Zestawienie obliczeń niepewności obliczeń wykonanych dwiema metodami 123

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

8.15. Hamowania na suchej nawierzchni asfaltowej, układ hamulcowy sprawny, ABS sprawny …… 126
8.16. Hamowania na suchej nawierzchni asfaltowej, układ hamulcowy sprawny, ABS niesprawny ……...126
8.17. Hamowania na suchej nawierzchni asfaltowej, układ hamulcowy niesprawny, ABS sprawny ……... 129
8.18. Hamowania na suchej nawierzchni asfaltowej, układ hamulcowy niesprawny, bez ABS ……..…… 129
8.19. Średnie arytmetyczne badania intensywnego hamowania z uwzględnieniem odchylenia standartowego (seria 1 dla suchej, gładkiej nawierzchni asfaltowej) … 132
8.20. Hamowania na mokrej nawierzchni asfaltowej, układ hamulcowy sprawny, ABS sprawny ……..…… 134
8.21. Hamowania na mokrej nawierzchni asfaltowej, układ hamulcowy sprawny, ABS niesprawny …… 134
8.22. Hamowania na mokrej nawierzchni asfaltowej, układ hamulcowy niesprawny, ABS sprawny …….. 134
8.23. Średnie arytmetyczne badania intensywnego hamowania z uwzględnieniem odchylenia standartowego (seria 2 dla mokrej, gładkiej nawierzchni asfaltowej) … 138
8.24. Hamowania na płycie poślizgowej, układ hamulcowy sprawny, ABS sprawny ….. 143
8.25. Hamowania na płycie poślizgowej, układ hamulcowy sprawny, układ ABS sprawny …… 145
8.26. Hamowania na płycie poślizgowej, układ hamulcowy sprawny, układ ABS niesprawny ……..… 145
8.27. Hamowania na płycie poślizgowej, układ hamulcowy niesprawny, układ ABS sprawny …… 149
8.28. Hamowania na płycie poślizgowej, układ hamulcowy niesprawny, układ ABS niesprawny ……..… 149
8.29. Średnie arytmetyczne badania intensywnego hamowania na płycie poślizgowej z uwzględnieniem odchylenia standardowego …… 153
9.1. Zestawienie średnich sił hamowania oraz rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania samochodu Toyota Corolla dla sprawnego i niesprawnego układu hamulcowego ……157
9.2. Średnie wartości opóźnienia hamowania i drogi hamowania samochodu Toyota Corolla dla suchej nawierzchni asfaltowej ……... 164
9.3. Średnie wartości opóźnienia hamowania i drogi hamowania samochodu Toyota Corolla dla mokrej nawierzchni asfaltowej ……..……...165
9.4. Wartości współczynnika niesprawności (nieszczelności) układu hamulcowego ……. 166
10.1. Średnie wartości opóźnienia hamowania a_{Hsr} [m/s^2] i drogi hamowania samochodu S_H [m] ……..……... 174

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

WYKAZ WYKRESÓW

6.1. Wykresy średnich wyników zmierzonego i rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania 90
8.1. Zestawienie niepewności obliczeń wykonanych dwiema metodami 123
8.2. Zestawienie maksymalnych wartości opóźnienia hamowania dla suchej jezdni asfaltowej 132
8.3. Zestawienie średnich wartości opóźnienia hamowania dla suchej jezdni asfaltowej 133
8.4.. Zestawienie drogi hamowania z prędkości początkowej 50 km/h, badania wykonano na suchej jezdni asfaltowej 133
8.5. Zestawienie maksymalnych wartości opóźnienia hamowania dla mokrej jezdni asfaltowej 138
8.6. Zestawienie średnich wartości opóźnienia hamowania dla mokrej jezdni asfaltowej 139
8.7. Zestawienie drogi hamowania z prędkości początkowej 50 km/h, badania wykonano na mokrej jezdni asfaltowej 139
8.8. Zestawienie maksymalnych wartości opóźnienia hamowania uzyskanych na płycie poślizgowej Autodromu Pomorze 153
8.9. Zestawienie średnich wartości opóźnienia hamowania uzyskanych na płycie poślizgowej Autodromu Pomorze 154
8.10. Zestawienie drogi hamowania z prędkości początkowej 50 km/h, badania wykonano na płycie poślizgowej Autodromu Pomorze 154
9.1. Porównanie wartości zmierzonego i rzeczywistego wskaźnika skuteczności hamowania dla różnego obciążenia samochodu Seat Leon, sprawny układ hamulcowy, sprawny układ ABS 157
9.2. Zestawienie rzeczywistych wskaźników skuteczności hamowania samochodu Toyota Corolla na stanowisku rolkowym z działającym i nie działającym układem ABS oraz ze sprawnym i niesprawnym układem hamulcowym 158
9.3. Zestawienie długości drogi hamowania w zależności od wartości opóźnienia hamowania dla prędkości początkowej 50 km/h 158
9.4. Średnie wartości opóźnienia hamowania samochodu Toyota Corolla wyliczone z pomiarów przeprowadzonych na suchej nawierzchni asfaltowej 164
9.5. Średnie wartości opóźnienia hamowania samochodu Toyota Corolla wyliczone z pomiarów przeprowadzonych na mokrej nawierzchni asfaltowej 165
10.1. Wykresy średnich wartości współczynnika f_N niesprawności (nieszczelności) układu hamulcowego w zależności od rodzaju nawierzchni 175

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Załącznik A. PROPONOWANY PROTOKÓŁ POWYPADKOWYCH BADAŃ TECHNICZNYCH POJAZDU

PROTOKÓŁ POWYPADKOWYCH BADAŃ TECHNICZNYCH POJAZDU

Sygnatura sprawy ……..…Data i miejsce oględzin …….

1. Identyfikacja pojazdu

Numer rejestracyjny …… Numer nadwozia …….

Marka …….. Model…… Rodzaj nadwozia ……..

Rodzaj pojazdu …… Przeznaczenie ……..…….

Barwa nadwozia ……Rok produkcji ……Stan licznika ……

Liczba miejsc siedzących ……. Rozstaw osi ……Masa własna ……

Pojemność skokowa silnika …… Rodzaj silnika/rodzaj paliwa …….

Data badania technicznego ostatniego ……....i termin następnego ……..

2. Opis śladów i uszkodzeń na nadwoziu pojazdu

(wykonać zdjęcia pod katem prostym z przodu, tyłu i boków oraz szczegółowe uszkodzonych elementów i śladów. Podać usytuowanie, wielkość i głębokość odkształceń oraz usytuowanie i wielkość lub obszar zabrudzeń, otarć, zarysowań itp. śladów):

Przód

……

……..……...…

Lewy bok

……..…

……..……

Prawy bok

……

……..……..……

Tył

……

……..……..……

Dach

……

……..……..……

Stan i czystość szyb (czyste, zabrudzone, popękane, przyciemniane, brak)

……

……..……..……

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Stan reflektorów i świateł (czyste, zabrudzone, popękane, brak)

……

……..……

Stan lusterek wstecznych (są, nie ma, popękane)

……

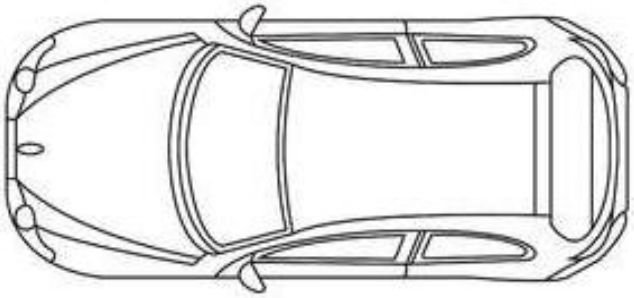
……..……

Wycieraczka szyby przed i tylnej (sprawna, niesprawna, jakość ścierania)

……

……..……

Lokalizacja uszkodzeń



3. Opis śladów i uszkodzeń wewnątrz pojazdu

(używać gumowych rękawiczek - wewnątrz pojazdu znajduje się materiał biologiczny)

Deska rozdzielcza (wskazania prędkościomierza)

……

……..……..……..

4. Opis śladów i uszkodzeń na podwoziu pojazdu

(w przypadku pęknięć, złamań, rozerwań itp. opisać stan powierzchni rozdzielenia – świeży, skorodowany, zabrudzony)

Zawieszenie przednie

……

……..……

Zawieszenie tylne

……

……..……

Podłoga rama

……

……..……

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Koło kierownicze

……

……..……..……

Fotele, foteliki (stan, usytuowanie, uszkodzenia)

……

……..……..……

Poduszka powietrzna kierowcy (jest, brak, wystrzeliła – tak, nie)

……

Poduszka powietrzna pasażera (jest, brak, wystrzeliła – tak, nie)

……

Inne poduszki powietrze (jakie?, wystrzeliły – tak, nie)

……

Pas bezpieczeństwa (czy jest zablokowany – tak, nie, który pas)

……

……..……..……

Tachograf (nie ma, jest – sprawny, niesprawny) ……...

5. Sygnał dźwiękowy

(sprawny, niesprawny)

……..……..

6. Oświetlenie

Światło		**Prawe**	**Lewe**	**Opis uszkodzeń**
mijania				
drogowe				
kierunkowskazy	przód			
	bok			
	tył			
Światło hamowania				
pozycyjne	przód			
	tył			

Rodzaj reflektorów głównych (konwencjonalny, soczewkowy) …….

Szkło reflektorów (ryflowane, gładkie) ……..

Jeżeli reflektor został rozbity ustalić materiał szyby (szkło, tworzywo sztuczne)……

Żarówki reflektorów głównych (bilu, H1, H2, H3, H4, H7, wyładowcze) …….

Pozycja korektora reflektorów (dolna, średnia, wysoka albo cyfrą) …….

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

7. Koła i ogumienie

Koło	Rozmiar opony, typ, indeks	Głębokość bieżnika	Ciśnienie	Uszkodzenie
przednie prawe				
przednie lewe				
tylne prawe				
tylne lewe				

Uwagi:

……

……..……

8. Układ kierowniczy

(luzy na kole kierownicy, ograniczenia skrętu, stan elementów układu kierowniczego, wspomaganie)

……

……..……

9. Układ hamulcowy

Hydrauliczny:

Płyn hamulcowy (stan zbiorniczka, poziom) ……

Szczelność układu (wycieki, uszkodzenia przewodów) ….....

……..…

……

Zapowietrzenie - odległość pedału od podłogi po jego pełnym naciśnięciu:

Jednokrotnym …….. [cm], kilkukrotnym …… [cm]

Pneumatyczny:

Ciśnienie w układzie: zastane……. po naładowaniu ……. po 10 min ……

Stan dźwigni i pompy ……..

Stan elementów ciernych (tarcze, bębny, okładziny) ……

……

Występowanie siły hamującej: PP ……., PL ……, TP ……., TL ……..

Hamulec postojowy/awaryjny (stan działania) ……

……

Układ ABS (nie ma, jest – działa, nie działa, brak możliwości ustalenia) ……...

……

Inne układy

……..…..

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

10. Ładunek

(rodzaj, masa, rozmieszczenie)

……

11. Opis stanu technicznego i uszkodzeń w zakresie, który nie został ujęty w poprzednich punktach

……

12. Próba ruchowa pojazdu

Ocena działania układu napędowego z punktu widzenia trudności występujących przy prowadzeniu pojazdu

……

……

Ocena działania układu kierowniczego – działanie wspomagania

……

……

Ocena działania układu hamulcowego

Dokonać jazdy próbnej, zmierzyć opóźnienie hamowania. Wartość średniego opóźnienia hamowania (zmierzona lub wyznaczona na podstawie pomiaru) $a_{śr}$ = ……. [m/s^2] lub zmierzyć długość hamowania S = …….. [m] z prędkości 50 km/h. Załączyć wydruk z opóźnieniomierza oraz plik w formie elektronicznej na płycie CD lub DVD.

Czy w czasie hamowania samochód ściąga (nie, tak – przód, tył w prawo, w lewo)

……..

Wnioski z jazdy próbnej

……

13. Badania stanowiskowe, specjalistyczne itp.

(załączyć protokół z pomiaru siły hamowania na stanowisku diagnostycznym lub inny)

……

14. Demontaż elementów lub układów z pojazdu

(opisać jakie elementy zostały zdemontowane z pojazdu do dalszych badań specjalistycznych i w jaki sposób zostały zabezpieczone)

……

……

15. Uwagi i spostrzeżenia

……

Podpis prowadzącego badanie

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Załącznik B. PPRZYKŁAD POWYPADKOWEGO BADANIA POJAZDU

Sygnatura sprawy ANXXX …

1. Identyfikacja pojazdu

Samochód ciężarowy Ford Transit Conect, rok produkcji …, numer nadwozia …

2. Opis śladów i uszkodzeń na nadwoziu pojazdu

Podczas powypadkowego badania technicznego samochodu ciężarowego Ford Transit (rys. A.1 i rys. A.2), ujawniono uszkodzenia występujące w postaci deformacji i rozdzieleń elementów poszyciowych prawej części przodu pojazdu. Uszkodzeniu uległy elementy pasa przedniego. Wgnieceniu uległa przednia część pokrywy komory silnika i pas przedni, który został rozdzielony przy prawym mocowaniu do podłużnicy. Zderzak przedni pękł na wysokości końcówki prawej podłużnicy (rys. A.3). Nieznacznemu podgięciu uległ przedni prawy błotnik w przedniej części.

Rys. A.1. Prawy bok i przód samochodu Ford po wypadku drogowym

Rys. A.2. Wgnieciona przednia część pokrywy komory silnika i pas przedni

Rys. A.3. Uszkodzony przód samochodu

Rys. A.4. Wystrzelona poduszka kierowcy

3. Opis śladów i uszkodzeń wewnątrz pojazdu

W wyniku wypadku wystrzeliła poduszka powietrzna kierowcy co pokazano na fot. A.4.

4. Opis śladów i uszkodzeń na podwoziu pojazdu

W zawieszeniu kół przednich i tylnych nie ujawniono uszkodzeń.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

W układzie zawieszenia samochodu nie stwierdzono występowania nieprawidłowości, które istniałyby przed wypadkiem i mogłyby negatywnie wpływać na sposób jego funkcjonowania.

5. Sygnał dźwiękowy

Sygnał dźwiękowy sprawny.

6. Oświetlenie

Popękany materiał szkła reflektora (z tworzywa sztucznego) przedniego prawego …

7. Koła i ogumienie

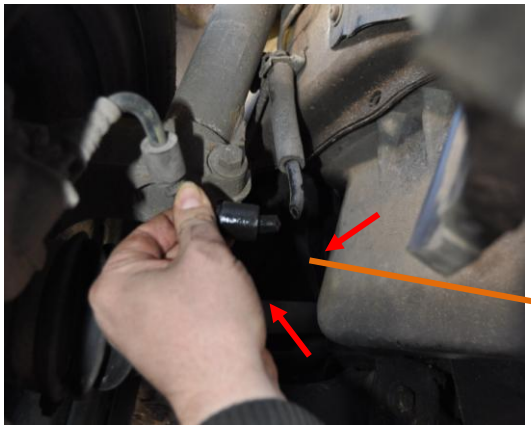
Na kołach jezdnych nie ujawniono uszkodzeń. Ciśnienie powietrza w ogumieniu wynosiło 2,1 [bar] w przednim prawym kole, a w pozostałych kołach po 2,2 [bar]. Bieżnik kół zużyty był równomiernie – głębokość rowków bieżnik wynosiła około 6 mm na kołach osi przedniej i około 8 mm na kołach osi tylnej.

8. Układ kierowniczy

Przekładnia kierownicza działała prawidłowo bez nadmiernych oporów i zacięć. Wywarcie reakcji skrętu na kole kierowniczym skutkowało przeniesieniem reakcji na koła kierowane w pełnym zakresie skrętu kół. W układzie kierowniczym samochodu nie stwierdzono występowania nieprawidłowości, które istniałyby przed wypadkiem i mogłyby negatywnie wpływać na sposób jego funkcjonowania.

9. Układ hamulcowy

Układ hamulcowy hydrauliczny. W zbiorniczku wyrównawczym ujawniono brak płynu hamulcowego. Pompa nie nosiła cech uszkodzeń. W układzie hamulcowym ujawniono rozdzielenie elastycznych przewodów doprowadzających płyn hamulcowy do hamulców kół przednich. Uszkodzony elastyczny przewód hamulcowy przedniego prawego koła pokazano na rys. A.5 i rys. A.6, a przewód hamulcowy przedniego lewego koła widać na rys. A.7 i rys. A.8.

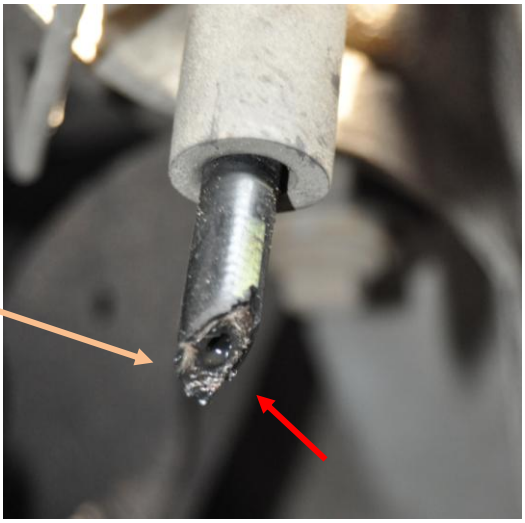


Rys. A.5. Rozdzielony przewód hamulcowy przedniego prawego koła

Fot. A.6. Rozdzielony przewód hamulcowy przedniego prawego koła

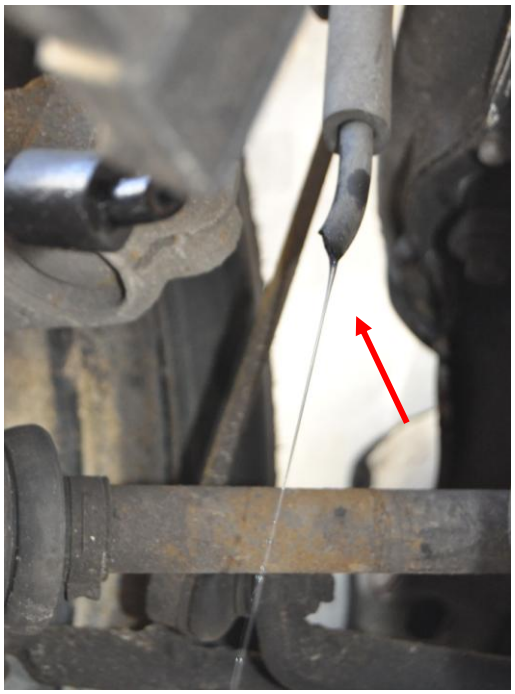
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rys. A.7. Rozdzielony przewód hamulcowy przedniego lewego koła



Rys. A.8. Rozdzielony przewód hamulcowy przedniego lewego koła

We fragmentach rozdzielonych przewodów połączonych z zaciskami ujawniono zawilgocenie i wyciek płynu hamulcowego. Ślady obecności płynu ujawniono również w elementach hamulców kół tylnych. Zbiornik płynu hamulcowego zalano płynem, a po upływie kilkunastu sekund ujawniono wyciek grawitacyjny płynu z rozdzielonych przewodów. Ponowne zalanie zbiornika i nacisk na dźwignię hamulca skutkowało znacznym wyciekiem płynu z obu przewodów (rys. A.9 – rys. A.11).



Rys. A.9. Wyciek płynu z przewodu hamulcowego przedniego prawego koła

Rys. A.10. Wyciek płynu z przewodu hamulcowego przedniego lewego koła

Rys. A11. Wyciek płynu z przewodu hamulcowego przedniego lewego koła

Elementy cierne hamulców wykazywały ślady prawidłowej współpracy, znajdowały się w dobrym stanie technicznym, nie ujawniono nadmiernego ich zużycia.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

10. Ładunek

W badanym samochodzie nie znajdował się żaden dodatkowy ładunek.

11. Opis stanu technicznego i uszkodzeń w zakresie, który nie został ujęty w poprzednich punktach

Nie ujawniono innych uszkodzeń po opisanymi powyżej.

12. Próba ruchowa pojazdu

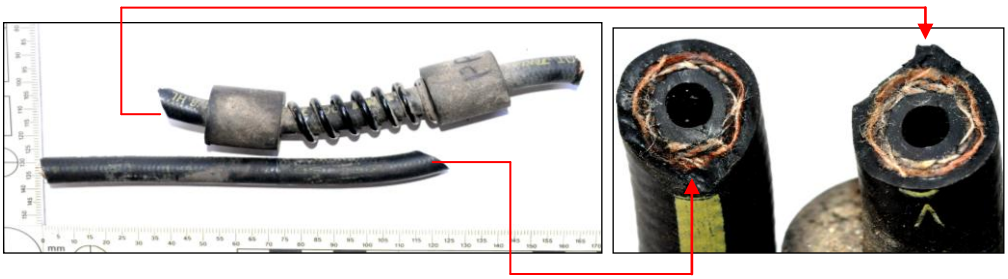
Ze względu na niesprawny układ hamulcowy próby drogowej nie przeprowadzono.

13. Badania stanowiskowe

Nie przeprowadzono badań stanowiskowych.

14. Demontaż elementów lub układów z pojazdu

Z uwagi na specyficzny charakter uszkodzeń elastycznych przewodów hamulcowych zdemontowano je z samochodu i zabezpieczono do dalszych badań (rys. A. 12 i rys. A.13).



Rys. A.12. Uszkodzony elastyczny przewód hamulcowy doprowadzający płyn hamulcowy do hamulca przedniego prawego koła

Rys. A.13. Uszkodzony elastyczny przewód hamulcowy doprowadzający płyn hamulcowy do hamulca przedniego lewego koła

15. Uwagi i spostrzeżenia

Po przeprowadzeniu stosownych badań stwierdzono, że na krawędziach rozdzielenia obu przewodów hamulcowych ujawniono ślady świadczące o ich rozdzieleniu przy pomocy narzędzia ostrokrawędzistego typu nóż. Jednocześnie na podstawie przeprowadzonych badań nie można stwierdzić w sposób jednoznaczny, kiedy doszło do ich rozdzielenia.

Gdyby do rozdzielenia przewodów doszło przed zaistnieniem zdarzenia drogowego, należałoby uznać, że układ hamulcowy pojazdu był niesprawny.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

ZAŁĄCZNIK C. POWYPADKOWA DIAGNOSTYKA UKŁADU HAMULCOWEGO STEROWANEGO HYDRAULICZNIE W STACJI KONTROLI POJAZDÓW

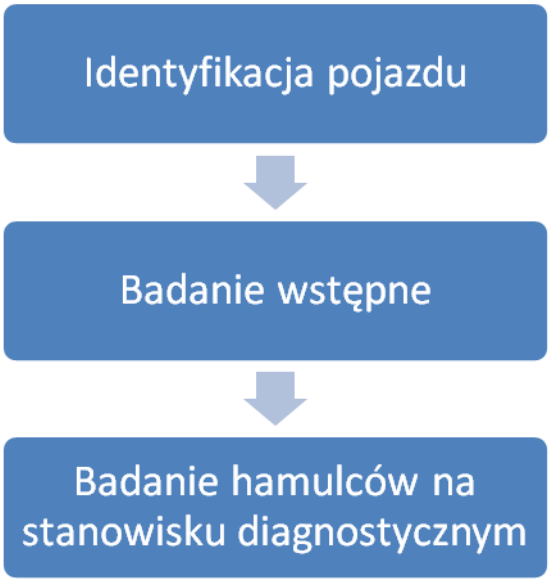
Diagnozowanie sprawności i skuteczności układu hamulcowego samochodu biorącego udział w wypadku drogowym znacznie różni się od badania wykonywanego podczas tradycyjnego, okresowego przeglądu rejestracyjnego pojazdu. Dlatego podjęto próbę usystematyzowania procedury powypadkowego sprawdzenia układu hamulcowego (sterowanego hydraulicznie) samochodu w stacji diagnostycznej.

Najczęstszym pytaniem organu procesowego skierowanym do biegłego mającego przeprowadzić powypadkowe badanie techniczne w stacji kontroli pojazdów jest: czy w czasie bezpośrednio poprzedzającym wypadek pojazd był sprawny technicznie? Jeśli nie to czy istniejące przed wypadkiem wady, usterki i uszkodzenia objawiały się w taki sposób, że kierowca mógł i powinien był zdawać sobie sprawę z ich istnienia. Dla celów rekonstrukcji wypadku najczęściej najważniejsza jest ocena stanu i skuteczności działania układu hamulcowego. Dlatego przedstawiono metodykę związaną z badaniem hamulców na stanowisku rolkowym.

Należy pamiętać, że wszelkie rozważania teoretyczne i próby porównania wyników badań stanowiskowych i drogowych (trakcyjnych) powinny zawsze uwzględnić różnicę w fizycznym charakterze zjawisk zachodzących podczas procesu hamowania, w tym również istotne różnice w prędkości ruchu pojazdu i znaczącej ilości ciepła powstającego podczas hamowania pojazdu na drodze.

C.1. Koncepcja powypadkowego badania hamulców na stanowisku diagnostycznym

Algorytm badania powypadkowego układu hamulcowego sterowanego hydraulicznie na stanowisku diagnostycznym pokazano na rys. C.1.



Rys. C.1. Algorytm powypadkowego badania hamulców pojazdu na stanowisku diagnostycznym

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Proponowaną procedurę powypadkowego badania układu hamulcowego sterowanego hydraulicznie przedstawiono poniżej. Omówiono tylko istotne kwestie, ponieważ zagadnienia związane z diagnozowaniem układu hamulcowego są szczegółowo opisane w ogólnie dostępnej literaturze [6, 155, 170].

1. Identyfikacja ogólna pojazdu – marka, model, rok produkcji, numer identyfikacyjny i numer rejestracyjny itp.
2. Badanie wstępne układu hamulcowego pojazdu.
    - Oględziny pojazdu pod kątem czy jest wyposażony w układ zapobiegający blokowaniu kół. Jeżeli jest zamontowany układ ABS to należy sprawdzić poprawność jego działania. Po każdym włączeniu zapłonu sterownik ABS przeprowadza test całego układu. Jeżeli wynik jest pomyślny i wszystko funkcjonuje prawidłowo, kontrolka ABS na tablicy rozdzielczej gaśnie.
    - Sprawdzenie jaki rodzaj mechanizmu hamulcowego znajduje się na przedniej i tylnej osi (tarczowe, bębnowe). Jeżeli pojazd nie posiada układu ABS to należy sprawdzić czy posiada korektor lub ogranicznik siły hamowania.
    - Ocenę wzrokową poziomu płynu hamulcowego w zbiorniczku wyrównawczym, który prawidłowo powinien się zawierać pomiędzy znakami kontrolnymi („min” i „max”).
    - Ocenę płynu hamulcowego na podstawie pomiaru temperatury jego wrzenia refraktometrem.
    - Kontrolę organoleptyczną elementów układu polegającą na wzrokowym sprawdzeniu ich kompletności, oryginalności, modyfikacji i stanu technicznego (uszkodzenia, pęknięcia, nadmierne zużycia eksploatacyjne itp.). Oględziny elementów układu hamulcowego należy wykonać przed badaniem na urządzeniu rolkowym (ponieważ w trakcie badania mogą np. ulec pęknięciu nadmiernie skorodowane sztywne przewody hamulcowe)
    - Sprawdzenie szczelności obwodu hydraulicznego, którą dokonuje się przez obserwację wysokości pedału hamulca podczas ciągłego nacisku na pedał z maksymalną siłą przez około 1 minutę. Jeżeli podczas próby pedał nie zmieni swojego położenia, można przyjąć, że obwód jest szczelny. Dodatkowo należy skontrolować, czy poszczególne elementy obwodu hydraulicznego nie noszą śladów wycieku.
    - Ocenę skoku pedała hamulca oraz sprawdzenie zapowietrzenia obwodu hydraulicznego. Na skutek zapowietrzenia układu następuje zwiększenie czasu uruchamiania hamulców, co wydłuża drogę hamowania pojazdu.
    - Pomiar ciśnienia powietrza w ogumieniu, ale bez jego wyrównywania do wartości zalecanej przez producenta.
    - Określenie rzeczywistej masy pojazdu z kierowcą wykonującym badanie.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

3. Badanie hamulców metodą quasi-statyczną na stanowisku rolkowym.
    - Wykonujemy pomiar sił hamowania obracających się z niewielką prędkością kół jezdnych pojazdu najpierw osi przedniej, a następnie osi tylnej. Stanowisko rolkowe powinno umożliwić wykonanie pomiaru sił hamowania jednocześnie z pomiarem nacisku na pedał hamulca . Badanie hamulców samochodów z nierozłączalnym napędem na cztery koła na stanowisku rolkowym powinno być wykonane zgodnie z zaleceniami producenta stanowiska diagnostycznego.
    - Dokonujemy oceny skuteczności i równomierności hamowania dla badanego rodzaju hamulca.
    - W powypadkowych badaniach pojazdów wyznaczamy rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania z_{RZ} (%). Stanowi on iloraz sumy sił hamowania uzyskanych ze wszystkich kół do siły ciężkości (nacisku) od rzeczywistej masy pojazdu z kierowcą (wykonującym badanie), a nie od dopuszczalnej masy całkowitej badanego pojazdu (tak jak przy okresowym badaniu technicznym).

C.2. Proponowany protokół powypadkowego badania układu hamulcowego

Protokół kontroli stanu technicznego układu hamulcowego oraz skuteczności i równomierności hamowania pojazdu biorącego udział w zdarzeniu drogowym przedstawiono poniżej. Protokół dotyczy przeprowadzenia badania na stanowisku rolkowym w stacji kontroli pojazdów.

PROTOKÓŁ POWYPADKOWEGO BADANIA UKŁADU HAMULCOWEGO

Sygnatura sprawy …… Data i miejsce oględzin ……..…….

16. Identyfikacja ogólna pojazdu

Numer rejestracyjny …… Numer nadwozia …….
Marka …….. Model…… Rodzaj nadwozia ……..
Rodzaj pojazdu …… Przeznaczenie ……..…….
Barwa nadwozia ……Rok produkcji ……Stan licznika …… [km]
Pojemność skokowa silnika ……[cm^3]. Rodzaj silnika/rodzaj paliwa ……
Dopuszczalna masa całkowita pojazdu …… [kg]. Masa własna …… [kg]
Dopuszczalna masa przedniej osi ……... [kg]. Dopuszczalna masa tylnej osi .....….[kg]

17. Badanie wstępne układu hamulcowego pojazdu

Układ ABS ..... (Tak/Nie). Sprawny technicznie ..... (Tak/Nie). Ilość obwodów ……..…….
Kontrolka ABS na tablicy rozdzielczej gaśnie po pewnej chwili ……. (Tak/Nie).
Inne spostrzeżenia i uwagi:
……

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Jeżeli pojazd nie jest wyposażony w układ ABS to należy sprawdzić czy posiada korektor lub ogranicznik siły hamowania. Opisać jaki:

…..……..……

..…..……..……..……..…

Poziom płynu hamulcowego w zbiorniczku ……..……..……

Temperaturę wrzenia płynu hamulcowego ……..……..

Rodzaj mechanizmu hamulcowego (tarczowy, bębnowy, inny):

na osi przedniej …… na osi tylnej ……..…….

Kontrola organoleptyczna elementów układu hamulcowego pod względem uszkodzeń, pęknięć, kompletności, oryginalności, modyfikacji, nadmiernego zużycia eksploatacyjnego itp.).

……..……

……..……..…

……..……

……..……..…

Próba szczelności obwodu hydraulicznego (wywierać maksymalny nacisk na pedał hamulca przez ok 1 min) oraz ocenić czy podczas jej trwania nie nastąpiła zmiana położenia pedału. Skontrolować organoleptycznie czy na elementach obwodów hydraulicznych nie ma śladów wycieku.

……..……

……..……..…

……..……

……..……..…

Sprawdzić czy układ hamulcowy nie jest zapowietrzony.

……..……

……..……..…

Oględziny ogumienia, pomiar głębokości bieżnika i wartości ciśnienia.

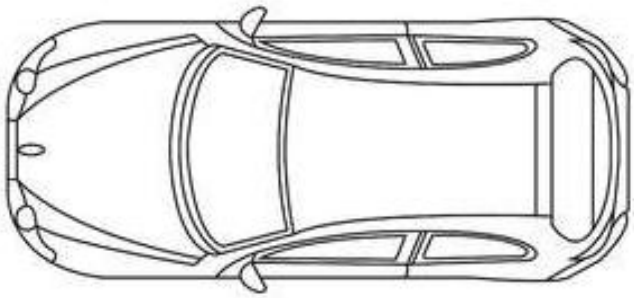
Koło	**Rozmiar opony, typ, indeks**	**Głębokość bieżnika**	**Ciśnienie zmierzone**	**Ciśnienie nominalne**
Przednie lewe				
Przednie prawe				
Pylne lewe				
Pylne prawe				

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Masy rzeczywistej pojazdu z kierowcą ……..…….. [kg]

Masa pojazdu obciążająca koło przednie prawe: …… [kg]

Masa pojazdu obciążająca koło tylne prawe: …… [kg]



Masa pojazdu obciążająca koło przednie lewe: …… [kg]

Masa pojazdu obciążająca koło tylne lewe: …… [kg]

Masa rzeczywista osi przedniej ……..…… [kg]. Masa rzeczywista osi tylnej …… [kg].

18. Badanie hamulców na stanowisku rolkowym

Wartości pomiaru sił hamowania mierzone na stanowisku rolkowym metodą quasi-statyczną.

Hamulec roboczy

Parametr badany		Przednia oś		Tylna oś	
		Koło lewe	Koło prawe	Koło lewe	Koło prawe
Siła hamowania	N				
Różnica sił hamowania	%				
Nacisk na pedał hamulca	N				
Wskaźnik skuteczności hamowania osi	%				
Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania	%				

Dołączono protokół z pomiaru siły hamowania na stanowisku diagnostycznym …….. (Tak/Nie).

Oceny skuteczności i równomierności hamowania badanego pojazdu.

……

……

……

19. Uwagi i spostrzeżenia

……

Podpis prowadzącego badanie

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

C.3. Metodyka (powypadkowego) badania skuteczności hamowania

Obiektem badań był samochód osobowy Seat Leon (rys. C.2 i rys. C.3), o zapłonie samoczynnym, pojemność silnika 1896 cm^3, moc silnika 66 kW, rok produkcji 2001, rodzaj nadwozia hatchback. Rozmiar opon 195/65 R15 o nośności 615 kg, firmy Bridgestone Blizzak LM-32, opony M+S (przeznaczone na sezon zimowy), wysokość bieżnika ok 8 mm. Hamulce tarczowe na przedniej i tylnej osi. Dopuszczalna masa całkowita 1775 kg, dopuszczalny masa osi przednie 925 kg, osi tylnej 930 kg. Informacje dotyczące dopuszczalnej masy całkowitej i dopuszczalnej masy każdej osi znajdują się na tabliczce znamionowej.

Rys. C.2. Widok samochodu Seat Leon przed stacją kontroli pojazdów

Rys. C.3. Widok samochodu podczas przeprowadzanych badań w stacji kontroli

Samochód wyposażony był w seryjny, czterokanałowy układ ABS zapobiegający blokowaniu kół podczas hamowania, kompletny, sprawny technicznie. Kontrolka układu ABS na tablicy rozdzielczej po włączeniu zapłonu zgasła po dwóch sekundach (rys. C.4 i rys. C.5).

Rys. C.4. Widok świecącej kontrolki układu ABS na tablicy rozdzielczej

Rys. C.5. Widok tablicy rozdzielczej po zgaśnięciu kontrolki od układu ABS

Poziom płynu hamulcowego w zbiorniczku wyrównawczym w okolicach wartości „max". Zmierzona temperatura wrzenia płynu hamulcowego wynosiła 210 ^oC (wynik pozytywny).

Przeprowadzona kontrola organoleptyczna pojazdu ustawionego na kanale przeglądowym nie wykazała braków, modyfikacji oraz uszkodzeń elementów układu hamulcowego. Próba szczelności wypadła pozytywnie, nie stwierdzono śladów wycieków płynu. Nie występowało również zapowietrzenie układu hamulcowego.

Zmierzone ciśnienie w każdym kole wynosiło 1,5 [bar]. Ciśnienie nominalne wg danych producenta dla samochodu z kierowcą i niewielkim ładunkiem powinno być wynosić 2,2 [bar] na przedniej osi i 2,2 [bar] na tylnej osi.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

W pojeździe biorącym udział w wypadku prawidłowo powinniśmy przeprowadzić badanie na stanowisku rolkowym z ciśnieniem w ogumieniu takim jakie było w rzeczywistości. Nie należy dokonywać zmian ciśnienia w ogumieniu do wartości zalecanej przez producenta, a jedynie wartość nominalną zanotować w protokole powypadkowych badań.

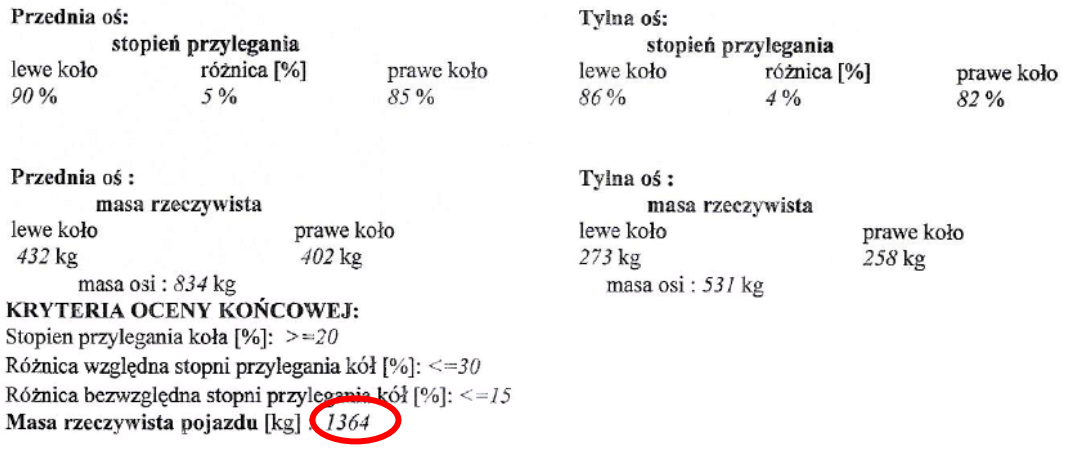
Nie należy przeprowadzać badań na stanowisku diagnostycznym przy ciśnieniu mniejszym niż 1,0 [bar], ponieważ nie następuje samoczynne wyłączenie rolek.

Obecnie w stacjach kontroli pojazdów stanowiska diagnostyczne występują w postaci kompleksowych, zintegrowanych linii diagnostycznych.

Działanie linii przebiega najczęściej automatycznie, jednak w przypadku, kiedy jest to konieczne, istnieje możliwość sterowania ręcznego poszczególnymi procesami. System pomiarowy jest zintegrowany z komputerem. Wyniki pomiarów i obliczeń po elektronicznym przetworzeniu są wyświetlane na ekranie monitora w postaci liczbowej i graficznej. Istnieje możliwość wprowadzenia danych klienta oraz wydruku protokołu z przeprowadzonych badań.

Linie diagnostyczne do badania pojazdów o dopuszczalnej masie całkowitej nieprzekraczającej 3 500 [kg] obejmują również stanowisko do kontroli amortyzatorów, które jest zespolone z wagą elektroniczną.

Przeprowadzono test tłumienia zawieszenia (rys. C.6) oraz zważono badany pojazd razem z kierowcą.



Rys. C.6. Test zawieszenia i pomiar rzeczywistej masy pojazdu oraz masy rzeczywistej poszczególnych kół

Badanie pomiaru sił hamowania na stanowisku rolkowym wykonano metoda quasi-statyczną. Wykonano najpierw pomiar sił hamowania kół osi przedniej, a następnie osi tylnej przy jednoczesnym pomiarze siły nacisku na pedał hamulca.

Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania z_{RZ} (%) pojazdu po wypadku drogowym, jest to stosunek sumy sił hamowania do siły ciężkości (nacisku) od rzeczywistej masy pojazdu (rys. C.7), a nie od dopuszczalnej masy całkowitej badanego pojazdu, wg wzoru:

$$z_{RZ} = \frac{\sum T}{P_{RZ}} \times 100$$

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

GTC LX22

-Osobowy-

Parametr badany		HAMULEC ROBOCZY przednia oś	tylna oś	Wymagane wartości	HAM. POSTOJOWY	Wymagane wartości
Siła hamowania koła lewego	N	2623	1798		765	
Siła hamowania koła prawego	N	2642	1619		596	
Opory toczenia koła lewego	N	179	99		119	
Opory toczenia koła prawego	N	139	79		79	
Nacisk na pedał hamulca	N	75	393	<=500		
Różnica przy zablokowaniu	%	1	10	<=30		
Wahania sił ham. koła lewego	%			<=20		<=20
Wahania sił ham. koła prawego	%			<=20		<=20
Wskaźnik zm. skut. ham. osi	%	31	20			
Ustawienie kół jezdnych	mm	0,0	2,3	<=4,0	2,3	<=4,0
Suma sił hamowania LE+PR hamulca	N	8682			1361	
Wskaźnik oblicz. skut. hamulca	%	>=50		>=50	8	>=16
Wskaźnik zm. skut. hamulca	%	50			8	

Rys. C.7. Wskaźnik skuteczności hamowania wynosi 50 % dla przyjętej dopuszczalnej masy całkowitej pojazdu wynoszącej 1775 [kg], ciśnienie powietrza w każdym kole wynosiło 1,5 [bar]

Wprowadzając dane pojazdu do komputera (linii diagnostycznej) podczas wykonywania powypadkowego badania skuteczności hamowania należy zamiast dopuszczalnej masy całkowitej podać masę rzeczywistą pojazdu wraz z kierowcą. Protokół powypadkowego badania, w którym prawidłowo określono masę sprawdzanego pojazdu pokazano na rys. C.8.

CARTEC VIDEOline 2000

Europak Okregowa Stacja Kontroli Pojazdów	*80-299 Gdańsk*
ul.Barniewicka 46	*tel. (058)554-44-77*

2018-03-16, 15:36:34

GTC LX22

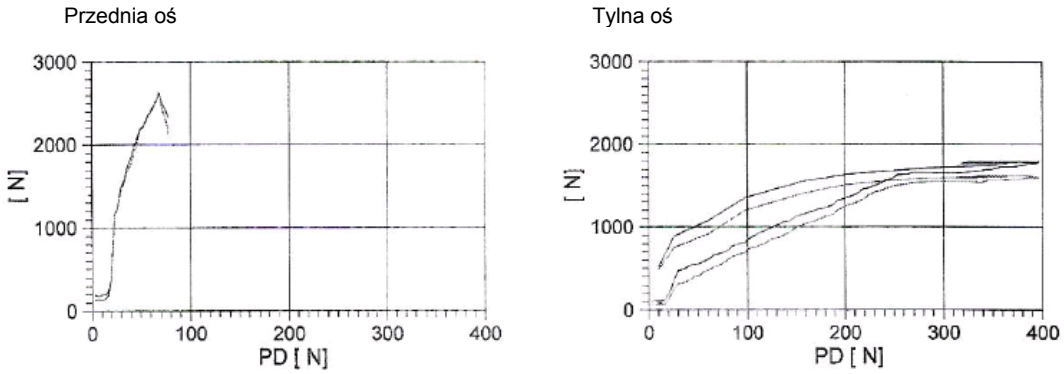
-Osobowy-

Parametr badany		HAMULEC ROBOCZY przednia oś	tylna oś	Wymagane wartości	HAM. POSTOJOWY	Wymagane wartości
Siła hamowania koła lewego	N	2623	1798		765	
Siła hamowania koła prawego	N	2642	1619		596	
Opory toczenia koła lewego	N	179	99		119	
Opory toczenia koła prawego	N	139	79		79	
Nacisk na pedał hamulca	N	75	393	<=500		
Różnica przy zablokowaniu	%	1	10	<=30		
Wahania sił ham. koła lewego	%			<=20		<=20
Wahania sił ham. koła prawego	%			<=20		<=20
Wskaźnik zm. skut. ham. osi	%	39	26			
Ustawienie kół jezdnych	mm	0,0	2,3	<=4,0	2,3	<=4,0
Suma sił hamowania LE+PR hamulca	N	8682			1361	
Wskaźnik oblicz. skut. hamulca	%	>=50		>=50	10	>=16
Wskaźnik zm. skut. hamulca	%	65			10	

Rys. C.8. Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania wynosi 65 % dla przyjętej masy pojazdu z kierowcą wynoszącej 1364 [kg], ciśnienie powietrza w każdym kole wynosiło 1,5 [bar]

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Wykresy zmierzonych sił hamowania na osi przedniej i tylnej w zależności od nacisku na pedał hamulca przestawiono ma rys. C.9.

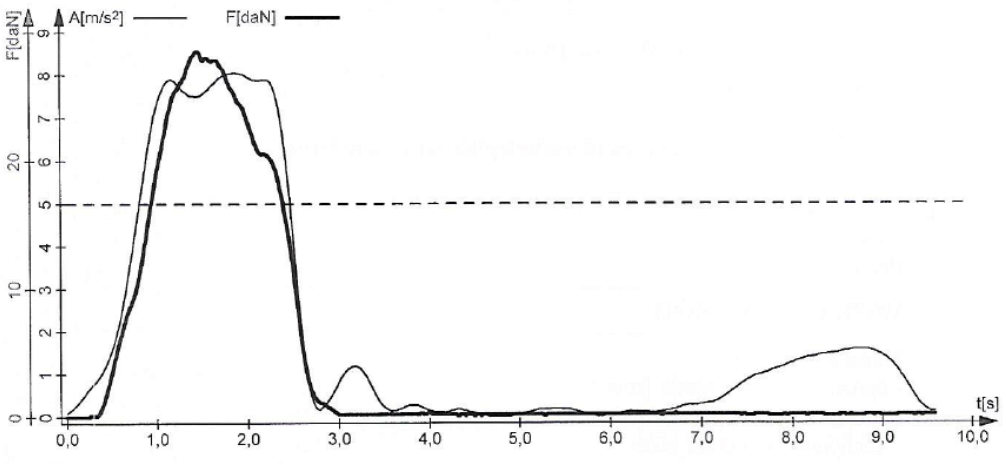


Rys. C.9. Wykresy sił hamowania na przedniej i tylnej w zależności od nacisku na pedał hamulca, ciśnienie powietrza w każdym kole wynosiło 1,5 [bar]

Skuteczność hamowania ocenia się na podstawie interpretacji uzyskanych wyników (parametrów diagnostycznych) z przeprowadzonego badania pojazdu. Ogólnie można przyjąć, że ocena skuteczności działania hamulców jest pozytywna jeżeli rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania jest nie mniejszy od 50 % (dla pojazdów zarejestrowanych po raz pierwszy przed 2010 rokiem i 58 % dla pojazdów zarejestrowanych od 2010 roku).

Dla hamulca roboczego zmierzone wartości siły hamowania kół po obu stronach osi pojazdu nie powinny różnić się więcej niż 30 %, przyjmując za 100 % siłę większą.

Wykonano również pomiar opóźnienia hamowania na suchej jezdni asfaltowej (rys. C.10) dla lepszego zobrazowania zagadnienia związanego ze skutecznością hamowania badanego samochodu. Prędkość początkowa 50 [km/h], ciśnienie powietrza w każdym kole 1,5 [bar]. Pomiar wykonano przy użyciu opóźnieniomierza CL 170.



Rys. C.10. Maksymalna wartość opóźnienia hamowania wynosiła 8,0 [m/s2], średnia wartość opóźnienia hamowania obliczona na podstawie ISO wynosiła 7,6 [m/s^2], ciśnienie powietrza w każdym kole 1,5 [bar]

Wskaźnik skuteczności hamowania określony na podstawie zmierzonego opóźnienia hamowania wynosił 76 %. Dla przypomnienia rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania obliczony na podstawie zmierzonych sił hamowania na stanowisku rolkowym wynosił 65 %.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Różnica pomiędzy rzeczywistym wskaźnikiem hamowania wyznaczonym w warunkach stacjonarnych, a wskaźnikiem hamowania wyznaczonym przy pomocy opóźnienia hamowania wynosi ok 15 %.

W czasie awaryjnego hamowania samochodu w ruchu drogowym kierowca naciska pedał hamulca gwałtownie i energicznie. Natomiast podczas hamowania na urządzeniu rolkowym należy powoli zwiększać nacisk na pedał hamulca. Gwałtowne naciśnięcia na hamulec podczas badania na stanowisku diagnostycznym powoduje wcześniejsze zablokowanie rolek co skutkuje otrzymaniem zaniżonego wskaźnika skuteczności hamowania. Fragment protokołu dla energicznego naciska na pedał hamulca przedstawiono na rys. C.11.

GTC LX55

-Osobowy-

Parametr badany		HAMULEC ROBOCZY przednia oś	tylna oś	Wymagane wartości	HAM. POSTOJOWY	Wymagane wartości
Siła hamowania koła lewego	N	1281	1093		705	
Siła hamowania koła prawego	N	1103	894		586	
Opory toczenia koła lewego	N	179	119		119	
Opory toczenia koła prawego	N	139	99		99	
Nacisk na pedał hamulca	N	192	325	<=500		
Różnica przy zablokowaniu	%	14	19	<=30		
Wahania sił ham. koła lewego	%			<=20		<=20
Wahania sił ham. koła prawego	%			<=20		<=20
Wskaźnik zm. skut. ham. osi	%	18	15			
Ustawienie kół jezdnych	mm	1,2	1,4	<=4,0	1,4	<=4,0
Suma sił hamowania LE+PR hamulca	N	4371			1291	
Wskaźnik oblicz. skut. hamulca	%	>=50		>=50	10	>=16
Wskaźnik zm. skut. hamulca	%	33			10	

Rys. C.11. Rzeczywisty wskaźnik skuteczności hamowania wynosi 33 % dla przyjętej masy pojazdu z kierowca wynoszącej 1364 [kg], ciśnienie w ogumieniu 1,5 [bar] przy energicznym hamowaniu na stanowisku rolkowym

Pomiar sił hamowania na stanowisku rolkowym powinno wykonywać się dwukrotnie w celu zmniejszenia ryzyka popełnienia błędu przy analizie otrzymanego wyniku badania.

C.4. Procedura badania układu hamulcowego podczas okresowego badania technicznego

Przed badaniem sił hamowania należy sprawdzić i wyregulować ciśnienie w ogumieniu, które musi być zgodne z wartościami zalecanymi przez producenta pojazdu, ponieważ decyduje to o poprawności uzyskania wyników. Dlatego w badanym samochodzie wyregulowano ciśnienie w ogumieniu do wartości 2,2 [bar].

Oceniając sprawność działania hamulców zgodnie z obowiązującymi przepisami należy wyznaczyć wartość wskaźnika skuteczności hamowania z (%) definiowanego jako stosunek sumy sił hamowania do siły ciężkości (nacisku) od dopuszczalnej masy całkowitej (masa pojazdu + masa kierowcy + ładunek) badanego pojazdu według wzoru:

$$z = \frac{\sum T}{P} \times 100$$

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Dla samochodu wyprodukowanego w roku 2001 z nominalną wartości ciśnienia powietrza w ogumieniu wskaźnik skuteczności hamowania nie powinien być mniejszy niż 50 % (rys. C.12).

GTC LX55

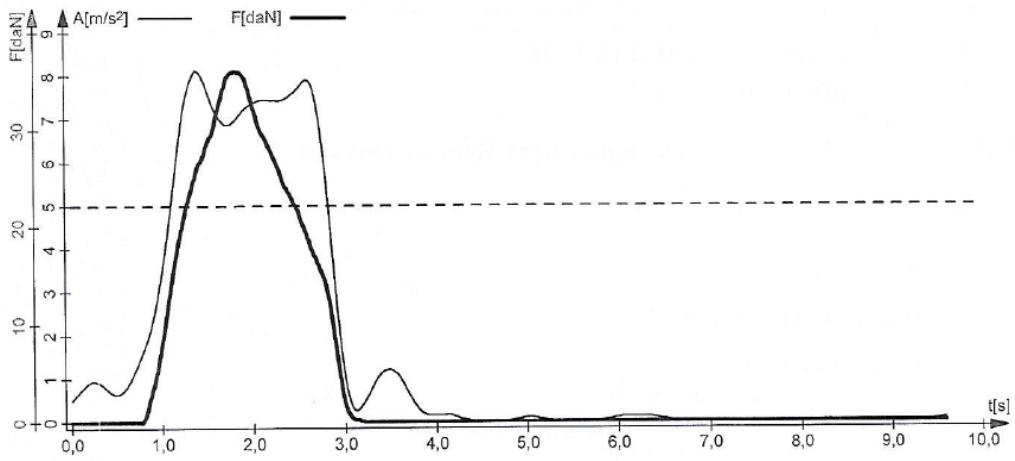
-Osobowy-

Parametr badany		HAMULEC ROBOCZY przednia oś	tylna oś	Wymagane wartości	HAM. POSTOJOWY	Wymagane wartości
Siła hamowania koła lewego	N	2672	1788		795	
Siła hamowania koła prawego	N	2603	1659		656	
Opory toczenia koła lewego	N	139	99		99	
Opory toczenia koła prawego	N	99	60		60	
Nacisk na pedał hamulca	N	84	387	<=500		
Różnica przy zablokowaniu	%	3	8	<=30		
Wahania sił ham. koła lewego	%			<=20		<=20
Wahania sił ham. koła prawego	%			<=20		<=20
Wskaźnik zm. skut. ham. osi	%	30	20			
Ustawienie kół jezdnych	mm	1,5	2,3	<=4,0	2,3	<=4,0
Suma sił hamowania LE+PR hamulca	N	8722			1450	
Wskaźnik oblicz. skut. hamulca	%	>=50		>=50	8	>=16
Wskaźnik zm. skut. hamulca	%	50			8	

Dopuszczalna Masa Całkowita *1775* **kg**

Rys. C.12. Wskaźnik skuteczności hamowania wynosi 50 % dla przyjętej dopuszczalnej masy całkowitej pojazdu wynoszącej 1775 [kg], ciśnienie powietrza w każdym kole nominalne wynosiło 1,5 [bar]

Opisywany samochód spełnia wytyczne zawarte w obowiązujących przepisach dotyczących skuteczności hamowania. Ustawodawca umożliwia także wyznaczenie wskaźnika skuteczności hamowania na podstawie zmierzonego opóźnienia hamowania (rys. C.13), który w opisywanym przypadku wynosił 74 %.



Rys. C.13. Maksymalna wartość opóźnienia hamowania wynosiła 8,1 [m/s2], średnia wartość opóźnienia hamowania obliczona na podstawie ISO wynosiła 7,4 [m/s^2], ciśnienie powietrza nominalne w każdym kole 2,2 [bar]

Różnica pomiędzy wskaźnikiem skuteczności hamowania wyznaczonym na podstawie obowiązujących przepisów w warunkach stanowiskowych, a wskaźnikiem hamowania wyznaczonym przy pomocy opóźnienia hamowania wynosiła ok 33 %.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

ZAŁĄCZNIK D. KONCEPCJA I WSTĘPNE WYNIKI DALSZYCH PRAC BADAWCZYCH

Celem dalszych badań jest analiza rzeczywistego toru ruchu pojazdu na płycie poślizgowej po destabilizacji toru jazdy. Badania mają umożliwić wypracowanie modelu w jaki sposób kierowca może uniknąć zakłócenia stateczności ruchu pojazdu w sytuacji krytycznej.

D.1. Metodyka badań

Przeprowadzono wstępne badania w ośrodku doskonalenia techniki jazdy na Autodromie Pomorze. Nagrywano i analizowano zachowania się samochodu osobowego na płycie poślizgowej o obniżonej przyczepności po przejechaniu przez „płytę dynamiczną", na której został zaburzony ruch pojazdu. Samochód rozpędzano do prędkości około 40, 45, 50, 60 km/h, a następnie wjeżdżano na „płytę dynamiczną", która znajdowała się przed płytą poślizgową (pokrytą warstwą wody o grubości ok 2 mm). Gdy przednie koła samochodu zjeżdżały już z „płyty dynamicznej", a koła tylne poruszały się jeszcze po niej następowało gwałtowne jej przesunięcie poprzecznie w stosunku do toru ruchu samochodu. Podczas jazdy na płycie poślizgowej samochód był w ostatniej fazie poślizgu hamowany. Po destabilizacji toru ruchu samochodu nie wykonywano manewrów obronnych kołem kierownicy. Wykonano kilka przejazdów przez „płytę dynamiczną". Zachowanie się samochodu podczas wykonywanych badań dokumentowano za pomocą kamery oraz aparatu fotograficznego z ziemi oraz z „lotu ptaka" przy wykorzystaniu profesjonalnego drona wyposażonego w kamerę cyfrową. Wszystkie próby hamowania były wykonywane przez tego samego kierowcę.

D.2. Płyta dynamiczna

„Mechanicznym urządzeniem destabilizującym tor jazdy", w ośrodku doskonalenia techniki jazdy Autodromu Pomorze [204], była „płyta dynamiczna" (rys. D.1) zwana także potocznie „szarpakiem".

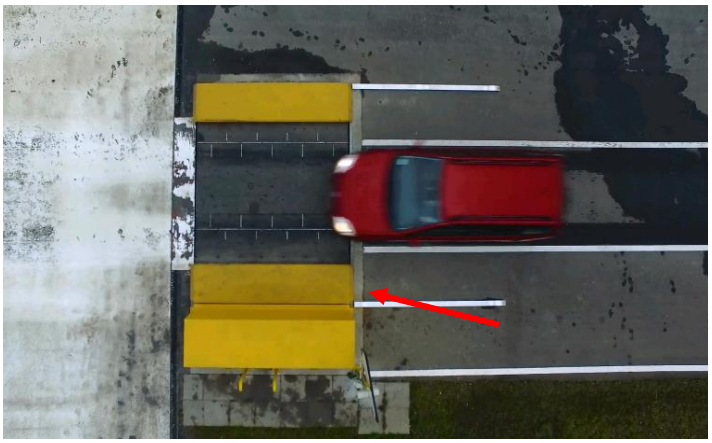
Rys.D.1. Widok „płyty dynamicznej" – Autodrom Pomorze

Zaburzenie wywołane ruchem płyty zmuszają kierowcę do wykonania manewrów obronnych. Najczęściej jest to obrót kołem kierownicy. Możliwe są jednak inne działania kierowcy, w postaci hamowania lub przyspieszania, bądź kombinacji wymienionych reakcji a więc i manewrów pojazdem [92, 93].

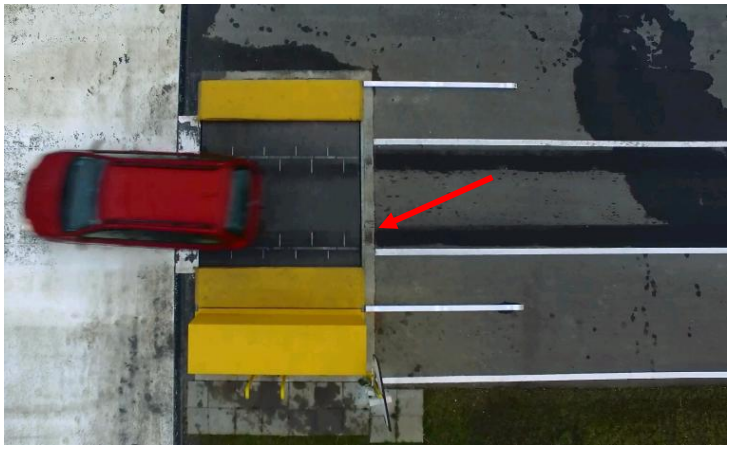
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

„Płyta dynamiczna” wywoływała zaburzenie ruchu kół tylnych. Skok płyty wynosił do 380 mm w prawą lub w lewa stronę. Prędkość przesuwu płyty w zależności od zadanych parametrów wynosiła 2,5…3,8 m/s. Sterowanie płytą odbywało się bezprzewodowo. Przesuwanie płyty następowało za pomocą siłownika hydraulicznego o ciśnieniu 90 bar.

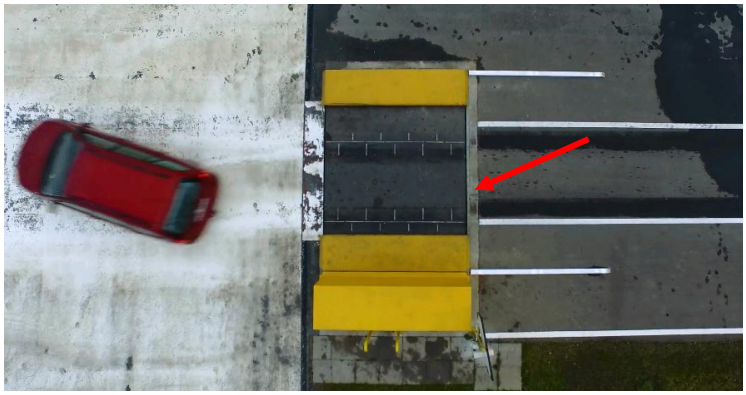
Przykładowe przesunięcie „płyty dynamicznej” w lewą stronę przedstawiono na rys. D.2 – rys. D.4 (zaznaczono czerwonymi strzałkami).



Rys. D.2. Wjazd samochodu na „płytę dynamiczną” – Autodrom Pomorze



Rys. D.3. Tylne koła samochodu jeszcze nie zjechały „płyty dynamicznej” – końcowa faza przesunięcia płyty



Rys. D.4. Samochód zjechał z „płyty dynamicznej” – płyta po zakończeniu przesuwania w lewą stronę

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

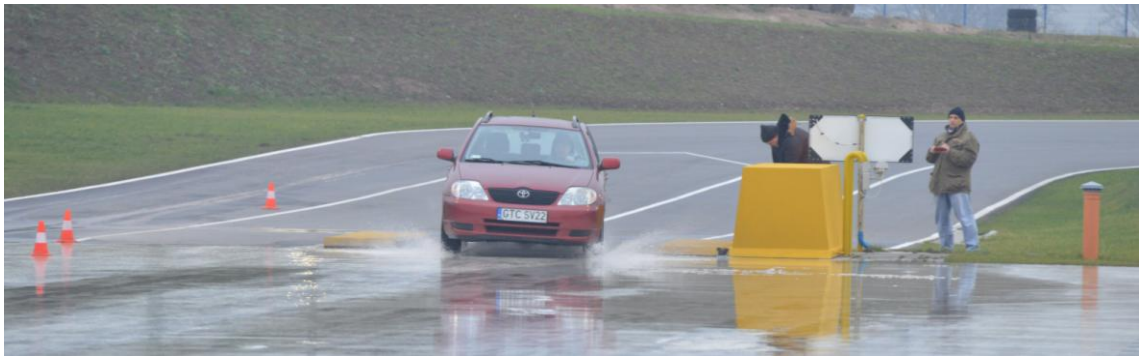
D.3. Obiekt badań

Do przeprowadzenia badań posłużył samochód osobowy Toyota Corolla typu kombi. W czasie wykonywanych badań samochód był obciążony tylko kierowcą. Ciśnienie w ogumieniu zgodne z zaleceniami producenta. Badania wykonano z działającym układem ABS. Samochód nie posiadał układu stabilizacji toru jazdy ESP.

D.4. Dokumentacja fotograficzna wykonana z ziemi

Przykładowy przejazd przez „płytę dynamiczną" z prędkością około 40 km/h, a następnie ruch samochodu na płycie poślizgowej przedstawiono na rys. D.5 – rys. D.10. Płyta przesuwała się w prawą stronę w stosunku do toru ruchu samochodu.

Rys. D.5. Widok samochodu Toyota Corolla przed wjazdem na „płytę dynamiczną"



Rys. D.6. Widok samochodu na „płycie dynamicznej" po zaburzeniu ruchu kół tylnych

Rys. D.7. Widok samochodu na płycie poślizgowej po zaburzeniu ruchu osi tylnej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rys. D.8. Widok samochodu na płycie poślizgowej po obrocie osi tylnej o kąt około 90°

Rys. D.9. Widok samochodu na płycie poślizgowej po obrocie osi tylnej o kąt powyżej 120°

Rys. D.10. Widok samochodu po zatrzymaniu się na płycie poślizgowej
(kąt odchylenia osi tylnej od pierwotnego kierunku jazdy wynosił prawie 270°)

Wybrane fotografie przejazd samochodu przez „płytę dynamiczną" z prędkością około 50 km/h, a następnie uślizg osi tylnej na płycie poślizgowej pokazano na rys. D.11 – rys. D.12. Płyta przesuwała się w lewą stronę w stosunku do toru ruchu samochodu.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rys. D.11. Koła osi przedniej znajdują się na „płycie dynamicznej”

Rys. D.12. Widok samochodu po zjeździe z „płyty dynamicznej” po zaburzeniu ruchu osi tylnej

D.5. Dokumentacja fotograficzna wykonana z powietrza

Po ustabilizowaniu się położenia drona nad powierzchnią płyty poślizgowej wykonywano przejazdy próbne samochodem osobowym Toyota Corolla.

Na rys. D.13 – rys. D.20 pokazano położenie samochodu na płycie poślizgowej, widok z powietrza (zdjęcia wykonane za pomocą drona) w wybranych momentach. Przejazd przez „płytę dynamiczną” następował z prędkością około 40 km/h. Płyta przesuwała się w prawą stronę w stosunku do toru ruchu samochodu.

Wybrane zdjęcia ruchu samochodu na płycie poślizgowej po przejechaniu przez „płytę dynamiczną” z prędkością około 60 km/h przedstawiono na rys. D.21 – rys. D.28. Przesuniecie płyty nastąpiło w lewa stronę.

Długość płyty poślizgowej wynosiła 100 m. Szerokość każdego elementu szachownicy umieszczonej wzdłuż płyty poślizgowej po prawej i lewej stronie wynosiła 0,5 m, a długość 1 m.

Podsumowując przeprowadzone wstępne badania, zestawiono końcowe położenia samochodu na płycie poślizgowej w zależności od prędkości początkowej po zaburzeniu ruchu kół tylnych na „płycie dynamicznej”. Na rys. D.29 – rys. D.32 zaznaczono odległości przemieszczenia się środka samochodu od początku płyty poślizgowej do położenia samochodu, w którym nastąpiło jego zatrzymanie.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rys. D.13. Zdjęcie położenia samochodu na początku płyty poślizgowej, prędkość początkowa 40 km/h

Rys. D.14. Zdjęcie położenia samochodu na płycie poślizgowej, prędkość początkowa 40 km/h

Rys. D.15. Zdjęcie położenia samochodu w wybranym momencie na płycie poślizgowej

Rys. D.16. Zdjęcie położenia samochodu w wybranym momencie na płycie poślizgowej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rys. D.17. Zdjęcie położenia samochodu w wybranym momencie, prędkość początkowa 40 km/h

Rys. D.18. Zdjęcie położenia samochodu w wybranym momencie na płycie poślizgowej

Rys. D.19. Zdjęcie położenia samochodu w wybranym momencie na płycie poślizgowej

Rys. D.20. Zdjęcie położenia samochodu po zatrzymaniu się na płycie poślizgowej z prędkości 40 km/h

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rys. D.21. Zdjęcie położenia samochodu na „płycie dynamicznej”, prędkość 60 km/h

Rys. D.22. Zdjęcie położenia samochodu w wybranym momencie po przesunięciu płyty w lewą stronę

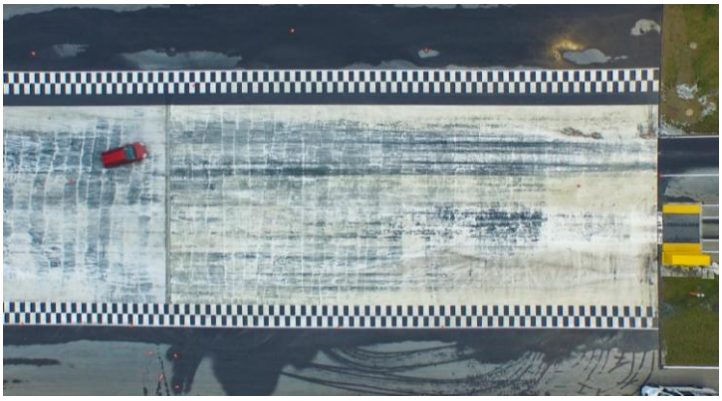
Rys. D.23. Zdjęcie położenia samochodu w wybranym momencie na płycie poślizgowej

Rys. D.24. Zdjęcie położenia samochodu w wybranym momencie na płycie poślizgowej

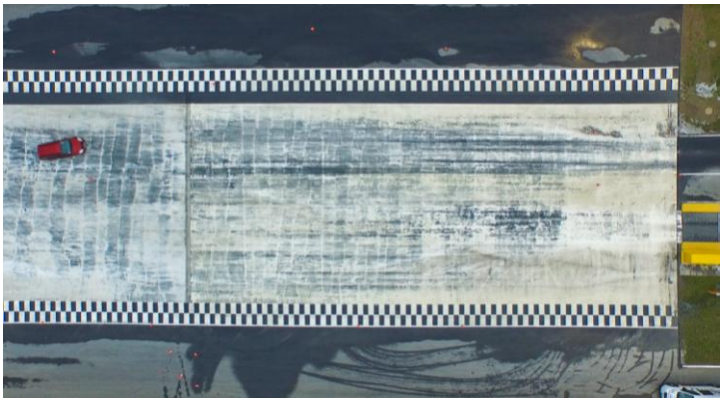
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rys. D.25. Zdjęcie położenia samochodu w wybranym momencie na płycie poślizgowej

Rys. D.26. Zdjęcie położenia samochodu w wybranym momencie na płycie poślizgowej

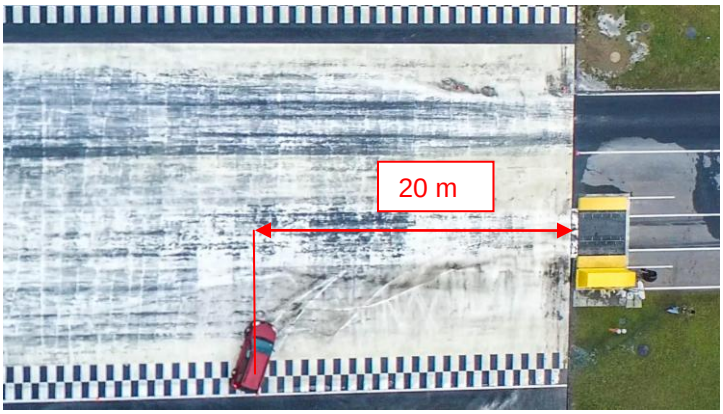


Rys. D.27. Zdjęcie położenia samochodu w wybranym momencie na płycie poślizgowej

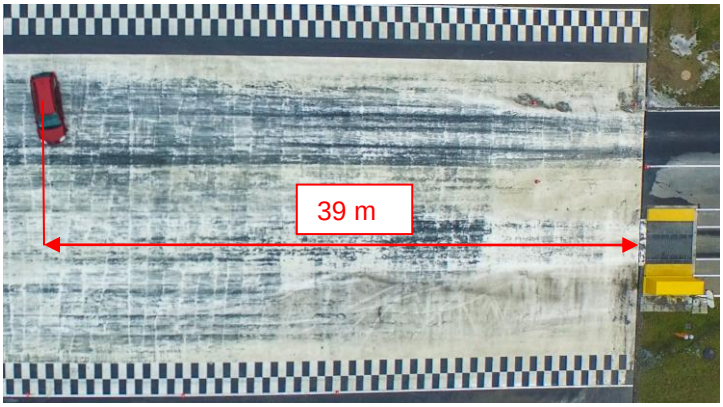


Rys. D.28. Zdjęcie położenia samochodu po zatrzymaniu się na płycie poślizgowej z prędkości 60 km/h

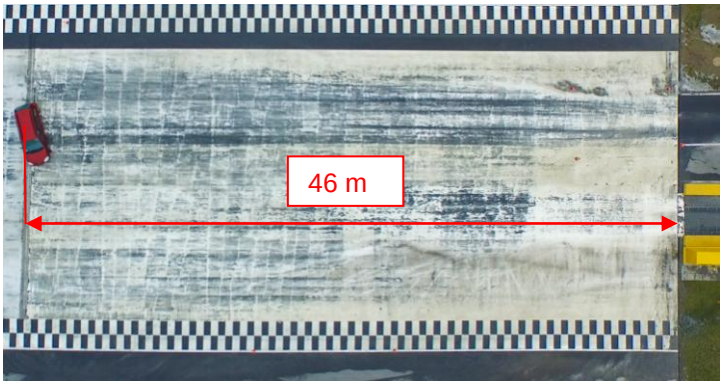
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



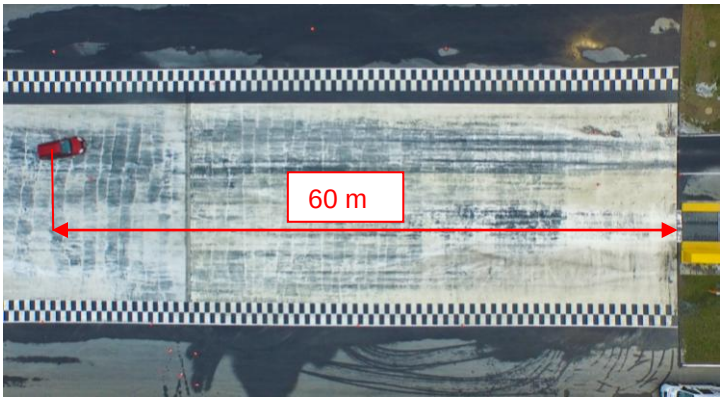
Rys. D.29. Odległość samochodu po zatrzymaniu się z prędkości 40 km/h od początku płyty poślizgowej



Rys. D.30. Odległość samochodu po zatrzymaniu się z prędkości 45 km/h od początku płyty poślizgowej



Rys. D.31. Odległość samochodu po zatrzymaniu się z prędkości 50 km/h od początku płyty poślizgowej



Rys. D.32. Odległość samochodu po zatrzymaniu się z prędkości 60 km/h od początku płyty poślizgowej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl