



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych

mgr inż. Marzena KORZIK

**ANALIZA CZYNNIKÓW WPLYWAJĄCYCH
NA BEZPIECZEŃSTWO RUCHU POJAZDÓW
ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM WARTOŚCI
WSPÓŁCZYNNIKA OPÓŹNIENIA HAMOWANIA**

Praca doktorska

Promotor:

prof. dr hab. inż. Marek IDZIOR

Promotor pomocniczy:

dr inż. Ryszard MAŃCZAK

Poznań – 2024

**ANALIZA CZYNNIKÓW WPLYWAJĄCYCH
NA BEZPIECZEŃSTWO RUCHU POJAZDÓW ZE SZCZEGÓLNYM
UWZGLĘDNIENIEM WARTOŚCI WSPÓLCZYNNIKA
OPÓŹNIENIA HAMOWANIA**

Pomimo stosowania rozwiązań technicznych w pojazdach, których celem jest zwiększenie bezpieczeństwa na drodze, nie jest możliwe uniknięcie wystąpienia wypadku drogowego. Gdy zachodzi potrzeba odtworzenia przebiegu wypadku, zwłaszcza przebiegu procesu hamowania pojazdu, konieczne jest dobranie m.in. właściwej wartości współczynnika opóźnienia hamowania. Precyzyjny dobór współczynnika opóźnienia hamowania, wpływa na rezultaty przeprowadzonej rekonstrukcji i tym samym decyzję o odpowiedzialności sprawcy wypadku.

W literaturze jest niewiele informacji o wartościach współczynnika opóźnienia hamowania dla poszczególnych pojazdów, co powoduje, że w procesie rekonstrukcji zazwyczaj stosuje się mało zróżnicowane wartości tego współczynnika. Ustalenie wartości opóźnienia hamowania dla poszczególnych modeli pojazdów w trakcie badań drogowych, wpłynęłoby na poprawę precyzji rekonstrukcji wypadków.

Cel ogólny pracy doktorskiej dotyczył ustalenia wartości współczynników opóźnienia hamowania w wybranych pojazdach.

W pracy przedstawiono zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa ruchu drogowego, wypadków występujących na drodze, procesu hamowania pojazdu oraz rekonstrukcji wypadków. Wykonano także pomiary wartości współczynnika opóźnienia hamowania w wybranych pojazdach jedno i dwuśladowych. Rezultaty przeprowadzonych badań pozwoliły na ustalenie wartości współczynników opóźnienia hamowania wytypowanych pojazdów, które mogą być zastosowane w sądowej rekonstrukcji zdarzeń drogowych z udziałem tych pojazdów.

SUMMARY

ANALYSIS OF INFLUENCING FACTORS ON THE SAFETY OF VEHICLE TRAFFIC WITH SPECIAL CONSIDERATION OF THE COEFFICIENT VALUE BRAKING DELAY

Despite the use of technical solutions in vehicles aimed at increasing road safety, it is not possible to avoid a road accident. When there is a need to recreate the course of an accident, especially the course of the vehicle braking process, it is necessary to select, among others: proper value of the braking deceleration coefficient. The precise selection of the braking deceleration coefficient affects the results of the reconstruction and thus the decisions regarding the liability of the perpetrator of the accident.

There is little information in the literature about the values of the braking deceleration coefficient for individual vehicles, which means that in the reconstruction process, only slightly differentiated values of this coefficient are usually used. Determining the dynamometer delay value for individual vehicle models during road tests would improve the precision of accident reconstruction.

The general aim of the doctoral thesis was to determine the values of dynamometer deceleration coefficients in a selected vehicles.

The work presents issues related to road traffic safety, road accidents, the vehicle braking process and accident reconstruction. Measurements of the braking deceleration coefficient were also performed in selected one- and two-wheel vehicles. The results of the research made it possible to determine the values of the braking delay coefficients of selected vehicles, which can be used in forensic reconstruction of road incidents involving these vehicles.

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	6
2. ANALIZA STANU WIEDZY	8
2.1. Bezpieczeństwo ruchu drogowego	8
2.1.1. Istota bezpieczeństwa w ruchu drogowym	8
2.1.2. Bezpieczeństwo środków transportu i uczestników ruchu	12
2.1.3. Rozwiązania techniczne wpływające na bezpieczeństwo	20
2.2. Wypadki w ruchu drogowym	23
2.2.1. Wprowadzenie	23
2.2.2. Wypadki drogowe w Polsce	23
2.2.3. Specyfika wypadków drogowych dla wybranego województwa	33
2.3. Hamowanie pojazdu	45
2.3.1. Budowa i działanie układu hamulcowego	45
2.3.2. Badanie układu hamulcowego	51
2.3.3. Proces hamowania pojazdu.....	54
2.4. Rekonstrukcja zdarzeń drogowych	57
2.4.1. Istota rekonstrukcji zdarzeń drogowych	57
2.4.2. Studium przypadków zdarzeń rekonstruowanych	57
2.4.3. Wpływ opóźnienia hamowania na przebieg rekonstrukcji	68
2.4.4. Opóźnienie hamowania w rekonstrukcji sądowej	75
2.4.5. Alternatywne wartości współczynnika opóźnienia hamowania	78
2.5. Podsumowanie analizy stanu wiedzy	85
3. SFORMUŁOWANIE PROBLEMATYKI BADAWCZEJ	87
4. BADANIA WŁASNE	89
4.1. Cel i zakres badań	89
4.2. Metodyka badań	89
4.3. Aparatura badawcza	91
4.4. Charakterystyka obiektów badawczych	94

4.5. Realizacja badań	100
4.6. Wyniki badań	101
4.6.1. Pojazdy dwuśladowe badane w okresie zimowym	101
4.6.2. Pojazdy dwuśladowe badane w okresie letnim	113
4.6.3. Pojazdy jednośladowe i quady badane w okresie letnim	124
4.7. Analiza wyników badań	138
4.7.1. Analiza wyników badań pojazdów dwuśladowych	138
4.7.2. Analiza wyników badań pojazdów jednośladowych i quadów	145
5. PODSUMOWANIE	152
LITERATURA	154

1. WSTĘP

Dążenie do zwiększenia bezpieczeństwa w ruchu drogowym pojazdów stanowi nadrzędny cel szeregu działań ludzkich prowadzonych w tym zakresie już od wielu lat. Pomimo stosowania coraz nowszych rozwiązań technicznych, dotyczących konstrukcji i wyposażenia pojazdów, nie można uniknąć całkowicie sytuacji, w których nie dojdzie do wystąpienia zdarzenia drogowego polegającego na zaistnieniu wypadku drogowego. Po wystąpieniu wypadku drogowego, zwłaszcza takiego który wiąże się z ofiarami śmiertelnymi lub wysokimi stratami materialnymi, zachodzi często potrzeba odtworzenia przebiegu zdarzenia drogowego.

W trakcie wykonywania rekonstrukcji zdarzeń drogowych istnieje potrzeba odtworzenia przebiegu procesu hamowania pojazdu. Odtworzenia to wymaga ustalenia między innymi prędkości początkowej pojazdu oraz wartości współczynnika opóźnienia hamowania. Wartości współczynnika opóźnienia hamowania zależą od wielu czynników, w tym od rodzaju nawierzchni, warunków atmosferycznych, cech szczególnych pojazdu, w tym od konstrukcji układu hamulcowego i skuteczności jego działania. W trakcie przeprowadzania rekonstrukcji zdarzeń drogowych na potrzeby postępowań sądowych, przyjmuje się zazwyczaj wartości współczynnika opóźnienia hamowania korzystając z wąskiego zakresu wartości tego współczynnika podanych w opracowaniach o charakterze poradnikowym. Niekiedy niewielka zmiana wartości współczynnika opóźnienia hamowania, np. o $0,5 \text{ m/s}^2$ powoduje, że wyznaczona na tej podstawie długość drogi hamowania może zadecydować ostatecznie o przyjęciu lub uniknięciu odpowiedzialności kierującego pojazdem, który uczestniczył w zdarzeniu drogowym.

Dobór wartości współczynnika opóźnienia hamowania w procesie rekonstrukcji powinien zostać wykonany w sposób precyzyjny, co w wielu przypadkach wymagałoby wykonania badań drogowych z wykorzystaniem pojazdu, który uczestniczył w rozpatrywanym zdarzeniu drogowym. W literaturze jest bardzo mało informacji o wartościach współczynnika opóźnienia hamowania dla poszczególnych pojazdów, zarówno dwuśladowych jak i jednośladowych.

Zwiększenie precyzji rekonstrukcji zdarzeń drogowych powoduje bardziej skuteczne odtworzenie tych zdarzeń z uwagi na możliwość dokładniejszego odtworzenia zachowania pojazdu na drodze. Taka świadomość u kierujących pojazdami powoduje w odczuciu społecznym przyczynienie się nadawania większej rangi przepisom drogowym i może przyczynić się poprawy bezpieczeństwa ruchu pojazdów.

Niniejsza praca doktorska jest poświęcona obszarowi tematycznemu związanemu z analizą czynników wpływających na bezpieczeństwo ruchu drogowego, przy czym w sposób szczególny skupiono się w pracy na wartościach współczynnika opóźnienia hamowania stosowanymi w sądowej rekonstrukcji zdarzeń drogowych. Ustalenie wartości współczynników opóźnienia hamowania dla wybranej grupy pojazdów, zarówno jedno i jaki dwuśladowych, stanowi cel pracy w ujęciu ogólnym.

Praca składa się z pięciu głównych rozdziałów. Rozdział pierwszy poświęcono przedstawieniu genezy i aktualności zagadnienia oraz celu i zakresu pracy. W rozdziale drugim zawarto analizę stanu wiedzy. Omówiono zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa w ruchu drogowym i wypadków występujących w ruchu drogowym. Przystawiono także informacje o procesie hamowania pojazdu oraz rekonstrukcji zdarzeń drogowych ze szczególnym uwzględnieniem doboru wartości współczynnika opóźnienia hamowania.

Na podstawie przeprowadzonej analizy stanu wiedzy sformułowano problematykę badawczą, którą przedstawiono w rozdziale trzecim. W rozdziale czwartym zaprezentowano badania własne, które podzielono na wstępne i zasadnicze. Badania te dotyczyły wyznaczania wartości współczynnika opóźnienia hamowania w wybranych pojazdach. Przedstawiono w nich cel badań, obiekty badawcze, układ pomiarowy, metodykę i plan badań, aparaturę badawczą oraz wyniki badań wraz z ich analizą i wynikającymi z niej wnioskami.

Podjęte w pracy zagadnienie podsumowano w zakończeniu, które stanowi piąty rozdział pracy doktorskiej.

2. ANALIZA STANU WIEDZY

2.1. Bezpieczeństwo ruchu drogowego

2.1.1. Istota bezpieczeństwa w ruchu drogowym

Termin bezpieczeństwo ruchu drogowego (BRD) obejmuje głównie tematykę bezpieczeństwa wszystkich uczestników w ruchu drogowym oraz infrastrukturę drogową. Jest to powszechnie używana nazwa, która określa zarówno zbiór zasad, przepisów dotyczących bezpiecznego poruszania się po drogach wszystkich uczestników ruchu, jak również osobna dziedzina wiedzy zajmująca się kształtowaniem właściwych warunków ruchu drogowego. Na BRD składają się ponadto zagadnienia z zakresu nadzoru nad ruchem drogowym, przez liczne kontrole patroli policyjnych w organizowanych działaniach koordynacji wojewódzkiej i krajowej, stosowania się do przepisów ruchu drogowego przez kierujących pojazdami, organizacji ruchu drogowego, szkolenia i egzaminowania kierowców, psychologii transportu, ratownictwa medycznego, stanu technicznego i wymagań wobec pojazdów, dróg i oznakowania, a także promowania pożądanых zachowań u uczestników ruchu drogowego [38]. Także w przypadku BRD podczas korzystania z samochodu, transportu publicznego, jednoślada, a także podczas uczestnictwa w ruchu drogowym jako pieszy [39].

Każda sytuacja drogowa związana jest zawsze z współwystępowaniem elementów składowych tj. kierującego lub pieszego, pojazdu, drogi lub ruchu drogowego. Związki jakie zachodzą pomiędzy tymi elementami determinują reakcję osoby uczestnika ruchu drogowego [40]. Zaistniała sytuacja drogowa zawsze obejmuje użytkownika ruchu drogowego tj. kierującego, pasażera, pieszego, albo pojazd, czyli konstrukcję i jego stan techniczny oraz infrastrukturę drogową, która umożliwia poruszanie się w ruchu drogowym. Pojawienie się nieścisłości w obrębie jednego lub kilku wyżej wymienionych elementów składowych systemu bezpieczeństwa ruchu drogowego lub relacji, które mogą między nimi zachodzić stanowi zasadniczą przyczynę powstawania wypadków drogowych [41].

Tematykę bezpieczeństwa ruchu drogowego określa ustawa Prawo o ruchu drogowym. W ustawie tej uregulowano ogólne zasady ruchu drogowego, zarówno pojazdów jak i pieszych. Zawiera ona przepisy porządkowe, takie, które mają na celu zapewnienie porządku i bezpieczeństwa na drogach. Oprócz tego opisano w niej warunki techniczne i wymagania dla pojazdów oraz aspekty dotyczące centralnej ewidencji pojazdów. Wyróżniono za-

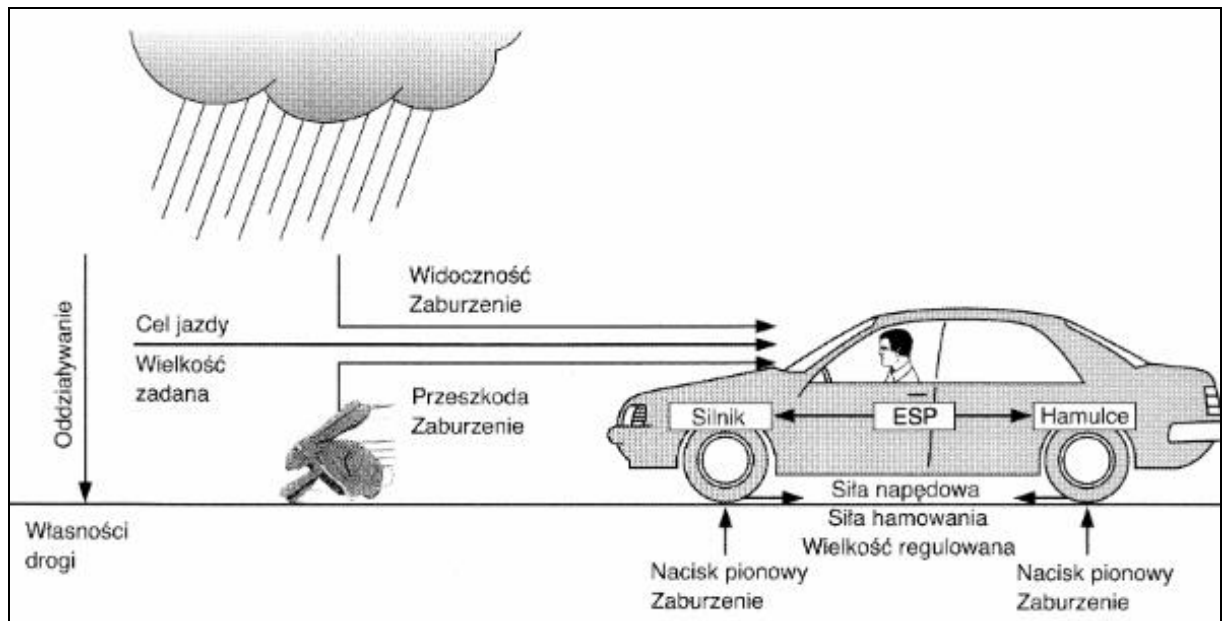
dania wojewódzkich ośrodków ruchu drogowego. Uregulowano również zagadnienia dotyczące kontroli ruchu drogowego, w tym między innymi uprawnienia policjantów. Wszystkie te przepisy mają na celu zapewnienie bezpieczeństwa ruchu drogowego. Do najważniejszych reguł zawartych w ustawie zalicza się zasadę zachowania ostrożności i szczególnej ostrożności oraz zasadę ograniczonego zaufania [41].

Oprócz ustawy Prawo o ruchu drogowym, ważnym dokumentem zakładającym działania na rzecz poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego jest Narodowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2013-2020, przyjęty przez Krajową Radę Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego (KRBRD) w dniu 20 czerwca 2013 roku uchwałą nr 5/2013. Podstawy prawnej tego dokumentu należy szukać we wspomnianej już ustawie Prawo o ruchu drogowym. Zgodnie z art. 140c tej ustawy opracowywanie programów poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego w oparciu o propozycje przedstawiane przez właściwych ministrów i ocena ich realizacji należy do zadań KRBRD. W programie tym przeanalizowano aktualną diagnozę stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce oraz jego uwarunkowania krajowe i międzynarodowe. Zdefiniowano także cele programu oraz wskazano na najważniejsze konkretne zadania na rzecz poprawy bezpieczeństwa w czterech wyróżnionych sektorach tj. bezpieczny człowiek, bezpieczne drogi, bezpieczna prędkość oraz bezpieczny pojazd. Tego rodzaju dokument można również traktować jako swego rodzaju sektorową strategię wyznaczającą działania na rzecz poprawy bezpieczeństwa.

Bezpieczeństwo ruchu drogowego można określać za pomocą skutków zdarzeń je zakłócających. Najczęściej podaje się wypadki drogowe wraz z liczbą osób, która poniosła śmierć lub została ranna na skutek zdarzenia, a także kolizje. Zgodnie z danymi Komendy Głównej Policji [2], w 2018 roku miało miejsce 31 676 wypadków drogowych, to jest o 1 146 mniej w stosunku do roku poprzedniego. Na skutek tych zdarzeń śmierć poniosły w 2018 roku 2 862, a więc było o 26 osób zabitych więcej niż w 2017 roku. Natomiast, co do osób rannych w wypadkach w 2018 roku ich liczba zmniejszyła się o 2 231 w stosunku do roku poprzedniego. Mimo, iż zauważyć można spadek ilości tych zdarzeń, to jednak wciąż są to bardzo duże liczby.

Pojęcie układu kierowca-pojazd-otoczenia (K-P-O) jest pojęciem powszechnie używanym w nauce o bezpieczeństwie ruchu drogowego (rys. 2.1). W tym obszarze bezpieczeństwo zależy od wielu czynników, które decydują o możliwości pojawienia się zdarzeń niepożądanych [23]. Jednym z nich jest czynnik, który został opisany jako pierwszy, czyli osobowy. Jest to najważniejszy element systemu kierowca-pojazd-otoczenie.

Prawdopodobieństwo popełnienia określonego błędu przez człowieka zależy w głównej mierze od czynników psychologicznych [23] tj. zdolności do koncentracji, zdolności do podejmowania decyzji w sytuacjach deficytu czasu, postawy wobec zdrowia i życia własnego i innych, a także postawy wobec obowiązujących przepisów. Czynniki te z pewnością mają wpływ na jazdę i bezpieczeństwo kierowcy oraz innych uczestników ruchu drogowego, ale również należy pamiętać o indywidualnych cechach kierowcy, które mogą być niepowtarzalne, zależą również od wieku i stanu zdrowia [117].



Rys. 2.1. Układ kierowca-pojazd-otoczenie [21]

Wszelkie zachowania kierowcy dzieli się na logiczne, nielogiczne i irracjonalne. Zachowania logiczne są właściwe dla kierowcy w ruchu drogowym (w odróżnieniu od nielogicznych i irracjonalnych) i są przewidywalne, czyli można spodziewać się wystąpienia manewru, który wynika z aktualnej sytuacji na drodze [24]. Często u kierowców występuje zachowanie sprzeczne z logiką. Przyczyną tego może być roztargnienie, zaskoczenie, niepewność itp. Zachowanie irracjonalne występuje, kiedy kierowca zachowuje się bez powodu w sposób nieadekwatny do zaistniałej sytuacji drogowej lub jest bez powodu agresywny w stosunku do innych uczestników ruchu drogowego. Wówczas prawdopodobieństwo zdarzenia drogowego rośnie bardzo szybko, ponieważ chwilowy brak uwagi jest jedną z najczęstszych przyczyn wypadków drogowych.

Wpływ na bezpieczeństwo w ruchu drogowym mają również aspekty techniczne. Zaraz za czynnikami osobowymi znajdują się czynniki techniczne, ponieważ stanowią one grupę źródeł zagrożeń dla współczesnego człowieka. Po części problemy z natury czynników tech-

nicznych są rozwiązywane już na etapie projektowania i produkcji przez inżynierów, którzy odpowiedzialni są za bezpieczeństwo, a następnie w fazie eksploatacji. Aby móc skutecznie zinterpretować problem bezpieczeństwa należy przeprowadzić analizę ryzyka, dzięki której można [23]:

- wskazać najbardziej niebezpieczne fragmenty rozpatrywanego systemu K-P-O oraz faz jego funkcjonowania;
- wskazać najskuteczniejszy sposób zmniejszenia ryzyka w celu poprawy bezpieczeństwa w tym systemie;
- dokonać racjonalnej oceny poziomu bezpieczeństwa w systemie K-P-O przez organ zarządzający tym systemem oraz podjęcia przez ten organ decyzji, czy ten poziom jest zadowalający, czy też wymaga zmian.

Wyżej wskazane punkty służące analizie ryzyka bezpieczeństwa ruchu drogowego wpływają na rzecz poprawy tego bezpieczeństwa. Analiza ryzyka K-P-O nie będzie skuteczna, gdy nie będzie podjęta w fazie projektowania tego systemu i jego elementów, zwłaszcza urządzeń technicznych będących źródłami zagrożeń. Analiza ryzyka przeprowadzana jest zazwyczaj na modelach probalistycznych, uwzględniających w sposób jawny losowe rozrzuty cech rozważanego obiektu i losowość przebiegu zjawisk, które mogą prowadzić do pojawienia się zdarzeń niepożądanych [22]. W przypadku bezpieczeństwa w ruchu drogowym na model niezawodności może składać się na przykład opis początkowego stanu technicznego, początkowych właściwości, a następnie proces pogarszania się jego stanu [23]. Badanie przyczyn i przebiegu wypadku drogowego umożliwia łatwiejsze rozpoznanie możliwych sposobów poprawy bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Dzięki temu istnieje mniejsze ryzyko na wypadek w ruchu drogowym oraz ma na celu ochronę życia i zdrowia ludzkiego. W systemie K-P-O stosowane są systemy przeciwdziałania zagrożeniom w celu zmniejszenia zagrożeń po ich pojawieniu się. Są to zabezpieczenia i systemy bezpieczeństwa o charakterze technicznym.

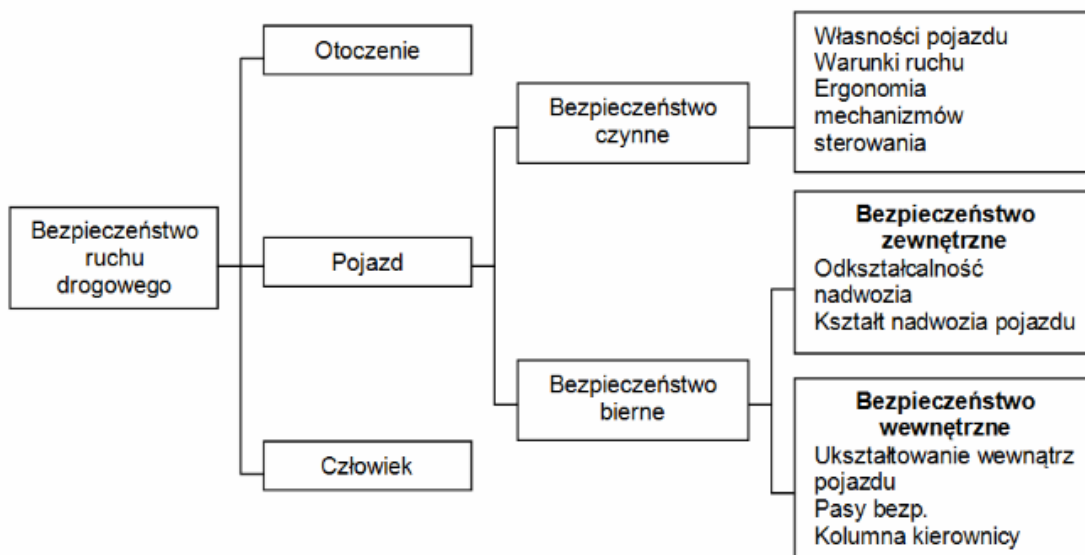
Wyniki badań zdarzeń drogowych wskazują, że najważniejszym elementem systemu bezpieczeństwa (K-P-O) jest człowiek, czyli sam kierowca. Od jego zachowań, technicznych i taktycznych umiejętności kierowania pojazdem zależy w największym stopniu to czy prowadzony przez niego pojazd będzie uczestniczył w zdarzeniu drogowym, czy też nie. Przykładowo w 2018 roku łączna liczba wypadków wynosiła 31 674, przy czym do wypadków z winy kierujących doszło w 16 816 przypadkach [24]. W skład tej liczby

wchodzi między innymi nadmierna prędkość, nieprzestrzeganie pierwszeństwa przejazdu, czy też pierwszeństwa pieszych.

2.1.2. Bezpieczeństwo środków transportu i uczestników ruchu

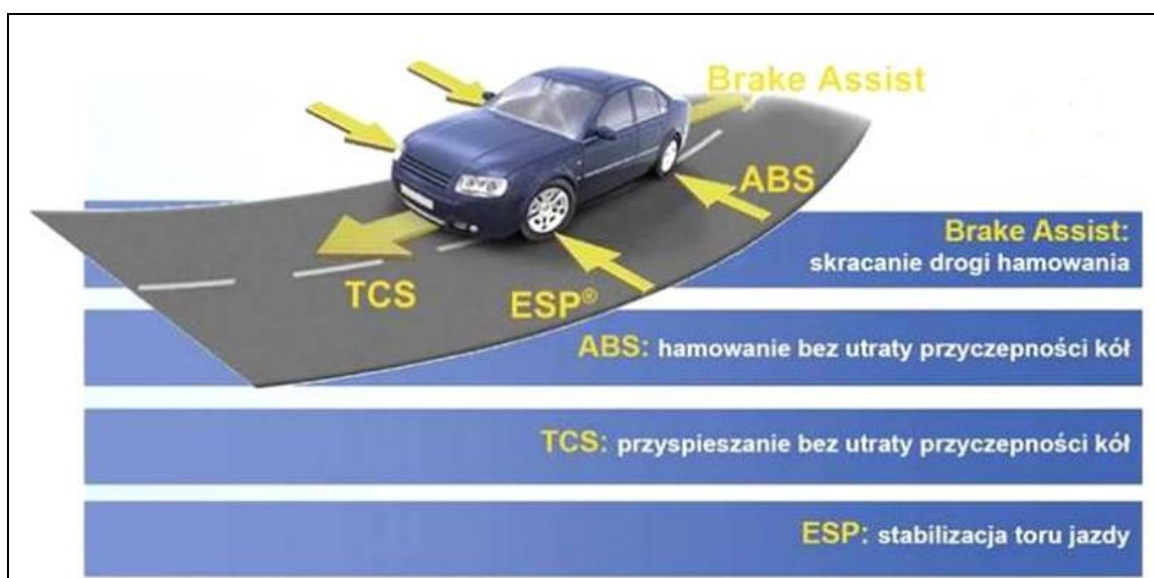
Jednym z głównych środków transportu na drogach są pojazdy samochodowe. Zgodnie z art. 2 ust. 33 ustawy z dnia 20 czerwca 1997 roku Prawo o ruchu drogowym [32] pojazd samochodowy to pojazd silnikowy, którego konstrukcja umożliwia jazdę z prędkością przekraczającą 25 km/h, przy czym określenie to nie obejmuje ciągnika rolniczego. Bezpieczeństwo w ruchu drogowym zależy zarówno od pojazdu, jak i od wpływu otoczenia oraz oddziaływania człowieka (rys. 2.2). W pojazdach bezpieczeństwo dzieli się na dwie grupy: bezpieczeństwo bierne i bezpieczeństwo czynne. Bezpieczeństwem biernym określa się wszystkie czynniki, których celem jest zmniejszenie skutków drogowego zdarzenia [44].

Elementy bezpieczeństwa czynnego wspomagają kierowcę w taki sposób, aby nie dopuścić do niebezpiecznych sytuacji na drodze i uniknąć zderzenia pojazdów. Bezpieczeństwo czynne nazywa się również bezpieczeństwem aktywnym. Jest ono rozumiane jako zespół takich cech samochodu, które umożliwiają kierowcy zmniejszenie prawdopodobieństwa powstania zdarzeń drogowych. Istotną cechą bezpieczeństwa w ruchu drogowym jest to, że dotyczy mechanizmów i urządzeń, które pozwalają kierowcy podjąć określone działania przed zaistnieniem zdarzenia drogowego [44]. Z pojęciem bezpieczeństwa czynnego wiążą się poszczególne właściwości dynamiczne, takie jak zdolność do ograniczania poślizgu i zarzucania, zmniejszenie odrywania koła od nawierzchni podczas hamowania oraz duża zdolność do przyspieszania na śliskiej powierzchni [25].



Rys. 2.2. Układ systemu bezpieczeństwa pojazdów samochodowych [34]

W samochodach osobowych podstawowe systemy bezpieczeństwa czynnego (rys. 2.3) obejmują na przykład zintegrowany układ zapobiegający poślizgowi kół podczas hamowania (ABS - *Anti-Lock Braking System*) i przeciwdziałający poślizgowi kół napędowych podczas przyspieszania (ASR - *Acceleration Slip Regulation*) [26]. Ponadto najistotniejszy system, który łączy wyżej wspomniane układy ABS i ASR oraz dodatkowo EDS (elektroniczna blokada mechanizmu różnicowego) i EBD (elektroniczny rozdział sił hamowania) to ESP. System ESP jest to najbardziej zaawansowany układ bezpieczeństwa, a od 1 listopada 2014 roku istnieje obowiązek stosowania układu ESP we wszystkich nowo zarejestrowanych samochodach osobowych o masie całkowitej do 3,5 t [27, 109, 110, 115].



Rys. 2.3. Systemy bezpieczeństwa czynnego pojazdów samochodowych [27]

System ESP (*Electronic Stability Program*) to czynny system bezpieczeństwa zmniejszający ryzyko poślizgu w czasie pokonywania zakrętów lub wykonywania gwałtownych manewrów omijania przez zmniejszanie mocy silnika i sterowanie siłami hamowania na każdym kole [28]. Oprócz ESP wymienić można również BAS (*Brake Assistant*), który skraca drogę hamowania poprzez przejmowanie kontroli nad gwałtownym hamowaniem, AFS (*Adaptive Front Lighting System*), który daje możliwość oświetlania kierunku jazdy samochodu nie tylko na wprost, system ACC (*Adaptive Cruise Control*) który dobiera odpowiednią prędkość samochodu uwzględniając położenie innych pojazdów, system BLIS (*Blind Spot Information System*) który ma na celu informowanie kierowcy o pojeździe, który znajduje się w martwym polu lusterek bocznych, czy też system ACS (*Automatic Crash System*), który uruchamia się w chwili zderzenia, powodując otwarcie zamka centralnego, włączenie świateł awaryjnych oraz odcięcie dopływu paliwa [29].

Wskazane systemy mają duże znaczenie dla bezpieczeństwa czynnego, ponadto pojazdy, które są w nie wyposażone mają bezpośrednio pomóc i ułatwić podejmowanie decyzji w sytuacji zagrożenia wypadkiem lub kolizją drogową. W obecnych czasach liczba wypadków rośnie, choć z drugiej strony większość pojazdów wyposażona jest już w systemy bezpieczeństwa, które z pewnością wpływają podniesienie bezpieczeństwa ruchu drogowego.

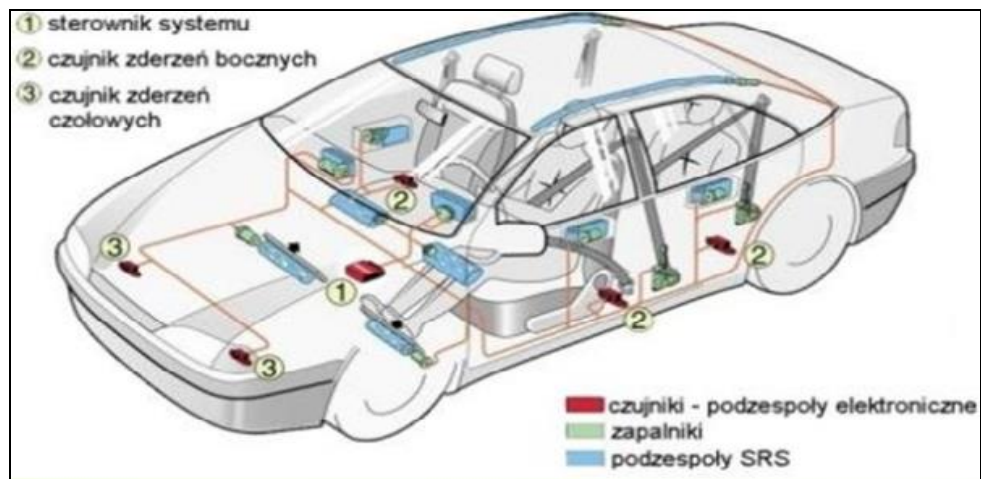
Na poprawę bezpieczeństwa w ruchu drogowym wpływ ma także infrastruktura drogowa i jej elementy. Jednym z elementów tej infrastruktury są znaki drogowe pionowe oraz oznakowanie poziome właściwie naniesione na nawierzchnię. To narzędzia bezpieczeństwa ruchu drogowego, które pozwalają na przekazywanie informacji zrozumiałych dla każdego uczestnika ruchu. Znaki pionowe mają postać tarcz lub tablic, a ich zasadniczą funkcją jest ostrzeganie uczestników ruchu drogowego o występujących utrudnieniach, miejscach i sytuacjach, mogących oddziaływać na płynność i bezpieczeństwo oraz przestrzeganie zakazów i nakazów w ramach zachowania ustalonej organizacji ruchu, wytyczonej przez przepisy [29].

Oznakowanie poziome, które jest bezpośrednio nanoszone na nawierzchnię drogi jest także jednym z elementów infrastruktury drogowej. Kształt tego rodzaju znaków powinien być taki, aby uwzględniał skrócenie wynikające z kąta, pod którym spostrzega je kierowca [31]. Podstawową funkcją oznakowania poziomego jest wyznaczenie kierunku ruchu, przez odbłaski i sygnały akustyczne, które oddziałują w dość intensywny sposób na kierującego pojazdem. Oznakowanie to jest uzupełnieniem oznakowania pionowego i przyczynia się do wzmocnienia przekazu informacji odbieranych przez kierowców, a co za tym idzie do wzrostu bezpieczeństwa, zwłaszcza w nocy, gdy pole widzenia jest słabsze oraz gdy koncentracja kierującego spada.

Ważną rolę pełnią także specjalne tablice, które mają oddziaływać w formie prewencyjnej przez przekazywanie odpowiednich informacji. Do tej kategorii należy znak „Czarny punkt-Niebezpieczeństwo”. Znaki te mają oddziaływać na psychikę kierowcy oraz wpływać na wyobraźnię i rozwagę podczas podróży. Według badań przeprowadzonych przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie, wprowadzenie tych znaków z wykorzystaniem folii fluoroscencyjnych, spowodowało zmniejszenie liczby zabitych o 23%, liczby rannych o 28% i ogólnej liczby wypadków o 35% w tych miejscach [31]. Na terenie Polski nadal wykorzystuje się przede wszystkim metody tradycyjne (jednocześnie najtańsze), które mają pozwolić ostrzec lub uchronić kierowcę przed niebezpieczeństwem drogowym. Na przykład pasy i znaki poziome malowane są przez nanoszenie na nawierzchnię cienkowarstwowej farby chlorokauczukowej. Takie oznakowanie ma bardzo ograniczoną trwałość, wobec tego wymaga przynajmniej corocznego odnawiania, a co za tym idzie wiąże się z ograniczeniami w ruchu, zwiększeniem zagrożenia oraz większymi kosztami.

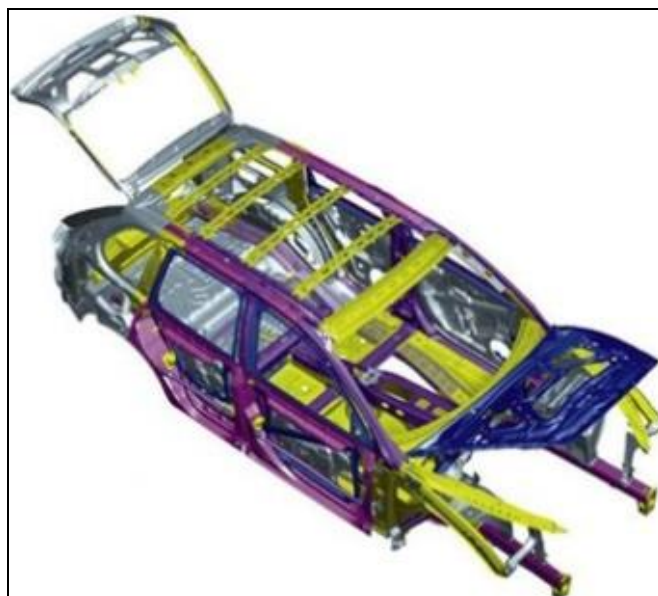
Kolejnym elementem infrastruktury drogowej wpływającym na bezpieczeństwo są energochłonne bariery drogowe. Stosuje się je w celu oddzielenia pasów ruchu na drodze. Bariery energochłonne mają za zadanie uniemożliwić pojazdowi opuszczenie drogi lub wyznaczonego pasa ruchu. Przyczyniają się do poprawy płynności i porządku ruchu pojazdów [30].

Bezpieczeństwo bierne lub pasywne, jak już wcześniej wspomniano, ma na celu minimalizowanie skutków zdarzeń, których nie udało się uniknąć (rys. 2.4). W ramach bezpieczeństwa biernego wyszczególnia się bezpieczeństwo wewnętrzne i bezpieczeństwo zewnętrzne. Bezpieczeństwo wewnętrzne bierne to pojęcie odnoszące się do pasażerów pojazdu, natomiast bezpieczeństwo bierne zewnętrzne odnosi się do innych uczestników ruchu znajdujących się poza pojazdem. Zatem bezpieczeństwo wewnętrzne ma na celu zmniejszenie prawdopodobieństwa zranienia lub śmierci kierowcy i pasażerów, a bezpieczeństwo zewnętrzne ma na celu zmniejszenie prawdopodobieństwa powstania obrażeń innych uczestników ruchu drogowego [44]. Według J. Wichera [45] do najważniejszych urządzeń bezpośredniego zabezpieczenia kierowcy i pasażerów zalicza się pasy bezpieczeństwa (umożliwiające regulację długości pasa oraz zamocowanie do oparcia siedzenia zamiast do słupka), specjalne krzeselka i pasy bezpieczeństwa dla dzieci (regulacja położenia górnego punktu kotwiczenia pasa), poduszki powietrzne czołowe i boczne z dwoma stopniami napełnienia, kurtyny powietrzne oraz zagłówki (aktywne i pasywne). Elementy bezpieczeństwa biernego związane są także z budową nadwozia pojazdu i dotyczą stosowanych wzmocnień w konstrukcji oraz stref kontrolowanego zgniotu (rys. 2.5).



Rys. 2.4. Bezpieczeństwo pasywne pojazdu samochodowego [43]

Bezpieczeństwo bierne nazywane jest także bezpieczeństwem powypadkowym, zwłaszcza gdy mówi się o zmniejszaniu skutków kolizji drogowej po zatrzymaniu się samochodu, którą można uzyskać przez możliwość szybkiej likwidacji następstw kolizji oraz zapobieganie powstaniu nowych sytuacji kolizyjnych. Bezpieczeństwo powypadkowe samochodu można zwiększyć przez umożliwienie szybkiego awaryjnego opuszczenia samochodu przez drzwi (właściwa konstrukcja zamków) lub przez okno (wypchnięcie, wybicie szyby); zmniejszenie prawdopodobieństwa pożaru dzięki umieszczeniu zbiornika paliwa z dala od silnika lub stosowanie niepalnych materiałów w wyposażeniu wnętrza samochodu [45].



Rys. 2.5. Nadwozie pojazdu samochodowego [43]

Poza bezpieczeństwem czynnym i biernym, niekiedy wskazuje się na tzw. bezpieczeństwo ekologiczne, które polega na zmniejszeniu szkodliwych oddziaływań eksploatowanego samochodu na uczestników ruchu drogowego i środowisko naturalne. Można to uzyskać przez zmniejszenie toksyczności spalin, obniżenie poziomu hałasu; zmniejszenie zakłóceń radioelektrycznych, a także ograniczenie niepotrzebnego ruchu samochodowego, na przykład przez likwidację objazdów lub poprzez właściwe oznakowanie dróg [44]. Bezpieczeństwo ekologiczne nie jest bezpośrednio związane z kolizjami drogowymi, ale dotyczy emisji szkodliwych spalin wytwarzanych przez silniki samochodów, takich jak węglowodory, tlenki azotu, tlenki węgla oraz cząstek stałych emitowanych przez silniki o zapłonie samoczynnym.

Opisane powyżej czynniki bezpieczeństwa środków transportu są zależne od siebie i silnie oddziałują na siebie. Autor pracy [45] stwierdza, że czasem wszystkie wymagania są sprzeczne, na przykład zamki w drzwiach powinny zapobiegać otwarciu drzwi samochodu przy znacznych obciążeniach (bezpieczeństwo bierne), ale jednocześnie nie powinny się zablokować i uniemożliwiać opuszczenia samochodu lub ewakuacji uszkodzonych (bezpieczeństwo powypadkowe). Może to prowadzić do konieczności stosowania rozwiązań kompromisowych.

Spośród wszystkich czynników, wskutek których występują zdarzenia drogowe, to właśnie człowiek znajduje się na pierwszym miejscu i jest to wiodący czynnik sprawczy wypadków drogowych. Zachowanie człowieka ma największy wpływ na powstawanie zdarzeń drogowych (tab. 2.1) w następnej kolejności istotne znaczenie mają czynniki drogowe i atmosferyczne oraz parametry techniczne pojazdów jakimi poruszają się użytkownicy dróg [24]. Mimo tego, że statystyki wykazują spadek liczby wypadków drogowych w Polsce z winy człowieka, to nadal ich liczba przekracza 90% wszystkich wypadków [5]. Czynnikiem często decydującym o wystąpieniu wypadków i kolizji drogowych są błędy kierowców [6]. Wyróżnia się tu [5]:

- błędy strategiczne – dotyczą jazdy w trudnych warunkach atmosferycznych, niesprawnym pojazdem lub pod wpływem emocji zarówno pozytywnych jak i negatywnych;
- błędy taktyczne – wynikają z niewłaściwych manewrów pojazdem podczas jazdy;
- błędy techniczne – wynikają z braku umiejętności prowadzenia pojazdów.

Tab. 2.1. Sprawstwo wypadków drogowych w Polsce w latach 2011-2016 (opracowania własne na podstawie [5])

Rok	Sprawcy wypadków drogowych				
	Kierujący [%]	Piesi [%]	Pasażerowie [%]	Współwina [%]	Inne [%]
2016	86,4	7,3	0,4	1,1	4,8
2015	82,8	7,9	0,4	1,1	7,8
2014	82,1	8,7	0,4	1,3	7,5
2013	81,9	8,9	0,4	1,5	7,4
2012	81,5	10,1	0,3	1,4	6,7
2011	80,3	10,9	0,3	1,5	7,0

Podczas jazdy samochodem nikt nie powinien rozpraszać kierowcy, sam również nie powinien się rozpraszać, na przykład rozmawiając przez telefon, co jest częstą sytuacją wpływającą na zachowanie kierującego pojazdem wobec innych uczestników ruchu. Podczas małego ruchu na drodze człowiek odczuwa 5 bodźców na minutę, natomiast w gęstym ruchu miejskim nawet 120 bodźców na minutę [7]. Co więcej, bodźce mogą występować równocześnie lub w bardzo krótkich odstępach czasowych. Im większa jest prędkość samochodu, tym jest krótszy czas ekspozycji poszczególnych bodźców oraz wzrasta prawdopodobieństwo, że kierowca może któryś z nich przeoczyć lub niewłaściwie zareagować.

Kierowcy w Polsce często wykazują się na tle innych narodowości skłonnością do szybkiej i brawurowej jazdy, przez co ich reakcja na zaistnienie zdarzenia drogowego jest opóźniona. Wzrok jest jednym z najważniejszych zmysłów jaki jest potrzebny podczas jazdy pojazdem. Około 90% wszystkich informacji ze środowiska dociera do kierowcy za pomocą wzroku. Wzrok w ogromnym stopniu wpływa na bezpieczeństwo w ruchu drogowym, dlatego ważne jest uwzględnienie przy projektowaniu dróg takich cech ludzkiego wzroku takich jak [7]:

- zakres pola widzenia – szczególne znaczenie dla kierowcy mają poziome granice widzenia, które łącznie dla obu oczu tworzą kąt około 160°, obiekty znajdujące się poza stożkiem o kącie wierzchołkowym 20° są mało wyraźne i im bliżej granicy pola widzenia się znajdują, tym ich wyraźność jest mniejsza;
- zdolność adaptacyjna wzroku do światła i do ciemności – badania dowodzą, że pełna adaptacja wzroku do ciemności wymaga aż około 1 godziny, stąd też ryzyko wystąpienia wypadku nocą jest 2 razy większe niż w ciągu dnia, a dodatkowo jest potęgowane przez

udział w ruchu drogowym osób cierpiących na zaburzenia widzenia w mroku, tak zwaną kurzą ślepotę; zdolność adaptacyjną wzroku do światła i ciemności należy uwzględnić przy projektowaniu oświetlenia tuneli oraz parkingów podziemnych;

- wrażliwość na olśnienie – występuje w sytuacji oślepienia światłami samochodu jadącego z naprzeciwka, gdyż oko nie jest w stanie nagle zaadaptować się do światła;
- stereoskopowe widzenie – umożliwia ono prawidłową ocenę odległości;
- rozpoznawanie barw – prawidłowo kierowca powinien być w stanie bezbłędnie rozpoznać kolory stosowane w sygnalizacji świetlnej z odległości 150-200 m.

Kierowca podczas jazdy samochodem powinien również skupić się na swojej koncentracji. Uwaga jest kluczowym czynnikiem podczas prowadzenia pojazdu, a nawet chwilowy brak uwagi może doprowadzić do wypadku lub kolizji w najlepszym przypadku. Autorzy pracy [8] opisują uwagę jako system selekcji informacji na różnych etapach jej przetwarzania. Wyróżnia się następujące cechy tego systemu:

- podzielność uwagi – osoba z podzielną uwagą posiada zdolność do postrzegania wielu bodźców i wykonania wielu czynności jednocześnie;
- zakres/pojemność – określa ilość bodźców, które kierowca jest w stanie dostrzec w czasie, w którym zdąży zareagować;
- trwałość/koncentracja – polega na skupieniu mimo długiego czasu wykonania tej samej czynności, przydatna jest szczególnie w pokonywaniu długich tras przez kierowców;
- przerzutność/ruchliwość – dotyczy płynności, elastyczności w przechodzeniu od jednego zdarzenia do kolejnego.

Uwaga kierowcy podczas jazdy samochodem może osłabnąć lub nawet całkowicie wyłączyć się, szczególnie na dłuższych i prostych odcinkach drogi lub na drodze o jednokierunkowym ruchu, takie zjawisko nazywane jest hipnozą drogową. Na hipnozę najczęściej narażeni są kierowcy o cichej pracy silnika w pojeździe, jakim się porusza, po drogach szybkiego ruchu oraz gdy jadą sami. Hipnoza spowodowana jest zazwyczaj koncentracją wzroku na stożku światła własnego samochodu lub na tylnych światłach samochodu jadącego przed nim. Zdarza się, że kierowcy budzą się z hipnozy dopiero po przejechaniu ok. 10-20 km w stanie hipnozy drogowej i w ogóle nie są w stanie przypomnieć sobie jak minął im ten odcinek drogi [9].

Również pasażer może mieć wpływ na zachowanie kierowcy i tym samym na bezpieczeństwo jazdy, ponieważ jego określone zachowanie może determinować zarówno bezpieczny jak też, ryzykowny styl jazdy kierowcy. Mimo to pasażerowie są najmniej liczną

grupą sprawców wypadków. W 2019 roku spowodowali oni 126 wypadków, w których 2 osoby zginęły, a 136 zostało rannych [46].

Poruszając zagadnienie bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego, nie można nie wspomnieć o pieszych, którzy przy nieprawidłowych zachowaniach są bardziej narażeni na niebezpieczeństwo. Do zachowań tych należy pośpiech, przebieganie przez jezdnię, wchodzenie bez zastanowienia na przejście dla pieszych, przechodzenie na czerwonym świetle lub w miejscach niedozwolonych [17]. Dodatkowo okres jesienno-zimowy jest szczególnie niebezpieczny. Drogi nie zawsze są oświetlone, zwłaszcza poza obszarami zabudowanymi zdarza się, że brakuje bezpiecznych miejsc do poruszania się a piesi w niewłaściwy sposób poruszają się po drogach, co może skutkować zaistnieniem wypadku.

Dodatkowo piesi ubrani w ciemny strój są praktycznie niewidoczni dla kierującego, aż do ostatniego momentu. W roku 2019 odnotowano 7 005 wypadków z udziałem osób pieszych (23,1% ogółu), w których zginęło 793 pieszych (27,3% ogółu), a 6 361 odniosło obrażenia ciała (17,9% ogółu) [46].

2.1.3. Rozwiązania techniczne wpływające na bezpieczeństwo

Nowe innowacyjne technologie są coraz częściej stosowane w motoryzacji, dzięki czemu przyczyniają się do zwiększenia bezpieczeństwa w ruchu drogowym, a producenci pojazdów coraz chętniej wykorzystują te rozwiązania. Innowacyjne rozwiązania przyczyniają się do korzyści ekonomicznych oraz zapewniają trafną diagnozę usterek i właściwą jakość naprawy pojazdów. Największe znaczenie mają zainstalowane w pojazdach rozwiązania systemowe, które zapobiegają zaistnieniu zdarzeń drogowych. Wystarczy chwila nieuwagi kierującego, by spóźnić czas reakcji i opóźnić proces hamowania czyli opóźnić moment hamowania. Nowoczesne rozwiązania zamontowane w pojazdach są w stanie rozpoznać przeszkodę na przedpolu jazdy dzięki radarom kontrolującym zachowanie obiektów przed pojazdem i uruchomić systemy powodujące zatrzymanie pojazdu [19].

W części pracy poświęconej bezpieczeństwu ruchu pojazdów (rozdział 2.1.3) w sposób ogólny wspomniano już o kilku podstawowych współczesnych rozwiązaniach technicznych wpływających na poprawę bezpieczeństwa, jednakże w niniejszym rozdziale postanowiono w szerszy sposób przedstawić to zagadnienie.

Innowacyjnym rozwiązaniem stosowanym w pojazdach jest tak zwana kontrola jazdy za pomocą asystenta pasa ruchu. Tworzy go system kamer lub czujników, które kontrolują

to, co dzieje się z każdej strony samochodu. Systemy zamontowane w pojeździe są w stanie monitorować właściwy tor jazdy pojazdu przez odczytywanie poziomego oznakowania jezdni. Jeżeli kierowca zacznie nagle zjeżdżać z drogi nie włączając przy tym kierunkowskazu, co oznaczać może, że nie robi tego celowo, zostanie ostrzeżony pojawieniem się sygnału dźwiękowego [18, 19].

Interesującą technologią jest system wykrywania pojazdów w martwym polu lusterek bocznych. W tym celu montowane są czujniki na bokach pojazdu, które mają za zadanie zapobiec niebezpiecznym sytuacjom, na przykład podczas manewru wyprzedzania, gdy pojazd za kierowcą wyprzedzającym znajduje się w martwym polu. Czujniki te wykryją pojazd i ostrzegają kierowcę sygnałem dźwiękowym i wizualnym [18].

Szczególnie ważne w ruchu drogowym jest bezpieczeństwo rowerzystów i pieszych, którzy także poruszają się poboczem jezdni. Producenci pojazdów starają się zminimalizować zdarzenia, w których potencjalnie mogą wziąć udział rowerzyści, piesi wraz z kierującymi pojazdami. Wielu producentów wprowadziło tak zwaną poduszkę dla pieszych oraz system automatycznego hamowania w przypadku możliwości kolizji z pieszym lub rowerzystą [19].

Wspomniane rozwiązania wspomagają kierującego pojazdem, oczywiście zapewniają bezpieczeństwo oraz poprawiają komfort jazdy. W przejeździe wykorzystuje się wiele czujników i kamer, np. ultraszybką kamerę z szerokim polem widzenia montowaną na szybie czołowej, radar dalekiego zasięgu, zespół radarów średniego zasięgu oraz czujników ultradźwiękowych rozmieszczonych z przodu i z tyłu pojazdu, a także wykorzystuje się bardzo szybkie moduły przetwarzający dane i kierujące polecenia do wszystkich systemów bezpieczeństwa. Dzięki temu samochód może automatycznie reagować na sytuacje na drodze i uruchamiać poszczególne układy, aby np. skrócić kierownicę, przyspieszyć lub zahamować bez udziału kierowcy. Kamery i czujniki, wielofunkcyjne oświetlenie zamontowane w pojazdach nowoczesne, konstrukcje nadwozi wspomagają zmysły i reakcje kierowców, co przyczynia się mają do zapobiegania występowania zdarzeń drogowym. Jeżeli dojdzie do wypadku lub kolizji jest możliwe zminimalizowanie konsekwencji związanych ze możliwym uszczerbkiem zdrowia uczestników wypadków, w tym także pieszych [20].

Uwzględniając emocje, które również mają wpływ na zachowanie kierowcy podczas jazdy, producenci pojazdów montują monitoring, który rejestruje samopoczucie kierowcy. Producenci pojazdów Audi i Mercedes we współpracy z aplikacjami mobilnymi opracowali system kontrolujący, czy kierowca nie wsiada pijany za kierownicę, czy nie zasypia podczas jazdy i czy jest dostatecznie skupiony [19]. Z kolei producenci pojazdu BMW wprowadzili system *Active Protection* i *Night Vision*. Pierwszy ma za zadanie kontrolować reakcje kierow-

cy i wskazywać zalecenia na monitorze dotyczące zrobienia przerwy podczas kierowania pojazdem, a drugi wykrywa ludzi, zwierzęta i inne przeszkody na drodze do 300 metrów przed pojazdem, dzięki zastosowaniu kamery noktowizyjnej [20].

Występujące nagłe zagrożenia na drodze wymagają od kierowcy koncentracji na przedpolu jazdy, szybkości reagowania na pojawiającą się przeszkodę oraz umiejętności taktyczne i techniczne kierowania pojazdem. System wspomaganie kierowania pojazdem poprawia komfort jazdy, kierujący pojazdem nawet po pokonaniu długiej trasy nie czuje się zmęczony, jazda staje się przyjemnością, a ponadto jest bezpieczna i bezstresowa. Inteligentne systemy wspomaganie kierowania reagują błyskawicznie i niezawodnie nawet w trudnych sytuacjach na drodze, pomagają również kierującym kontrolować sytuację na drodze i zakończyć bezpiecznie podróż. Do systemów tych należą (o niektórych z nich wspomniano już we wcześniejszych częściach pracy) [21, 108, 112, 116, 118]:

- system dostosowujący prędkości pojazdu do prędkości innych pojazdów (Adaptive Cruise Control - ACC) - system ten kontroluje prędkość pojazdu poprzez kontrolę przepustnicy silnika i ograniczone działanie hamulca;
- system wykrywania martwego pola (Blind Spot Detection – BSD) – system ten monitoruje obszar martwego pola, odciążając kierowcę i pomagając w zapobieganiu niebezpiecznych sytuacji;
- system utrzymywania pasa (Lane Departure Warning/Lane Keeping System – LDW/LKS) – ostrzega kierowcę przez system audio, że pojazd zjeżdża z pasa ruchu;
- inteligentny system sterowania światłami (Intelligent Headlamp Control – IHC) – poprawia widoczność w nocy;
- system monitorujący ograniczenia prędkości (Speed Limit Monitoring – SLM) – system sprawia, że kierowcy są świadomi obecnego limitu prędkości;
- system wspomaganie kierowania (Emergency Brake Assist – EBA) – wykrywa groźne sytuacje w ruchu na drodze i zapewnia skuteczne hamowanie.

Innowacyjne i nowoczesne technologie, w które coraz częściej wyposażane są pojazdy, mają pozytywny wpływ na poprawę bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Liczba pojazdów na drodze z roku na rok wzrasta, powodując tym znaczne obniżenie bezpieczeństwa w ruchu drogowym, dlatego wszelkie systemy bezpieczeństwa, w które są wyposażone pojazdy pomagają kierowcom unikać zdarzeń drogowych lub łagodzić ich skutki dzięki rozpoznawaniu pojawiającego się stanu zagrożenia. Warto mieć na uwadze fakt, że nawet najbar-

dziej zaawansowane systemy i innowacyjne rozwiązania w budowie pojazdów nie zastąpią właściwej reakcji kierującego pojazdem na zaistniały stan na przedpolu jego jazdy.

2.2. Wypadki w ruchu drogowym

2.2.1. Wprowadzenie

Przedstawiając zagadnienie związane z charakterystyką zdarzeń drogowych, należy w pierwszej kolejności odróżnić pojęcie wypadku drogowego od pojęcia kolizji drogowej.

Wypadek drogowy jest to zdarzenie mające miejsce w ruchu lądowym spowodowane przez nieumyślne naruszenie zasad bezpieczeństwa obowiązujących w tym ruchu, którego skutkiem jest śmierć jednego z uczestników lub obrażenia ciała powodujące naruszenie czynności narządu ciała lub rozstrój zdrowia trwające dłużej niż 7 dni. Po zaistniałym wypadku funkcjonariusze sporządzają dokumentację procesową. Ustawodawca uwzględnił przestępstwa spowodowania wypadku komunikacyjnego w art. 177kk.

Kolizja drogowa to zdarzenie mające miejsce w ruchu lądowym spowodowane przez nieumyślne naruszenie zasad bezpieczeństwa obowiązujących w ruchu, którego skutkiem są straty materialne lub też jeden z uczestników doznał obrażeń ciała powodujących naruszenie czynności narządu ciała lub rozstrój zdrowia trwający poniżej dni 7. Definicja kolizji nie jest unormowana żadnym aktem prawnym jest to określenie przyjęte zwyczajowo.

2.2.2. Wypadki drogowe w Polsce

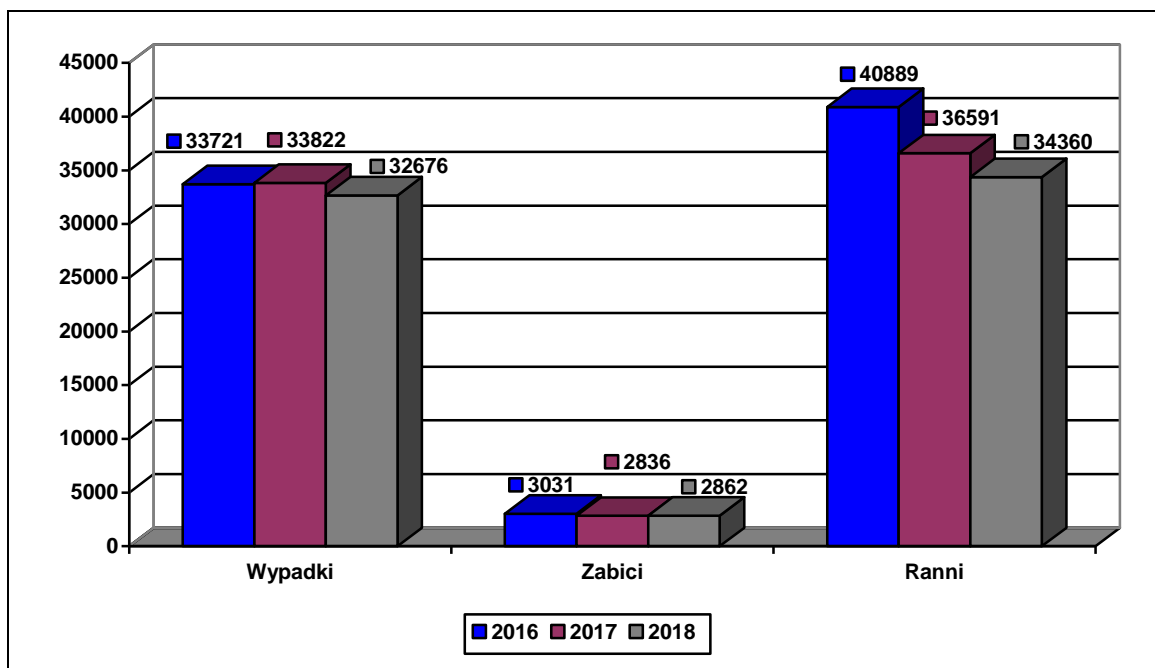
Stopień bezpieczeństwa w ruchu drogowym ocenia się przede wszystkim na podstawie danych o wypadkach drogowych. W niniejszym podrozdziale przedstawione szereg informacji o wypadkach drogowych w Polsce, korzystając z danych pochodzących z okresu ostatnich kilku lat, zwłaszcza z lat 2016–2018.

Na terytorium Polski w 2018 roku odnotowano 31 676 wypadków drogowych, w których 2 862 osoby poniosły śmierć, a 37 360 osób doznało obrażeń ciała (tab. 2.2). W porównaniu do 2017 roku stan bezpieczeństwa pod względem ilości wypadków drogowych uległ poprawie, bowiem liczba wypadków zmalała o 1 146, odnotowano natomiast wzrost o 26 ofiar śmiertelnych, osób rannych mniej o 2 231. W roku 2018 roku w Polsce odnotowano 436 460 kolizji drogowych.

Tab. 2.2. Wypadki i kolizje drogowe w latach 2016-2018 (opracowanie własne na podstawie [2])

Zdarzenie / Rok / Wojewódz- two	Wypadki			Zabici			Ranni			Kolizje		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018
Dolnośląskie	2333	2189	2148	226	219	203	2915	2764	2674	39188	41544	40134
Kujawsko- Pomorskie	1021	948	971	178	151	171	1107	1079	1032	25843	27484	27770
Lubelskie	1261	1238	1216	178	157	179	1483	1428	1286	18664	19940	20080
Lubuskie	684	682	663	113	84	79	878	855	790	11819	12737	11578
Mazowieckie	4053	4046	4034	512	466	448	4834	4754	4682	64039	69055	68795
Małopolskie	3940	3615	3404	185	194	223	4765	4313	4003	29597	31425	31472
Opolskie	757	707	705	99	78	81	861	862	787	9093	10215	10194
Podkarpackie	1690	1713	1482	141	124	125	2034	2037	1776	17490	18418	18520
Podlaskie	690	698	672	120	114	102	838	809	771	12355	13313	13512
Pomorskie	2728	2628	2504	144	134	146	3379	3296	3098	23897	25666	26882
Warmińsko- Mazurskie	1630	1457	1281	158	118	140	2043	1736	1506	15682	17158	16137
Wielkopol- skie	2318	3127	3232	249	295	261	2686	3595	3768	34667	36132	35877
Zachodnio- pomorskie	1332	1232	1182	149	120	129	1608	1435	1357	17942	19437	19924
Łódzkie	4234	3790	3759	215	219	229	5313	4754	4600	26307	28093	27995
Śląskie	3678	3517	3222	257	248	219	4395	4343	3783	49583	54153	54546
Świętokrzy- skie	1372	1235	1201	107	115	127	1750	1531	1447	11728	12788	13044
Ogółem	33721	32822	31676	3031	2836	2862	40889	39591	37360	407894	437558	436460

Dane o wypadkach drogowych w latach 2016-2018, z uwzględnieniem zabitych i rannych zobrazowano w formie graficznej na rysunku 2.6. Można dostrzec, że z roku na rok zarówno ilość wypadków, jak i zabitych oraz rannych maleje. Ilość wypadków w 2018 roku w stosunku do 2016 roku zmalała aż o 2045, ilość osób zabitych zmalała o 169, a ilość osób rannych zmalała o 3529. Wpływ na znaczny spadek może mieć infrastruktura drogowa, która z roku na rok jest w coraz lepszym stanie, stan techniczny pojazdów oraz ilość kampanii społecznych promujących bezpieczne zachowania w ruchu drogowym.

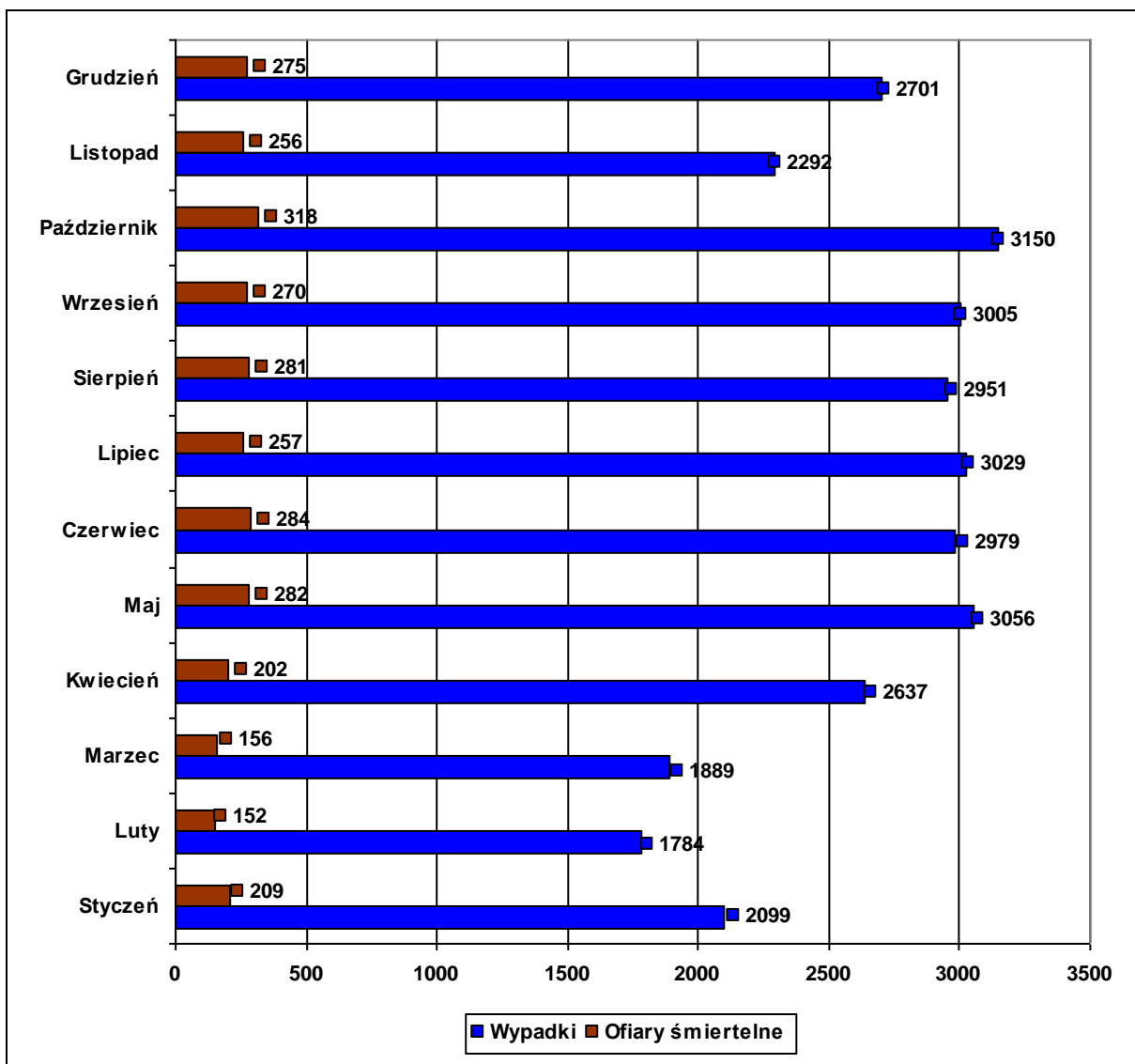


Rys. 2.6. Wypadki drogowe w Polsce w latach 2016-2018 z uwzględnieniem ilości osób zabitych i rannych (opracowanie własne na podstawie [2])

Warto jeszcze wspomnieć o czasie powstawania wypadków drogowych w Polsce dzieląc je według miesięcy w roku. W roku 2018 roku najwięcej wypadków miało miejsce w maju i w październiku, natomiast śmierć na drodze poniosło najwięcej osób w miesiącu sierpniu oraz w październiku. Szczegółowe dane przedstawione zostały na rysunku 2.7.

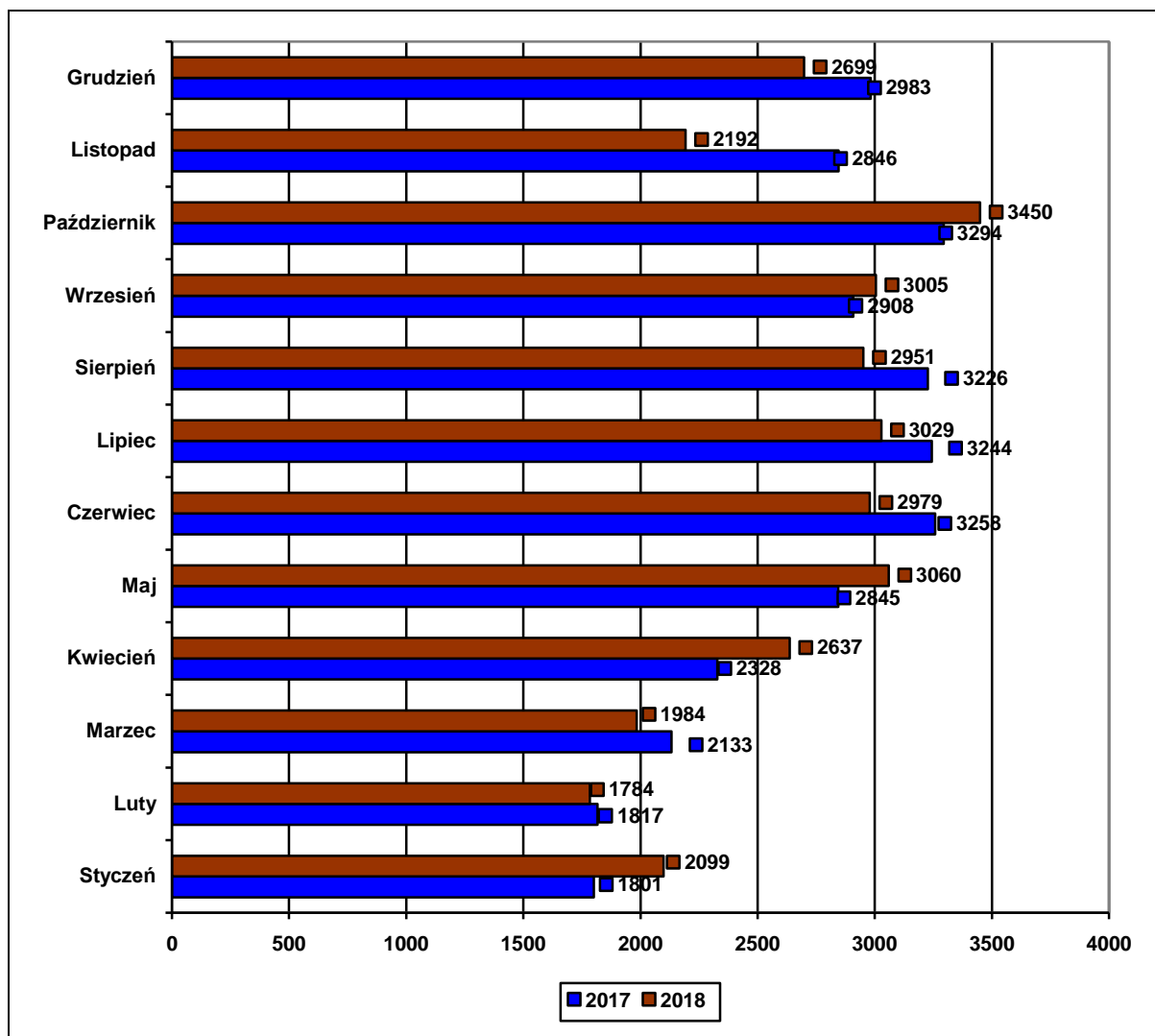
Na podstawie danych zawartych na rysunku 2.7 można stwierdzić, iż w miesiącu październiku w 2018 roku było najwięcej wypadków (3150), wskutek których śmierć poniosło 318 osób. Jednocześnie należy zauważyć, że miesiącem z najmniejszą liczbą wypadków drogowych był luty. Wówczas miały miejsce 1784 wypadki, w których zginęły 152 osoby. W miesiącu lutym i marcu występowały spadki (w stosunku do miesiąca stycznia) liczby wypadków i ofiar śmiertelnych. Natomiast od kwietnia do października występował systematyczny wzrost liczby analizowanych zdarzeń. Natomiast w listopadzie nastąpił spadek w stosunku do października o 858 wypadków i o 62 ofiary śmiertelne. Następnie w grudniu odnotowano kolejny wzrost liczby wypadków i ofiar śmiertelnych. W stosunku do listopada liczby te wzrosły o 409 wypadków oraz o 19 ofiar śmiertelnych.

Porównując dane dotyczące wypadków w roku 2018 w podziale na poszczególne miesiące, w porównaniu z analogicznymi danymi z roku 2017 można wskazać występowanie zbliżonych tendencji w ilości wypadków poszczególnych miesiącach (rys. 2.8)



Rys. 2.7. Wypadki drogowe i ofiary śmiertelne w poszczególnych miesiącach w roku 2018 (opracowanie własne na podstawie [25])

Należy pamiętać, że poza stanem technicznym pojazdu, czy stanem nawierzchni, na zaistnienie zdarzenia drogowego mają wpływ warunki atmosferyczne, umiejętności taktyki i techniki kierowania pojazdem, pora dnia, tygodnia lub pora roku. Jak bowiem pokazuje praktyka, na przykład w weekendy natężenie ruchu drogowego jest większe, a co za tym idzie jest większe prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzenia drogowego.



Rys. 2.8. Porównanie ilości wypadków drogowych i ofiar śmiertelnych w poszczególnych miesiącach w roku 2017 i 2018 (opracowanie własne na podstawie [25])

Mając na względzie różnice pomiędzy poszczególnymi województwami, zarówno w liczbie mieszkańców, powierzchni, natężeniu ruchu oraz innych uwarunkowań, w celach porównawczych przyjmuje się wskaźniki liczby zabitych i liczby rannych na 100 wypadków drogowych. W tabeli 2.3 przywołano ponownie dane o wypadkach, zabitych i rannych w Polsce w roku 2018 (które już przedstawiono w tab. 2.2), przy czym uzupełniono je wskaźnik liczby zabitych i rannych w przeliczeniu na każde 100 wypadków drogowych.

Tab. 2.3. Liczba zabitych i rannych na 100 wypadków w roku 2018 (opracowanie własne na podstawie [25])

Województwo	Wypadki	Zabici	Ranni	Wskaźnik liczby zabitych na 100 wypadków	Wskaźnik liczby rannych na 100 wypadków
Dolnośląskie	2148	203	2674	9,5	124,5
Kujawsko-Pomorskie	970	171	1031	17,6	106,3
Lubelskie	1216	179	1286	14,7	105,8
Lubuskie	663	79	790	11,9	119,2
Łódzkie	3759	229	4600	6,1	122,4
Małopolskie	3404	223	4003	6,6	117,6
Mazowieckie (bez KSP)	2271	297	2681	13,1	118,1
Opolskie	705	81	787	11,5	111,6
Podkarpackie	1481	125	1775	8,4	119,9
Podlaskie	672	102	771	15,2	114,7
Pomorskie	2504	146	3098	5,8	123,7
Śląskie	3222	219	3783	6,8	117,4
Świętokrzyskie	1201	127	1450	10,6	120,7
Warmińsko-Mazurskie	1281	140	1506	10,9	117,6
Wielkopolskie	3232	261	3766	8,1	116,5
Zachodniopomorskie	1182	129	1357	10,9	114,8
KSP	1763	151	2001	8,6	113,5
Ogółem	31 674	2 862	37 359	9,0	117,9

Analizując dane zawarte w tabeli 2.3 można zauważyć, że w roku 2018 średnia ilość osób zabitych w każdym 100 wypadkach wyniosła od 6,1 w województwie łódzkim do 17,6 w województwie kujawsko-pomorskim. Natomiast w strukturze liczby osób rannych w każdym 100 wypadkach nie ma aż tak dużych różnic, gdyż wartości zawierają się w przedziale od 106,3 w województwie kujawsko-pomorskim do 124,5 w województwie dolnośląskim.

Wielokrotnie stwierdzano w toku prowadzonych analiz zdarzeń drogowych, że niebezpieczne i nieodpowiednie zachowanie kierujących pojazdami miało wpływ na zaistnienie zdarzeń drogowych. Zestawienie głównych przyczyn wypadków drogowych w Polsce w latach 2013–2014 zawarto w tab. 2.4. Z danych zawartych w tej tabeli wynika, że czynnikami sprzyjającymi zaistnieniu zdarzeniom drogowym są prędkość (nadmierna lub niedost-

sowana do warunków panujących na drodze), nieustąpienie pierwszeństwa przejazdu, niezachowanie bezpiecznej odległości między pojazdami oraz nieprawidłowe zachowanie wobec pieszego. Na bezpieczeństwo na drodze wpływają również warunki atmosferyczne, warunki drogowe, stan techniczny pojazdu oraz infrastruktura drogowa.

Tab. 2.4. Główne przyczyny wypadków drogowych w Polsce w latach 2013–2014 (opracowanie własne na podstawie [5])

Przyczyny wypadków		Wypadki		Zabici		Ranni	
		2013	2014	2013	2014	2013	2014
Niedostosowanie prędkości do warunków ruchu		8276	7489	966	855	11344	10205
Nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu		7673	7710	351	323	10012	9991
Nieprawidłowe	Wyprzedzanie	1688	1539	187	227	2219	1990
	O mijanie	565	538	53	53	596	567
	Wymijanie	478	465	50	61	657	586
	Zachowanie wobec pieszego	4049	4164	326	257	4100	4161
	Skręcanie	930	919	65	57	1084	1063
	Zawracanie	165	159	15	9	246	203
	Cofanie	605	572	20	16	614	575
Jazda po niewłaściwej stronie drogi		574	544	111	113	847	783
Wjazd przy czerwonym świetle		481	492	20	25	695	707
Nieprzestrzeżenie innych znaków i sygnałów		105	130	4	8	144	194
Niezachowanie bezpiecznej odległości między pojazdami		2218	2323	48	44	2882	3068
Jazda bez wymaganego oświetlenia		44	43	14	11	39	38
Zmęczenie, zaśnięcie		522	555	88	77	813	846

Dane z raportu Komendy Głównej Policji [5] wskazują że, do wypadków najczęściej dochodzi na drogach wojewódzkich. Do najmniejszej ilości zdarzeń drogowych dochodzi na autostradach. Najwięcej wypadków, o czym już też wcześniej wspomniano, występuje w okresie jesienno-zimowym. Również w okresie wakacyjnym dochodzi do większej liczby zdarzeń drogowych. Spowodowane jest to zwiększonym natężeniem ruchu, który przyczynia się do zdarzeń na drodze. Większe natężenie ruchu, nadmierne prędkości jazdy oraz mniejsze odległości pojazdów względem siebie stanowią jedną z ujemnych przesłanek mających wpływ na bezpieczne poruszanie się pojazdów względem siebie.

Z raportów Komendy Głównej Policji wynika [5] też, że najwięcej wypadków odnotowano przy suchej nawierzchni, czyli przy dobrych warunkach atmosferycznych. Powodem takiego stanu rzeczy może być większe natężenie ruchu, ale również bardziej brawurowa i szybsza jazda, a jednocześnie zmniejszona uważność kierowców. Dobre warunki atmosferyczne sprawiają, że kierowca czuje się pewniej na drodze i zwiększa prędkość prowadzonego pojazdu, zazwyczaj przekraczając dozwoloną prędkość na danym odcinku drogi. Przy opadach deszczu, śniegu lub zamgleniu kierowca zmuszony jest do ostrożniejszej i wolniejszej jazdy, gdyż widoczność jest znacznie słabsza.

W aspekcie wypadków drogowych nie można nie wspomnieć o pieszych, którzy przy nieprawidłowych zachowaniach są bardziej narażeni na niebezpieczeństwo. Do zachowań tych należy pośpiech, przebieganie przez jezdnię, wchodzenie bez zastanowienia na przejście dla pieszych, przechodzenie na czerwonym świetle lub w miejscach niedozwolonych [17]. Dodatkowo okres jesienno-zimowy jest szczególnie niebezpieczny. Drogi nie zawsze są oświetlone, zwłaszcza poza obszarami zabudowanymi zdarza się, że brakuje bezpiecznych miejsc do poruszania się a piesi w niewłaściwy sposób poruszają się po drogach co może skutkować wypadkiem. Dodatkowo ubrani w ciemny strój są praktycznie niewidoczni dla kierującego, aż do ostatniego momentu. W roku 2019 (tab. 2.5) odnotowano 7 005 wypadków z udziałem osób pieszych (23,1% ogółu), w których zginęło 793 pieszych (27,3% ogółu), a 6 361 odniosło obrażenia ciała (17,9% ogółu) [46].

Tab. 2.5. Wypadki drogowe z udziałem pieszych w roku 2019 w podziale na województwa (opracowanie własne na podstawie [44])

Województwo	Ilość wypadków	Zabici	Ranni
Dolnośląskie	493	52	447
Kujawsko-Pomorskie	268	44	228
Lubelskie	253	55	204
Lubuskie	148	15	134
Łódzkie	701	70	650
Małopolskie	742	63	691
Mazowieckie (bez KSP)	438	79	365
Opolskie	101	15	84
Podkarpackie	331	55	280
Podlaskie	127	27	103
Pomorskie	556	43	533
Śląskie	796	60	757
Świętokrzyskie	255	43	221
Warmińsko-Mazurskie	230	18	222
Wielkopolskie	760	67	713
Zachodniopomorskie	336	28	318
KSP	470	59	411
Łącznie w Polsce	7 005	793	6 361

Niechronionymi uczestnikami ruchu są rowerzyści. W roku 2019 rowerzyści uczestniczyli w 4 426 wypadkach drogowych, w których zginęło 257 rowerzystów i 1 pasażer roweru, a rany odniosło 3 999 osób. Większość wypadków z udziałem rowerzystów miała miejsce na obszarze zabudowanym (3 811), zaś na obszarze niezabudowanym wypadki cechowały się wysoką ofiarochłonnością tzn. w 615 wypadkach zginęły 123 osoby, a więc w co piątym wypadku była ofiara śmiertelna [46].

Poza pieszymi i rowerzystami, uczestnikami ruchu drogowego są także motorowerzyści [45]. W roku 2019 motorowerzyści uczestniczyli w 1 242 wypadkach, przy czym zginęło w nich 82 kierujących motorowerami oraz 5 pasażerów, a 1052 motorowerzystów i 101 ich pasażerów zostało rannych. W porównaniu z rokiem 2018 jest to mniej wypadków o 120 (-8,8%) i mniej rannych o 102 (-8,8%) przy wzroście zabitych motorowerzystów o 9 (+12,3%). Jeśli chodzi o pasażerów - zabici: wzrost o 3 osoby, ranni: spadek o 11 osób.

Największa ilość wypadków z udziałem motorowerystów miała miejsce w miesiącach letnich, co wynika z warunków klimatycznych umożliwiających poruszanie się po drogach tej grupie użytkowników. Najwięcej wypadków było w czerwcu (180), najwięcej osób zginęło w lipcu (17), natomiast najwięcej rannych odnotowano w czerwcu (168) [45]. W tab. 2.6 przedstawiono główne przyczyny wypadków, które miały miejsce w ubiegłym roku spowodowane przez kierujących motorowerystów.

Tab. 2.6. Główne przyczyny wypadków spowodowanych przez motorowerystów w 2019 roku (opracowanie własne na podstawie [44])

Przyczyny	Wypadki		Zabici		Ranni	
	Ogółem	%	Ogółem	%	Ogółem	%
Niedostosowanie prędkości do warunków ruchu	189	32,0	8	17,4	190	32,4
Nieustąpienie pierwszeństwa pojazdu	119	20,2	20	43,5	110	18,8
Inne przyczyny	93	15,8	3	6,5	94	16,0
Niezachowanie bezpiecznej odległości między pojazdami	54	9,2	2	4,3	58	9,9
Nieprawidłowy manewr skrętu	36	6,1	6	13,0	37	6,3
Nieprawidłowe wymijanie	19	3,2	1	2,2	18	3,1
Nieprawidłowa zmiana pasa ruchu	16	2,7	2	4,3	14	2,4
Nieprawidłowe wyprzedzanie	16	2,7	1	2,2	16	2,7
Nieprawidłowe omijanie	15	2,5	1	2,2	14	2,4
Nieprawidłowe zachowanie wobec pieszego	12	2,0	1	2,2	12	2,0

Uczestnikami ruchu drogowego są także motocykliści. Nawiązując do wypadków z ich udziałem należy wskazać, iż w 2019 roku uczestniczyli oni w 2 630 wypadkach drogowych, w których zginęło 282 kierujących motocyklami i 13 ich pasażerów, a 6 161 motocyklistów i 221 pasażerów motocykli zostało rannych [46]. W porównaniu do 2018 roku liczba tych wypadków zmniejszyła się o 45 (-1,7%), liczba rannych o 79 (-3,5%) przy wzroście liczby zabitych motocyklistów o 56 (+24,8%), a ich pasażerów - zabici: wzrost o 1 osobę (+8,3%), ranni: spadek o 12 (-5,2%). Należy też wskazać, że kierujący motocyklami najczęściej uczestniczyli w wypadkach w miesiącach czerwiec-sierpień. Do 51,5% wypadków, w których poszkodowani zostali motocykliści lub ich pasażerowie, przyczynili się inni użytkownicy dróg, szczególnie kierujący samochodami osobowymi. W tab. 2.7 zaprezentowano wypadki z 2019 roku spowodowane przez innych użytkowników drogi, gdzie poszkodowany został motocyklista.

Tab. 2.7. Wypadki spowodowane przez innych użytkowników drogi w roku 2019 w których poszkodowany został motocyklista (opracowanie własne na podstawie [44])

Pojazd (sprawca)	Wypadki	Zabici	Ranni
Samochód osobowy	1 156	77	1 138
Samochód ciężarowy o DMC do 3,5 t	65	10	56
Samochód ciężarowy o DMC powyżej 3,5 t	32	7	27
Rower	38	1	13
Pojazd nieustalony	30	0	31
Ciągnik rolniczy	15	0	16
Autobus	7	0	8
Inny pojazd	7	2	5

2.2.3. Specyfika wypadków drogowych dla wybranego województwa

Autorka rozprawy, z uwagi na charakter wykonywanej pracy zawodowej, oprócz możliwości dostępu do danych o wypadkach drogowych w Polsce, miała także możliwość uzyskania szerokiego dostępu do danych dotyczących wypadków drogowych w wybranym województwie, w tym przypadku w województwie lubuskim. Dane te postanowiono również umieścić w niniejszej rozprawie. Zostały one udostępnione przez Komendę Wojewódzką Policji w Gorzowie Wielkopolskim obejmują przede wszystkim lata 2016–2020.

W latach 2016-20120 na obszarze województwa lubuskiego doszło do 3 296 wypadków drogowych (tab. 2.8). Najwięcej takich zdarzeń odnotowano na obszarze Zielonej Góry (381 wypadków) oraz Gorzowa Wielkopolskiego (292 wypadki). Najmniej natomiast na obszarze gminy miejsko-wiejskiej Wschowa (54 wypadki). Uwzględniając analizowany okres należy zauważyć, że najwięcej wypadków drogowych w całym województwie lubuskim odnotowano w roku 2016 (684). Najmniej natomiast w 2019 roku (660). W roku 2020, w porównaniu do 2016 roku, liczba wypadków drogowych zmalała o 77 takich zdarzeń. Warto wspomnieć, że np. w roku 2009 odnotowano 992 wypadki drogowe. W roku kolejnym ich ilość zmniejszyła się o 147 zdarzenia drogowe. Odpowiednio w 2011 roku liczba wypadków drogowych wyniosła 823. W roku następnym nastąpił spadek o 20 wypadków. W roku 2013, ilość zdarzeń spadła do poziomu 747. Najmniejszą ilość zdarzeń drogowych lubuska policja na obszarze swoich działań odnotowała w 2015 roku – 640 wypadków drogowych. Z zaprezentowanych danych wnioskować należy, że liczba odnotowanych zdarzeń drogowych na drogach województwa lubuskiego maleje.

Tab. 2.8 . Zestawienie ilości wypadków drogowych w województwie lubuskim w latach 2016-2020 (opracowanie własne na podstawie [5])

Wypadki drogowe	
Rok	Ilość
2016	684
2017	682
2018	663
2019	660
2020	607
Razem	3296

Na obszarze województwa lubuskiego w latach 2016-2020 doszło do wspomnianych już 3 296 wypadków drogowych. W ich wyniku odnotowano 444 ofiar śmiertelnych (tab. 2.9). Z dostępnych danych wynika, że najwięcej ofiar śmiertelnych było w 2016 roku (113 osób). W roku następnym, na drogach województwa lubuskiego zginęło o 29 osób mniej w stosunku do roku poprzedniego. Spadek ofiar śmiertelnych odnotowano również w 2018 roku (79 osób). W roku 2019 odnotowano wzrost ofiar śmiertelnych do liczby 92. W stosunku do tegoż okresu, w 2020 roku miał miejsce niewielki spadek uczestników wypadków drogowych, które zakończyły się ich zgonem – 76 osób. Należy dodać, że na omawianym obszarze Policja wojewódzka, najwięcej ofiar śmiertelnych wypadków drogowych odnotowała w roku 2008 (170 ofiar). Lata następne to spadek do 81 osób w 2014 roku. Przez kolejne dwa lata systematycznie rosła liczba śmiertelnych ofiar (2015 r. – 91 osób; 2016 r. – 113 osób). Dane te nie pozwalają wskazać ani tendencji malejącej, ani rosnącej.

Tab. 2.9 . Zestawienie ilości ofiar śmiertelnych w wypadkach drogowych w województwie lubuskim w latach 2016–2020 (opracowanie własne na podstawie [5])

Ofiary śmiertelne	
Rok	Ilość
2016	113
2017	84
2018	79
2019	92
2020	76
Razem	444

Ranni w wypadkach drogowych to nie tylko kierowcy pojazdów, to także niechronieni uczestnicy ruchu tj. piesi, rowerzyści, motocykliści. Niechronieni (w tym także pasażerowie) są szczególnie narażeni na ciężkie obrażenia. Należy zauważyć, że w latach 2016-2020 na drogach województwa lubuskiego odnotowano 3 975 osób rannych w wypadkach drogowych (tab. 2.10) W roku 2016 ich ilość wynosiła 878 osób. Rok następny odznaczał się niewielkim spadkiem odnotowanych rannych o 23 osoby. Jeśli chodzi o rok 2018 i kolejne lata, to dalszy spadek ilości osób rannych w wypadkach drogowych. Z policyjnych statystyk wynika, że w roku 2018 ich ilość wyniosła 790 osób. Mniej o 15 osób rannych było w roku 2019. Co zaś dotyczy roku 2020, to w stosunku do 2016 zauważalny jest znaczny spadek rannych w wypadkach drogowych o 201 osób. Zasygnalizować tu trzeba, że na drogach województwa lubuskiego największą ilość rannych w wypadkach drogowych, odnotowano w 2009 roku (1 323 osób). Nie ulega wątpliwości, że powyższe dane wskazują na wyraźny trend malejący jeśli chodzi o ilość osób rannych w wypadkach drogowych.

Tab. 2.10 . Zestawienie ilości osób rannych w wypadkach drogowych w województwie lubuskim w latach 2016–2020 (opracowanie własne na podstawie [5])

Osoby ranne	
Rok	Ilość
2016	878
2017	855
2018	790
2019	775
2020	677
Razem	3 975

Omawiając poziom bezpieczeństwa drogowego nie można pominąć danych dotyczących ilości kolizji drogowych. W analizowanym okresie na obszarze województwa lubuskiego odnotowano łącznie 58 421 kolizji drogowych (tab. 2.11). Do największej ilości kolizji drogowych kolizji doszło w 2017 roku, ich ilość wyniosła 12 737. W stosunku do roku poprzedniego (2016) ilość kolizji wzrosła o 918. Natomiast w roku 2018 w odniesieniu do roku poprzedniego, odnotowano niewielki spadek tychże zdarzeń o 1 162. Z kolei rok 2019 to wzrost ilości zdarzeń o 508 takich zdarzeń. Dopiero w roku 2020 ilość kolizji drogowych, w stosunku do roku 2019, spadła o 1 876 takich przypadków. Jak wynika z policyjnych statystyk, najmniej kolizji drogowych na drogach województwa lubuskiego odnotowano w roku 2012, ich ilość wyniosła 9 509 kolizji. Przywołane dane charakteryzują się zmiennością ilo-

ści występowania kolizji drogowych, co uniemożliwia wykazanie tendencji rosnącej lub malejącej tychże zdarzeń.

Tab. 2.11 . Zestawienie ilości kolizji drogowych w województwie lubuskim w latach 2016–2020 (opracowanie własne na podstawie [5])

Kolizje drogowe	
Rok	Ilość
2016	11 819
2017	12 737
2018	11 575
2019	12 083
2020	10 207
Razem	58421

W statystykach policyjnych, oprócz zbiorczych danych dotyczących ilości wypadków, osób zabitych i rannych oraz ilości kolizji, gromadzi się także dane o przyczynach tych zdarzeń, Dane takie przedstawiono w tab. 2.12, przy czym dotyczą one lat 2016–2018.

Z danych zawartych w tabeli 2.12 wynika, że najwięcej wypadków drogowych oraz ich skutków wydarzyło się podczas zderzeń pojazdów (czołowe, boczne, tylne), a także z najechania na przydrożne drzewa. Dużą ilość wypadków stanowią zderzenia między pojazdami w ruchu (boczne, czołowe, tylne), w których w czasie objętym analizą odnotowano 302 (tj. 45,5% ogólnej liczby), w zdarzeniach tych 29 osób poniosło śmierć (tj. 36,7% ogólnej ilości zabitych), a 401 osób doznało obrażeń ciała. Z najechania na przydrożne drzewa wydarzyło się 77 wypadków, co daje 11,6% ogólnej ilości wypadków, w których 25 osób poniosło śmierć - 31,7% ogólnej ilości ofiar śmiertelnych, a 86 osób zostało w nich rannych. W porównaniu do 2017 roku ilość wypadków z najechania na drzewa wzrosła o 20 wypadków, 11 ofiar śmiertelnych więcej i 8 osób rannych więcej [2].

Uwzględniając poszczególne miesiące w analizie zdarzeń drogowych (tab. 2.13 i 2.14) na omawianym obszarze w latach 2016–2020 należy wskazać, że do największej ilości wypadków drogowych dochodzi w miesiącach zimowych, tj. w styczniu (łącznie – 236 wypadków), listopadzie (łącznie – 298 wypadków) oraz grudniu (łącznie – 288 wypadków). Najwięcej osób, w omawianym okresie, poniosło śmierć w maju (łącznie - 69 ofiar śmiertelnych) oraz lipcu (łącznie – 145 ofiar śmiertelnych). Analogicznie, jeśli chodzi o osoby ranne w zdarzeniach drogowych, to największą ich ilość odnotowano w lipcu (łącznie – 439 osób), sierpniu (łącznie – 401 osób) oraz październiku (łącznie – 387 osób). Okazuje się, że do naj-

większej ilości kolizji drogowych dochodziło w miesiącach: czerwiec – 4 843 kolizje, lipiec – 5 038 kolizji, wrzesień – 5 071 kolizji oraz grudzień – 5 381 kolizji.

Tab. 2.12. Wypadki drogowe i ich skutki w latach 2016-2018 według rodzaju przyczyny ich powstania (opracowanie własne na podstawie [1])

Przyczyna zdarzenia / rok	Wypadki			Zabici			Ranni			Kolizje		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018
Najeżdżenie na barierę ochronną	7	14	9	0	2	0	10	17	11	234	264	244
Najeżdżenie na drzewo	77	57	77	25	14	25	94	78	86	152	195	136
Najeżdżenie na dziurę, wybój, garb	0	2	0	0	0	0	0	2	0	314	491	303
Najeżdżenie na pojazd unieruchomiony	6	17	11	7	5	1	9	26	13	1469	1632	1411
Najeżdżenie na słup, znak	10	12	10	1	4	0	9	15	13	414	470	396
Najeżdżenie na zaporę kolejową	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	19	11
Najeżdżenie na zwierzę	3	7	4	0	1	0	3	7	4	684	674	678
Wywrócenie się pojazdu	77	53	73	5	6	5	100	60	84	387	358	293
Zdarzenie z pasażerem	1	2	1	1	0	0	0	2	1	3	2	4
Zderzenie pojazdów boczne	175	156	157	17	9	12	247	191	194	3884	4061	4031
Zderzenie pojazdów czołowe	82	88	90	33	19	13	133	154	137	380	323	335
Zderzenie pojazdów tylne	49	79	55	6	4	4	66	104	70	2605	2634	2495
Inne	32	52	36	0	4	4	49	69	41	1030	1359	1038
Ogółem	519	539	523	95	68	64	720	725	654	11575	12482	11375

Tab. 2.13. Wypadki drogowe i ich skutki w latach 2016–2018 według rodzaju przyczyny ich powstania (opracowanie własne na podstawie [5]): W–wypadki, Z–zabici, R–ranni, K–kolizje

Rok	2016				2017				2018			
Miesiąc	W	Z	R	K	W	Z	R	K	W	Z	R	K
1	38	5	49	838	38	6	48	911	56	6	63	1034
2	54	10	58	839	44	7	64	825	27	2	33	799
3	36	13	52	875	62	3	76	992	50	6	66	1065
4	42	9	40	897	52	12	60	922	61	7	81	1006
5	61	2	95	97	34	6	36	1100	52	10	68	1057
6	69	10	84	1040	49	3	71	1041	56	7	60	908
7	85	16	133	995	53	9	65	1101	80	7	103	1029
8	78	11	100	936	63	10	96	1002	61	7	67	959
9	49	10	62	950	85	6	104	1126	48	9	54	991
10	66	7	90	1197	83	5	104	1270	63	5	69	931
11	97	8	45	1093	52	9	62	1174	46	7	54	856
12	58	11	70	1252	66	8	69	1271	63	6	72	1062

Tab. 2.14. Wypadki drogowe i ich skutki w latach 2019–2020 według rodzaju przyczyny ich powstania (opracowanie własne na podstawie [5]): W–wypadki, Z–zabici, R–ranni, K–kolizje

Rok	2019				2020			
Miesiąc	W	Z	R	K	W	Z	R	K
1	51	7	54	1035	53	9	54	906
2	52	4	67	879	46	6	62	943
3	41	7	47	1010	34	10	39	744
4	52	7	63	1007	32	0	35	524
5	57	14	58	979	49	9	61	735
6	53	7	68	992	74	4	88	862
7	61	11	78	957	52	3	60	956
8	57	2	70	975	68	8	68	939
9	63	6	73	1043	50	6	57	961
10	66	9	75	1176	52	11	49	943
11	58	8	59	987	45	8	45	741
12	49	10	63	1043	52	2	59	953

Zdarzenia drogowe występują w różnych miejscach. Najwięcej zdarzeń drogowych na obszarze województwa lubuskiego w latach 2016–2020 miało miejsce na jezdniach (2 274 wypadków drogowych i 46 690 kolizji) – tab. 2.15. Najwięcej wypadków na jezdni odnotowano w 2019 roku (476). Natomiast najmniej rok później w ilości 420 wypadków. W stosunku do roku 2017 było ich o 51 mniej. Jeżeli chodzi o kolizje drogowe, to najwięcej było ich na jezdniach w 2017 roku (9 968 kolizji). Rok następny to niewielki spadek ilości tychże zdarzeń o 543 kolizje. Warto zauważyć, że w roku 2020 w analizowanym miejscu odnotowano 8 238 kolizji. Kolejnym miejscem, gdzie często dochodziło do niebezpiecznych zdarzeń drogowych na obszarze województwa lubuskiego było przejście dla pieszych. Analogicznie, w analizowanym okresie doszło do 420 wypadków drogowych. Najwięcej było ich w 2018 roku (92 wypadki). W roku 2020 w odniesieniu do 2018 r. było ich o 18 mniej. Zauważa się tu malejącą z roku na rok tendencję. Jeśli chodzi o kolizje mające miejsce na przejściach dla pieszych, to najwięcej odnotowano ich w 2017 roku (144 kolizje). Następane lata to spadek tych zdarzeń do liczby 103 w 2020 roku. Analiza policyjnych statystyk wykazała, że na omawianym obszarze równie często dochodzi do zdarzeń drogowych na poboczach. W analizowanym okresie miało miejsce 259 wypadków drogowych i 1 789 kolizji. Przy czym najwięcej tychże zdarzeń odnotowano w roku 2016 (68 wypadków i 416 kolizji). Lata 2017, 2018 i 2019 to spadek liczby analizowanych zdarzeń drogowych na poboczach do poziomu 45 wypadków i 378 kolizji w 2020 roku.

Tab. 2.15. Ilość zdarzeń drogowych w latach 2016–2020 z uwzględnieniem najczęstszych miejsc ich występowania (opracowanie własne na podstawie [5]): W–wypadki, K–kolizje, x–brak danych

Rok/ miejsce	2016		2017		2018		2019		2020	
	W	K	W	K	W	K	W	K	W	K
Chodnik, droga dla pieszych	11	123	19	127	7	120	13	114	10	99
Droga dla rowerzystów	1	5	x	x	3	34	3	34	12	29
Jezdnia	441	9311	471	9 968	466	9 425	476	9 748	420	8 238
Parking, plac, MOP	6	831	5	1566	1	1095	4	1 286	3	995
Pobocze	68	416	51	355	49	306	46	334	45	378
Przejście dla pieszych	87	125	91	144	92	135	76	120	74	103
Przystanek komunikacji publicznej	1	9	0	10	0	4	1	10	0	0
Roboty drogowe, oznak. tymczasowe	3	55	10	105	6	102	2	39	3	18
Skarpa, rów	32	170	22	187	22	118	15	99	13	102

Omawiając stan bezpieczeństwa w ruchu drogowym nie można pominąć kategorii dróg, na których najczęściej dochodzi do zdarzeń drogowych. Na obszarze województwa lubuskiego, występują następujące kategorie dróg: autostrada, drogi krajowe, drogi powiatowe oraz drogi gminne. Do wypadków drogowych dochodziło najczęściej (w analizowanym okresie) na drogach krajowych (1 849 wypadków), drogach wojewódzkich (931 wypadków) oraz drogach powiatowych (853 wypadki) – tab. 2.16. Największa liczba wypadków miała miejsce na drogach wojewódzkich w 2017 (200 wypadków) i 2018 roku (200 wypadków). Natomiast na drodze szybkiego ruchu (autostrada) liczba wypadków od 2016 roku przybrała tendencję malejącą. Przybliżone wartości zdarzeń drogowych występują na pozostałych kategoriach dróg przebiegających przez obszar województwa lubuskiego. Z kolei do największej liczby kolizji w analizowanym okresie doszło na drogach powiatowych 2016 – 2 971 kolizje, 2017 – 3 063 kolizje, 2018 – 2 895 kolizji, 2019 – 3 081 kolizji i 2020 – 2 550 kolizji), a także gminnych (2016 – 2 617 kolizji, 2017 – 2 693 kolizje, 2018 – 2 661 kolizji, 2019 – 2 663 kolizje i 2010 – 2 357 kolizji).

Tab. 2.16. Ilość zdarzeń drogowych w latach 2016–2020 w województwie lubuskim z uwzględnieniem kategorii dróg (opracowanie własne na podstawie [5])

Kategoria drogi / rok	Wypadki					Kolizje				
	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
Autostrada	18	17	15	16	9	237	238	226	261	179
Droga krajowa	171	187	171	178	142	2434	2689	2336	2361	2108
Droga wojewódzka	177	200	200	193	161	2598	2811	2704	2827	2311
Droga powiatowa	180	168	166	176	163	2971	3063	2895	3081	2550
Droga gminna	138	106	107	91	127	2617	2693	2661	2663	2357

Do zdarzeń drogowych na obszarze województwa lubuskiego, w analizowanym okresie dochodziło z wielu przyczyn. Najczęściej do zdarzeń na drodze dochodziło w wyniku współistnienia kilku okoliczności. Według policyjnych statystyk do zaistnienia zdarzeń drogowych w 95,2% przyczynia się człowiek.

W latach 2016-2020 na obszarze województwa lubuskiego do największej liczby zdarzeń drogowych dochodziło z winy kierujących pojazdami – tab. 2.17, przy czym liczba wypadków z winy osób kierujących systematycznie malała z poziomu 616 wypadków w 2016 roku do 551 w roku 2020. Jednakże w roku 2017 wystąpił niewielki wzrost w stosunku do roku poprzedniego o 20 takich zdarzeń. Jeśli chodzi o kolizje w omawianej kategorii winy, to ich największą ilość odnotowano w 2017 roku (10492 kolizje). Lata kolejne odznaczały

się wyraźnym spadkiem liczby kolizji do 8 515 w 2020 roku. Z winy pieszego w analizowanym okresie miało miejsce łącznie 177 wypadków drogowych. Ich największą liczbę odnotowano w 2016 roku (50 wypadków). W następnym roku liczba wypadków z winy pieszego wyraźnie zmalała, niemalże o połowę – 27 wypadków w 2017 roku. Lata następne to niewielki wzrost takich zdarzeń do liczby 37 wypadków w 2019 roku. Natomiast w roku 2020 nastąpił spadek wypadków drogowych z winy pieszego (o 7 takich zdarzeń).

Analizując kolizje drogowe z winy pieszego, to w przedstawionym okresie miała miejsce wyraźna tendencja malejąca. W 2016 roku odnotowano 84 kolizje. W roku następnym było ich o 14 mniej. W roku 2018 w stosunku do 2016 roku było o 25 kolizji mniej. W roku 2019 w stosunku do poprzedniego miał miejsce niewielki wzrost o 4 kolizje. Zaś w 2020 roku liczba kolizji z winy pieszego zmalała z poziomu 63 w 2019 do 35 takich zdarzeń.

Tab. 2.17. Ilość zdarzeń drogowych w latach 2016–2020 w województwie lubuskim z uwzględnieniem rodzaju winy (opracowanie własne na podstawie [5]): W–wypadki, K–kolizje

Rodzaj winy / rok	2016		2017		2018		2019		2020	
	W	K	W	K	W	K	W	K	W	K
Współwina uczestników ruchu	0	295	1	287	5	276	6	328	6	266
Wina kierującego	616	9957	636	10492	595	9 838	583	9 828	551	8515
Wina pieszego	50	84	27	70	33	59	37	63	30	35

Zdarzenia drogowe w województwie lubuskim w latach 2016-2020 z kategorii winy kierującego dotyczyły przede wszystkim takich zachowań jak (tab. 2.18): gwałtowne hamowanie, jazda bez wymaganych świateł, niedostosowanie prędkości do warunków ruchu, nieprawidłowe cofanie, nieprawidłowe omijanie, nieprawidłowe przejeżdżanie przejazdu dla rowerzystów, nieprawidłowe skręcanie, nieprawidłowe wymijanie, nieprawidłowe wyprzedzanie, nieprawidłowe zatrzymywanie, postój, nieprawidłowe zawracanie, nieprawidłowe zmienianie pasa ruchu, nieprzestrzeganie znaków i innych sygnałów, niestosowanie się do sygnalizacji świetlnej, nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu na przejściu dla pieszych, nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu przy skręcaniu w drogę poprzeczną, nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu w innych okolicznościach, nieustąpienie pierwszeństwa przejazdu, niezachowanie bezpiecznej odległości między pojazdami, omijanie pojazdu przed przejściem dla pieszych, wyprzedzanie pojazdu przed przejściem dla pieszych, zmęczenie, zaśnięcie oraz inne (w tym jazda pod wpływem alkoholu/narkotyków). Na obszarze województwa lubuskiego w latach 2016-2020 najwięcej zdarzeń drogowych z winy kierującego dotyczyło niedosto-

sowania prędkości do warunków ruchu, nieustąpienia pierwszeństwa przejazdu oraz nieustąpienia pierwszeństwa pieszemu na przejściu dla pieszych.

Tab. 2.18. Ilość zdarzeń drogowych w latach 2016–2020 w województwie lubuskim z winy kierującego (opracowanie własne na podstawie [5]): x–brak danych

Zachowanie kierującego	Liczba wypadków					Kolizje drogowe				
	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
Gwałtowne hamowanie	4	5	3	2	6	25	26	17	14	13
Inne przyczyny	54	56	47	52	10	650	982	992	858	798
Jazda bez wymaganych świateł	1	0	1	0	1	5	1	2	1	0
Niedostosowanie prędkości do warunków ruchu	167	173	165	157	176	1788	1762	1584	1698	1551
Nieprawidłowe cofanie	1	16	10	8	9	1412	1545	1283	1347	1132
Nieprawidłowe omijanie	8	10	5	4	8	657	649	466	469	421
Nieprawidłowe przejeżdżanie przejazdu dla rowerzystów	6	2	2	1	8	17	13	21	14	11
Nieprawidłowe skręcanie	13	5	15	22	32	387	448	407	491	400
Nieprawidłowe wymijanie	5	9	22	16	18	340	339	320	250	226
Nieprawidłowe wyprzedzanie	37	39	37	30	36	337	342	327	304	271
Nieprawidłowe zatrzymywanie, postój	0	0	1	1	0	22	34	35	21	20
Nieprawidłowe zawracanie	2	1	0	5	1	43	41	40	35	26
Nieprawidłowe zmienianie pasa ruchu	4	7	9	9	13	481	553	561	613	453
Nieprzestrzeganie znaków i innych sygnałów	1	1	1	0	2	31	50	42	47	33
Niestosowanie się do sygnalizacji świetlnej	4	1	2	2	3	48	43	30	47	41
Nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu na przejściu dla pieszych	76	82	82	61	66	100	104	87	86	68
Nieustąpienie pierwszeństwa przejazdu	146	137	119	135	118	1931	1940	2021	1919	1712
Niezachowanie bezpiecznej odległości, między pojazdami	20	52	38	40	38	1525	1471	1449	1495	1234
Omijanie pojazdu przed przejściem dla pieszych	6	1	0	1	0	2	6	4	3	2
Wyprzedzanie pojazdu przed przejściem dla pieszych	2	0	0	x	1	3	4	2	x	0
Zmęczenie, zaśnięcie	30	27	28	24	12	123	115	107	99	90

Na podstawie zebranych informacji dotyczących zdarzeń drogowych zwrócono uwagę na trzy kategorie zachowań kierujących, które doprowadziły do największej ilości zdarzeń drogowych w województwie lubuskim w okresie od 2016 do 2020 roku. Pierwszą kategorią takich zachowań jest niedostosowanie prędkości do warunków ruchu. Takie zachowania kierowców skutkowały rosnącą liczbą wypadków oraz kolizji drogowych. Warto zauważyć,

że ze wspomnianego już powodu w roku 2016 doszło do 167 wypadków i 1 788 kolizji. W 2017 roku nastąpił wzrost wypadków o 6 takich zdarzeń. Jeśli chodzi o kolizje, to tu zaobserwowano ich spadek o 26. W roku 2020 w stosunku do początku analizowanego okresu miał miejsce wzrost liczby wypadków drogowych (o 6). Liczba kolizji drogowych zmniejszyła się do poziomu 1551 takich zdarzeń.

Do drugiej kategorii niebezpiecznych zachowań powodowanych przez kierowców należy nieustąpienie pierwszeństwa przejazdu. Takie zachowania doprowadziły do 655 zdarzeń łącznej liczby wypadków drogowych w analizowanym okresie. Najwięcej wypadków miało miejsce w 2016 roku (146). W tym przypadku miał miejsce spadek takich zdarzeń do ilości 118 w 2020 roku (spadek o 28 wypadków). Jeżeli chodzi o ilość kolizji będących skutkiem nieustąpienia pierwszeństwa przejazdu, to od 2016 roku do 2018 występował ich wzrost – odpowiednio z ilości 1 931 do 2 021. W roku 2020 w odniesieniu do 2018 odnotowano spadek ilości kolizji o 309.

Ostatnią kategorią niebezpiecznych zachowań kierowców z największą ilością zdarzeń drogowych było nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu na przejściu dla pieszych. Takie zachowania kierowców doprowadziły do 76 wypadków i 100 kolizji drogowych w roku 2016. W rok 2017 odnotowano wzrost o 82 wypadki i 104 kolizje. Nie mniej jednak w roku 2020 obserwowalny był spadek ilości zarówno wypadków jak i kolizji, w odniesieniu do roku 2018 (o 16 wypadków i 19 kolizji). Okazuje się, że najwięcej wypadków w analizowanym okresie powodowali kierujący pojazdami osobowymi (2 520 wypadków drogowych i 41 626 kolizji) oraz ciężarowymi (119 wypadków drogowych i 16 287 kolizji).

Pojazdy biorące udział w zdarzeniach drogowych na obszarze województwa lubuskiego to przede wszystkim: samochody osobowe, autobusy komunikacji publicznej, samochody ciężarowe, ciągniki rolnicze, czterokołowce, motocykle, motorowery, a także rowery (tab. 2.19). Jednakże najwięcej wypadków na drogach – jak wynika z policyjnych danych – spowodowali kierujący pojazdami osobowymi. Z ich winy, w analizowanym okresie, miało miejsce 2 520 wypadków drogowych i 41 626 kolizji. Najwięcej takich wypadków drogowych występowało w 2017 roku (489). Nie bez znaczenia są dane wskazujące na kierujących pojazdami ciężarowymi. Z ich winy odnotowano łącznie 119 wypadków drogowych i 16 287 kolizji. Mimo, iż w obu przypadkach występuje tendencja malejąca, to i tak ich liczba jest znacząca.

Tab. 2.19. Ilość zdarzeń drogowych w latach 2016–2020 w województwie lubuskim z uwzględnieniem rodzaju pojazdu (opracowanie własne na podstawie [5]): W–wypadki, K–kolizje

Rok	2016		2017		2018		2019		2020	
Rodzaj pojazdu / zdarzenie	W	K	W	K	W	K	W	K	W	K
Autobus komunikacji publicznej	1	44	2	55	1	41	6	37	2	31
Ciągnik rolniczy	0	41	2	39	3	35	2	44	2	29
Czterokołowiec	0	3	1	1	0	2	1	1	2	6
Motocykl	14	41	0	0	31	40	35	53	28	38
Motorower	25	77	22	47	17	56	21	54	10	40
Rower	30	96	19	97	27	119	27	101	36	107
Samochód ciężarowy o DMC powyżej 3,5 T	24	674	34	767	19	697	25	665	17	627
Samochód osobowy	459	7833	489	7971	438	7542	419	7607	410	6548

Podczas analizy zdarzeń drogowych stwierdzono, że jedną z głównych przyczyn zaistniałych zdarzeń drogowych jest nieodpowiednie zachowania kierujących pojazdami oraz nieodpowiednie zachowanie niechronionych uczestników ruchu drogowego, czyli pieszych. Zdarzenia drogowe w województwie lubuskim w latach 2016-2020, z uwzględnieniem kategorii winy pieszego (tab. 2.20), dotyczyły przede wszystkim takich zachowań jak: wtargnięcie przed nadjeżdżający pojazd, chodzenie nieprawidłową stroną drogi, leżenie, siedzenie, kłęczenie, stanie na jezdni, nieostrożne wejście na jezdnię przed jadącym pojazdem; nieostrożne wejście na jezdnię: zza pojazdu, przeszkody; przekraczanie jezdni w miejscu niedozwolonym; wejście na jezdnię przy czerwonym świetle oraz inne przyczyny, jak pieszy pod wpływem alkoholu bądź narkotyków.

Analizując zdarzenia drogowe w województwie lubuskim z uwzględnieniem kategorii winy pieszego, to najczęściej dotyczą one nieostrożnego wejścia na jezdnię przed jadącym pojazdem. W analizowanym okresie takie zachowanie pieszych skutkowało 83 wypadkami drogowymi oraz 160 kolizjami. Największa ich ilość miała miejsce w 2016 roku (25 wypadków i 50 kolizji). W roku następnym ilość wypadków spadła o połowę (12 wypadków). Ilość kolizji również uległa zmniejszeniu o 14 takich zdarzeń. W roku 2018 ilość wypadków drogowych pozostała na takim samym poziomie co w roku poprzednim. Natomiast ilość kolizji zmniejszyła się o 11. Rok 2019 to zauważalny wzrost zdarzeń drogowych będących skutkiem nieodpowiedniego zachowania się pieszego (wzrost o 5 wypadków i 4 kolizje). W roku 2019 ilość wypadków pozostała bez zmian (17). Z kolei w 2020 roku ilość kolizji zmalała o 9 w odniesieniu do 2019 roku.

Tab. 2.20. Ilość zdarzeń drogowych w latach 2016–2020 w województwie lubuskim z winy pieszego (opracowanie własne na podstawie [5]): W–wypadki, K–kolizje

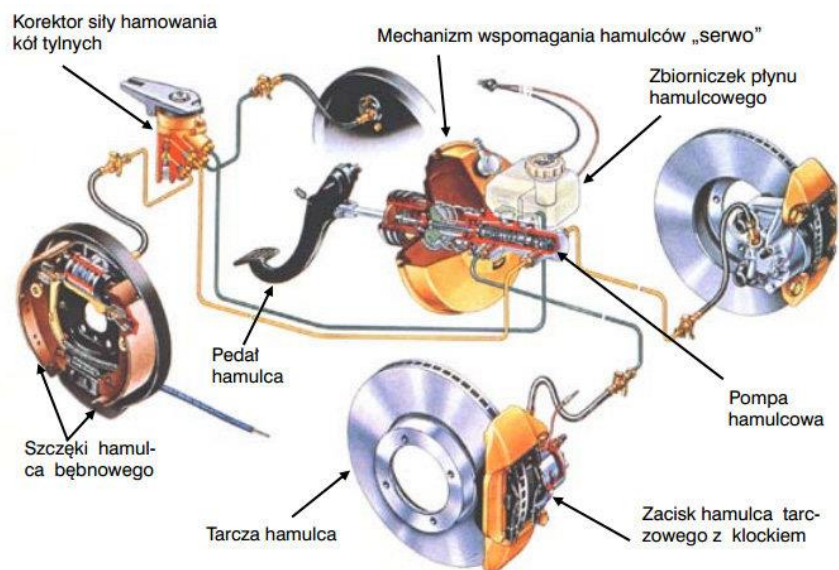
Rok	2016		2017		2018		2019		2020	
	Wypadki	Kolizje	Wypadki	Kolizje	Wypadki	Kolizje	Wypadki	Kolizje	Wypadki	Kolizje
Zachowanie pieszego										
Chodzenie nieprawidłową stroną drogi	2	2	3	4	4	2	3	2	2	3
Inne przyczyny	1	16	3	7	3	8	6	13	1	3
Leżenie, siedzenie, klęczenie, stanie na jezdni	6	1	3	0	5	3	3	1	2	0
Nieostrożne wejście na jezdnię: przed jadącym pojazdem	25	50	12	36	12	25	17	29	17	20
Nieostrożne wejście na jezdnię: zza pojazdu, przeszkody	11	8	2	13	5	9	3	7	5	1
Przekraczanie jezdni w miejscu niedozwolonym	4	5	2	8	4	9	4	10	2	5
Wejście na jezdnię przy czerwonym świetle	1	2	2	2	0	3	1	0	1	3

Na podstawie zgromadzonych i przeanalizowanych danych można stwierdzić, że stan bezpieczeństwa w ruchu drogowym na terenie województwa lubuskiego w znacznym stopniu ulega poprawie. Na poprawę bezpieczeństwa w ruchu drogowym mają wpływ wszyscy użytkownicy infrastruktury drogowej, a w znacznym stopniu realizowane przez funkcjonariuszy Policji, rządowe, samorządowe oraz profilaktyczne programy na rzecz zwiększania świadomości kierowców i pieszych.

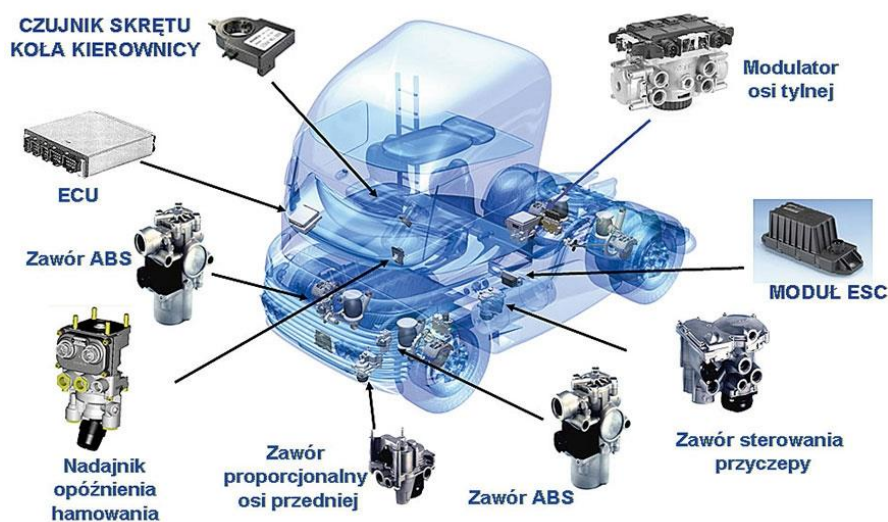
2.3. Hamowanie pojazdu

2.3.1. Budowa i działanie układu hamulcowego

Układ hamulcowy w pojeździe, jeżeli działa prawidłowo, wytwarza na osiach kół jezdnych momenty hamujące, umożliwiające w sposób kontrolowany przez kierowcę zmniejszenie prędkości jazdy, a także unieruchomienie pojazdu na postoju. Układ hamulcowy może być układem hydraulicznym lub pneumatycznym. Obydwa te układy składają się z wielu elementów, a niektóre z nich przedstawiono na rys. 2.10 i 2.11.



Rys. 2.10. Główne elementy hydraulicznego układu hamulcowego [34]



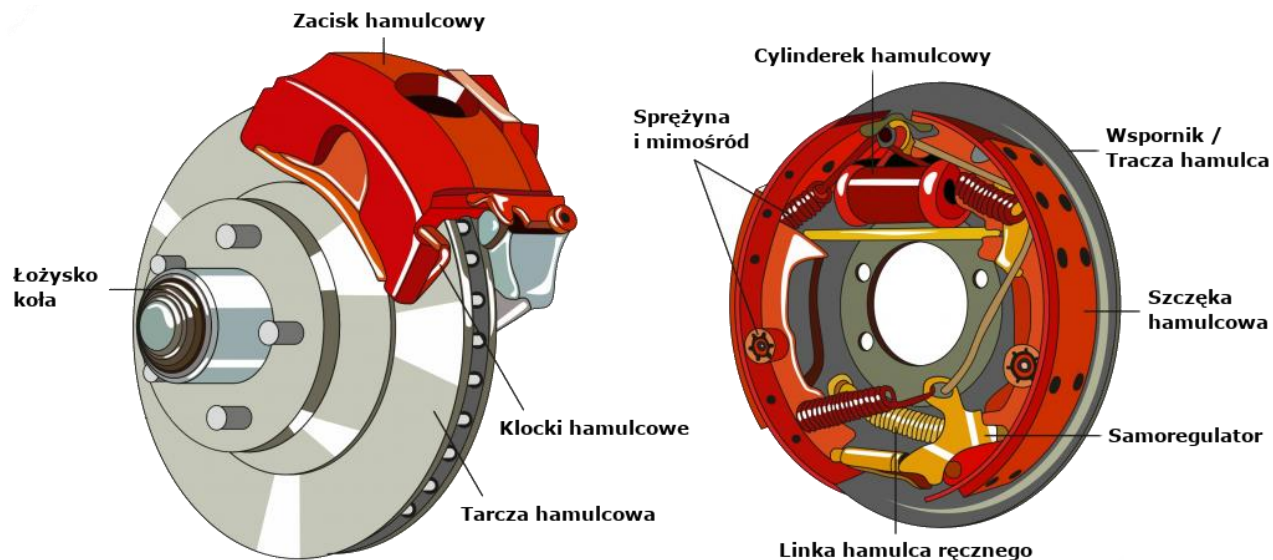
Rys. 2.11. Główne elementy elektropneumatycznego układu hamulcowego [34]

W każdym układzie hamulcowym, bez względu na jego rodzaj (hydrauliczny, pneumatyczny), występuje mechanizm sterujący. Mechanizm ten powinien [34]:

- umożliwić uzyskanie dużych przełożeń siłowych, zapewnić proporcjonalność siły działającej na mechanizm hamulcowy w stosunku do siły wywieranej przez kierowcę na pedał hamulca;
- zapewnić założony rozkład sił hamowania na kołach poszczególnych osi pojazdu, co umożliwia pełniejsze wykorzystanie przyczepności opon do jezdni w zależności od rozkładu obciążeń osi;

- zapewnić możliwie najkrótszy czas przenoszenia siły od pedału hamulca do mechanizmów hamulcowych.

Oprócz mechanizmu sterującego, w układzie hamulcowym występują elementy wykonawcze (tarczowe, bębnowe), które mają zbliżoną budowę zarówno w przypadku układu hydraulicznego, jak i układu pneumatycznego. Budowę mechanizmów wykonawczych przedstawiono na rys. 2.12.

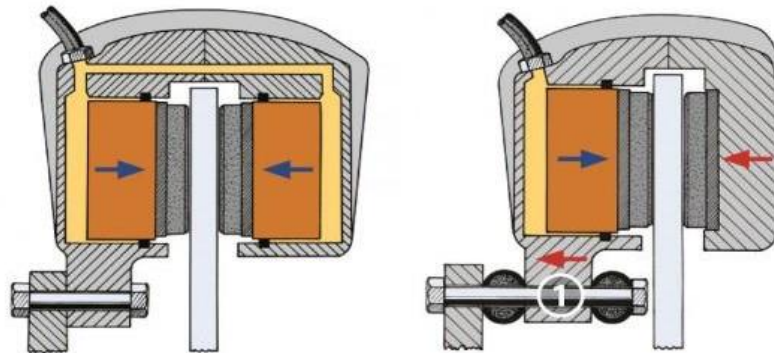


Rys. 2.11. Elementy wykonawcze w układzie hamulcowym [34]: tarczowy (po lewej) i bębnowy (po prawej)

W przypadku pojazdów jednośladowych, w szczególności motocykli, układ hamulcowy – podobnie jak w przypadku pojazdów wielośladowych – jest jednym z najważniejszych układów, bez którego niemożliwe byłoby użytkowanie motocykla. Głównymi częściami układu hamulcowego w motocyklu jest pedał hamulca, dźwignia hamulca, pompa hamulcowa, przewody doprowadzające płyn hamulcowy do zacisku oraz elementy hamujące [51].

Układy hamulcowe w motocyklach dzielą się na tarczowe i bębnowe [50, 114]. Hamulce tarczowe stanowią dominujące rozwiązaniem w jednośladach. Zaletą tych hamulców jest prosta wymiana okładzin ciernych i stosunkowo niewielkie wymagania odnośnie obsługi oraz lepsze doprowadzanie ciepła wydzielanego podczas hamowania. Długi czas oczekiwania na taki rozwiązanie układów hamulcowych był podyktowany brakiem elementów konstrukcyjnych nadających się do zastosowania w motocyklach, pod względem kształtu jak i wymiarów. Hamulce tarczowe – podobnie zresztą jak w pojazdach wielośladowych – może być wykonany w postaci z zaciskiem stałym lub zaciskiem pływającym (rys. 2.12). W hamulce

z zaciskiem stałym, z każdej strony znajduje się jeden (zacisk dwutłoczkowy), dwa (zacisk czterotłoczkowy), a nawet trzy tłoczki (zacisk sześciotłoczkowy). W przypadku hamulca tarczowego z zaciskami pływającymi, zacisk jest mocowany na dwóch trwale smarowanych bolcach i przesuwają się osiowo po uruchomieniu hamulca. W tym przypadku stosuje się jeden, dwa lub trzy tłoczki.



Rys. 2.12. Hamulce tarczowe w motocyklu [34]: z zaciskiem stałym (po lewej), z zaciskiem pływającym (po prawej)

Hamulce bębnowe w motocyklach znajdują się w kołach motocykla. Bęben znajduje się na zewnątrz, a materiał cierny w środku. Ta zasadnicza koncepcja nie zmieniła się właściwie do dzisiaj. Zmieniły się jedynie rozmiary i jakość używanych do budowy hamulców materiałów. Mechanicznymi elementami hamulców bębnowych są oprócz piasty i bębna szczęki, na których przyklejane są okładziny cierne [50].

Tradycyjny motocyklowy układ hamulcowy składa się ze sterowanego ręcznie hamulca przedniego i niezależnego hamulca tylnego sterowanego nożnie. Przednie koła w motocyklach są wyposażane w hamulce tarczowe o różnej średnicy oraz grubości. Wyposażenie układu hamulcowego jest w pełni uzależnione od danego typu motocykla. Po naciśnięciu prawej ręczki hamulca pompa tłoczy płyn hamulcowy pod wysokim ciśnieniem. W wyniku tego tłok znajdujący się w zacisku zostaje wypchnięty co powoduje dociśnięcie okładzin ciernych do tarcz, która obraca się razem z kołem. W wyniku tarcia występującego między tymi dwoma elementami następuje zmniejszenie prędkości. Okładziny cierne występujące w układach hamulcowych wykonane są z materiału o bardzo wysokim współczynniku tarcia. W wyniku występowania tego zjawiska zostaje wytworzona bardzo duża ilość ciepła. Dlatego bardzo ważne jest aby hamulce były dobrze chłodzone powietrzem. W tym celu nowoczesne tarcze wykonane są z bardzo skomplikowanych materiałów co powoduje lepsze odprowadzenie ciepła [51].

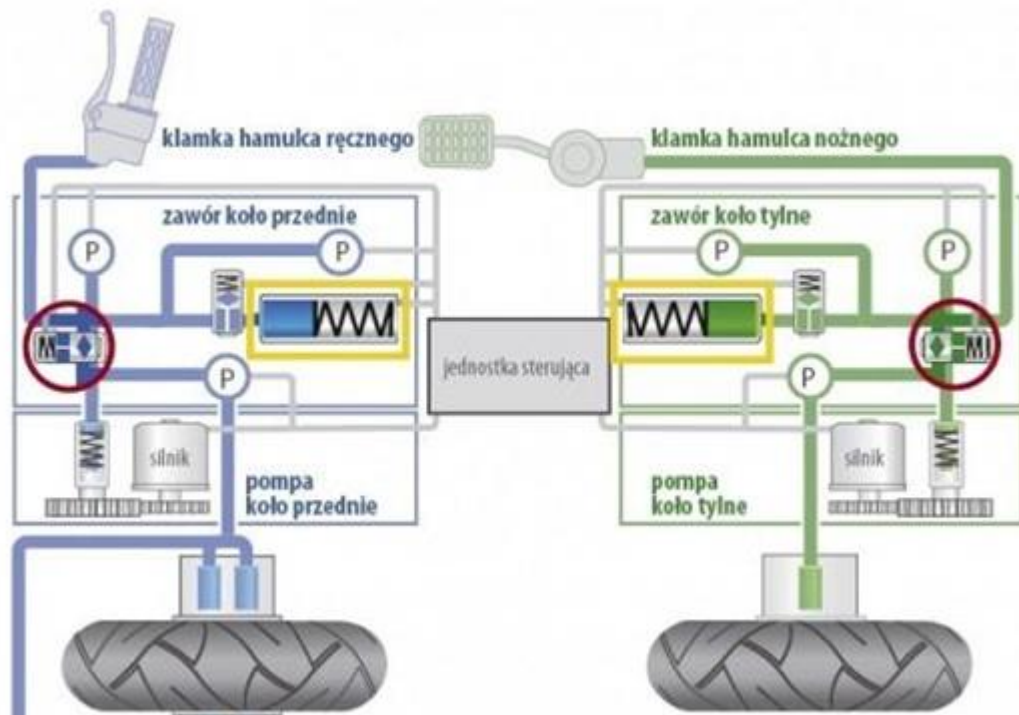
Hamulce bębnowe działają skutecznie przy wykorzystaniu elementów mechanicznych cięgien i dźwigni. Odpowiednia skuteczność działania układu hamulcowego, wynikająca z warunków bezpieczeństwa ruchu drogowego, jest jednym z zasadniczych wymagań stawianych pojazdom jednośladowym. Skuteczność działania układu hamulcowego uwarunkowana jest rozwiązaniem konstrukcyjnym układu oraz stanem technicznym.

Układ hamulcowy koła tylnego może być wyposażony w hamulce bębnowe lub hamulce tarczowe. W motocyklach ciężkich typu „chopper” i „cruiser” na kole tylnym występują bębny, natomiast motocykle typu „superbike” oraz „naked-bike” wyposażane są w hamulce tarczowe na tylnym kole. Mechanicznymi elementami hamulców bębnowych są oprócz piasty szczęki, na których przyklejone są okładziny cierne. Hamulce bębnowe działają skutecznie przy wykorzystaniu elementów mechanicznych: cięgien i dźwigni. Płyn hamulcowy wpływając do cylindra przemieszcza tłoczki, które rozpierają szczęki. Szczęki oddziałują na wewnętrzne powierzchnie bębna, które są połączone z kołem [50].

W motocyklach występują też zintegrowane systemy hamulcowe. Pozwalają one na jednoczesne uruchomienie hamulców koła przedniego i tylnego z odpowiednio dopasowaną do sytuacji intensywnością, przy zachowaniu rozdziału na dźwignie uruchamianą niezależnie prawą ręką lub prawą nogą. W skuterach układ hamowania koła tylnego uruchamiany jest odpowiednio zamiast prawą nogą dźwignią prawej ręki.

Przykładem systemu zintegrowanego jest układ hamulcowy Dual CBS, w którym ruch jednej dźwigni uruchamia jednocześnie dwa hamulce. W taki układ został wyposażony motocykl Honda Gold Wing G1800 oraz Honda X11. W systemach hamulcowych zintegrowanych zarówno hamulce koła przedniego jak i tylnego są tarczowe z zaciskami wielotłoczkowymi. Duża ilość tłoczków daje możliwość odpowiedniego podziału układu hamulcowego i uruchomienie jedną dźwignią zarówno zacisków koła przedniego jak i tylnego. Jednoczesne hamowanie dwóch kół zapewnia większą stabilność pojazdu podczas zatrzymania i zmniejsza ryzyko poślizgu, ułatwiając jednocześnie pełne wykorzystanie siły hamowania.

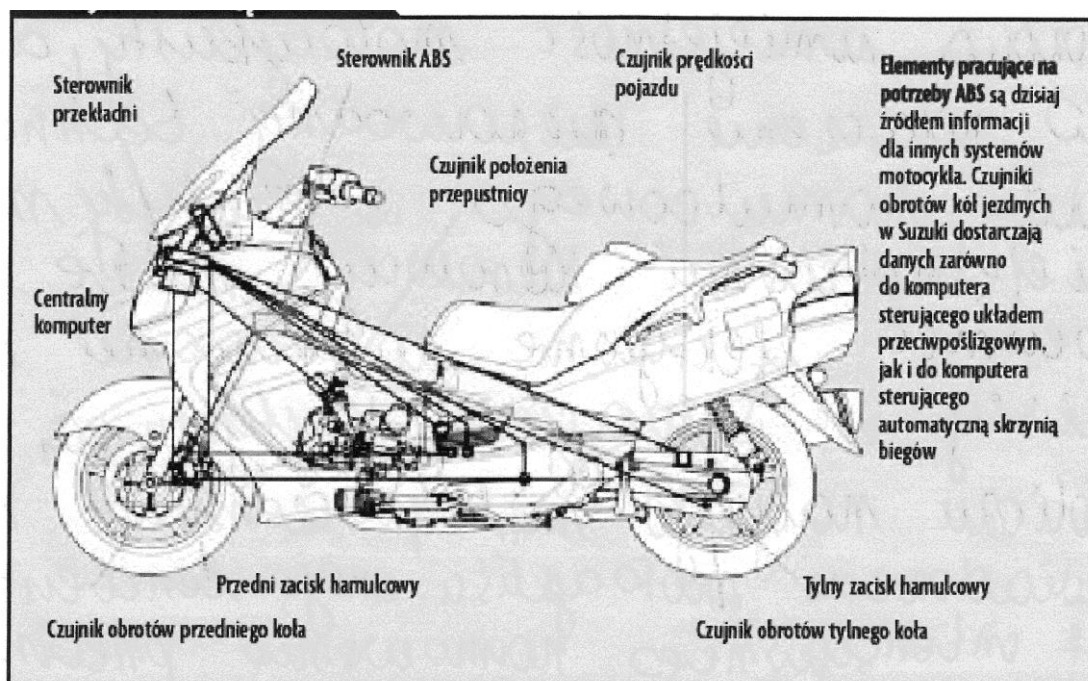
Elementy pracujące na potrzeby zintegrowanego układu hamulcowego często w pojazdach jednośladowych połączone są z układem hamulcowym ABS (rys. 2.13). Systemy te są w dzisiejszych czasach źródłem informacji dla innych systemów motocykla. Czujniki obrotów kół jezdnych dostarczają danych zarówno do komputera sterującego układem przeciwoślizgowym oraz do komputera sterującego w przypadku motocykli z automatyczną skrzynią biegów. Układy hamulcowe zintegrowane w motocyklach umożliwiają nawet na mokrej nawierzchni lub w innych niebezpiecznych sytuacjach optymalne hamowanie, bez ryzyka zablokowania kół.



Rys. 2.13. Zintegrowany układ ABS jednoślada [50]

Działanie systemu przeciwoślizgowego w motocyklu, z czysto technicznego punktu widzenia, jest bardzo podobne do działania tego układu w pojazdach wielośladowych. Odpowiednie czujniki śledzą obroty kół i przekazują dane do sterownika. Jeśli obroty zaczynają spadać i osiągają dowolną wartość graniczną, sterownik wysyła sygnały do modulatora. Uruchamiane są zawory elektromagnetyczne zmieniające w odpowiedni sposób ciśnienie w układzie hamulcowym. Kontrolowany przez system spadek ciśnienia zapobiega zablokowaniu koła, natomiast wzrost powoduje zwiększenie siły hamowania. Podczas hamowania następuje zatem ciągle zwiększanie i zmniejszanie ciśnienia. Odbywa się to kilkanaście razy na sekundę. Zastosowano elektronikę, która potrafi przeliczyć wszystkie dane i wysłać odpowiednie sygnały do zaworów sterujących. Zawory muszą działać odpowiednio szybko, by działanie systemu było odpowiednio precyzyjne. Nie bez znaczenia jest zestrojenie działania układu hamulcowego ze sztywnością zawieszenia oraz z pochyleniem poprzecznym i podłużnym motocykla tak, aby całość pozwalała w optymalny sposób wykorzystać siłę przyczepności opon do jezdni przy zachowaniu stabilności ruchu pojazdu.

W pojazdach jednośladowych z automatyczną skrzynią biegów (rys. 2.14) znajdują się dwie dźwignie hamulca. Dźwignia po prawej stronie kierownicy uruchamia dwa tłoczki hamulcowe w zacisku przy przedniej tarczy hamulcowej. Lewa dźwignia uruchamia kolejne dwa tłoczki w zacisku przedniej tarczy oraz tłoczki w zacisku tarczy tylnej [50, 51].



Rys. 2.14. Elementy pracujące na potrzeby ABS w motocyklach z automatyczną skrzynią biegów [50]

2.3.2. Badania układu hamulcowego

Układ hamulcowy pojazdu podlega regularnej ocenie podczas okresowych badań technicznych pojazdów wykonywanych w stacjach kontroli pojazdów. Zgodnie z zapisami zawartymi w Obwieszczeniu Ministra Infrastruktury z dnia 15 listopada 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz wzorów dokumentów stosowanych przy tych badaniach (Dz. U. z 2024 r., poz. 141) zakres badania technicznego pojazdu, w obejmuje [36]:

- 1) identyfikację pojazdu, w tym:
 - a) sprawdzenie cech identyfikacyjnych oraz ustalenie i porównanie zgodności faktycznych danych pojazdu z danymi zapisanymi w dowodzie rejestracyjnym, pozwoleniu czasowym, pokwitowaniu policyjnych w danych z centralnej ewidencji pojazdów
 - b) sprawdzenie prawidłowości oznaczeń i stanu tablic rejestracyjnych pojazdu;
- 2) sprawdzenie dodatkowego wyposażenia pojazdu;

- 3) sprawdzenie i ocenę prawidłowości działania poszczególnych zespołów i układów pojazdów, w szczególności pod względem bezpieczeństwa jazdy i ochrony środowiska, w tym sprawdzenie i ocenę:
- a) stanu technicznego ogumienia, w tym prawidłowości doboru obciążenia, prędkości i przeznaczenia właściwego dla danego typu pojazdu,
 - b) prawidłowości działania, ustanawiania i własności świetlnych świateł zewnętrznych, w tym prawidłowości działania urządzeń sygnalizacyjnych,
 - c) stanu technicznego, skuteczności i równomierności działania hamulców,
 - d) prawidłowości działania układu kierowniczego, stanu technicznego jego połączeń oraz wielkości ruchu jałowego koła kierownicy, w tym prawidłowości ustawienia i zamocowania kół jezdnych,
 - e) stanu technicznego zawieszenia,
 - f) instalacji elektrycznej,
 - g) stanu technicznego nadwozia, podwozia i ich osprzętu oraz przedmiotów wyposażenia,
 - h) stanu technicznego układu wydechowego - w uzasadnionych przypadkach pomiaru poziomu hałasu zewnętrznego podczas postoju oraz ocenę stanu technicznego sygnału dźwiękowego,
 - i) emisji zanieczyszczeń gazowych lub zadymienia spalin, jeżeli pojazd jest napędzany silnikiem o spalaniu wewnętrznym;
- 4) sprawdzenie warunków dodatkowych dla pojazdów określonych w § 17-22, § 38-42 i § 52 rozporządzenia o warunkach technicznych.

W par. 2 ust. 1 pkt 3 lit przywołanego rozporządzenia wspomniano o stanie technicznym, skuteczności i równomierności działania hamulców w pojeździe. Ocena stanu technicznego wymaga luzu w mechanizmach hamulcowych, skoku rezerwowego pedału hamulca oraz skok roboczy tłoczysk siłowników hamulcowych [34]. Natomiast ocena skuteczności i równomierności działania hamulców sprowadza się m.in. do wyznaczenia wartości wskaźnika skuteczności hamowania (*WSH*). Wskaźnik ten może zostać wyznaczony poprzez pomiar sił hamowania za pomocą rolek hamulcowych lub poprzez pomiar opóźnienia hamowania.

Wartość wskaźnika skuteczności hamowania jest określana jako stosunek sumy sił hamowania poszczególnych kół do siły ciężkości pojazdu wynikającej z jego dopuszczalnej masy całkowitej lub jako stosunek zmierzonego opóźnienia hamowania do wartości przyspieszenia ziemskiego (dla uproszczenia przyjmuje się że wartość przyspieszenia ziemskiego wynosi 10 m/s^2).

Wartości *WSH* są najczęściej podawane nie w postaci ułamkowej tylko procentowej. Minimalne wartości *WSH* zawarte są w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz. U. z 2016 r., poz. 2022 z późn. zm.). Ich wartości podano w tab. 2.21.

Tab. 2.21. Wartości wskaźnika skuteczności hamowania [35]

Lp.	Pojazd**	Hamowanie przy użyciu hamulca	Wartość wskaźnika w % dla pojazdu zarejestrowanego po raz pierwszy od dnia 28 lipca 2010 r.
1*	2	3	4
1	L1e	koła tylnego obu kół	25 42
2	L2e, L6e	koła tylnego/ kół tylnych wszystkich kół	25 40
3	L3e	koła tylnego obu kół	25 50
4	L4e	koła tylnego obu kół	25 46
5	L5e, L7e	koła tylnego/ kół tylnych wszystkich kół	25 44
6	M ₁	roboczego awaryjnego	58 29
7	M ₂ , M ₃ , N ₁ , N ₂ , N ₃	roboczego awaryjnego	50 25
8	O ₂ , O ₃ , O ₄ , O ₃ , O ₄	roboczego w razie awarii	45 w przypadku naczepy, 50 w przypadku przyczepy 22 w przypadku naczepy, 25 w przypadku przyczepy

W przypadku samochodów osobowych (czyli pojazdu kategorii M1) wskaźnik skuteczności hamowania hamulca roboczego musi wartość przynajmniej 58%, a w przypadku motocykla dwukołowego (czyli pojazdu kategorii L3e) wartość wskaźnika dla obydwu kół musi wynosić przynajmniej 50%. Oznacza to, że zmierzone opóźnienie hamowania musiałyby wynosi odpowiednio $5,8 \text{ m/s}^2$ oraz $5,0 \text{ m/s}^2$

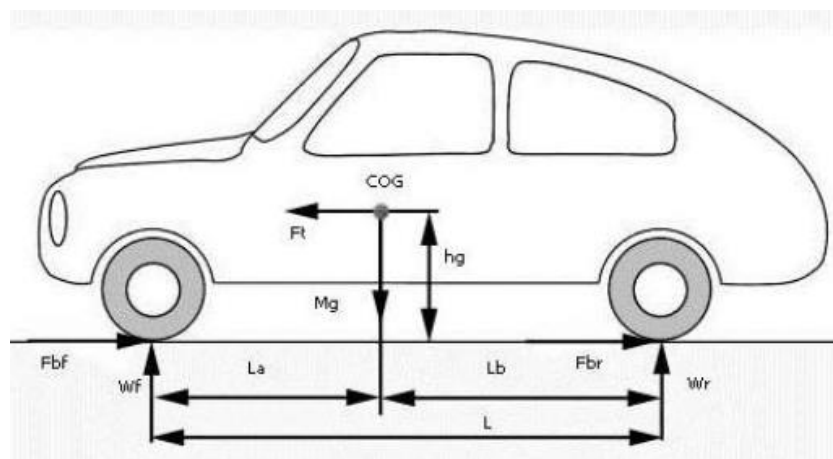
Rezultaty kontroli stanu technicznego pojazdu, zwłaszcza w obszarze układu hamulcowego, prowadzą w przypadku jego niesprawności do stwierdzenia usterek, które dzielą się na trzy grupy [35]:

- usterki drobne (usterki techniczne niemające istotnego wpływu na bezpieczeństwo ruchu drogowego i ochrony środowiska);
- usterki poważne (usterki techniczne mogące naruszać bezpieczeństwo ruchu drogowego i ochrony środowiska);

- usterki niebezpieczne (usterki stanowiące bezpośrednie i natychmiastowe zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu drogowego i ochrony środowiska w stopniu uniemożliwiającym używanie pojazdu w ruchu drogowym, niezależnie od okoliczności).

2.3.3. Proces hamowania pojazdu

Proces hamowania w różnych warunkach drogowych rozkłada siły hamowania pomiędzy osie przednią i tylną i musi zapewnić minimalizację drogi hamowania przy jednoczesnym utrzymaniu stabilności ruchu pojazdu. Rzeczywista siła hamowania generowana w miejscu styku kół z podłożem zależy jest od ich przyczepności i od składowej obciążenia prostopadłej do podłoża (rys. 2.15).



Rys. 2.15. Siły działające na pojazd podczas hamowania na drodze płaskiej [36]

W tym celu do uzyskania maksymalnej siły hamowania na obu osiach, muszą być spełnione następujące zależności [37]:

$$\frac{F_{bf}}{F_{br}} = \frac{W_f}{W_r} \quad (2.1)$$

$$\frac{F_{bf}}{F_{br}} = \frac{L_a + h_g \frac{j}{g}}{L_b - h_g \frac{j}{g}} \quad (2.2)$$

$$F_{bf} + F_{br} = M \times j \quad (2.3)$$

gdzie:

F_{bf} – siła hamowania kół osi przedniej [N];

F_{br} – siła hamowania kół osi tylnej [N];

W_f – siła reakcji w punkcie styku kół osi przedniej z podłożem [N];

W_r – siła reakcji w punkcie styku kół osi tylnej z podłożem [N];

L_a – odległość rzutu środka masy od punktu styku kół osi przedniej [m];

L_b – odległość rzutu środka masy od punktu styku kół osi tylnej [m];

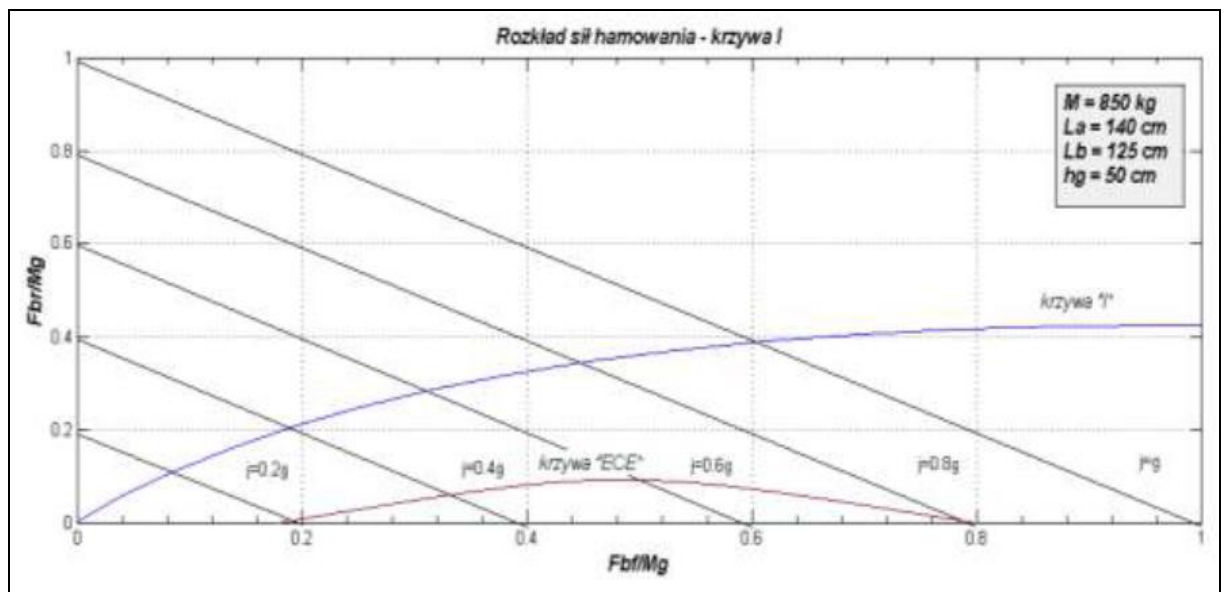
h_g – wysokość środka masy COG (cm);

j – opóźnienie pojazdu [m/s^2];

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2];

M – masa pojazdu [kg].

Zależności (2.1) – (2.3) umożliwiają określenie krzywej rozkładu sił hamowania pomiędzy osie przednią i tylną dla pojazdu o określonych parametrach, takich jak masa, rozstaw osi, położenie środka masy itp. Przykładowy przebieg rozkładu sił hamowania przedstawiono na rys. 2.16.



Rys. 2.16. Rozkład sił hamowania pojazdu [36]

Droga hamowania to odcinek drogi jaki przebywa pojazd w czasie hamowania, czyli od momentu zauważenia przez kierowcę przeszkody wymuszającej hamowanie pojazdu do całkowitego zatrzymania pojazdu. Całkowity czas, jaki upłynie od momentu dostrzeżenia przeszkody, będącej punktem rozpoczęcia procesu hamowania, do całkowitego zatrzymania samochodu, można przedstawić za pomocą zależności [48]:

$$t_c = t_r + t_u + t_h \quad (2.4)$$

gdzie:

t_r – czas psychofizycznej reakcji kierowcy;

t_u – czas uruchomienia układu hamulcowego i wzrost siły hamowania;

t_h – czas hamowania z maksymalną efektywnością.

Po upływie czasu t_r kierujący pojazdem zaczyna uruchamiać układ hamulcowy. Wzrost siły hamowania zachodzi z pewnym opóźnieniem, jest to zwłoka zadziałania układu hamulcowego [49]. Na długość drogi zatrzymania pojazdu wpływa stan techniczny pojazdu, skuteczność układu hamulcowego oraz przyczepność pojazdu do nawierzchni. Nie należy przy tym zapominać o czynniku ludzkim, czyli czasie reakcji kierowcy. Wówczas drogę hamowania samochodu można zapisać w postaci niniejszej zależności [49]:

$$S_z = V_p \cdot (t_r + t_u + 0,5 \cdot t_n) + \frac{V_p^2}{2 \cdot a_h} \quad (2.5)$$

gdzie:

S_z – droga hamowania [m];

t_r – czas psychofizycznej reakcji kierowcy [s];

t_u – czas uruchomienia układu hamulcowego i wzrost siły hamowania [s];

t_n – czas narastania siły hamowania [s];

V_p – prędkość samochodu, od której rozpoczyna się hamowania [m/s];

a_h – opóźnienie hamowania samochodu [m/s²].

Istotnym parametrem w analizach niebezpiecznych sytuacji na drodze jest czas reakcji kierowców. W porze nocnej czas ten wzrasta wraz ze spadkiem koncentracji, co z kolei prowadzi do wydłużenia drogi hamowania. Według badań S. Plainisa i I. Murraya czas reakcji kierowcy waha się od 0,2 s w optymalnych warunkach oświetlenia do 0,6 s w ciemności. Taki wzrost czasu reakcji powoduje wydłużenie drogi hamowania o około 5 m przy prędkości 50 km/h do około 14 m przy prędkości 130 km/h [47]. Wraz z warunkami oświetlenia obok liczby wypadków może zmieniać się także ich ciężkość. Ograniczenia widoczności mogą przyczyniać się do późniejszego dostrzegania przeszkód i niekontrolowanych zachowań na drodze, co powoduje opóźnienia w podjęciu manewru hamowania i tym samym skutkuje wzrostem ciężkości w skutkach zdarzenia drogowego.

2.4. Rekonstrukcja zdarzeń drogowych

2.4.1. Istota rekonstrukcji zdarzeń drogowych

Rekonstrukcja wypadku drogowego, polega między innymi na analizie procesu hamowania i jest to kluczowe zadanie dla określenia początkowej prędkości pojazdu, prędkości, przy której doszło do kontaktu z przeszkodą oraz prędkości z jaką pojazd przemieścił się z powypadkowego usytuowania. Należy jednakże pamiętać, że może być ona obciążona istotnym błędem.

Pomijając obiektywny problem związany z ujawnieniem śladów hamowania (w przypadku pojazdów wyposażonych w ABS mogą one powstawać, lecz trudno je zauważyć i udokumentować) można wskazać, że wykorzystywany przez biegłych w praktyce, uproszczony model matematyczny nie uwzględnia pewnych zmiennych – związanych na przykład z rodzajem zastosowanych w pojeździe systemów bezpieczeństwa, obciążeniem pojazdu, temperaturą lub zmienną temperaturą otoczenia i jakością techniczną elementów infrastruktury drogowej [111, 113].

2.4.2. Studium przypadków zdarzeń rekonstruowanych

W niniejszym podrozdziale zaprezentowano przykłady drogowych zdarzeń i analizę ich rekonstrukcji. Uwzględniono rysunki i wzory obliczeń przedstawiających przebieg wypadków drogowych. Dane o zdarzeniach drogowych pozyskano z akt sądowych [119].

Zdarzenie pierwsze

Zdarzenie drogowe dotyczyło zderzenia pieszego z pojazdem osobowym. Okoliczności zdarzenia miały miejsce w dniu 31 grudnia 2013 roku około godziny 18:20 na drodze nr W-138 (81,3 km) relacji Jaromirowice-Wałowice. Zaistniał wypadek drogowy, w czasie którego samochód osobowy marki Ford Escort kierowany przez mężczyznę w wieku 82 lat, poruszający się w stronę Wałowic, zderzył się z pieszym (lat 58). W wyniku wypadku obrażeń ciała doznał pieszy, samochód został zaś uszkodzony. W czasie wypadku kierujący samochodem był trzeźwy, natomiast we krwi pieszego stwierdzono 2,83 promila alkoholu etylowego. Jeżeli kierujący pojazdem Ford Escort, który poruszałby się z prędkością około 55 km/h (czyli 15,27 m/s) i dostrzegłby w rejonie osi jezdni pieszego, to w istniejących warunkach drogowych, przy uwzględnieniu czasu reakcji psychomotorycznej kierującego nie-

zbędny byłby odcinek drogi o długości około 38,5 m, co wynika z zastosowania zależności (2.5) w następujący sposób:

$$S_z = V_{Forda} \cdot \left(t_{rk} + \frac{t_n}{2} \right) + \frac{V_{Forda}^2}{2 \cdot a_{hs}} \quad (2.6)$$

gdzie:

$t_{rk} = 1,2$ s – czas reakcji psychofizycznej kierującego w warunkach nocnych;

$t_n = 0,3$ s – czas narastania opóźnienia hamowania;

$a_{hs} = 6,5$ m/s² – przyjęte opóźnienie hamowania na jezdni asfaltowej;

S_z – długość drogi hamowania.

Po podstawieniu powyższych danych do zależności (2.6) podstawieniu otrzymuje się:

$$S_z = 15,27 \cdot \left(1,2 + \frac{0,3}{2} \right) + \frac{15,27^2}{2 \cdot 6,5} = 38,5 \text{ m} \quad (2.7)$$

Przyjęcie wartości współczynnika opóźnienia hamowania na jezdni asfaltowej wynoszącego 6,5 m/s², pozwala na sformułowanie następujących wniosków z przeprowadzonej analizy zdarzenia:

- 1) Do potrącenia pieszego mogło dojść na prawej części jezdni i mogło to być w odległości około 10-12 m za SPO. Bezpośrednio przed potrąceniem pieszy mógł znajdować się na prawym pasie ruchu w rejonie osi jezdni.
- 2) W chwili potrącenia pieszego, kierujący samochodem marki Ford Escort poruszał się z prędkością w przedziale około 45-55 km/h, czyli z dozwoloną prędkością, ponieważ na danym odcinku drogi ograniczenie było do 90 km/h.
- 3) Zagrożenie bezpieczeństwa ruchu na drodze stworzył pieszy, ponieważ poruszał się po jezdni w warunkach ograniczonej widoczności drogi, bez oświetlenia i nie zachowując szczególnej ostrożności, nie ustąpił również pierwszeństwa nadjeżdżającemu pojazdowi. Zachowanie pieszego było bezpośrednią przyczyną wypadku.

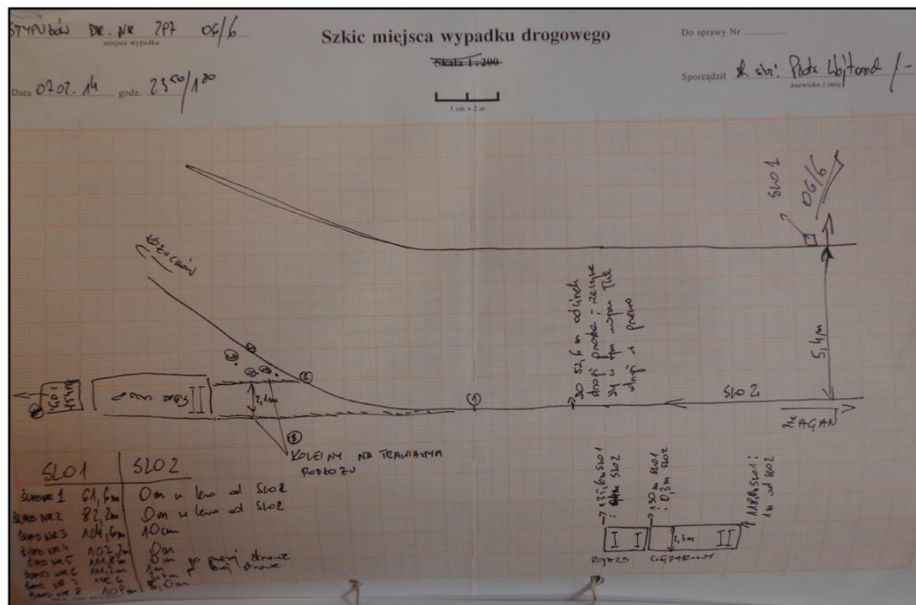
Zdarzenie drugie

Zdarzenie drogowe dotyczyło zderzenia pieszego z pojazdem ciężarowym. W dniu 7 lutego 2014 roku około godziny 22:50 w miejscowości Stypułów na drodze nr 296 (6 km), w rejonie posesji nr 105 doszło do potrącenia pieszego (lat 20) przez zespół pojazdów składa-

jący się ciągnika siodłowego marki DAF z naczepą marki Schmitz, kierowanego przez kierowcę w wieku 44 lat. W wyniku zderzenia pieszy doznał obrażeń ciała, a pojazd biorący udział w zdarzeniu został uszkodzony. Na rys. 2.17 przedstawiono usytuowanie pojazdu po zderzeniu, natomiast na rysunku 2.18 zilustrowano szkic miejsca wypadku.



Rys. 2.17. Dokumentacja fotograficzna obrazująca usytuowanie pojazdu po zderzeniu [119]



Rys. 2.18. Szkic miejsca wypadku [119]

Prędkość pojazdu ciężarowego odczytywana była z zapisu na tarczy tachografu. Zapis charakterystyki prędkości jazdy pojazdu ciężarowego przedstawiono na rysunku 2.19.



Tarcza nr 1. Z dnia 07.02.2014r / nie został zarejestrowany zapis zdarzenia około godz.22:50 z dnia 07.02.2014.

Rys. 2.18. Zapis prędkości jazdy ciągnika siodłowego na tarczy tachografu [119]

Na zatrzymanie zespołu pojazdów poruszających się z prędkością około 50 km/h (prędkość dozwolona administracyjnie na tym odcinku drogi) w istniejących warunkach drogowych, przy uwzględnieniu czasu reakcji psychomotorycznej kierującego, niezbędny był odcinek drogi o długości 40,73 m, co wynika z następującej zależności:

$$S_z = V_{Daf} \cdot \left(t_{rk} + \frac{t_n}{2} \right) + \frac{V_{Daf}^2}{2 \cdot a_{hs}} \quad (2.8)$$

gdzie:

$t_{rk} = 1,5$ s – czas reakcji psychofizycznej kierującego w warunkach nocnych;

$t_n = 0,4$ s – czas narastania opóźnienia hamowania;

$a_{hs} = 5,5$ m/s² – przyjęte opóźnienie hamowania na jezdni asfaltowej.

Po podstawieniu powyższych danych do zależności (2.8) podstawieniu otrzymuje się:

$$S_z = 13,8 \cdot \left(1,5 + \frac{0,4}{2} \right) + \frac{13,80^2}{2 \cdot 5,5} = 40,73 \text{ m} \quad (2.9)$$

Wartość a_{hs} w analizowanym przypadku wyniosła 5,5 m/s². Taką wartość współczynnika opóźnienia hamowania przyjmuje się na jezdni asfaltowej suchej dla prędkości poruszania się pojazdu 50 km/h.

Kierujący zeznał, że poruszał się z prędkością 40 km/h. Na zatrzymanie zespołu pojazdów poruszających się z prędkością wskazaną przez kierującego w istniejących warunkach

drogowych, przy uwzględnieniu czasu reakcji psychomotorycznej, niezbędny był odcinek drogi o długości około 30,6 m, co wynika z zależności:

$$S_z = V_{Daf} \cdot \left(t_{rk} + \frac{t_n}{2} \right) + \frac{V_{Daf}^2}{2 \cdot a_{hs}} \quad (2.10)$$

gdzie:

$t_{rk} = 1,5$ s – czas reakcji psychofizycznej kierującego w warunkach nocnych;

$t_n = 0,4$ s – czas narastania opóźnienia hamowania;

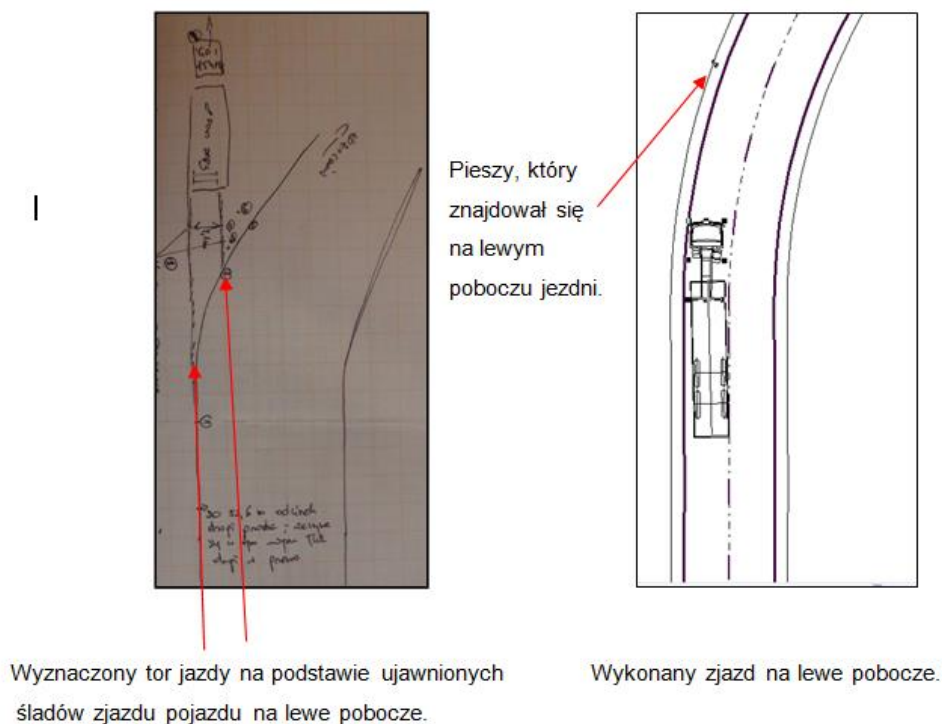
$a_{hs} = 5,5$ m/s² – przyjęte opóźnienie hamowania na jezdni asfaltowej.

Po podstawieniu powyższych danych do zależności (2.10) otrzymuje się:

$$S_z = 11,11 \cdot \left(1,5 + \frac{0,4}{2} + \frac{11,11^2}{2 \cdot 5,5} \right) = 30,06 \text{ m} \quad (2.11)$$

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń opiniujący odtworzył przebieg zdarzenia, co przedstawiono na rys. 2.19 oraz sformułowano następujące wnioski.

- 1) Wzajemne usytuowanie zespołu pojazdów oraz pieszego w momencie zderzenia, ślady wypadku na jezdni, poboczu i powypadkowe usytuowanie pojazdu świadczą, że do zdarzenia doszło na lewej części pobocza.
- 2) Przyczyną wypadku drogowego było nieprawidłowe postępowanie kierującego ciągnikiem siodłowym marki DAF z naczepą marki Schmitz, który podczas jazdy nie zachował należytej ostrożności i zjeżdżając na obszar lewego pobocza potrącił prawidłowo poruszającego się pieszego.
- 3) W analizowanym przypadku brak jest dostatecznych podstaw do uznania, że zachowanie pieszego było nieprawidłowe i przyczyniło się do zaistnienia wypadku.

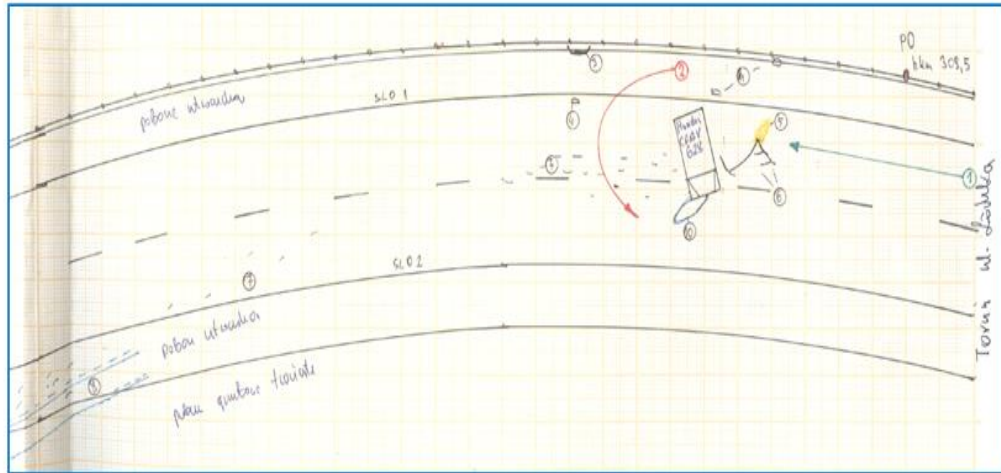


Rys. 2.19. Przebieg zdarzenia według opiniującego [119]

Zdarzenie trzecie

Trzecie zdarzenie drogowe dotyczyło zderzenia pojazdu osobowego z pojazdem osobowym. Okoliczności zdarzenia miały miejsce w dniu 31 maja 2008 roku około godziny 9:20 w miejscowości Kopanino na drodze S-10, w czasie którego samochód osobowy marki Ford Escort zderzył się z samochodem marki Hyundai. W wyniku wypadku pasażerowie pojazdu Ford Escort doznali obrażeń ciała, również obydwa pojazdy uległy uszkodzeniu. W chwili zderzenia kierujący pojazdami byli trzeźwi. Rejon miejsca wypadku stanowi płaski odcinek na łuku, w lewą stronę, drogi S-10 (określenie stron lewa/prawa przyjęto patrząc w stronę miasta Lubicz), poza obszarem zabudowanym, gdzie obowiązywało ograniczenie prędkości jazdy do 100 km/h.

Przyjęta wartość opóźnienia hamowania a_{hs} wyniosła 7,0 - na jezdni asfaltowej suchej, dla prędkości poruszającego się pojazdu 91 km/h. Podczas oględzin miejsca zdarzenia panowały następujące warunki drogowe: pora dzienna, temperatura powietrza 22°C, słonecznie, jezdnia sucha, gładka i w stanie czystym [k2-3, k9-17]. Na rysunku 2.20 przedstawiono szkic miejsca zdarzenia zawarty w aktach sprawy.



Rys. 2.20. Szkic miejsca zderzenia pojazdów [119]

Z długości śladu blokowania kół samochodu Ford Escort oraz deformacji nadwozi pojazdów powstałej w wyniku zderzenia, a także z przemieszczenia pozderzeniowego wynika, że prędkość jazdy tego pojazdu bezpośrednio przed wypadkiem wynosiła około 91 km/h, co wynika z zależności:

$$V_F = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} \quad (2.12)$$

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot a_{hs} \cdot S_H} \quad (2.13)$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot E_C}{m_F}} \quad (2.14)$$

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 \quad (2.15)$$

$$E_1 = \frac{b_1 \cdot h_1 \cdot f_1^2}{2} \cdot k_1 \quad (2.16)$$

$$E_2 = \frac{b_2 \cdot h_2 \cdot f_2^2}{2} \cdot k_2 \quad (2.17)$$

$$E_3 = \mu_1 \cdot g \cdot m_H \cdot S_p \quad (2.18)$$

$$E_4 = 0,5 \cdot \mu_1 \cdot m_H \cdot g \cdot L_H \cdot \varphi_H \quad (2.19)$$

$$E_5 = \mu_2 \cdot g \cdot m_F \cdot S_F \quad (2.20)$$

gdzie:

V_F – wartość prędkości samochodu marki Ford Escort na podstawie długości śladów blokowania kół oraz deformacji nadwozi pojazdów powstałej w wyniku zderzenia [m/s];

V_1 – składowa wartości prędkości samochodu marki Ford Escort na podstawie długości śladów blokowania kół [m/s];

V_2 – składowa wartości prędkości samochodu marki Ford Escort na podstawie deformacji nadwozi pojazdów powstałej w wyniku zderzenia [m/s];

E – energia wynikająca z deformacji nadwozi pojazdów powstałej w wyniku zderzenia, a także z przemieszczenia pozderzeniowego pojazdów marki Ford oraz marki Hyundai [Nm];

E_1 – wartość energii wynikającej z deformacji nadwozia pojazdu marki Ford powstałej w wyniku zderzenia [Nm];

E_2 – wartość energii wynikającej z deformacji nadwozia pojazdu marki Hyundai powstałej w wyniku zderzenia [Nm];

E_3 – wartość energii wynikającej z przyjętego szacunkowego przemieszczenia liniowego pojazdu marki Hyundai po zdarzeniu [Nm];

E_4 – wartość energii wynikającej z przyjętego kąta obrotu pojazdu marki Hyundai po zdarzeniu [Nm];

E_5 – wartość energii wynikającej z przyjętego szacunkowego przemieszczenia liniowego pojazdu marki Ford po zdarzeniu [Nm];

$S_h = 26,1$ m – całkowita długość śladów blokowania kół samochodu marki Ford Escort;

$S_p = 38,0$ m – przemieszczenie liniowe samochodu Ford bez znaczenia śladów na drodze;

$a_{hs} = 7,0$ m/s² – przyjęte średnie opóźnienie hamowania samochodu Ford;

$t_n = 0,3$ s – czas narastania opóźnienia hamowania;

$m_F = 1050$ kg – przyjęta masa samochodu Ford wraz z masą jadących osób;

$m_H = 1200$ kg – przyjęta masa samochodu Hyundai wraz z masą jadących osób;

$\mu_1 = 0,65$ – przyjęty współczynnik przyczepności kół samochodu Hyundai na jezdni asfaltowej suchej przy znaczeniu śladów;

$\mu_2 = 0,35$ – przyjęty współczynnik przyczepności kół samochodu Ford na jezdni asfaltowej suchej bez znaczenia śladów;

$\left. \begin{array}{l} b_1 = 0,3 \text{ m} \\ h_1 = 0,7 \text{ m} \\ f_1 = 0,2 \text{ m} \end{array} \right\}$ parametry deformacji przodu nadwozia samochodu Ford;

$k_1 = 9 \cdot 10^5$ – sztywność jednostkowa samochodu Ford;

$\left. \begin{array}{l} b_2 = 1,1 \text{ m} \\ h_2 = 0,8 \text{ m} \\ f_2 = 0,15 \text{ m} \end{array} \right\}$ parametry deformacji lewego boku nadwozia samochodu Hyundai;

$k_2 = 3 \cdot 10^5$ – sztywność jednostkowa samochodu Hyundai;

$g = 9,81$ m/s² – przyspieszenie ziemskie;

$S_p = 3,0$ m – szacunkowe przemieszczenie liniowe samochodu Hyundai po zdarzeniu;

$S_F = 38,0$ m – szacunkowe przemieszczenie liniowe samochodu Hyundai po zdarzeniu;

$L_p = 2,5$ m – odstęp między osiami samochodu Hyundai;

$\varphi_p = 1,16\pi$ radiana – kąt obrotu samochodu Hyundai po zdarzeniu.

Po podstawieniu powyższych danych otrzymano następujące rezultaty:

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot 5,0 \cdot 26,1} = 16,15 \frac{m}{s} \quad (2.21)$$

$$E_1 = \frac{0,3 \cdot 0,7 \cdot 0,2^2}{2} \cdot 9 \cdot 10^5 = 3780 Nm \quad (2.22)$$

$$E_2 = \frac{1,1 \cdot 0,8 \cdot 0,15^2}{2} \cdot 3 \cdot 10^5 = 2970 Nm \quad (2.23)$$

$$E_3 = 0,65 \cdot 9,81 \cdot 1200 \cdot 3,0 = 22955 Nm \quad (2.24)$$

$$E_4 = 0,5 \cdot 0,65 \cdot 1200 \cdot 9,81 \cdot 2,5 \cdot 1,16\pi = 34838 Nm \quad (2.25)$$

$$E_5 = 0,35 \cdot 9,81 \cdot 1050 \cdot 38,0 = 136857 Nm \quad (2.26)$$

$$E = 201400 Nm \quad (2.27)$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 201400}{1050}} = 19,58 \frac{m}{s} \quad (2.28)$$

$$V_F = \sqrt{16,15^2 + 19,58^2} = 25,38 \frac{m}{s} \approx \frac{91 km}{h} \quad (2.29)$$

Z dokumentacji oględzin miejsca wypadku drogowego wynika, że zdarzenie zaistniało na odcinku drogi, gdzie obowiązywało ograniczenie prędkości jazdy do 100 km/h. Zatem rozwijana prędkość jazdy samochodu marki Ford przed wypadkiem nie była większa od dopuszczalnej administracyjnie na tym odcinku drogi. Z wyjaśnień kierującego samochodem Hyundai wynika jednoznacznie, że bezpośrednio przed wypadkiem rozpoczynał jazdę z pozycji statycznej. Stąd prędkość samochodu Hyundai w momencie zderzenia mogła wynosić około 16 km/h, co wynika z zależności:

$$V_K = \sqrt{2 \cdot a_p \cdot S_d} \quad (2.30)$$

gdzie:

$S_d = 4,0$ m – droga przebyta przez samochód Hyundai do miejsca kolizji po rozpoczęciu jazdy na poboczu;

$a_p = 2,5$ m/s² – przyjęte przyśpieszenie samochodu Hyundai w trakcie wjazdu na jezdnię przy ruszaniu na pierwszym biegu.

Po podstawieniu powyższych danych do zależności (2.30) otrzymuje się:

$$V_K = \sqrt{2 \cdot 2,5 \cdot 4,0} = 4,47 \frac{m}{s} \approx 16 \frac{km}{h} \quad (2.31)$$

Czas trwania stanu zagrożenia wyznaczony od momentu, gdy samochód Hyundai przekroczył prawą krawędź jezdni dla kierującego samochodem Ford do chwili zderzenia wynosił około 0,89 s, co wynika z poniższych zależności:

$$t_z = \frac{V_K - V_w}{a_p} \quad (2.32)$$

$$V_K = \sqrt{2 \cdot a_p \cdot S_d} = 4,47 \frac{m}{s} \quad (2.33)$$

$$V_w = \sqrt{2 \cdot a_p \cdot S_w} = 2,23 \frac{m}{s} \quad (2.34)$$

$$t_z = \frac{4,47 - 2,23}{2,5} = 0,89 \text{ s} \quad (2.35)$$

Odległość w jakiej znajdował się samochód Ford poruszający się z prędkością około 91 km/h od toru ruchu samochodu Hyundai w momencie powstania stanu zagrożenia wynosiła około 22,6 m, co zostało wyznaczone z poniższej zależności:

$$S_z = V_F \cdot t_z = 25,38 \cdot 0,89 = 22,6 \text{ m} \quad (2.36)$$

W analizowanej sytuacji na drodze podstawowym manewrem obronnym kierującego samochodem Ford, na widok wjeżdżającego na jezdnię samochodu Hyundai, było hamowanie w celu zatrzymania się przed torem ruchu tego pojazdu. Na zatrzymanie samochodu Ford Escort poruszającego się z prędkością około 91 km/h na jezdni asfaltowej, przy uwzględnieniu czasu reakcji psychomotorycznej kierującego samochodem, niezbędny był odcinek drogi o długości około 70,1 m, którego wartość wyznaczono z zależności:

$$S_z = V_F \cdot \left(t_{rk} + \frac{t_n}{2} \right) + \frac{V_F^2}{2 \cdot a_{hs}} \quad (2.37)$$

gdzie:

$t_{rk} = 0,8 \text{ s}$ – czas reakcji psychomotorycznej kierującego pojazdem przy manewrze hamowania.

Po podstawieniu powyższych danych do zależności (2.37) otrzymuje się:

$$S_z = 25,38 \cdot \left(0,8 + \frac{0,3}{2}\right) + \frac{25,38^2}{2 \cdot 7} = 70,1 \text{ m} \quad (2.38)$$

Czas trwania stanu zagrożenia wyznaczony od momentu, gdy samochód marki Hyundai przekroczył prawą krawędź jezdni dla kierującego samochodem Ford do chwili zderzenia wynosił około 22,6 m, a ustalono go na podstawie następujących zależności:

$$t_z = \frac{V_K - V_w}{a_p} \quad (2.39)$$

$$V_K = \sqrt{2 \cdot a_p \cdot S_d} = 4,47 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (2.40)$$

$$V_w = \sqrt{2 \cdot a_p \cdot S_w} = 2,23 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (2.41)$$

$$t_z = \frac{4,47 - 2,23}{2,5} = 0,89 \text{ s} \quad (2.42)$$

Odległość w jakiej znajdował się samochód Ford poruszający się z prędkością około 91 km/h od toru ruchu samochodu Hyundai w momencie powstania stanu zagrożenia wynosiła około 22,6 m. Wartość tą obliczono korzystając z zależności:

$$S_z = V_F \cdot t_z = 25,38 \cdot 0,89 = 22,6 \text{ m} \quad (2.43)$$

W omawianej sytuacji na drodze podstawowym manewrem obronnym kierującego samochodem marki Ford, na widok wjeżdżającego na jezdnię samochodu Hyundai, było hamowanie w celu zatrzymania się przed torem tego pojazdu. Zatem wyznaczona wyżej droga na zatrzymanie samochodu Ford (70,1 m) świadczy o tym, że kierujący tym pojazdem nie mógł uniknąć przez wykonanie manewru hamowania zderzenia, które umożliwiłoby zatrzymanie pojazdu przed torem ruchu skręcającego samochodu Hyundai (70,1 m > 22,6 m). Wnioski z analizowanego zdarzenia drogowego były następujące:

- 1) Do zderzenia pojazdów mogło dojść w odległości około 1,0 m od SLO1 i mogło to być około 8,0 m za SPO. W momencie zderzenia samochód Ford Escort znajdował się całkowicie na prawej części jezdni i jego przednia część prawego boku mogła być oddalona od prawej krawędzi jezdni o około 1,0 m. Z kolei w tym czasie przednia część nadwozia samochodu Hyundai była na prawej części jezdni, natomiast jego tylna część znajdowała się na prawym utwardzonym poboczu. W momencie pierwszego kontaktu obu pojazdów, oś wzdłużna samochodu Hyundai usytuowana była skośnie

w lewo względem osi wzdłużnej samochodu Ford Escort (patrząc z pozycji kierującego samochodem Ford).

- 2) Przyczyną wypadku było nieprawidłowe zachowanie kierującego samochodem Hyundai, który nie zachował szczególnej ostrożności w trakcie włączania się do ruchu i nie ustąpił pierwszeństwa jadącemu na drodze nr 10 pojazdowi Ford Escort. Gdyby kierujący samochodem Hyundai zastosował się do obowiązujących przepisów w ruchu drogowym i zaniechał wjazdu na jezdnię przed nadjeżdżającym pojazdem uniknąłby wypadku. Wjazd samochodu Hyundai na jezdnię bezpośrednio przed nadjeżdżającym samochodem Ford mógł wynikać z nieprawidłowej obserwacji drogi.

Przeprowadzona analiza wykazała, że przy rozwijanej prędkości jazdy około 91 km/h, która nie była szybkością większą od dopuszczalnej na tym odcinku drogi, kierujący samochodem Ford Escort nie miał możliwości uniknięcia zderzenia poprzez zatrzymanie pojazdu przed torem ruchu samochodu Hyundai. Stąd w analizowanej sytuacji na drodze brak jest dostatecznych podstaw do uznania, iż zachowanie kierującego samochodem Ford miało wpływ na zaistnienie wypadku.

2.4.3 Wpływ opóźnienia hamowania na przebieg rekonstrukcji

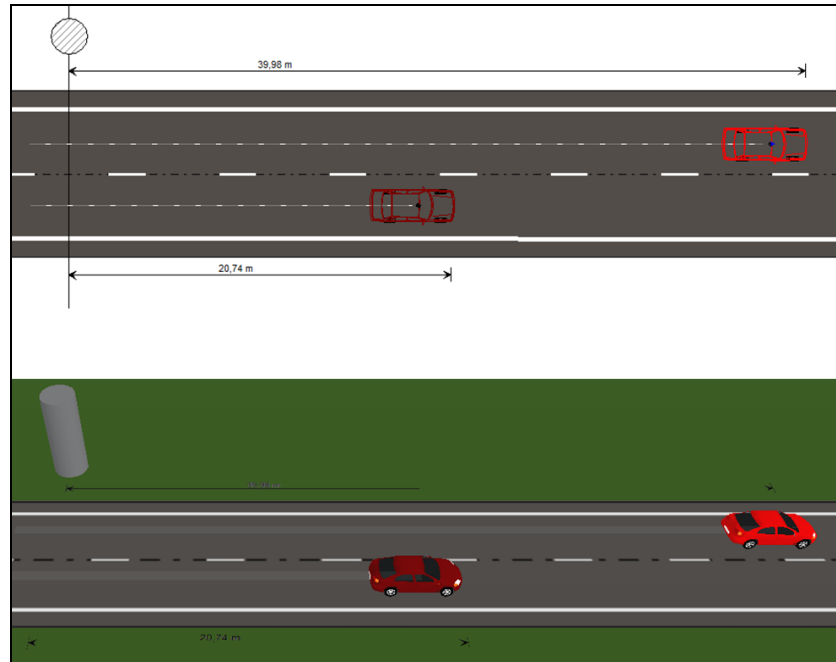
Ważnym aspektem w procesie rekonstrukcji wypadków drogowych jest ustalenie długości drogi hamowania pojazdu. Długość ta zależy przede wszystkim od wartości początkowej prędkości pojazdu oraz od wartości przyjętego współczynnika opóźnienia hamowania. W niniejszym rozdziale przedstawiono w różnicę w długościach dróg hamowania pojazdu przy dwóch różnych arbitralnie wybranych prędkościach początkowych pojazdu (50 i 70 km/h) oraz kilku wartościach współczynnika opóźnienia hamowania (od 3,0 do 9,0 m/s²). Informacje o szczegółowych wartościach przyjętych do obliczeń zawarto w tab. 2.22. Uzyskane rezultaty obliczeń przedstawiono także w formie graficznej na rys. 2.21–2.28, korzystając z oprogramowania Vissim.

Tab. 2.22. Wpływ wartości prędkości początkowej i współczynnika opóźnienie hamowania na różnice w długości drogi hamowania pojazdu

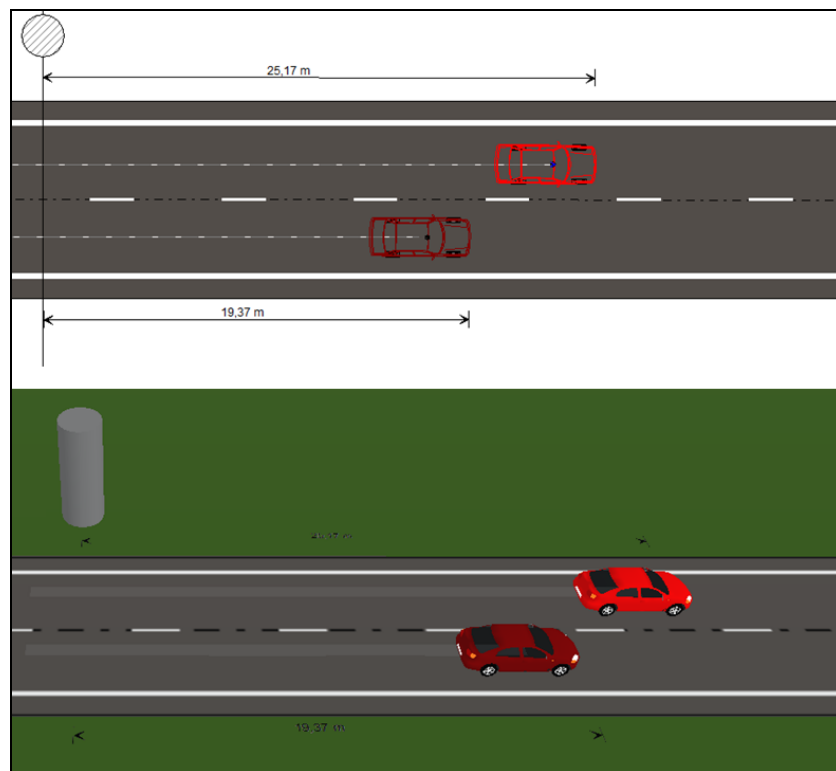
Prędkość początkowa V [km/h]	Opóźnienie hamowania a_{hs} [m/s ²]	Długość drogi hamowania S [m]	Różnica długości dróg hamowania ΔS [m]	Graficzne zobrazowanie różnic w długości dróg hamowania
50	3,0	39,98	19,24	rys. 2.21
	5,5	20,74		
	4,0	25,17	5,80	rys. 2.22
	6,0	19,37		
	5,0	22,54	4,29	rys. 2.23
	6,5	18,25		
	7,0	16,92	1,26	rys. 2.24
	9,0	15,66		
	9,0	29,01		

Tab. 2.22. Wpływ wartości prędkości początkowej i współczynnika opóźnienie hamowania na różnice w długości drogi hamowania pojazdu – c.d.

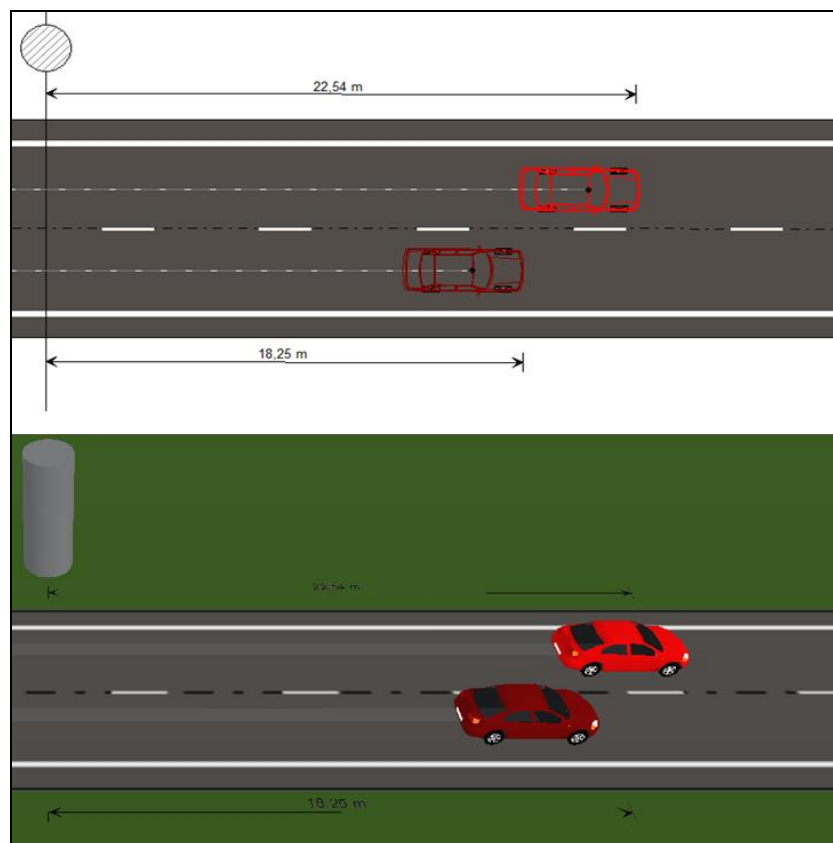
Prędkość początkowa V [km/h]	Opóźnienie hamowania a_{hs} [m/s ²]	Długość drogi hamowania S [m]	Różnica długości dróg hamowania ΔS [m]	Graficzne zobrazowanie różnic w długości dróg hamowania
70	3,0	71,51	32,62	rys. 2.25
	5,5	38,89		
	4,0	47,09	10,79	rys. 2.26
	6,0	36,30		
	5,0	42,48	8,55	rys. 2.27
	6,5	33,93		
	7,0	31,58	2,57	rys. 2.28
	9,0	29,01		



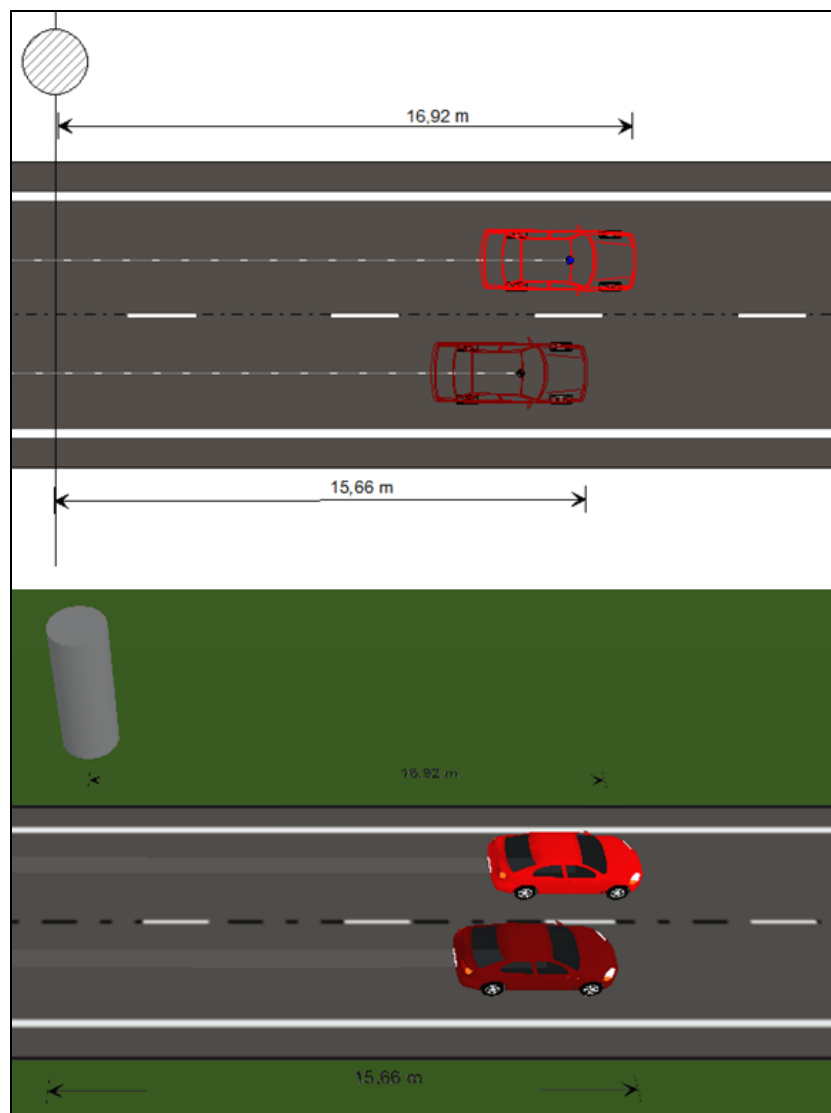
Rys. 2.21. Proces hamowania pojazdu przy prędkości początkowej 50 km/h i wartości współczynnika opóźnienia hamowania wynoszącym 3,0 i 5,5 m/s²



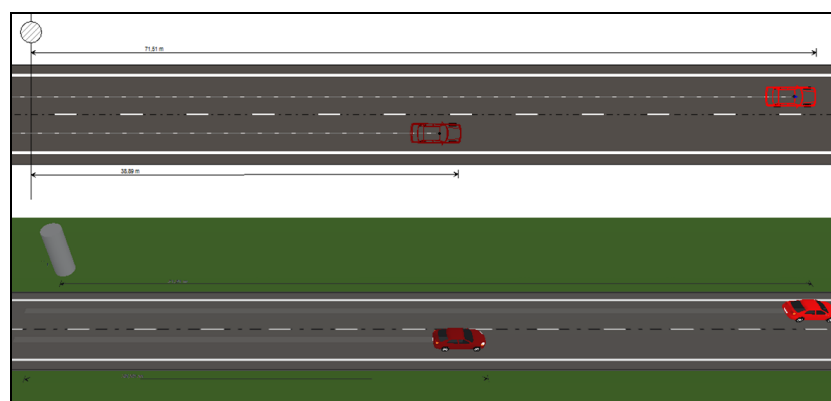
Rys. 2.22. Proces hamowania pojazdu przy prędkości początkowej 50 km/h i wartości współczynnika opóźnienia hamowania wynoszącym 4,0 i 6,0 m/s²



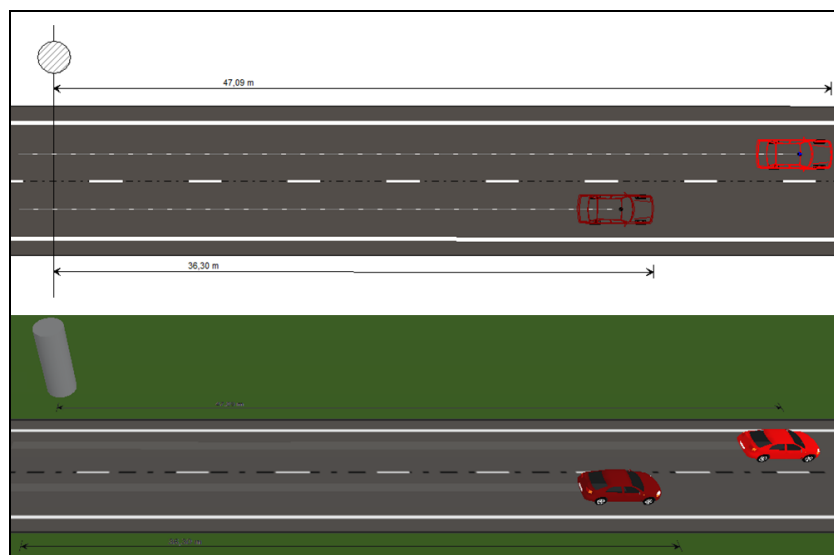
Rys. 2.23. Proces hamowania pojazdu przy prędkości początkowej 50 km/h i wartości współczynnika opóźnienia hamowania wynoszącym 5,0 i 6,5 m/s²



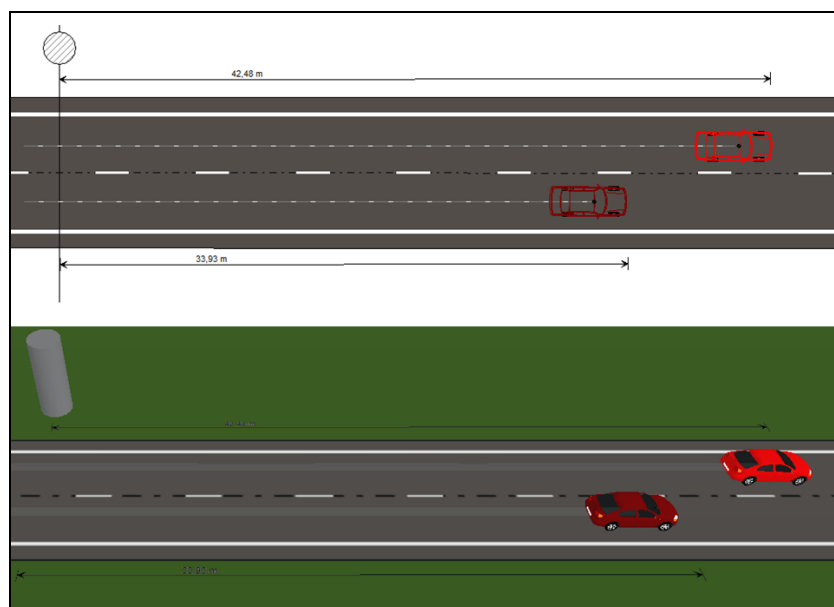
Rys. 2.24. Proces hamowania pojazdu przy prędkości początkowej 50 km/h i wartości współczynnika opóźnienia hamowania wynoszącym 7,0 i 9,0 m/s²



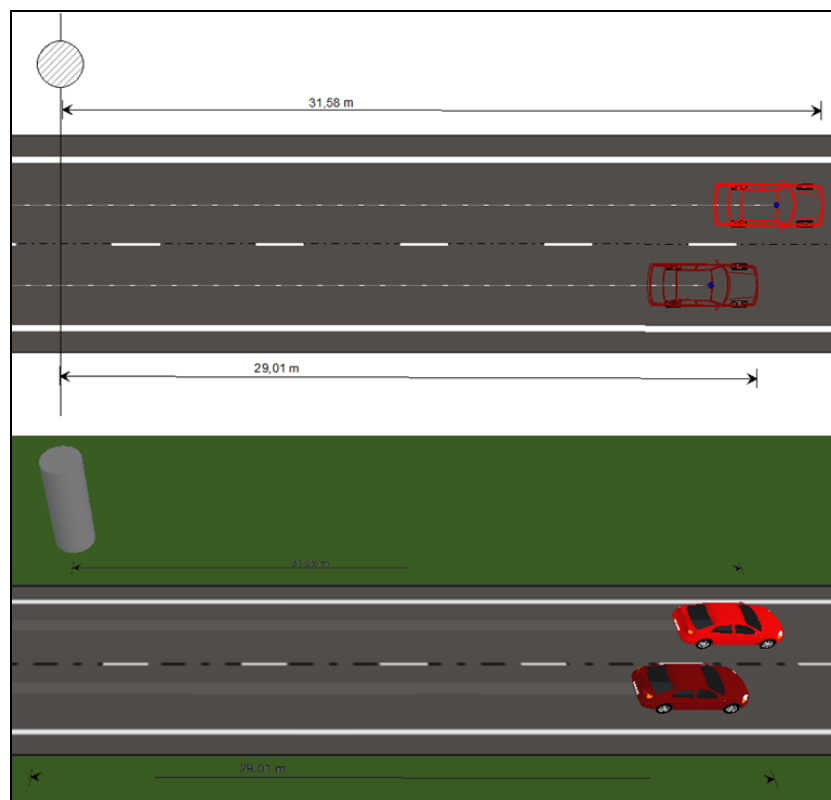
Rys. 2.25. Proces hamowania pojazdu przy prędkości początkowej 70 km/h i wartości współczynnika opóźnienia hamowania wynoszącym 3,0 i 5,5 m/s²



Rys. 2.26. Proces hamowania pojazdu przy prędkości początkowej 70 km/h i wartości współczynnika opóźnienia hamowania wynoszącym 4,0 i 6,0 m/s²



Rys. 2.27. Proces hamowania pojazdu przy prędkości początkowej 70 km/h i wartości współczynnika opóźnienia hamowania wynoszącym 5,0 i 6,5 m/s²



Rys. 2.28. Proces hamowania pojazdu przy prędkości początkowej 70 km/h i wartości współczynnika opóźnienia hamowania wynoszącym 7,0 i 9,0 m/s²

Uzyskane rezultaty przeprowadzonych obliczeń, zawarte w tab. 2.22 oraz na rys. 2.21-2.28 potwierdzają ogólną zależność wzrostu długości drogi hamowania wraz ze wzrostem początkowej wartości prędkości ruchu pojazdu oraz wraz z obniżeniem wartości współczynnika opóźnienia hamowania pojazdu. Przykładowo przy prędkości początkowej wynoszącej 50 km/h przyjęcie wartości współczynnika opóźnienia hamowania na poziomie 6,0 m/s² przekłada się na długość drogi hamowania wynoszącą 19,37 m, natomiast wzrost opóźnienia do poziomu 6,5 m/s² spowoduje skrócenie drogi do 18,25 m, natomiast dalszy wzrost opóźnienia o 0,5 m/s² tj. do poziomu 7,0 m/s² przełoży się na drogę hamowania wynoszącą 16,92 m. Przyjmując natomiast wyższą wartość prędkości początkowej (tj. 70 km/h) oraz te same poziomy wartości współczynnika opóźnienia hamowania (6,0, 6,5 i 7,0 m/s²) wartości długości dróg hamowania będą wynosiły odpowiednio 36,30 m, 33,93 m i 31,58 m.

W przytoczonych powyżej przykładach różnice w długości dróg hamowania wynoszą kilku metrów co może mieć wpływ na sposób wnioskowania a przy sporządzaniu opinii z zakresu rekonstrukcji zdarzeń drogowych, a zwłaszcza przy formułowaniu twierdzeń o tym czy kierujący pojazdem miał możliwość zatrzymać pojazd przed przeszkodą, czy też nie miał takiej możliwości lub miał możliwość zatrzymać pojazd przed przeszkodą, a zaniechał takiego manewru. Zwłaszcza przy wyższych wartościach prędkości początkowej, przyjęta wartość

współczynnika opóźnienia hamowania (różniaca się np. o $0,5 \text{ m/s}^2$) będzie miała wpływ na dokładność poczynionych ustaleń w zakresie rekonstrukcji zdarzeń drogowych.

2.4.4. Opóźnienie hamowania w rekonstrukcji sądowej

Rekonstrukcja wypadków drogowych w Polsce zazwyczaj jest stosowana podczas prowadzenia spraw sądowych związanych z wystąpieniem zdarzenia drogowego. Biegli z list sądowej, przy opracowywaniu rekonstrukcji wypadku, w obszarze związanym z ustaleniem procesu hamowania pojazdu, korzystają z opracowań o charakterze poradnikowym, zwłaszcza z pracy [53].

Autorzy opracowania [53] przedstawiają liczne zależności matematyczne, pozwalające na rachunkowe wyznaczenie wartości współczynnika opóźnienia hamowania, przy czym w swoje rozważania opierają na danych z pracy [54] pochodzącej z 1985 roku. W pracy [53] znaleźć można zależność analityczną na wartość współczynnika opóźnienia hamowania m.in. dla:

- hamowania przy wszystkich kołach zablokowanych;
- hamowania samochodu dwuosowego przy pełnym wykorzystaniu przyczepności kół jednej osi;
- hamowania motocykli jednośladowych;
- hamowania samochodu dwuosowego przy uszkodzonym układzie hamulcowym;
- hamowania samochodu z przyczepą dwuosową.

Możliwość poprawnego skorzystania z zależności analitycznych, wynikających z teorii ruchu pojazdu jest możliwa przy właściwym doborze w tych zależnościach współczynnika przyczepności. Autorzy pracy [53] podają wartości współczynnika przyczepności, które zostały przedstawione na rys. 2.29.

Opona	Droga					
	beton		asfalt		twardy śnieg	gładki lód
	suchy	mokry	suchy	mokry		
Promieniowe Opony letnie Diagonalne	1,19	0,99	1,22	1,10	0,45	0,25
	0,95	0,73	1,03	0,90	0,43	0,16
Promieniowe Opony zimowe Diagonalne	1,13	0,84	1,02	1,07	0,27	0,24
	0,99	0,62	0,80	0,88	0,22	0,18
Promieniowe Opony zimowe Diagonalne	1,15	0,77	0,99	0,98	–	0,17
	1,00	0,54	0,86	0,78	–	0,15
Promieniowe Opony zimowe Diagonalne	1,06	0,89	0,85	1,01	–	0,24
	0,85	0,64	0,71	0,80	–	0,22
Promieniowe Opony zimowe z kolcami Diagonalne	1,04...1,12	0,62...0,83	1,00...1,09	1,00...1,10	0,36...0,47	0,24...0,44
	0,88...1,00	0,50...0,61	0,87...0,99	0,77...0,93	0,35...0,45	0,22...0,41
Promieniowe Opony zimowe z kolcami Diagonalne	0,86...1,02	0,59...0,70	0,81...0,89	0,78...1,02	0,41...0,48	0,29...0,37
	0,73...0,90	0,47...0,57	0,70...0,78	0,67...0,84	0,39...0,47	0,29...0,37
Łańcuchy śnieżne (podwójna koleina o drobnym śladzie)	–	–	–	–	0,60*	0,40*

Rys. 2.29. Wartości współczynnika przyczepności według autorów pracy [53]

Wartości przedstawione na rys. 2.29 mają charakter ogólnym, zostały ujęte w postaci przedziałów i nie pozwalają na precyzyjne dokonanie wyboru wartości współczynnika przyczepności, w celu analitycznego wyznaczenia wartości współczynnika opóźnienia hamowania. Wprawdzie autorzy pracy [53], powołując się na wyniki zawarte w opracowaniu [55], podają także bardziej precyzyjne wartości współczynnika przyczepności (rys. 2.30), przy czym dotyczą one określonego przypadku, a prezentowane dane pochodzą z 1977 roku.

Opona	Droga					
	beton		asfalt		twardy śnieg	gładki lód
	suchy	mokry	suchy	mokry		
Promieniowe Opony letnie Diagonalne	1,19	0,99	1,22	1,10	0,45	0,25
	0,95	0,73	1,03	0,90	0,43	0,16
Promieniowe Opony zimowe Diagonalne	1,13	0,84	1,02	1,07	0,27	0,24
	0,99	0,62	0,80	0,88	0,22	0,18
Promieniowe Opony zimowe Diagonalne	1,15	0,77	0,99	0,98	–	0,17
	1,00	0,54	0,86	0,78	–	0,15
Promieniowe Opony zimowe Diagonalne	1,06	0,89	0,85	1,01	–	0,24
	0,85	0,64	0,71	0,80	–	0,22
Promieniowe Opony zimowe z kolcami Diagonalne	1,04...1,12	0,62...0,83	1,00...1,09	1,00...1,10	0,36...0,47	0,24...0,44
	0,88...1,00	0,50...0,61	0,87...0,99	0,77...0,93	0,35...0,45	0,22...0,41
Promieniowe Opony zimowe z kolcami Diagonalne	0,86...1,02	0,59...0,70	0,81...0,89	0,78...1,02	0,41...0,48	0,29...0,37
	0,73...0,90	0,47...0,57	0,70...0,78	0,67...0,84	0,39...0,47	0,29...0,37
Łańcuchy śnieżne (podwójna koleina o drobnym śladzie)	–	–	–	–	0,60*	0,40*

Rys. 2.30. Wartości współczynnika przyczepności przy obciążeniu kół siłą 3000 N i ciśnieniu w oponach wynoszącym 0,16 MPa (opony diagonalne) i 0,22 MPa w przypadku opon radialnych [53, 55]

Dla biegłych sądowych dostępne są także dane liczbowe dotyczące bezpośrednio współczynnika opóźnienia hamowania, przy czym odnoszą się one jedynie do pojazdów jednośladowych, poprzez powołanie się na kategorię homologacyjną tj. od *L1* do *L5*. Dane te dotyczą przypadku hamowania tylko hamulcem przednim (rys. 2.31), hamowania tylko hamulcem tylnym (rys. 2.32) oraz hamowania hamulcem przednim i tylnym (rys. 2.33)

Kategoria	Droga hamowania S [m]	Odpowiadające w pełni rozwijane średnie opóźnienie [m/s ²]
L ₁	$S \leq 0,1V + V^2/90$	3,4
L ₂	$S \leq 0,1V + V^2/70$	2,7*
L ₃	$S \leq 0,1V + V^2/115$	4,4*
L ₄	$S \leq 0,1V + V^2/95$	3,6
L ₅	$S \leq 0,1V + V^2/75$	2,9*

Rys. 2.31. Dane dotyczące hamowania hamulcem przednim w pojazdach kategorii *L1-L5* [53]

Kategoria	Droga hamowania S [m]	Odpowiadające w pełni rozwijane średnie opóźnienie [m/s ²]
L ₁	$S \leq 0,1V + V^2/70$	2,7
L ₂	$S \leq 0,1V + V^2/70$	2,7*
L ₃	$S \leq 0,1V + V^2/75$	2,9*
L ₄	$S \leq 0,1V + V^2/95$	3,6
L ₅	$S \leq 0,1V + V^2/75$	2,9*

Rys. 2.32. Dane dotyczące hamowania hamulcem tylnym w pojazdach kategorii *L1-L5* [53]

Kategoria	Droga hamowania S [m]	Odpowiadające w pełni rozwijane średnie opóźnienie [m/s ²]
L ₁ , L ₂	$S \leq 0,1V + V^2/115$	4,4
L ₃	$S \leq 0,1V + V^2/132$	5,1
L ₄	$S \leq 0,1V + V^2/140$	5,4
L ₅	$S \leq 0,1V + V^2/130$	5,0

Rys. 2.33. Dane dotyczące hamowania hamulcem przednim i tylnym w pojazdach kategorii *L1-L5* [53]

W pracy [53] napotkać może także szczegółowe informacje o wartościach opóźnienia hamowania dla pojazdów jednośladowych, przy czym dotyczą one jedynie sześciu rodzajów motocykli (rys. 2.34).

Motocykl	Opóźnienie hamowania [m/s ²]
Honda 125	6,2 – 6,3
Yamaha 125 s	5,3 – 5,4
MZ ETZ 250	5,3 – 5,6
MZ ETZ 251	4,4 – 4,7
CZ 350	6,5 – 6,8
Yamaha FJ 1200	5,9 – 6,4

Rys. 2.34. Opóźnienie hamowania motocykli przy użyciu hamulca tylnego koła [53]

Warto także zwrócić uwagę w pracy [53] na podawane wartości szczytkowej skuteczności hamowania układu hamulca roboczego w przypadku częściowego uszkodzenia układu hamulcowego (rys. 2.35). Wartości te zostały określone dla pojazdów kategorii homologacyjnej *M1-M3* oraz *N1-N3* i wskazują na minimalne wartości współczynnika opóźnienia hamowania.

	km/h	Obciążony	m/s ²	Nieobciążony	m/s ²
M ₁	80	$0,1v + \frac{100}{30} \cdot \frac{v^2}{150}$	1,7	$0,1v + \frac{100}{25} \cdot \frac{v^2}{150}$	1,5
M ₂	60	$0,15v + \frac{100}{30} \cdot \frac{v^2}{130}$	1,5	$0,15v + \frac{100}{25} \cdot \frac{v^2}{130}$	1,3
M ₃	60	$0,15v + \frac{100}{30} \cdot \frac{v^2}{130}$	1,5	$0,15v + \frac{100}{30} \cdot \frac{v^2}{130}$	1,5
N ₁	70	$0,15v + \frac{100}{30} \cdot \frac{v^2}{115}$	1,3	$0,15v + \frac{100}{25} \cdot \frac{v^2}{115}$	1,1
N ₂	50	$0,15v + \frac{100}{30} \cdot \frac{v^2}{115}$	1,3	$0,15v + \frac{100}{25} \cdot \frac{v^2}{115}$	1,1
N ₃	40	$0,15v + \frac{100}{30} \cdot \frac{v^2}{115}$	1,3	$0,15v + \frac{100}{30} \cdot \frac{v^2}{115}$	1,3

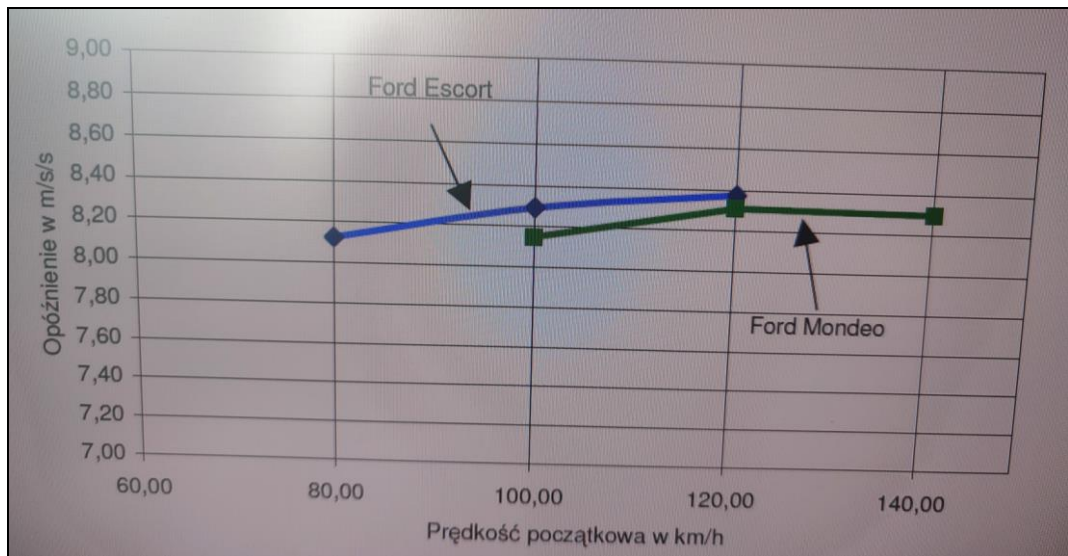
Rys. 2.35. Wartości drogi hamowania i współczynnika opóźnienia hamowania przy uszkodzonym układzie hamulcowym [53]

2.4.5. Alternatywne wartości współczynnika opóźnienia hamowania

W dostępnej literaturze można napotkać opracowania, w których dostępne są wartości współczynnika hamowania wybranych pojazdów, ustalone w toku badań o charakterze drogowy. W niniejszym podrozdziale przedstawiono kilka przykładów takich opracowań.

Autorzy pracy [56] przeprowadzili badania przebiegu procesu hamowania dwóch pojazdów (Ford Escort i Ford Mondeo). W trakcie swoich badań, oprócz pomiarów prędkości i drogi hamowania, mierzyli także wartości średniego opóźnienia hamowania. Otrzymane rezultaty przedstawiono na rys. 2.36. Wyniki opublikowanych prac wskazują, wartość średniego opóźnienia hamowania zawierała się w granicach od 8,1 do 8,4 m/s², jednakże

wartości te zależały w pewnym stopniu od prędkości początkowej pojazdu, która wynosiła od 80 do 140 km/h.



Rys. 2.36. Średnie opóźnienie hamowania w samochodzie Ford Escort i Ford Mondeo w funkcji prędkości początkowej pojazdu [56]

Podczas rekonstrukcji wypadków drogowych, stosowane są niekiedy dość zróżnicowane wartości współczynnika opóźnienia hamowania, na co wskazują autorzy pracy [57], podając zakres stosownych wartości od 4,9 do 9,8 m/s². Autorzy dokonali też własnych pomiarów korzystając z pojazdu marki Fiat i uzyskali wartości opóźnienia z przedziału od 8,0 do 9,0 m/s². W swojej pracy przywołali także wytyczne dotyczące wartości współczynnika opóźnienia hamowania stosowane w innych państwach. Przykładowo we Francji dla nowych samochodów osobowych stosuje się wartości od 6,5 m/s², a dla eksploatowanych od 5,5 m/s². Natomiast w nowych samochodach ciężarowych masie powyżej 16 ton, wartość współczynnika przyjmuje się od 5,0 m/s², a w samochodach będących już w eksploatacji stosuje się wartości od 4,25 m/s². Autorzy pracy [57] wskazują na stosowane w innych państwach zróżnicowanych wartości współczynnika opóźnienia hamowania, które są o około 15-25% niższe w przypadku pojazdu znajdujących się już w eksploatacji.

W pracy [58] autorzy skupili przed wszystkim na analizie procesu hamowania samochodów Seat Ibiza, Renault Megan oraz Citroen Xantia na powierzchni przejść dla pieszych, jednakże w swej pracy podali także wyniki pomiarów hamowania tych pojazdów na nawierzchni asfaltowej (poza przejściem dla pieszych) w warunkach letnich i zimowych. Uzyskane rezultaty przedstawiono na rys. 2.37 i 2.38. Uzyskane rezultaty wskazują, że w porze letniej w samochodzie Renault, w zależności od stanu jezdni oraz włączenia lub wyłączenia

układu ABS, uzyskano średnie wartości współczynnika opóźnienia hamowania wynoszące od 7,0 do 7,9 m/s². Natomiast w przypadku badań przeprowadzonych w porze zimowej, wartości te wynosiły od 5,7 do 6,9 m/s². Warto zwrócić uwagę, że wartości średnie były obliczane przez autorów pracy [58] zazwyczaj na podstawie trzech pojedynczych pomiarów.

Nawierzchnia		Sucha		Mokra		Solanka	
Włączenie ukl. ABS		ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS
RENAULT Opony letnie		7,8	6,9	7,7	7,3	7,7	7,1
		8,0	7,0	7,5	7,3	7,8	6,7
		7,9		7,6	7,1	7,5	7,1
	Średnia	7,9	7,0	7,6	7,2	7,7	7,0
	Odch. stand.	0,09	0,13	0,07	0,11	0,15	0,21
SEAT Opony zimowe		-	7,0	-	6,1	-	6,0
		-	6,9	-	6,5	-	6,2
		-		-	6,4	-	6,1
	Średnia	-	7,0	-	6,3	-	6,1
	Odch. stand.	-	0,07	-	0,19	-	0,07

Rys. 2.37. Wartości opóźnień [m/s²] uzyskanych podczas hamowania na asfaltowej nawierzchni w warunkach letnich [58]

Samochód	Renault		Citroen		Seat
Włączenie ukl. ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS
	5,4	6,7		6,9	6,8
	6,2	6,7	5,5	6,5	7,0
	5,7	6,7	5,9		6,9
Średnia	5,8	6,7	5,7	6,7	6,9
Odch. stand.	0,38	0,03	0,30	0,26	0,10

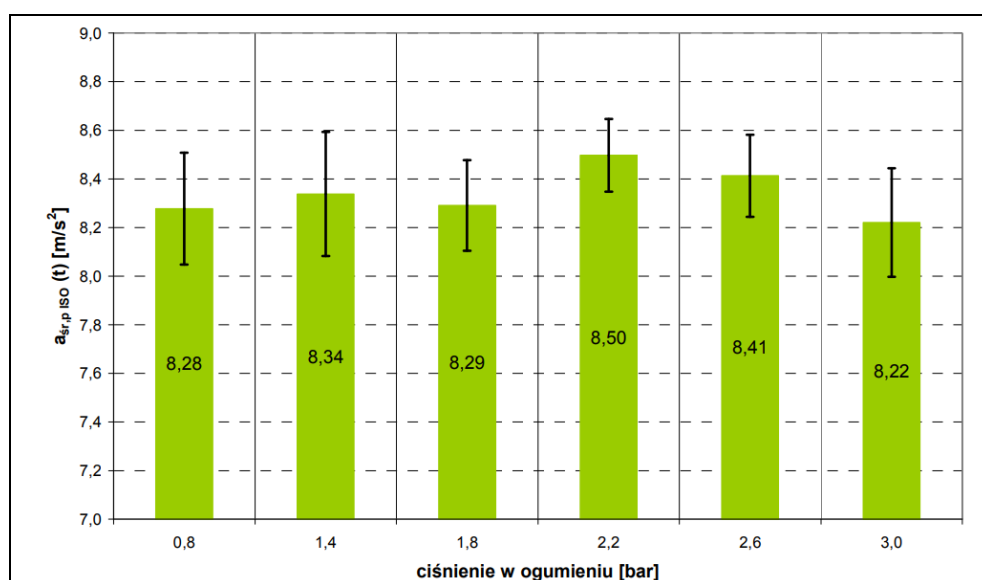
Rys. 2.38. Wartości opóźnień [m/s²] uzyskanych podczas hamowania na asfaltowej nawierzchni w warunkach zimowych [58]

Na wartość współczynnika opóźnienia hamowania może mieć wpływ także ciśnienie w oponie, na co zwrócili uwagę autorzy pracy [59]. W swoich badaniach wykorzystali samochód Audi A4 wyposażony w opony Dunlop Winter Sport 205/55 R16, dla których przy częściowym obciążeniu pojazdu producent opon zalecił ciśnienie w ogumieniu wynoszące 2,2 bar. W przeprowadzonych badaniach do dokonywano zarówno stopniowego zmniejszania tego ciśnienia do wartości 0,8 bar, jak i jego zwiększania do wartości 3,0 bar. Uzyskane rezultaty zamieszczono na rys. 2.39 i 2.40. Analiza uzyskanych wskazuje na pewne obniżenie

wartości opóźnienia hamowania zarówno w przypadku zbyt niskiego, jak i zbyt wysokiego ciśnienia w ogumieniu. Najwyższe wartości (8,50 m/s²) uzyskano przy ciśnieniu w oponach zgodnym w wartością podaną przez producenta opon (2,2 bar).

Ciśnienie w ogumieniu [bar]	Opóźnienie $a_{sr,p,ISO}$ (t) [m/s ²]	Odch. stand.
0,8	8,28	0,230
1,4	8,34	0,255
1,8	8,29	0,186
2,2	8,50	0,150
2,6	8,41	0,169
3,0	8,22	0,223

Rys. 2.39. Zestawienie liczbowe wyników prób hamowania na suchej nawierzchni z włączonym układem ABS dla różnych ciśnień w ogumieniu [59]



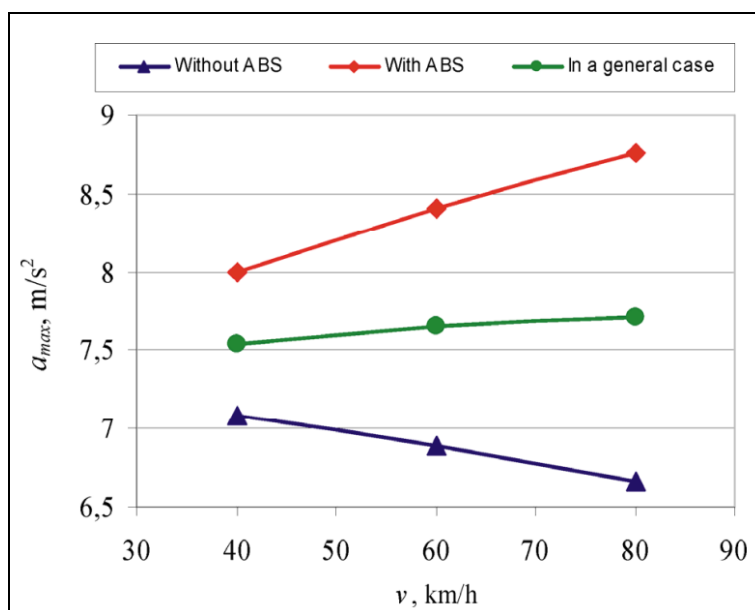
Rys. 2.40. Zestawienie graficzne wyników prób hamowania na suchej nawierzchni z włączonym układem ABS dla różnych ciśnień w ogumieniu [59]

Na wartość współczynnika opóźnienia hamowania może mieć również wpływ rodzaj nawierzchni, o czym wspominają autorzy prac [60, 61]. Wyniki badań zamieszczone w pracy [61], dotyczące hamowania pojazdem Ford Mondeo wskazują (rys. 2.41), że wartość opóźnienia hamowania jest zależna od rodzaju nawierzchni (autorzy wykorzystali w swoich badaniach pięć rodzajów nawierzchni). Przy okazji można także zauważyć, że wartości te zależą również od rodzaju i stanu ogumienia, stanu jezdni, a także od prędkości początkowej.

	V_{pocz} [km/h]	Rodzaj ogumienia	Nawierzchnia				
			1	2	3	4	5
Jezdnia sucha	80	Letnia nowa	9,04	8,67	8,83	9,44	8,90
		Letnia zużyta	–	–	–	9,56	9,31
		Zimowa nowa	–	–	–	8,95	8,21
	100	Letnia nowa	9,18	8,91	–	9,28	8,99
		Letnia zużyta	–	–	–	9,80	9,38
		Zimowa nowa	–	–	–	8,68	8,32
Jezdnia mokra	80	Letnia nowa	–	–	–	8,09	7,54
		Letnia zużyta	–	–	–	7,83	7,41
		Zimowa nowa	–	–	–	8,15	6,84
	100	Letnia nowa	–	–	–	7,98	7,38
		Letnia zużyta	–	–	–	7,77	6,98
		Zimowa nowa	–	–	–	7,95	6,88

Rys. 2.41. Wartości opóźnienia hamowania w zależności od rodzaju nawierzchni [61]

Autor pracy [64] przeprowadził badania dotyczące hamowania awaryjnego w pojazdach. Badaniom poddał 10 pojazdów w dobrym stanie technicznym, wyprodukowanych w latach 1987-2001, w których badał opóźnienie hamowania przy włączonym i wyłączonym układzie ABS. Uzyskane wyniki badań (rys. 2.42) wskazują na wyższe wartości współczynnik opóźnienia hamowania przy włączonym układzie ABS ($8,0 - 8,7 \text{ m/s}^2$), niż przy wyłączonym układzie ABS ($6,6 - 7,1 \text{ m/s}^2$). Uzyskane wyniki badań potwierdziły także wpływ prędkości początkowej na otrzymane rezultaty.



Rys. 2.42. Zależność opóźnienia hamowania od prędkości pojazdu [64]

W pracy [65] przedstawiono wyniki badań obliczeniowych procesu hamowania pojazdów wyposażonych w system AEB (*Autonomous Emergency Braking*), który ma przeciwdziałać najechaniu samochodu na poprzedzający go pojazd na drodze [66]. System AEB działa w oparciu o monitorowanie przestrzeni przed pojazdem i uruchomienie układu hamulcowego bez ingerencji kierującego. Autorzy pracy podają, że w trakcie prac obliczeniowych dotyczących systemu AEB w różnych pojazdach stosowano wartość opóźnienia hamowania wynoszącą $6,5 \text{ m/s}^2$, natomiast autorzy pracy [67] w innych badaniach dotyczących AEB wskazują na stosowną wartość maksymalną wynoszącą $9,0 \text{ m/s}^2$, a w pracy [68] podano wartości od $4,5$ do $6,1 \text{ m/s}^2$.

Współcześnie na drogach znajduje się coraz większa ilość pojazdów hybrydowych i elektrycznych. Autorzy pracy [69] zajęli się oceną skuteczności hamowania pojazdów elektrycznych przy ustalaniu okoliczności wypadku drogowego, przy czym skupi się w swej pracy na udoskonaleniu matematycznego opisu dynamiki ruchu pojazdu elektrycznego.

W bardzo nielicznych pracach można napotkać wyniki badań procesu hamowania, które dotyczyłyby motocykli. Takie dane można znaleźć w pracy [62], której autorzy zmierzili m.in. wartości współczynnika opóźnienia hamowania w ośmiu rodzajach motocykli. Uzyskane rezultaty (rys. 2.43) wskazują, że wartości współczynnika opóźnienia hamowania zwierzały się w przedziały od $4,4$ do $7,0 \text{ m/s}^2$.

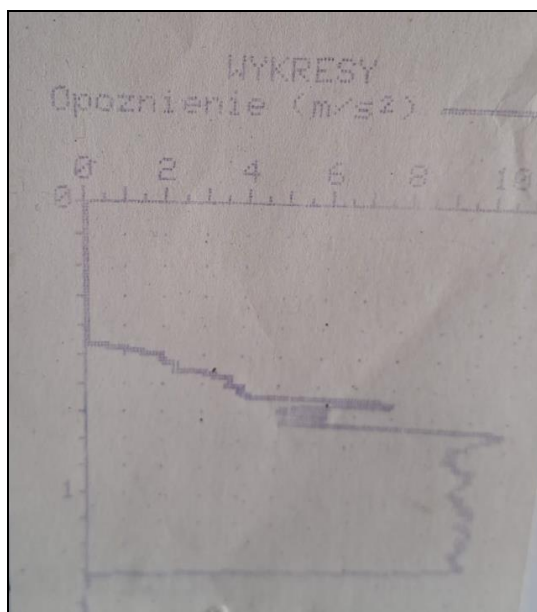
Motocykl	Próba	Maksymalne opóźnienie hamowania (m/s^2)		Długość śladu (m)		Uwagi
		Wariant 1	Wariant 2	Wariant 1	Wariant 2	
HONDA 125	1	6,3	-	5,5	-	koło blokowane w obu próbach
	2	6,2	-	6,3	-	
YAMAHA 125 s	1	5,5	-	5,9	-	koło blokowane w obu próbach
	2	5,4	-	6,2	-	
MZ ETZ 250	1	5,3	-	2,5	-	koło blokowane w obu próbach
	2	5,55	-	4,1	-	
WSK 125	1	7	-	6,45	-	koło blokowane w obu próbach
	2	6,8	-	5,85	-	
JUNAK 350	1	7,3	-	8,7	-	koło blokowane w obu próbach
	2	7,3	-	8,7	-	
YAMAHA FJ 1200	1	5,9	-	8,3	-	koło blokowane we wszystkich próbach
	2	6,4	-	9	-	
	3	-	9,81	-	1,4 przód i 2,5 tył	
MZ ETZ 251	1	4,7	-	8,3	-	koło blokowane koło blokowane koło przednie nie blokowane oba koła blokowane
	2	4,4	-	9,2	-	
	3	-	9,2	-	4,26 tył	
	4	-	9,7	-	3,4 tył i 2,1 przód	
CZ 350	1	6,8	-	6,3	-	koło blokowane koło blokowane blokowane tylko koło tylne
	2	6,49	-	7,4	-	
	3	-	7,7	-	2 koło tylne	

Rys. 2.43. Rezultaty prób hamowania motocykli [59]

Jednym ze źródeł danych o wartościach opóźnienia hamowania pojazdów mogą być stacje kontroli pojazdów. Na wyposażeniu każdej takiej stacji znajduje się opóźniomierz, który jest używany przez diagnostę w sytuacjach w których np. ze względów na cechy konstrukcyjne pojazdu, nie można skorzystać z rolek hamulcowych. Do grupy takich pojazdów należą samochody sportowe posiadające niewielki prześwit między podwoziem a nawierzchnią. Na rys. 2.44 przedstawiono widok pojazdu Ferrari znajdującego się w Stacji Kontroli Pojazdów nr PO/042/P należącej do Politechniki Poznańskiej. W przypadku tego pojazdu nie można było przeprowadzić kontroli skuteczności działania układu hamulcowego z wykorzystaniem widocznych przed pojazdem rolek hamulcowych. Konieczne okazało się wykonanie pomiaru opóźnienia hamowania. Uzyskane wyniki pomiaru opóźnienia hamowania przedstawiono na rys. 2.45. W przypadku tego pojazdu pomiary wykonano na równej nawierzchni przy prędkości początkowej wynoszącej 30 km/h, a wartość zmierzona opóźnienia hamowania wyniosła około 10 m/s².



Rys. 2.44. Samochód Ferrari w stacji kontroli pojazdów



Rys. 2.45. Rezultaty pomiaru opóźnienia hamowania w samochodzie Ferrari

W przypadku konieczności przeprowadzenia rekonstrukcji wypadku, najbardziej wiarygodnym źródłem informacji o opóźnieniu hamowania pojazdu podczas zdarzenia drogowego były odczyty z systemu EDR czyli rejestratora danych wypadkowych zwanego potocznie „czarną skrzynką”. Niestety tylko niewielka ilość pojazdów poruszających się po drogach jest wyposażona ten system, a obowiązek stosowania tego systemu w nowych pojazdach wprowadzono w lipcu 2022 roku, przy czym dotyczy jedynie pojazdów kategorii M1 i N1, a więc samochodów osobowych oraz samochodów ciężarowych o maksymalnej masie do 3,5 tony.

2.5. Podsumowanie analizy stanu wiedzy

Rozwój techniki samochodowej, w tym zastosowanie przykładowych rozwiązań technicznych przedstawionych w niniejszej pracy, przyczynił się do ogólnej poprawy bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Niemniej jednak ilość występujących corocznie zdarzeń drogowych, jest znaczna, na co wskazują dane przedstawione w podrozdziale 2.2. Większość zdarzeń drogowych (np. zderzeń z innymi pojazdami, zderzeń z pieszymi, uderzeń w elementy infrastruktury drogowej) wiąże się wystąpieniem procesu hamowania pojazdu.

Precyzyjne odtworzenie procesu hamowania wymaga posiadania dokładnych danych o mechanice ruchu pojazdu, w szczególności o opóźnieniu hamowania podczas zdarzenia drogowego. Najbardziej dokładne dane są możliwe do uzyskania z rejestratorów parametrów ruchu pojazdów tzw. „czarnych skrzynek”, jednakże tylko niewielka ilość pojazdów jest w nie wyposażona. W większości przypadków w procesie rekonstrukcji, zwłaszcza rekon-

strukcji na potrzeby postępowań sądowych, korzysta się z danych zawartych w opracowaniach o charakterze poradnikowym, w których podane są te informacje w sposób zagregowany. Biegły sądowy ma możliwość wyboru wartości opóźnienia z pewnego przedziału i w zasadzie wybór ten ma w większości przypadków charakter arbitralny. Wybór wartości przez różnych biegłych może się różnić między sobą i tym samym uzyskiwane wyniki dalszych obliczeń będą również się różniły między sobą. W rozdziale 2.4.3 przedstawiono wpływ przyjętych wartości współczynnika opóźnienia hamowania na różnice w długości dróg hamowania. Przykładowo hamowanie z początkowej prędkości 70 km/h przy opóźnieniu wynoszącym $5,0 \text{ m/s}^2$ spowoduje zatrzymanie pojazdu na odcinku 42,48 m, a przyjęcie opóźnienia hamowania na poziomie $5,5 \text{ m/s}^2$ przełoży się na drogę hamowania wynoszącą 38,89 m. Tych kilka metrów w różnicy długości drogi hamowania, może zadecydować o tym czy kierujący pojazdem był w stanie np. zatrzymać pojazd przed przejściem dla pieszych. Natomiast rezultaty przytoczonych obliczeń zależą w dużej mierze, jak już wcześniej wspomniano, od arbitralnie przyjętych przez biegłego parametrów mechaniki ruchu pojazdu.

Istnieje wprawdzie pewien dostęp do bardziej szczegółowych danych dotyczących procesu hamowania pojazdów (szczegóły w podrozdziale 2.4.5), przy czym dane te dotyczą jedynie ograniczonej grupy pojazdów. W szczególności jest bardzo mało takich informacji w odniesieniu do pojazdów jednośladowych oraz quadów, samochodów sportowych, hybrydowych i elektrycznych, czy też pojazdów wyposażonych w system AED. Ponadto autorzy różnych opracowań wskazują, że szczegółowe wyniki zależą od wielu innych czynników np. prędkość początkowa, rodzaj nawierzchni, ciśnienie w ogumieniu, stopień zużycia pojazdu. Należy też dodać, że wykonanie pomiarów współczynnika opóźnienia hamowania od strony organizacyjnej jest zazwyczaj trudne, ze względu na ograniczenia w dostępie do dużej ilości pojazdów przynależnych do różnych segmentów.

3. SFORMUŁOWANIE PROBLEMATYKI BADAWCZEJ

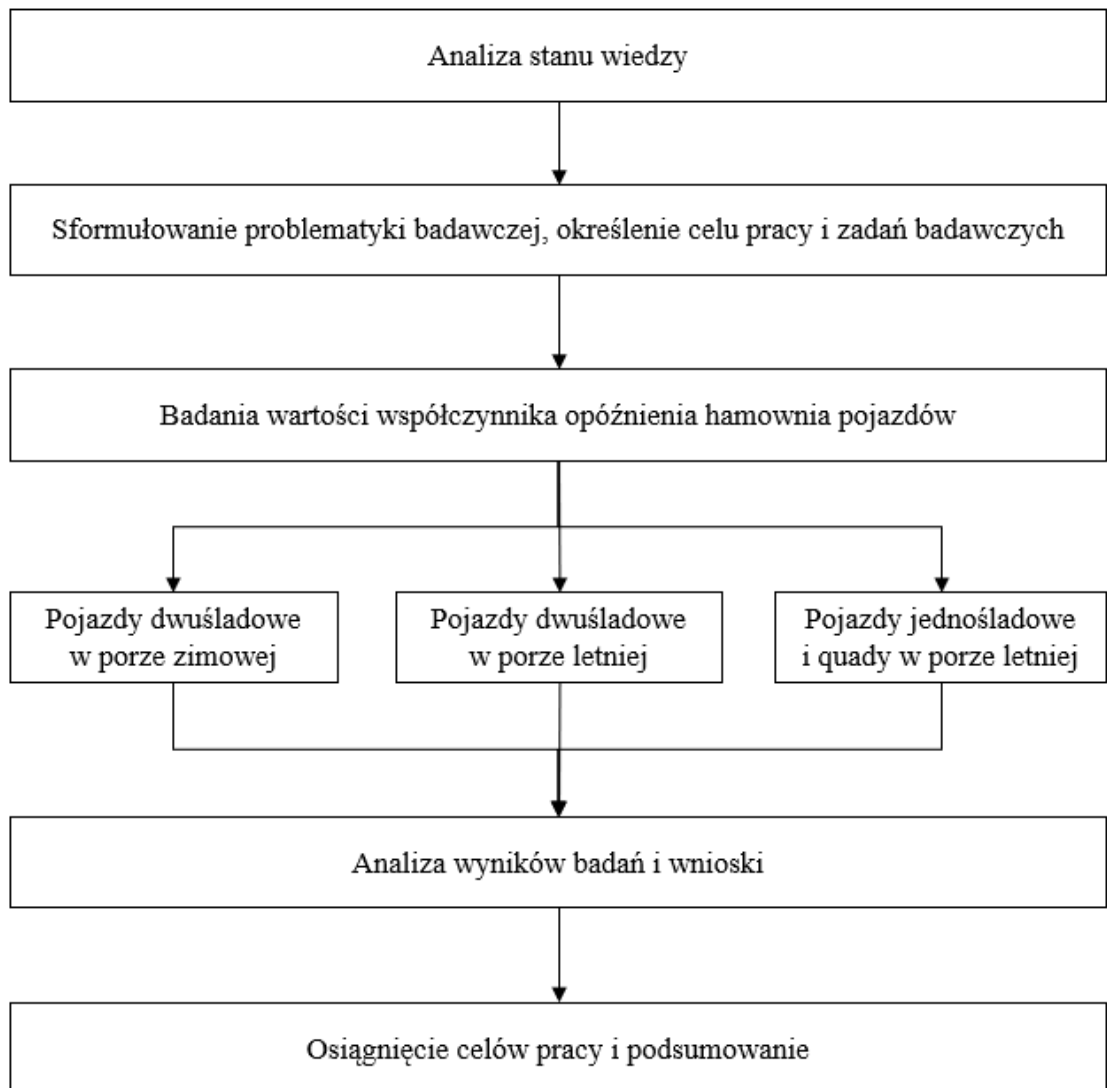
Wykonana analiza stanu wiedzy w obszarze rekonstrukcji wypadków drogowych wskazuje, że istnieją problemy naukowe o charakterze poznawczym, związane z wyznaczeniem wartości współczynnika opóźnienia hamowania pojazdu. W szczególności brakuje takich danych dla pojazdów współczesnych, w tym dla pojazdów jednośladowych. Na tej podstawie sformułowano cel pracy w postaci:

Możliwość wyznaczania średnich wartości współczynnika opóźnienia hamowania w wybranych współczesnych pojazdach jedno i dwuśladowych poruszających się w zróżnicowanych warunkach drogowych na potrzeby zwiększenia dokładności rekonstrukcji wypadków drogowych.

W ramach realizacji pracy zaplanowano wykonanie badań w zakresie potrzebnym do osiągnięcia celu pracy, przy uwzględnieniu możliwości oddziaływania na zmienne warunki drogowe oraz ograniczeń wynikających z dostępności pojazdów i miejsc wykonywania pomiarów. Niezbędne do wykonania zadania sformułowano następująco:

1. Wyznaczenie średniej wartości współczynnika opóźnienia hamowania w grupie wybranych pojazdów dwuśladowych w porze zimowej.
2. Wyznaczenie średniej wartości współczynnika opóźnienia hamowania w grupie wybranych pojazdów dwuśladowych w porze letniej.
3. Wyznaczenie średniej wartości współczynnika opóźnienia hamowania w grupie wybranych pojazdów jednośladowych i quadów w porze letniej.

Sposób realizacji wyznaczonych zadań omówiono w kolejnym rozdziale. Przedstawiono w nim obiekty badań, układ pomiarowy, metodykę badań, a także wyniki badań wraz z ich analizą i wnioskami. Realizację wymienionych zadań badawczych na tle wszystkich etapów działań przewidzianych w całej pracy przedstawiono na rys. 3.1.



Rys. 3.1. Schemat realizacji pracy doktorskiej

4. BADANIA WŁASNE

4.1. Cel i zakres badań

Celem badań zaplanowanych do zrealizowania w ramach niniejszej pracy było opracowanie metodyki do wyznaczanie średniej wartości współczynnika opóźnienia hamowania w trzech grupach pojazdów wymienionych w zadaniach badawczych sformułowanych w trzecim rozdziale pracy.

Zakres zaplanowanych prac sprowadzał się do przeprowadzenia badań w trzech częściach. Dwie z nich dotyczyły pojazdów dwuśladowych w warunkach zimowych i letnich, a trzecia część objęła pojazdy jednośladowe w warunkach letnich. Z uwagi na konieczność przeprowadzenia badań w różnych okresach czasowych i wiążącą się z tym ograniczoną dostępnością do pojazdów, konieczne okazało się zastosowanie zróżnicowanej ilości powtórzeń poszczególnych pomiarów.

4.2. Metodyka badań

Badania prowadzono niezależnie w każdej z trzech grup pojazdów. Podczas realizacji badań stosowane następujące zasady:

- w grupie pojazdów dwuśladowych sprawdzanych w porze zimowej badania przeprowadzono na terenie lotniska w miejscowości Lipki Wielkie – rys. 4.1.;
- w grupie pojazdów dwuśladowych sprawdzanych w porze letniej badania przeprowadzono na torze kartingowym w miejscowości Stary Kisielin – rys. 4.2;
- w grupie pojazdów jednośladowych i quadów sprawdzanych w porze letniej badania przeprowadzono na odcinku ulicy Górczyńskiej w Gorzowie Wielkopolskim – rys. 4.3;
- nawierzchnie lotniska, toru kartingowego oraz odcinka drogi Górczyńskiej drogi były utrzymane w dobrym stanie, bez ubytków i nierówności;
- warunki badań w porze zimowej cechowały się tym, że nawierzchnia była mokra (bez śniegu i lodu), a temperatura otoczenia wynosiła od 0 do + 2°C;
- warunki badań w porze letniej zimowej cechowały się tym, że nawierzchnia była sucha a temperatura otoczenia wynosiła powyżej 20°C;
- pomiary powtarzano, w zależności o technicznych możliwości od 3-6 razy;

- w grupie pojazdów jednośladowych i quadów pojedyncze pomiary powtarzano trzykrotnie, przy czym wykonywano hamowania z użyciem tylko hamulca przedniego, następnie tylko hamulca tylnego, a następnie z użyciem obydwu hamulców jednocześnie;
- pojazdy były wyposażone w ogumienie stosowne do pory roku oraz były wyposażone w system ABS;
- przed rozpoczęciem każdej z trzech części zaplanowanych badań, pojazdy poddawano standardowej kontroli układu hamulcowego w stacji kontroli pojazdów;
- proces hamowania w pojazdach dwuśladowych, zarówno w warunkach zimowych jak i letnich był każdorazowo przeprowadzany przez tę samą osobę (kierowca nr 1);
- proces hamowania w pojazdach jednośladowych i quadów był każdorazowo przeprowadzany przez tę samą osobę (kierowca nr 2);



Rys. 4.1. Teren lotniska w miejscowości Lipki Wielkie



Rys. 4.2. Tor kartingowy w miejscowości Stary Kisielin



Rys. 4.3. Ulica Górczyńska w Gorzowie Wielkopolskim [63]

4.3. Aparatura badawcza

Do wyznaczenia wartości współczynnika opóźnienia hamowania wykorzystano opóźnieniomierz AMX 520, przedstawiony na rys. 4.4. Opóźnieniomierz ten służy do sprawdzania skuteczności działania hamulców samochodów osobowych, ciężarowych, przyczep, autobusów i ciągników rolniczych o dopuszczalnej masie całkowitej do i powyżej 3,5 t. Głównym przeznaczeniem przyrządu jest pomiar ujemnych przyspieszeń wzdłużnych pojazdu (opóźnień) występujących w procesach ich hamowania. Funkcja ta jest realizowana zgodnie z zaleceniami Instytutu Transportu Samochodowego WT-ITS 23/99-ZDO dotyczącymi opóźnieniomierzy i służy do sprawdzania skuteczności hamulców pojazdów samochodowych. Opóźnieniomierze oprócz pomiaru wzdłużnego pojazdu umożliwiają także pomiar siły nacisku na pedał hamulca. Pomiar ten jest dokonywany za pomocą precyzyjnych tensometrycznych przetworników siły na sygnał elektryczny. Wyniki pomiarów opóźnień i siły są synchronicznie rejestrowane podczas procesu hamowania w pamięci procesowej i po przetworzeniu ich wyświetlane na własnym wyświetlaczu LCD.



Rys. 4.4. Opóźnieniomierz AMX 520

Procedura użycia opóźnieniomierza AMX 520 urządzenia jest następująca:

1. Podłączenie czujnika siły nacisku i jego zamocowania na pedale (dźwigni) hamulca.
2. Włączenie zasilania przyrządu.
3. Umieszczenie przyrządu na powierzchni (np. podłodze pojazdu) w taki sposób aby oś wzdłużna przyrządu była równoległa do osi wzdłużnej pojazdu.
4. Uruchomienie pojazdu.
5. Włączenie tryby rejestracji.
6. Rozpędzenie pojazdu prędkości około (30 km/h) 50 km/h.
7. Wykonanie procesu hamowania.
8. Rejestracja wyników pomiarów.

W przypadku pomiarów wykonanych na pojazdach jednośladowych i quadach stosowano opóźnieniomierz OP-1 ELHOS, który przedstawiono na rys. 4.5. Sposób użytkowania tego przyrządu jest bardzo zbliżony do sposobu użytkowania opóźnieniomierza AMX 520.

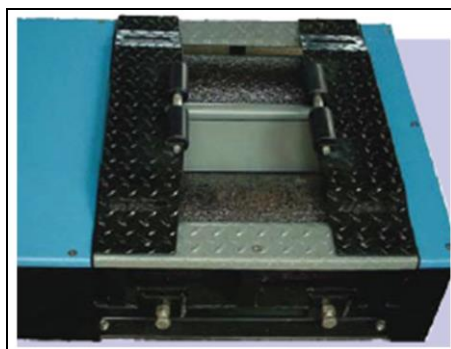


Rys. 4.5. Opóźniomierz OP-1 ELHOS

Przed rozpoczęciem pomiarów wartości współczynnika opóźnienia hamowania, jak już wcześniej wspomniano, wszystkie pojazdy poddawano standardowej kontroli układu hamulcowego w stacji kontroli pojazdów, którą przedstawiono na rys. 4.6. W szczególności korzystano z urządzenia rolkowego do kontroli działania układu hamulcowego (rys. 4.7), które w przypadku pojazdów jednośladowych było wyposażone w specjalną nakładkę.



Rys. 4.6. Stacja kontroli pojazdów



Rys. 4.7. Urządzenie rolkowe do kontroli hamulców z nakładką stosowaną przy badaniu pojazdów jednośladowych

Urządzenia rolkowe do kontroli działania hamulców zbudowane są z jednostki sterująco-wskaźnikowej, przyrządu do pomiaru nacisku na pedał hamulca i zespołów napędowych do pomiaru siły hamowania, które składają się z motoreduktora oraz rolek połączonych łańcuchem. Rolki napędzają koło jezdne, pokonują opory toczenia oraz moment hamujący koło. Pomiędzy momentem hamowanego koła a mierzonym momentem reakcyjnym istnieje proporcjonalność, co umożliwia określenie wartości momentu hamującego oraz siły hamowania badanego koła. W zespołach napędowych do pomiaru sił hamowania wykorzystuje się obecnie elektroniczne układy pomiarowe z czujnikami tensometrycznymi lub indukcyjnymi.

4.4. Charakterystyka obiektów badawczych

Do przeprowadzenia badań wytypowano pojazdy dwuśladowe, jednośladowe oraz quady, których wykaz zamieszczono w tab. 4.1–4.3, a zdjęcia poglądowe zamieszczono w tab. 4.4 i 4.5. W celu uporządkowania informacji, każdemu pojazdowi przypisano oznaczenie badawcze, które zamieszczono w pierwszych kolumnach w tab. 4.1–4.3. Pojazdy dobierano w taki sposób aby, przy uwzględnieniu ich dostępności w dniach w których przeprowadzano badania, należały do różnych grup pojazdów. Wśród pojazdów dwuśladowych do badań wzięto pojazdy miejskie, osobowo-dostawcze, dostawcze i pick-upy. W grupie pojazdów jednośladowych do badaniach wzięto motocykle należący do grupy superbików, chopperów, cruiserów, enduro, naked-bików oraz skuterów. W grupie pojazdów dla których przewidziano wykonanie po 6 pomiarów, badania w porze zarówno letniej jak i zimowej przeprowadzono na tych samych egzemplarzach pojazdów (oznaczenia badawcze 15–31 oraz 41–57). Natomiast w przypadku pojazdów dla których przewidziano po trzy pomiary, w porze letniej i zimowych stosowano w badaniach oddzielne egzemplarze pojazdów (oznaczenia badawcze 1–14 oraz 32–40).

Tab. 4.1. Pojazdy czterośladowe poddane badaniom w okresie zimowym

Oznaczenie badawcze	Grupa	Marka i model	Ilość pomiarów
1	Miejskie	Kia Ceed	3
2	Miejskie	Opel Astra	3
3	Miejskie	Audi A3	3
4	Miejskie	Opel Corsa	3
5	Miejskie	Opel Mokka	3
6	Osobowo-dostawcze	Kia Soul	3
7	Osobowo-dostawcze	Skoda Yeti	3
8	Osobowo-dostawcze	VW Caddy	3
9	Dostawcze	VW Crafter	3
10	Dostawcze	Renault Master	3
11	Dostawcze	Fiat Ducato	3
12	Pick-up	Isuzu	3
13	Pick-up	Mitsubishi L-200	3
14	Pick-up	Ford Ranger	3
15	Osobowo-dostawcze	VW Touran	6
16	Miejskie	Audi A6	6
17	Miejskie	VW Passat	6
18	Osobowo-dostawcze	Kia Soul	6
19	Osobowo-dostawcze	Skoda Yeti	6
20	Osobowo-dostawcze	VW Caddy	6
21	Dostawcze	VW Crafter	6
22	Dostawcze	Renault Master	6
23	Dostawcze	Fiat Ducato	6
24	Miejskie	Kia Ceed	6
25	Miejskie	Opel Astra	6
26	Miejskie	Audi A3	6
27	Miejskie	Opel Corsa	6
28	Miejskie	Opel Mokka	6
29	Pick-up	Isuzu	6
30	Pick-up	Mitsubishi L-200	6
31	Dostawcze	Fiat Ducato	6

Tab. 4.2. Pojazdy czterośladowe poddane badaniom w okresie letnim

Oznaczenie badawcze	Numer	Marka i model	Ilość pomiarów
32	Osobowo-dostawcze	VW Touran	3
33	Osobowo-dostawcze	VW Caddy	3
34	Miejskie	Opel Mokka	3
35	Dostawcze	VW Crafter	3
36	Dostawcze	Renault Master	3
37	Dostawcze	Fiat Ducato	3
38	Pick-up	Isuzu	3
39	Pick-up	Mitsubishi L-200	3
40	Dostawcze	Fiat Ducato	3
41	Osobowo-dostawcze	VW Touran	6
42	Miejskie	Audi A6	6
43	Miejskie	VW Passat	6
44	Osobowo-dostawcze	Kia Soul	6
45	Osobowo-dostawcze	Skoda Yeti	6
46	Osobowo-dostawcze	VW Caddy	6
47	Dostawcze	VW Crafter	6
48	Dostawcze	Renault Master	6
49	Dostawcze	Fiat Ducato	6
50	Miejskie	Kia Ceed	6
51	Miejskie	Opel Astra	6
52	Miejskie	Audi A3	6
53	Miejskie	Opel Corsa	6
54	Miejskie	Opel Mokka	6
55	Pick-up	Isuzu	6
56	Pick-up	Mitsubishi L-200	6
57	Dostawcze	Fiat Ducato	6

Tab. 4.3. Pojazdy jednośladowe i quady poddane badaniom w okresie letnim

Oznaczenie badawcze	Grupa	Marka i model	Ilość pomiarów
58	Superbike	Honda CBR 1000R	3
59	Superbike	Yamaha YZF R6	3
60	Superbike	Kawasaki ZX6R	3
61	Chopper	Yamaha Virago	3
62	Chopper	Yamaha Drag Star	3
63	Chopper	Kawasaki VN800	3
64	Cruiser	Honda Shadow	3
65	Cruiser	Honda VTX 1800	3
66	Cruiser	Honda Goldwing	3
67	Enduro	Yamaha DT 50 R	3
68	Enduro	Yamaha WR 990S	3
69	Enduro	Yamaha WR 450F	3
70	Naked-bike	Honda X11	3
71	Naked-bike	Suzuki Bandit 600F	3
72	Naked-bike	Yamaha MT-01	3
73	Skuter	Aerox	3
74	Skuter	Peugeot	3
75	Skuter	Piaggio	3
76	Quad	YFM 350 Raptor	3
77	Quad	YFZ 450	3
78	Quad	LTZ 400	3

Tab. 4.4. Zdjęcia poglądowe pojazdów dwuosładowych poddanych badaniom w okresie letnim i zimowym [70–86]

		
VW Touran	Isuzu	Skoda Yeti
		
VW Caddy	Mitsubishi L-200	Kia Ceed
		
Opel Mokka	Ford Ranger	Opel Astra
		
VW Crafter	Audi A6	Audi A3
		
Renault Master	VW Passat	Opel Corsa
		---
Fiat Ducato	Kia Soul	---

Tab. 4.5. Zdjęcia poglądowe pojazdów jednośladowych i quadów poddanych badaniom w okresie letnim [86–107]

 Honda CBR 1000 R	 Honda VTX 1800	 Yamaha MT-01
 Yamaha YZF R6	 Honda Goldwing	 Yamaha Aerox
 Kawasaki ZX6R	 Yamaha DT 50R	 Peugeot
 Yamaha Virago	 Yamaha WR990S	 Piaggio
 Yamaha Drag Star	 Yamaha WR450F	 YFM 350Raptor
 Kawasaki VN800	 Honda X11	 YFZ 450
 Honda Shadow	 Suzuki Bandit 600F	 LTZ 400

4.5. Realizacja badań

W niniejszym podrozdziale zamieszczono materiał graficzny dokumentujący proces realizacji zaplanowanych badań pojazdów. Na poszczególnych rysunkach przedstawiono:

- wnętrze pojazdu Renault Master z zamontowanym opóźniomierzem AMX 520 – rys. 4.8;
- pojazd Volkswagen Passat przed rozpoczęciem montażu opóźniomierza AMX 520 – rys. 4.9;
- motocykl Yamaha z zamontowanym opóźniomierzem AMX 520 – rys. 4.10;
- motocykl Yamaha Virago z zamontowanym opóźniomierzem OP-1 Elhos – rys. 4.11.



Rys. 4.8. Widok wnętrza pojazdu Renault Master z zamontowanym opóźniomierzem AMX 520



Rys. 4.9. Pojazdu Volkswagen Passat przed rozpoczęciem montażu opóźniomierza AMX 520



Rys. 4.10. Motocykl Yamaha z zamontowanym opóźniomierzem OP-1 ELHOS



Rys. 4.11. Motocykl Yamaha Virago z zamontowanym opóźniomierzem OP-1 ELHOS

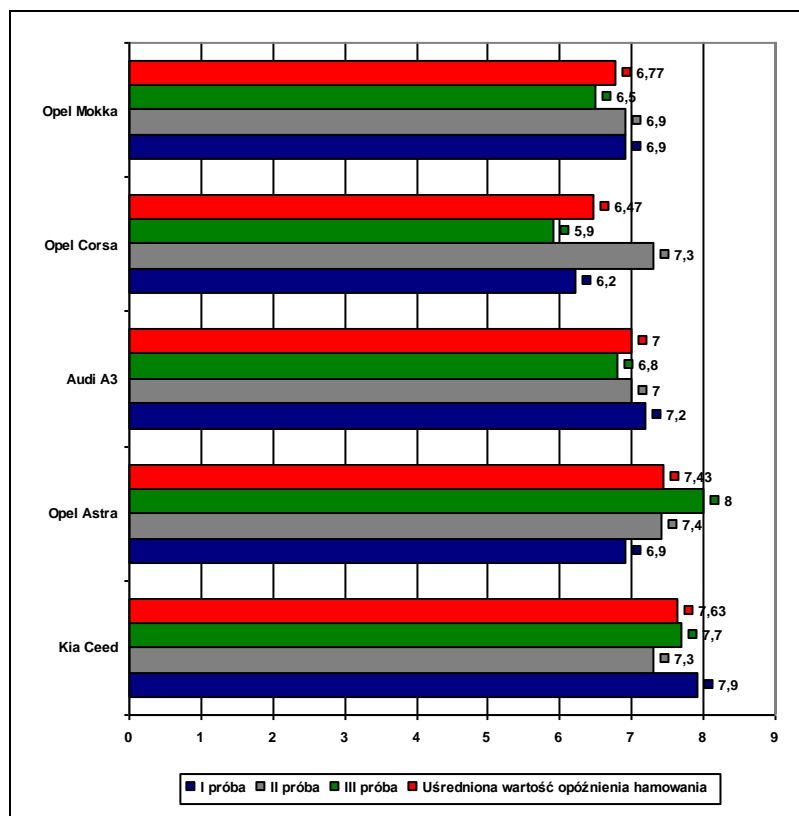
4.6. Wyniki badań

4.6.1. Pojazdy dwuśladowe badane w okresie zimowym

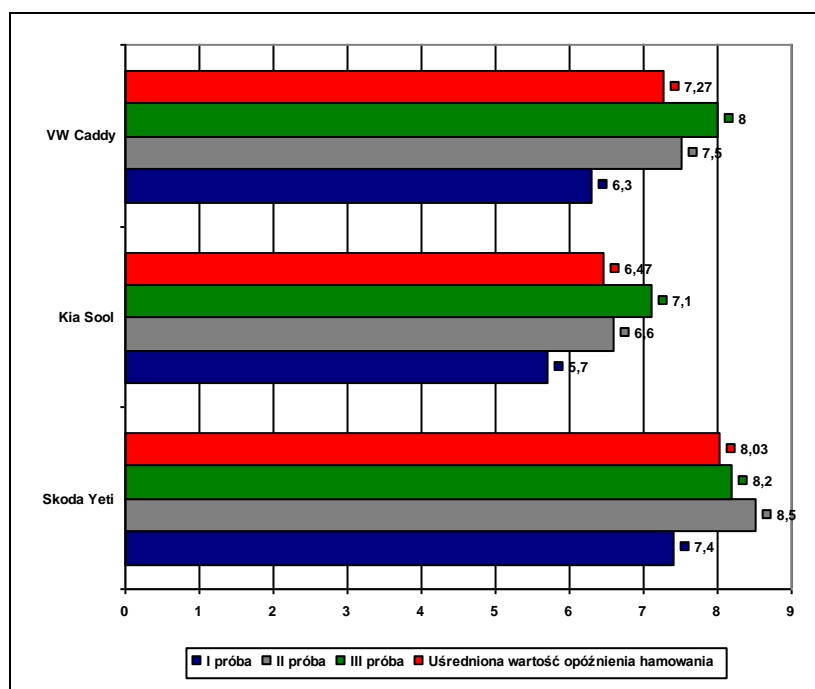
Wyniki dla pojazdów dwuśladowych badanych w okresie zimowym zamieszczono w tab. 4.4 oraz zobrazowano graficznie na rys. 4.12–4.32.

Tab. 4.4. Wyniki badań pojazdów dwuśladowych w okresie zimowym

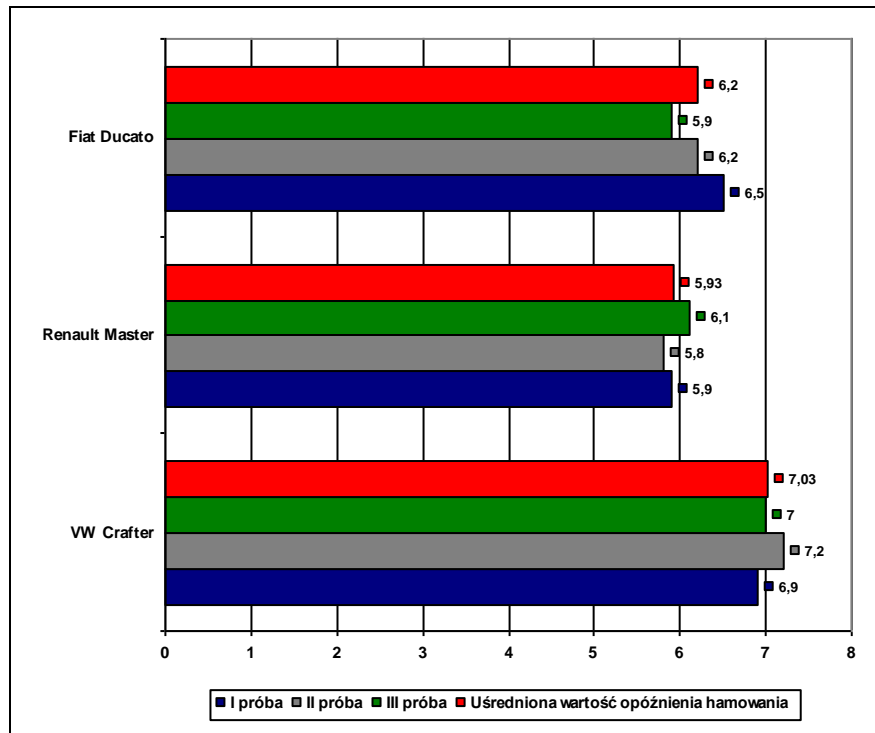
Oznaczenie badawcze	Marka i model	Opóźnienie a_{hZ} [m/s ²]						Średnia a_{hZ}
		Numer pomiaru						
		1	2	3	4	5	6	
1	Kia Ceed	7,9	7,3	7,7	-	-	-	7,63
2	Opel Astra	6,9	7,4	8,0	-	-	-	7,43
3	Audi A3	7,2	7,0	6,8	-	-	-	7,00
4	Opel Corsa	6,2	7,3	5,9	-	-	-	6,47
5	Opel Mokka	6,9	6,9	6,5	-	-	-	6,77
6	Kia Soul	5,7	6,6	7,1	-	-	-	6,47
7	Skoda Yeti	7,4	8,5	8,2	-	-	-	8,03
8	VW Caddy	6,3	7,5	8,0	-	-	-	7,27
9	VW Crafter	6,9	7,2	7,0	-	-	-	7,03
10	Renault Master	5,9	5,8	6,1	-	-	-	5,93
11	Fiat Ducato	6,5	6,2	5,9	-	-	-	6,20
12	Isuzu	6,3	6,2	5,9	-	-	-	6,13
13	Mitsubishi L-200	6,8	6,3	6,9	-	-	-	6,67
14	Ford Ranger	6,0	6,9	7,0	-	-	-	6,63
15	VW Touran	6,5	6,2	6,1	5,9	7,2	6,9	6,47
16	Audi A6	6,9	7,3	6,7	7,1	7,2	6,8	7,00
17	VW Passat	6,8	7,2	6,7	7,5	7,8	7,2	7,20
18	Kia Soul	5,7	6,1	6,1	6,5	6,2	5,7	6,05
19	Skoda Yeti	7,4	6,5	6,2	6,4	5,5	6,8	6,47
20	VW Caddy	6,3	5,5	5,8	6,9	5,5	6,8	6,13
21	VW Crafter	5,9	7,0	5,7	6,8	6,6	6,2	6,37
22	Renault Master	6,1	6,3	6,1	5,6	5,7	5,6	5,90
23	Fiat Ducato	6,5	6,2	6,9	6,7	7,4	6,2	6,65
24	Kia Ceed	7,7	6,3	7,7	7,8	6,9	7,2	7,27
25	Opel Astra	6,9	7,4	6,8	7,2	6,1	7,6	7,00
26	Audi A3	6,2	6,5	6,8	6,9	6,7	6,9	6,67
27	Opel Corsa	5,2	6,3	6,9	6,5	7,4	7,1	6,57
28	Opel Mokka	6,9	6,9	6,5	6,0	6,8	7,1	6,70
29	Isuzu D-max	6,6	6,2	5,9	6,2	6,0	5,5	6,07
30	Mitsubishi L-200	5,8	6,3	6,9	6,5	6,2	7,1	6,47
31	Fiat Ducato	6,9	6,9	7,1	6,2	6,8	6,6	6,75



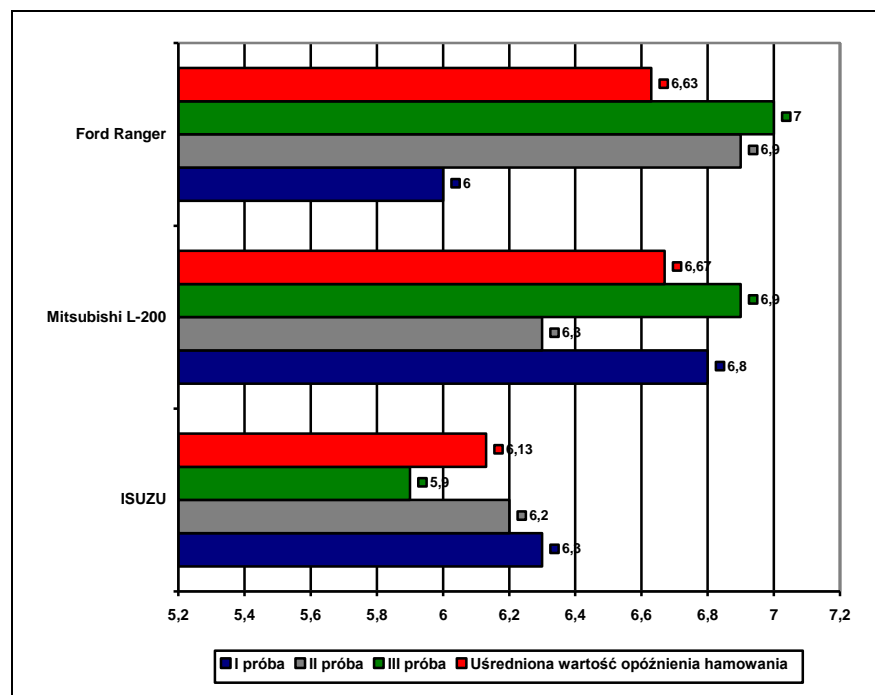
Rys. 4.12. Wyniki badań pojazdów Kia Ceed, Opel Astra, Audi A3, Opel Corsa i Opel Mokka w porze zimowej (oznaczenia badawcze: 1, 2, 3, 4, 5,)



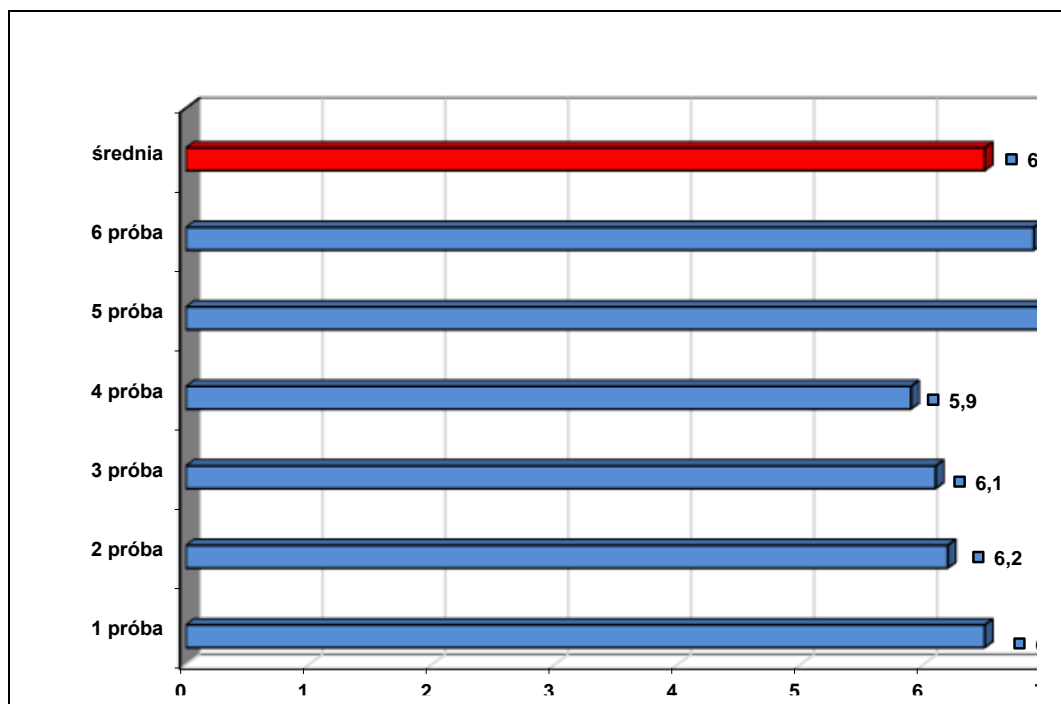
Rys. 4.13. Wyniki badań pojazdów Skoda Yeti, Kia Sool i VW Caddy w porze zimowej (oznaczenia badawcze: 6, 7, 8)



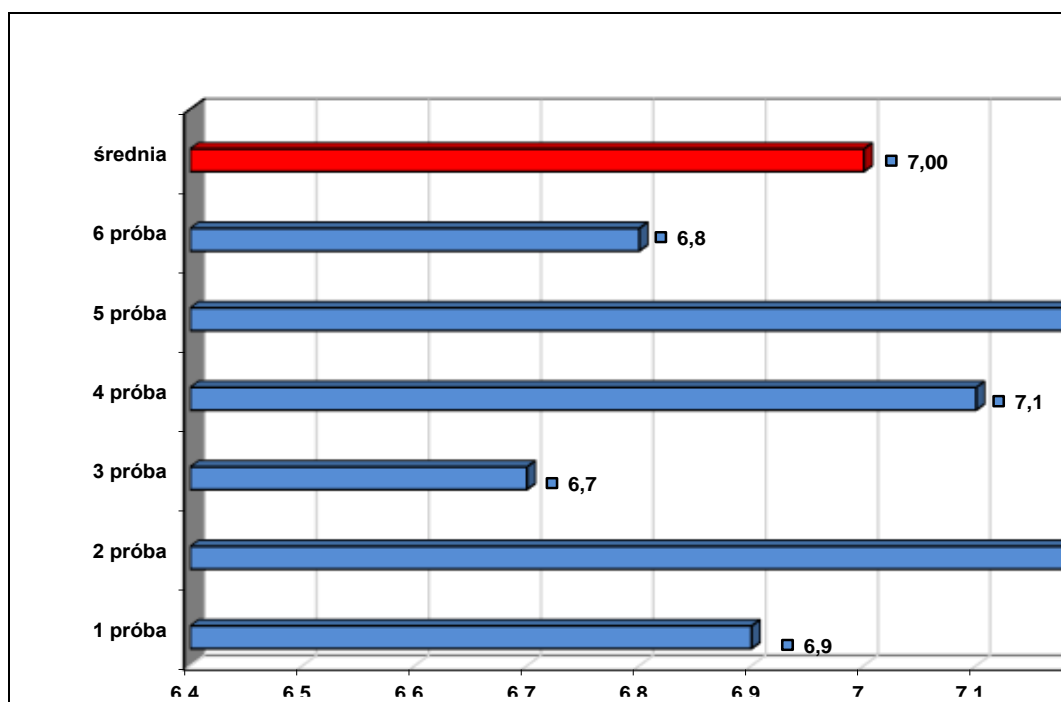
Rys. 4.14. Wyniki badań pojazdów VW Crafter, Renault Master i Fiat Ducato w porze zimowej (oznaczenia badawcze: 9, 10, 11)



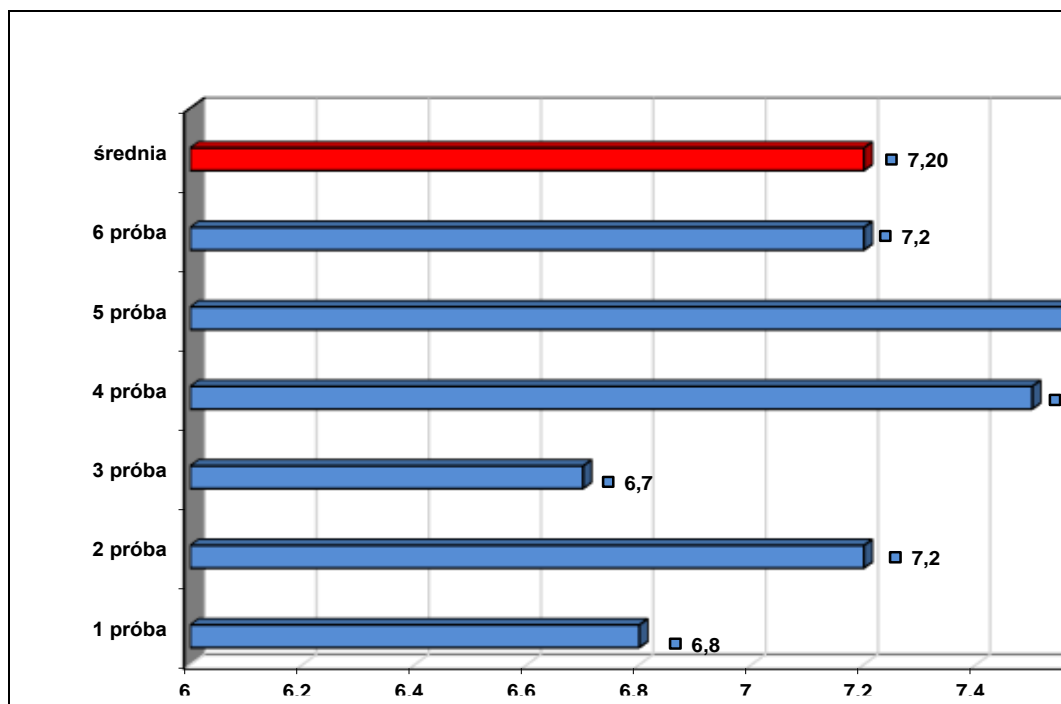
Rys. 4.15. Wyniki badań pojazdów Isuzu, Kia Soul i Skoda Yeti w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 12, 13, 14)



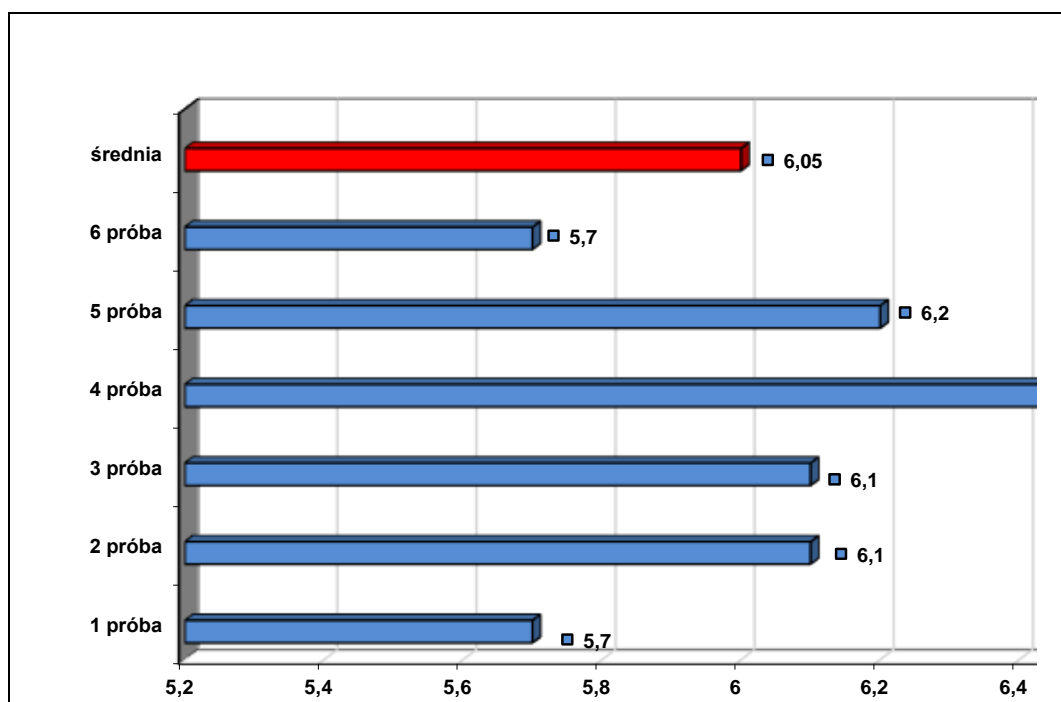
Rys. 4.16. Wyniki badań pojazdu VW Touran w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 15)



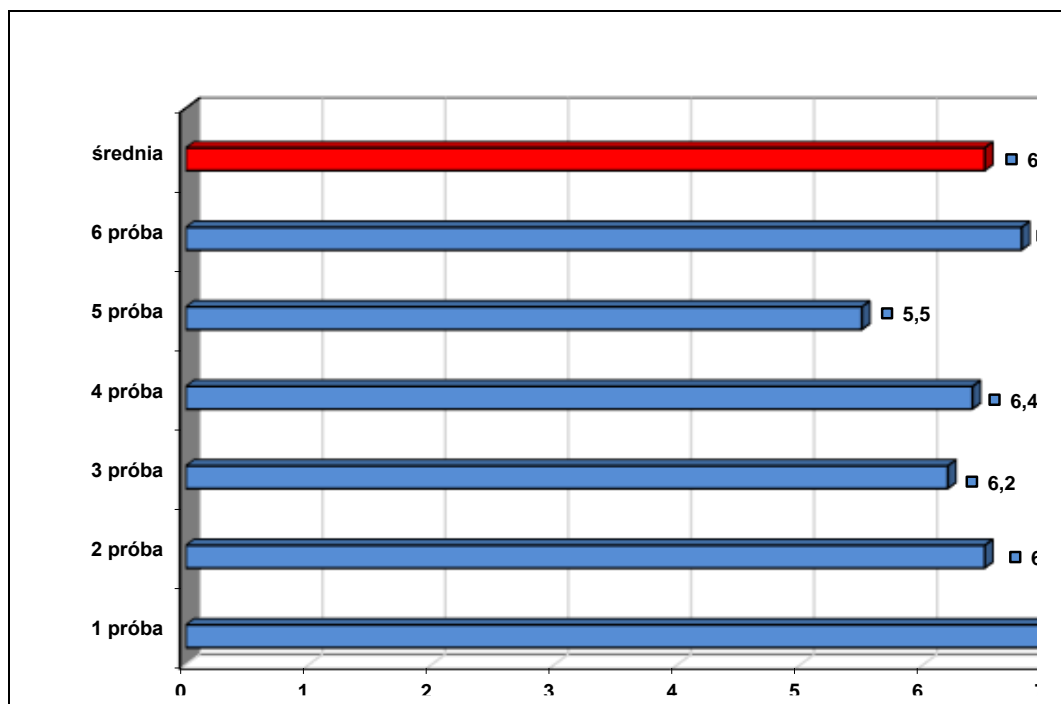
Rys. 4.17. Wyniki badań pojazdu Audi A6 w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 16)



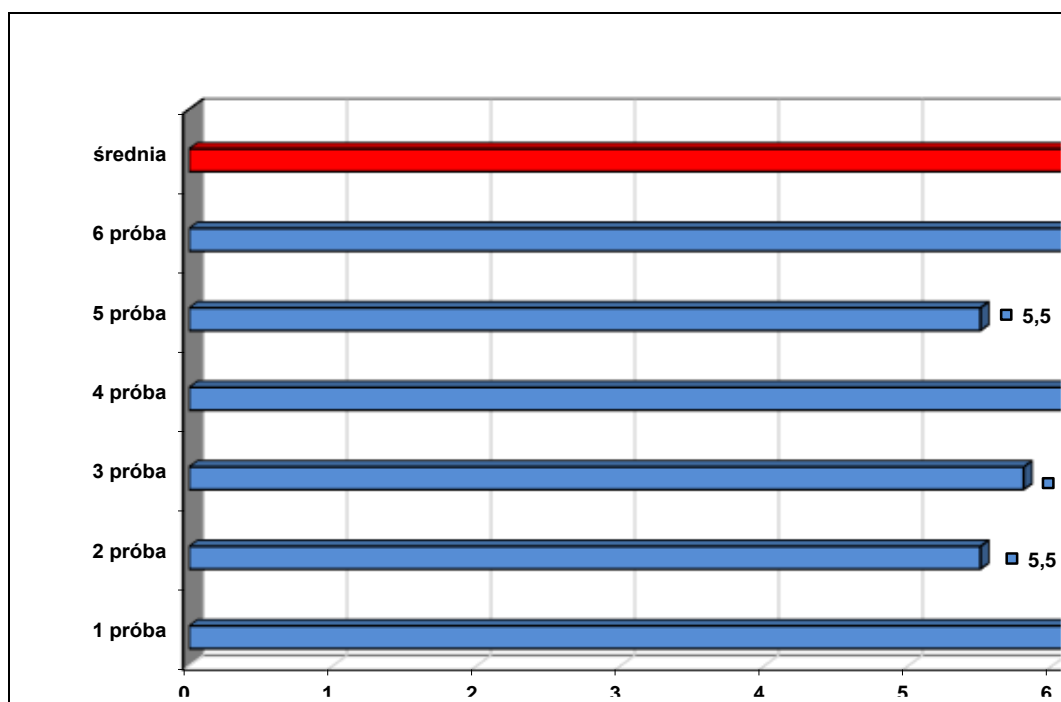
Rys. 4.18. Wyniki badań pojazdu VW Passat w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 17)



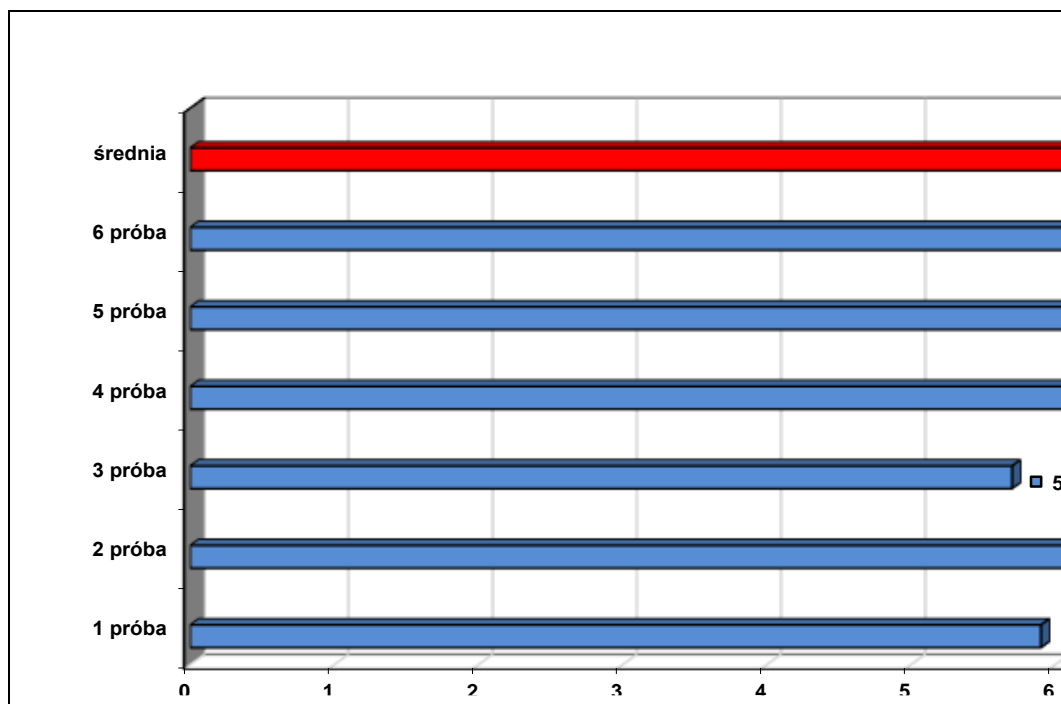
Rys. 4.19. Wyniki badań pojazdu Kia Soul w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 18)



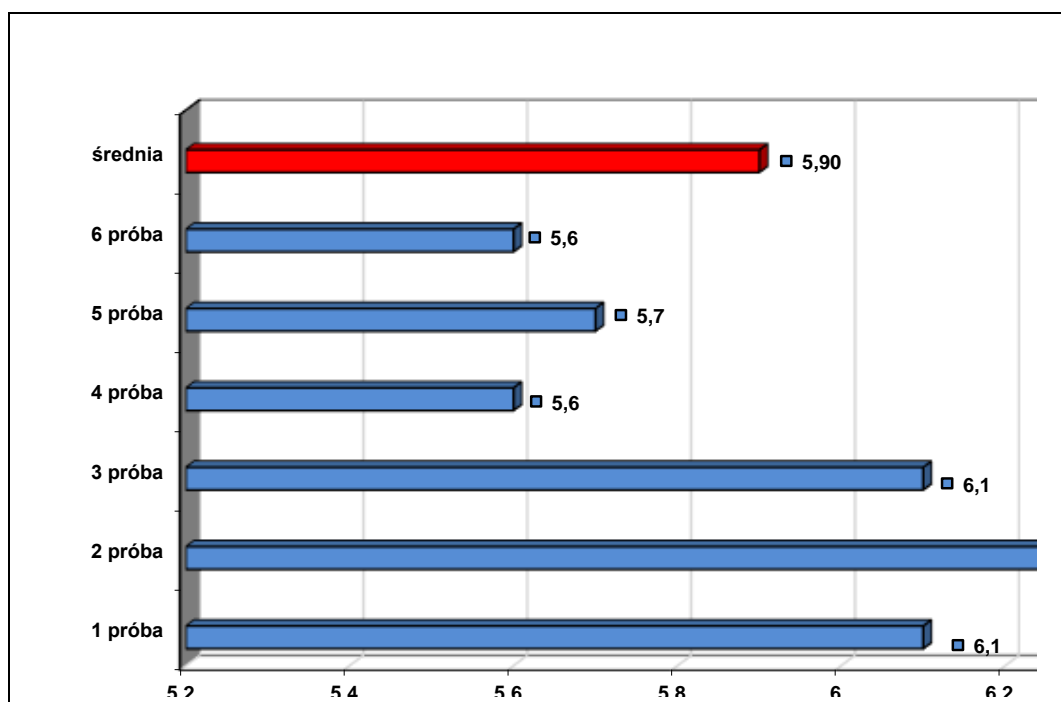
Rys. 4.20. Wyniki badań pojazdu Skoda Yeti w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 19)



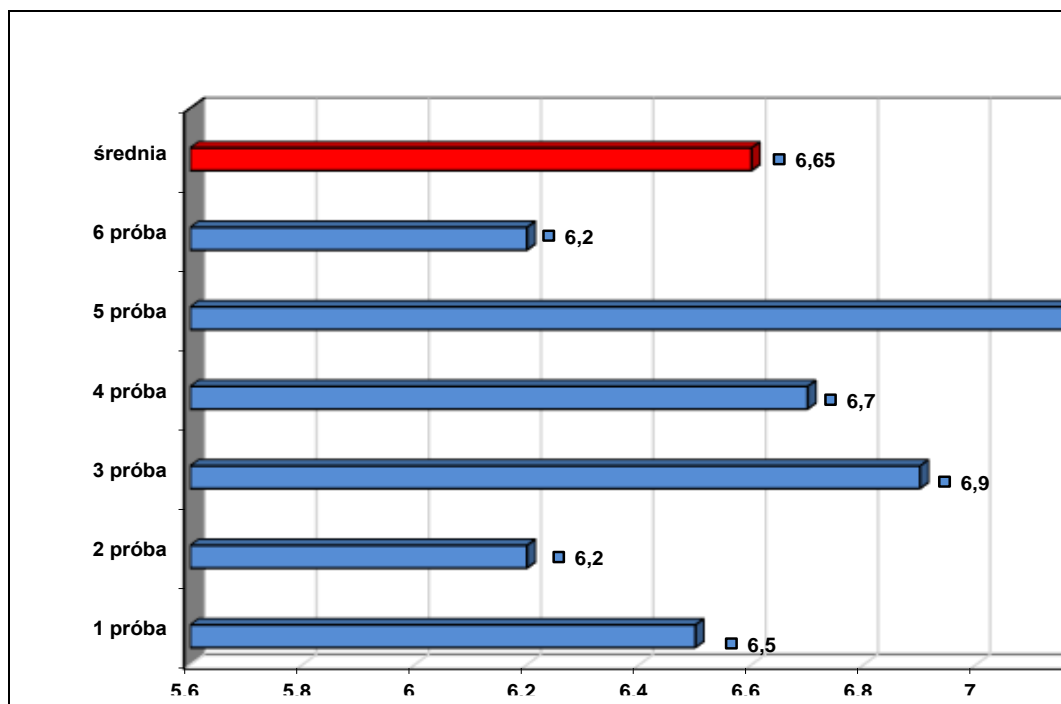
Rys. 4.21. Wyniki badań pojazdu VW Caddy w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 20)



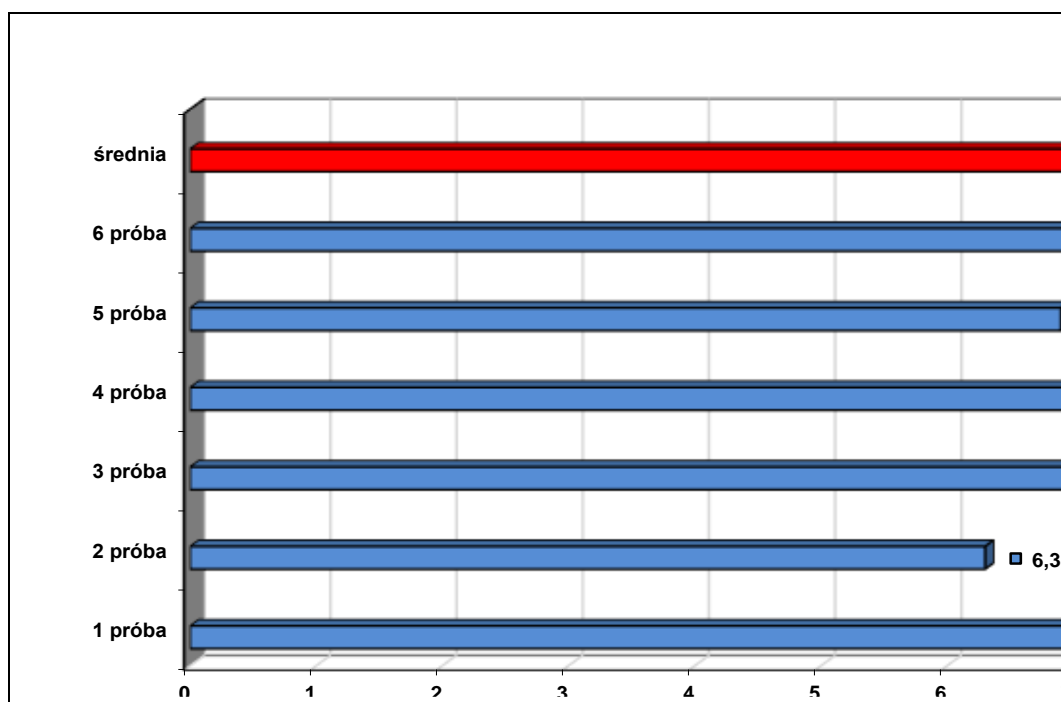
Rys. 4.22. Wyniki badań pojazdu VW Crafter w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 21)



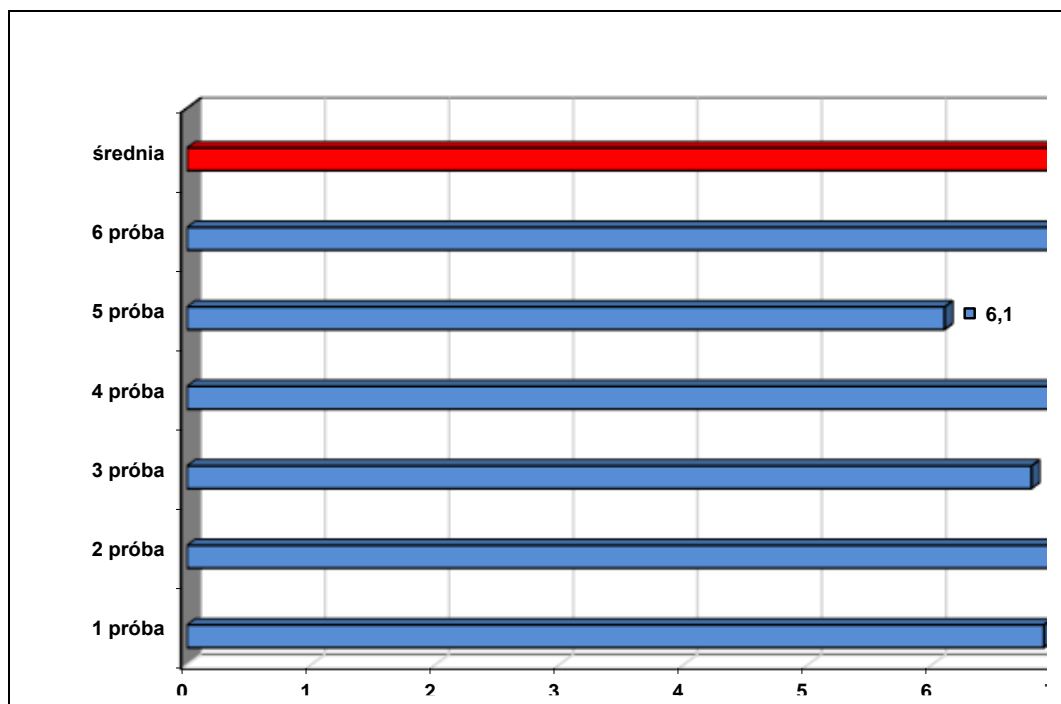
Rys. 4.23. Wyniki badań pojazdu Renault Master w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 22)



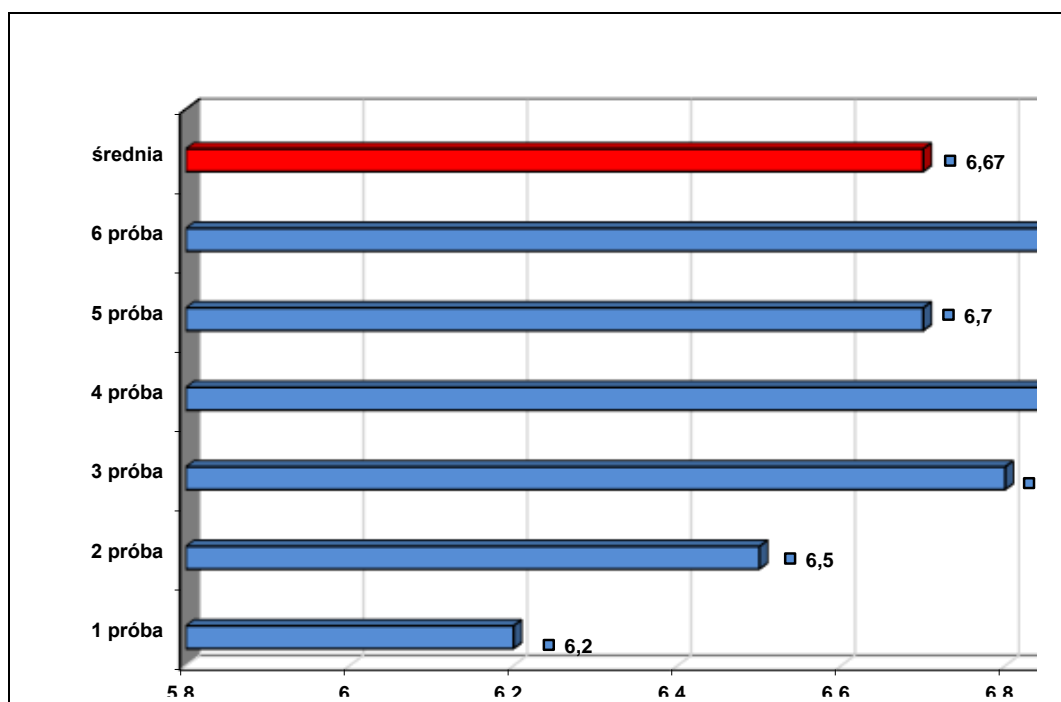
Rys. 4.24. Wyniki badań pojazdu Fiat Ducato w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 23)



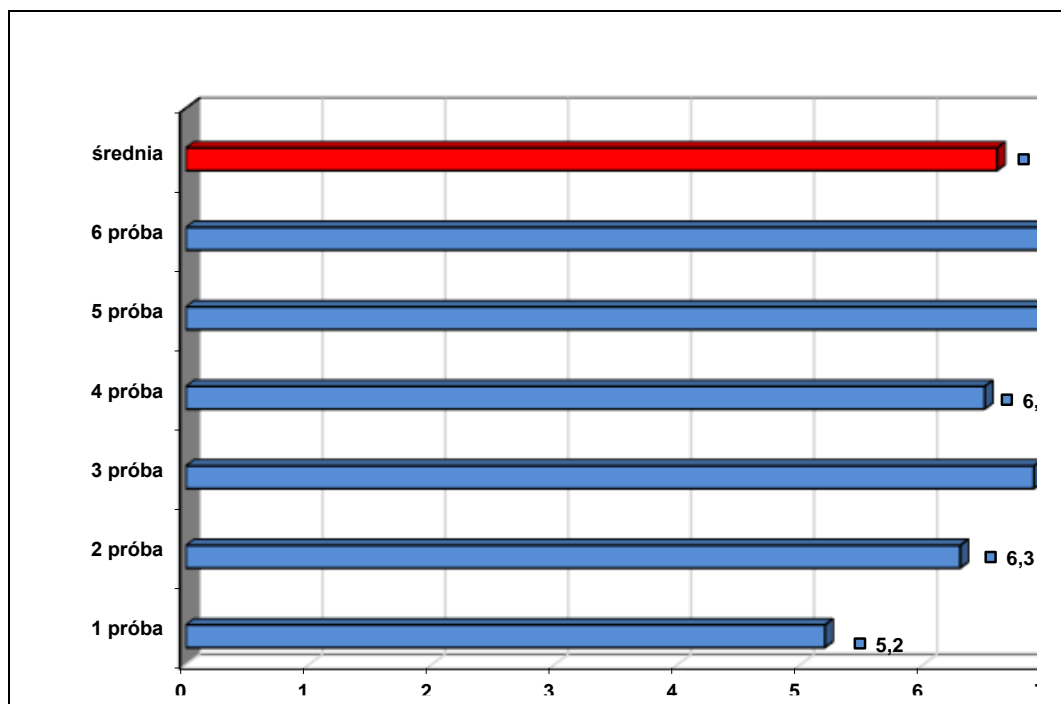
Rys. 4.25. Wyniki badań pojazdu Kia Ceed w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 24)



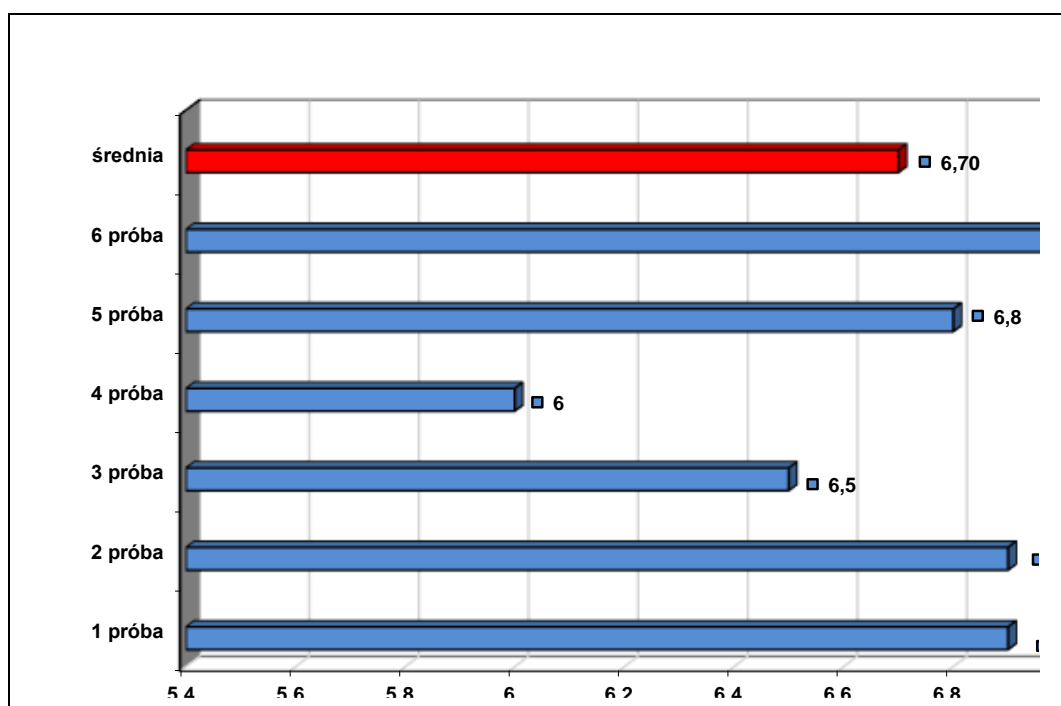
Rys. 4.26. Wyniki badań pojazdu Opel Astra w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 25)



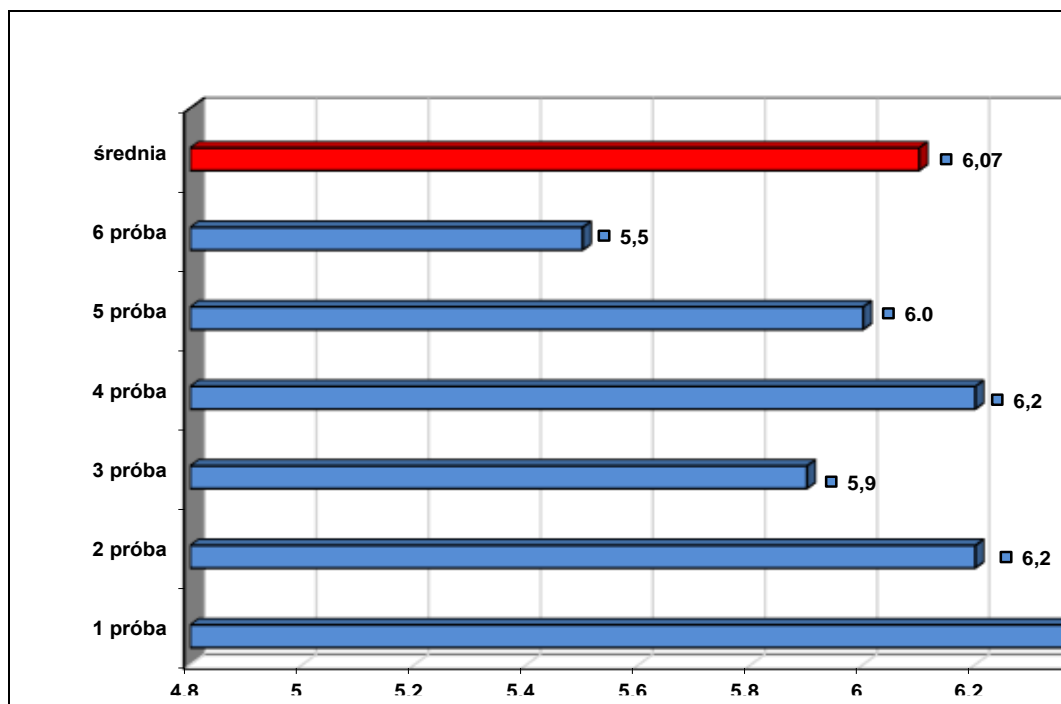
Rys. 4.27. Wyniki badań pojazdu Audi A3 w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 26)



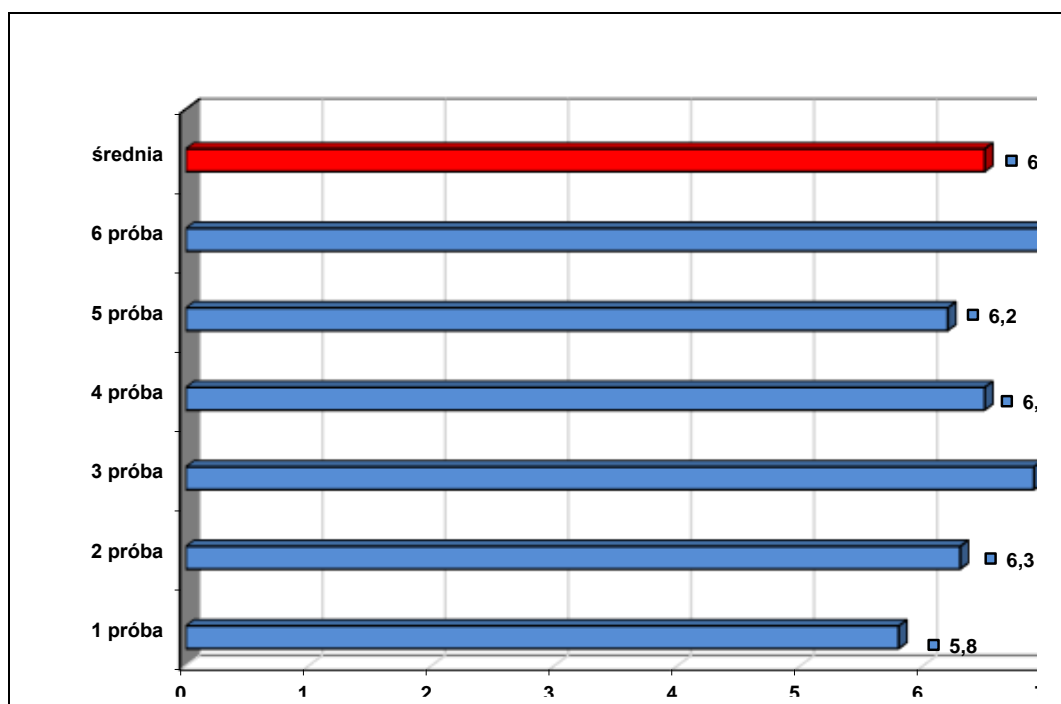
Rys. 4.28. Wyniki badań pojazdu Opel Corsa w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 27)



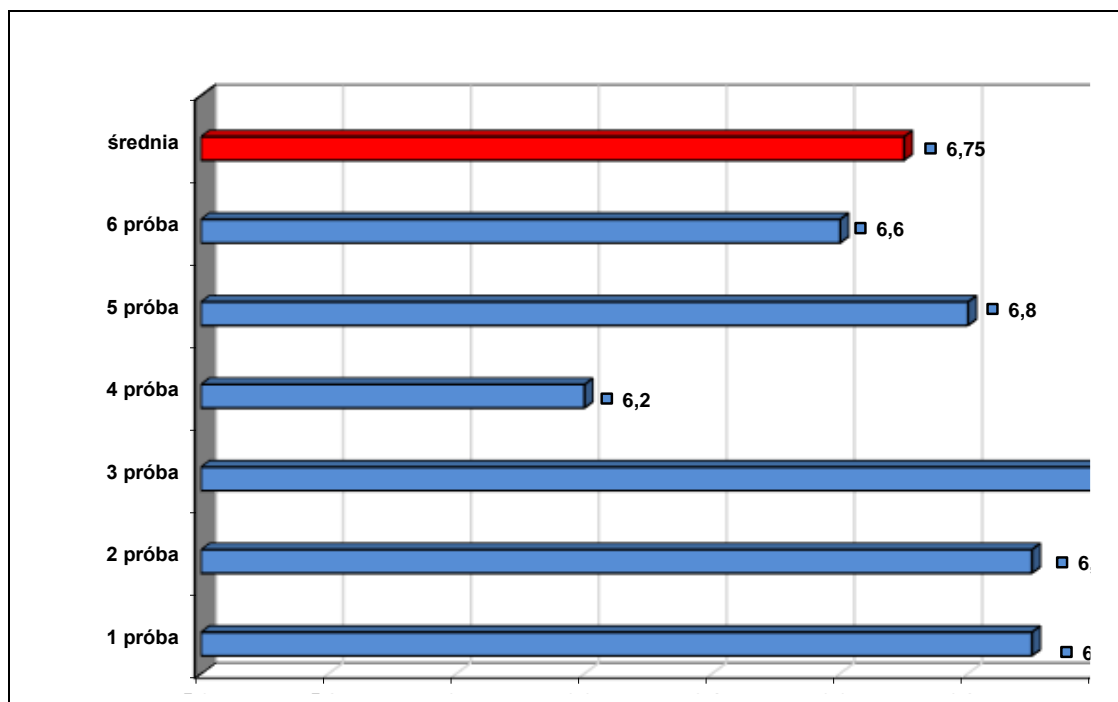
Rys. 4.29. Wyniki badań pojazdu Opel Mokka w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 28)



Rys. 4.30. Wyniki badań pojazdu ISUZU w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 29)



Rys. 4.31. Wyniki badań pojazdu Mitsubishi L-200 w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 30)



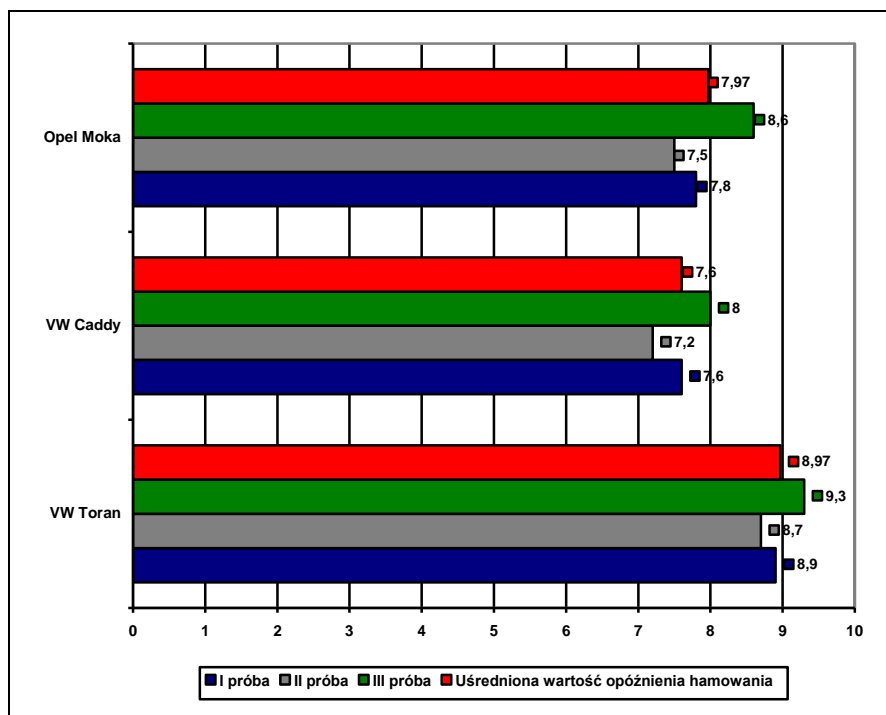
Rys. 4.32. Wyniki badań pojazdu Mitsubishi L-200 w porze zimowej (oznaczenie badawcze: 31)

4.6.2. Pojazdy dwuśladowe badane w okresie letnim

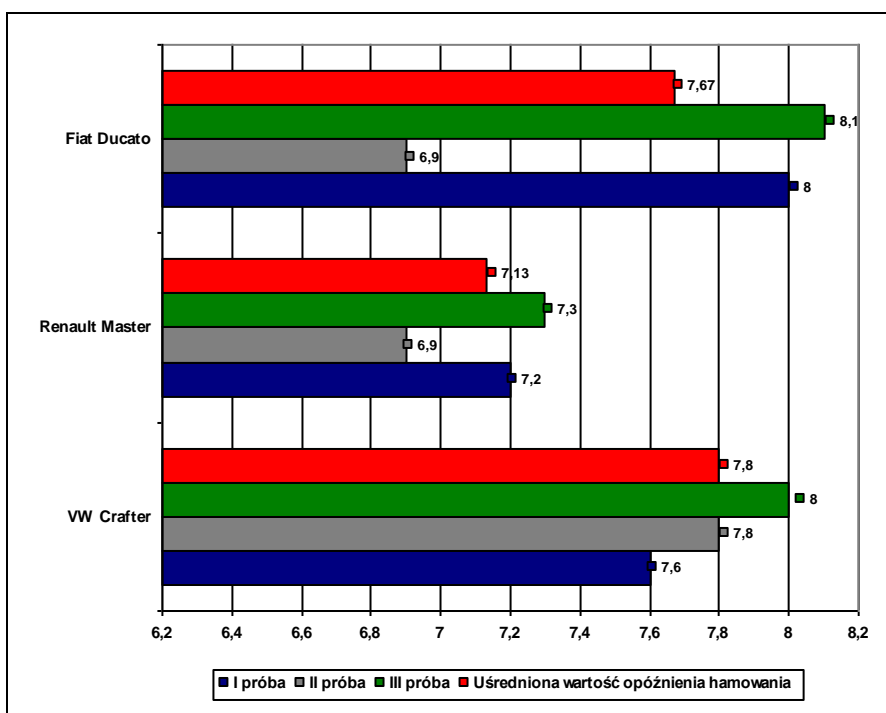
Wyniki badań dla pojazdów dwuśladowych w porze letniej zamieszczono w tab. 4.5 oraz zobrazowano graficznie na rys. 4.33–4.52.

Tab. 4.5. Wyniki badań pojazdów dwuśladowych w okresie letnim

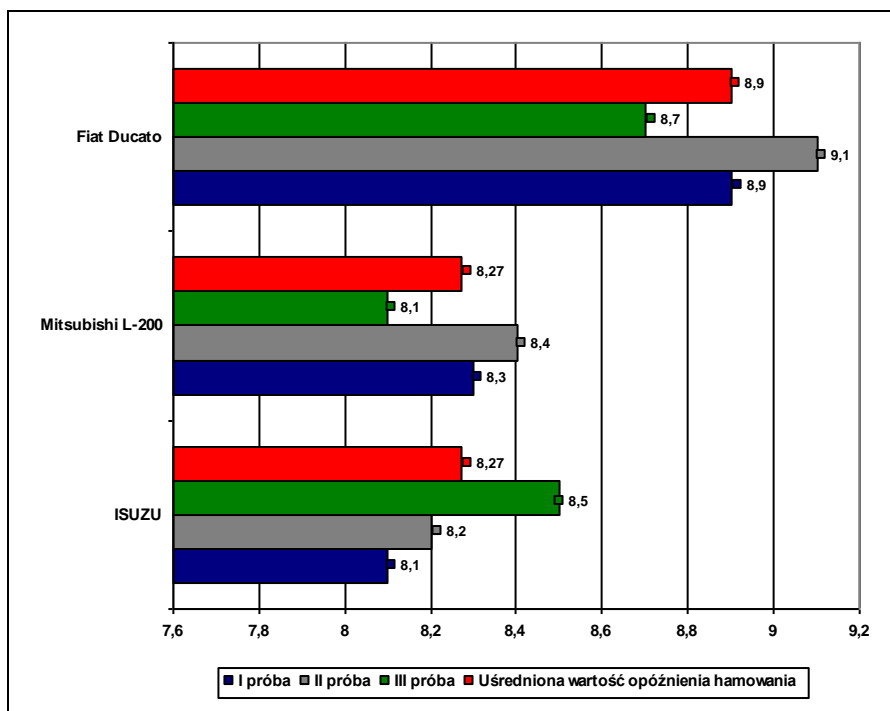
Oznaczenie badawcze	Marka i model	Opóźnienie a_{hL} [m/s ²]						Średnia a_{hSrL}
		Numer pomiaru						
		1	2	3	4	5	6	
32	VW Touran	8,9	8,7	9,3	-	-	-	8,97
33	VW Caddy	7,6	7,2	8,0	-	-	-	7,60
34	Opel Mokka	7,8	7,5	8,6	-	-	-	7,97
35	VW Crafter	7,6	7,8	8,0	-	-	-	7,80
36	Renault Master	7,2	6,9	7,3	-	-	-	7,13
37	Fiat Ducato	8,0	6,9	8,1	-	-	-	7,67
38	Isuzu	8,1	8,2	8,5	-	-	-	8,27
39	Mitsubishi L-200	8,3	8,4	8,1	-	-	-	8,27
40	Fiat Ducato	8,9	9,1	8,7	-	-	-	8,90
41	VW Touran	8,5	8,2	7,9	9,0	9,2	9,1	8,65
42	Audi A6	9,2	10,0	8,7	9,1	7,9	7,6	8,75
43	VW Passat	9,1	9,2	8,7	9,1	8,8	10,2	9,18
44	Kia Soul	5,7	6,6	7,1	6,5	6,9	7,0	6,63
45	Skoda Yeti	7,4	8,5	8,2	8,4	8,5	8,8	8,30
46	VW Caddy	6,3	7,5	8,0	7,9	7,5	8,0	7,53
47	VW Crafter	6,9	7,2	7,0	7,8	7,6	6,2	7,12
48	Renault Master	6,9	6,8	6,1	6,0	5,7	5,6	6,18
49	Fiat Ducato	6,5	6,2	6,9	6,7	7,4	7,2	6,82
50	Kia Ceed	7,9	7,3	7,7	7,8	7,9	8,2	7,80
51	Opel Astra	7,9	7,4	8,0	7,2	8,1	7,6	7,70
52	Audi A3	7,2	7,5	6,8	6,9	7,7	8,9	7,50
53	Opel Corsa	7,2	7,3	6,9	6,5	7,6	7,1	7,10
54	Opel Mokka	6,9	6,9	6,5	6,0	6,8	6,9	6,67
55	Isuzu	6,9	5,2	5,9	6,7	6,0	7,5	6,37
56	Mitsubishi L-200	6,8	6,3	6,9	6,5	6,9	7,1	6,75
57	Fiat Ducato	6,9	6,9	7,9	6,5	6,8	6,6	6,93



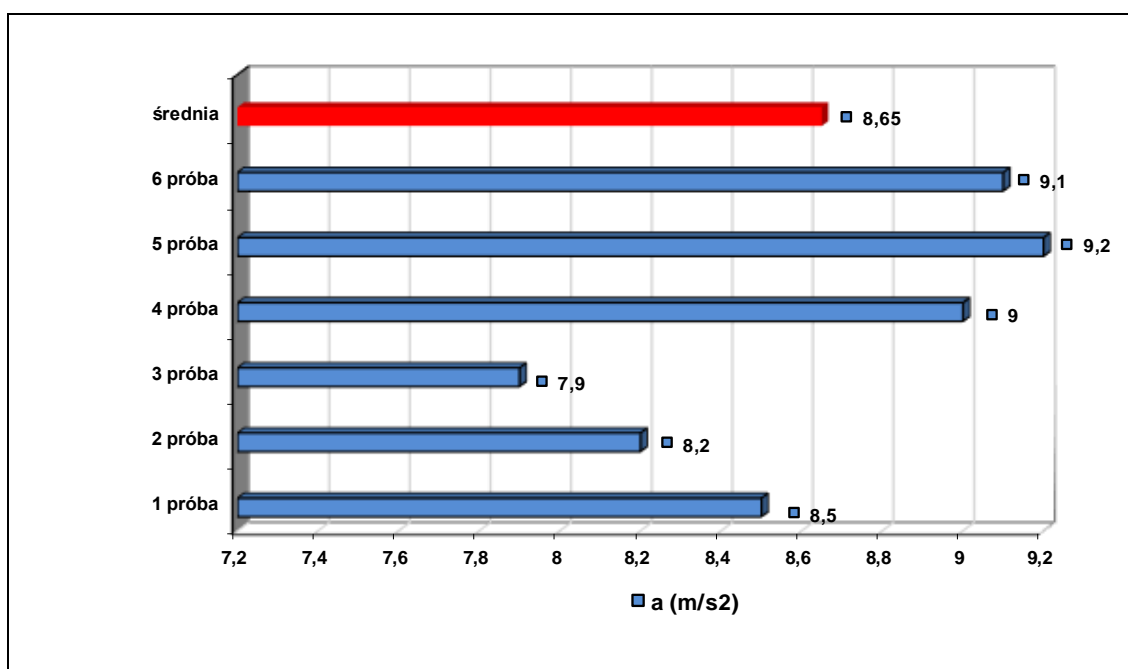
Rys. 4.33. Wyniki badań pojazdów VW Touran, VW Caddy i Opel Mokka (oznaczenia badawcze: 32, 33, 34)



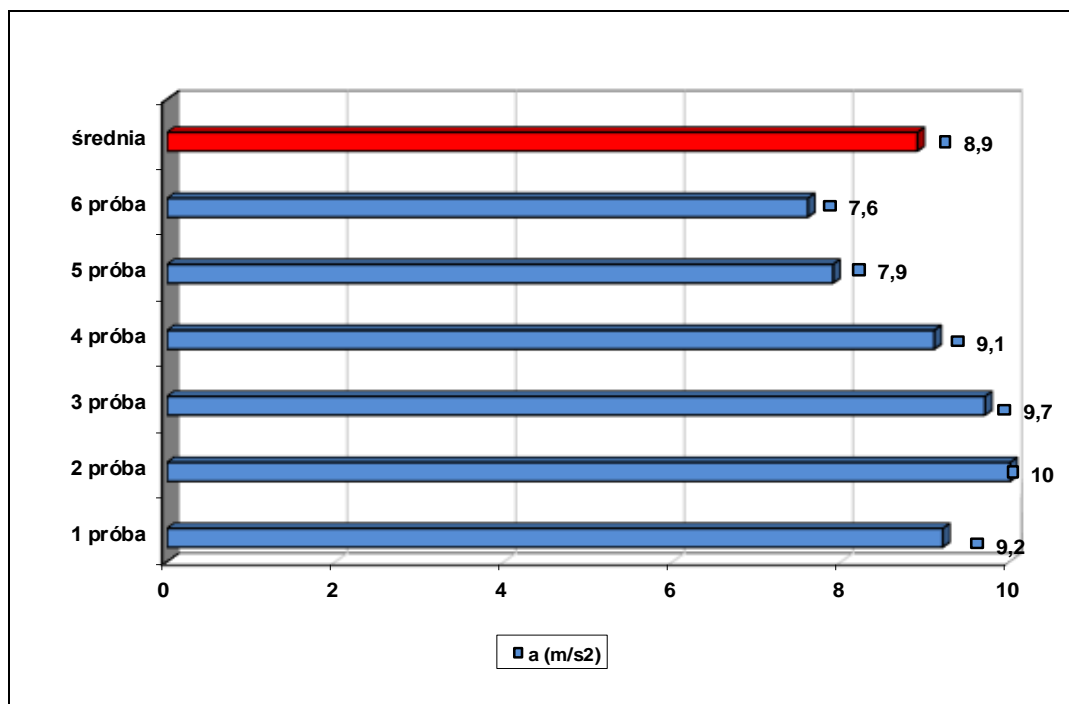
Rys. 4.34. Wyniki badań pojazdów VW Crafter, Renault Master i Fiat Ducato (oznaczenia badawcze: 35, 36, 37)



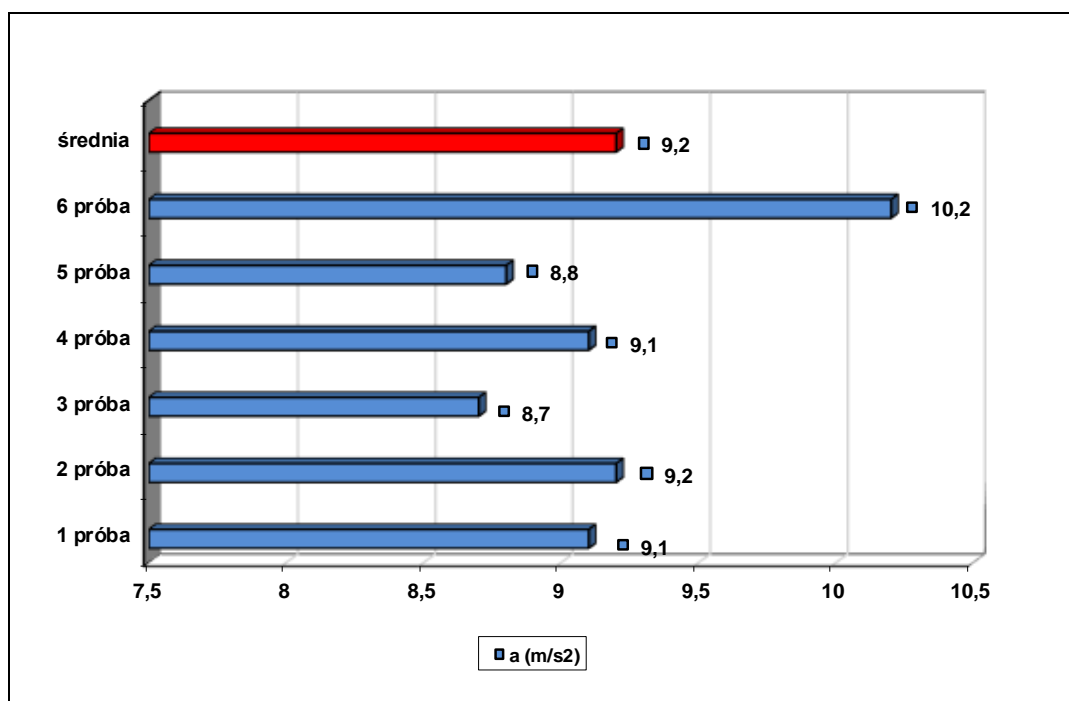
Rys. 4.35. Wyniki badań pojazdów Isuzu, Mitsubishi L-200 i Fiat Ducato (oznaczenia badawcze: 38, 39, 40)



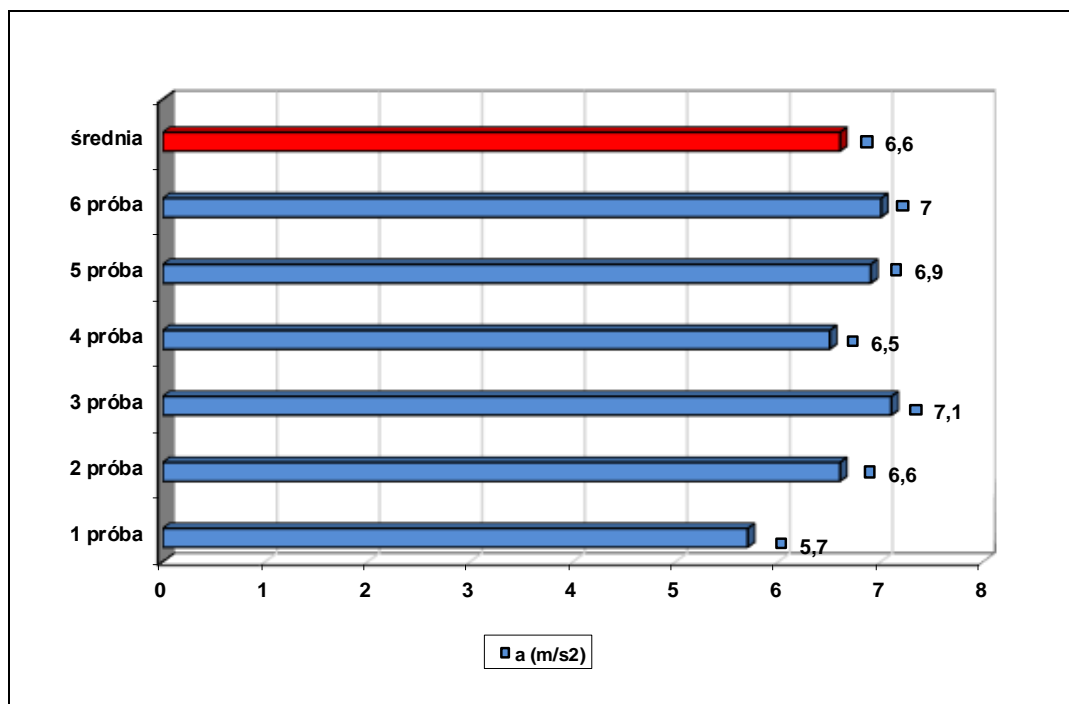
Rys. 4.36. Wyniki badań pojazdu VW Touran (oznaczenie badawcze: 41)



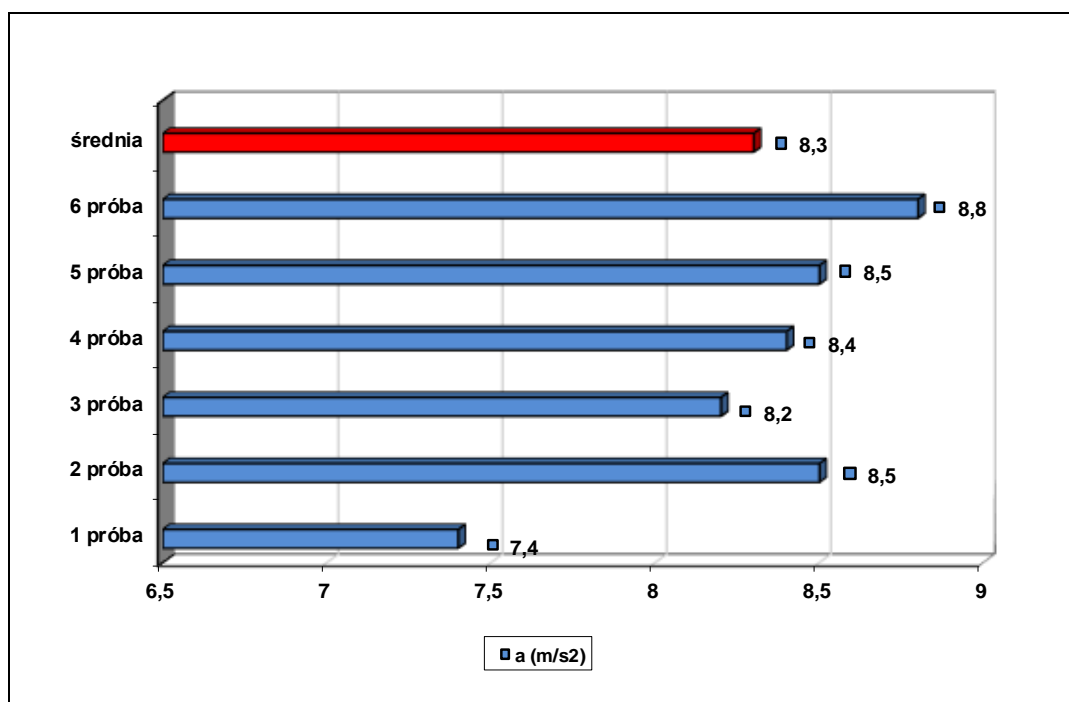
Rys. 4.37. Wyniki badań pojazdu Audi A6 (oznaczenie badawcze: 42)



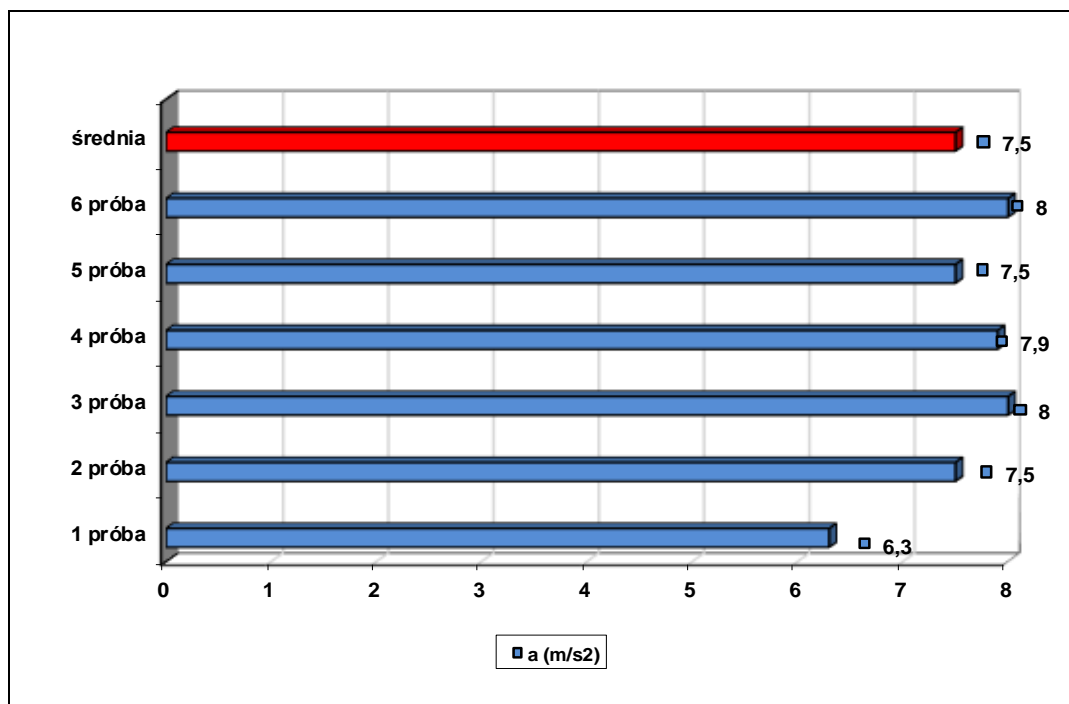
Rys. 4.38. Wyniki badań pojazdu VW Passat (oznaczenie badawcze: 43)



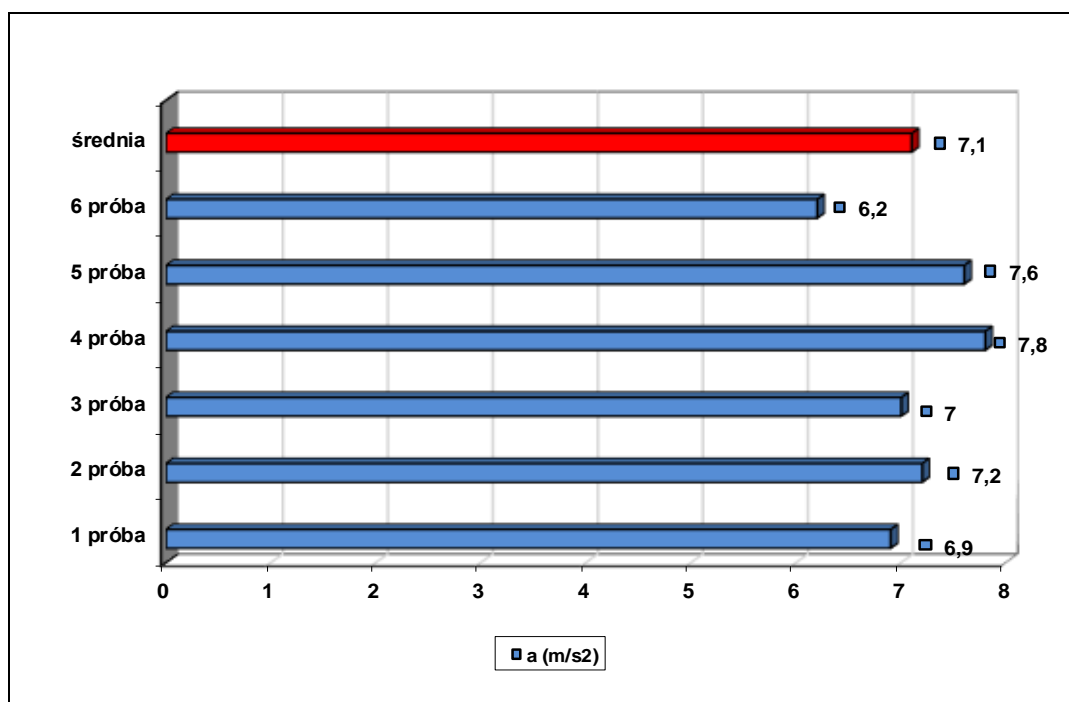
Rys. 4.39. Wyniki badań pojazdu Kia Soul (oznaczenie badawcze: 44)



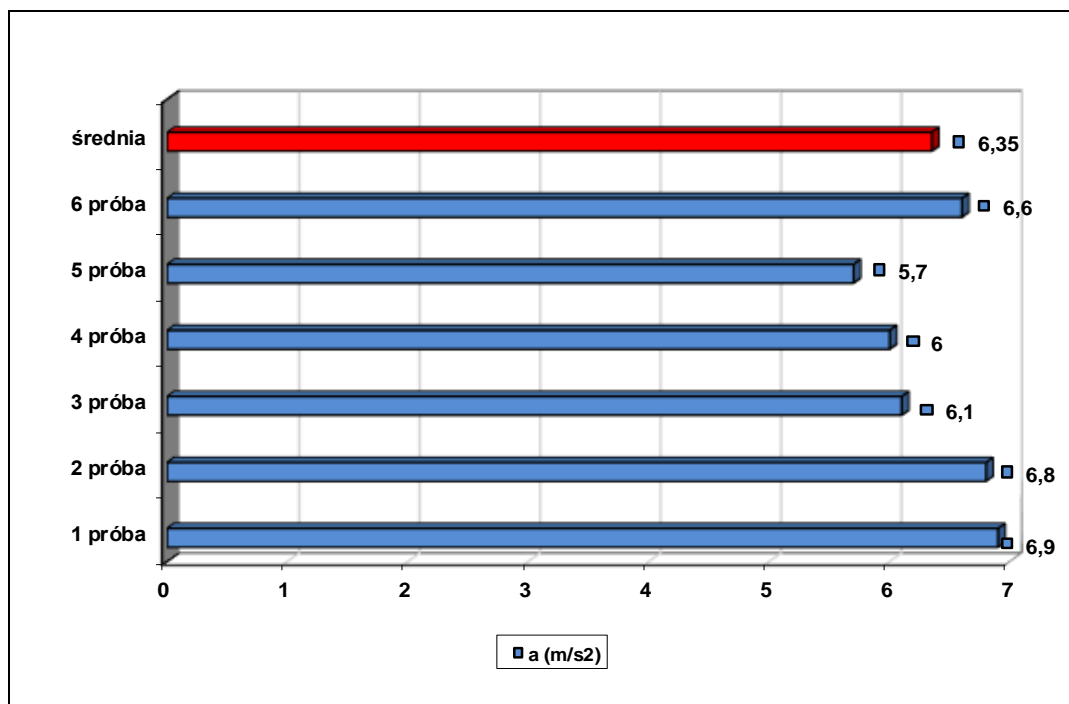
Rys. 4.40. Wyniki badań pojazdu Skoda Yeti (oznaczenie badawcze: 45)



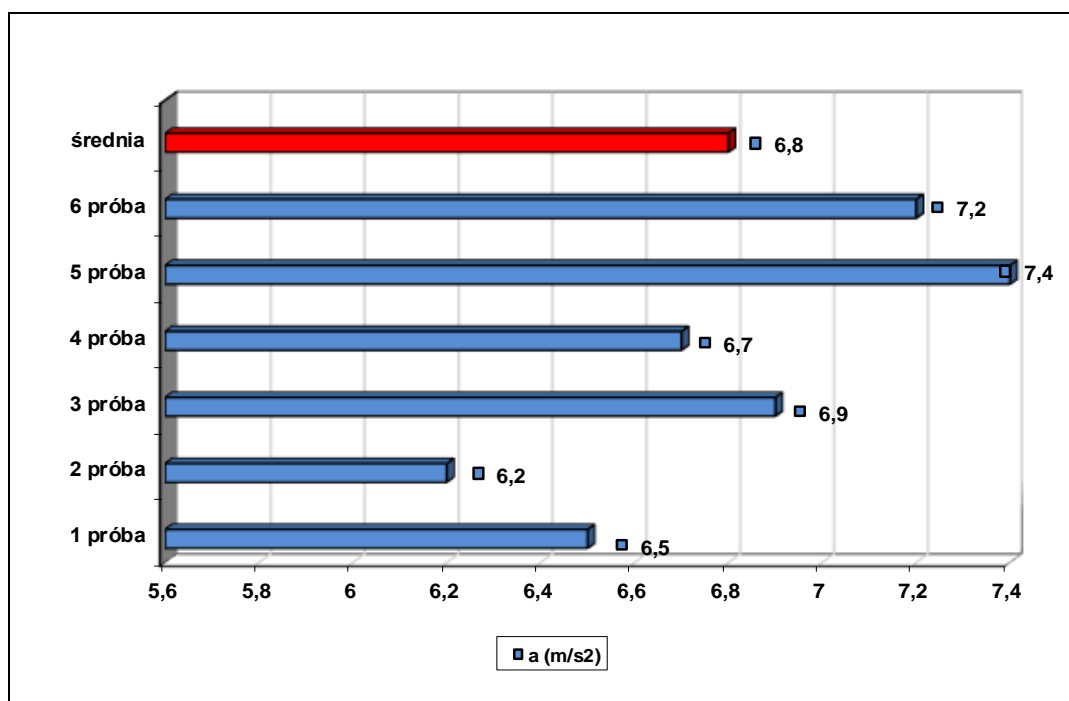
Rys. 4.41. Wyniki badań pojazdu VW Caddy (oznaczenie badawcze: 46)



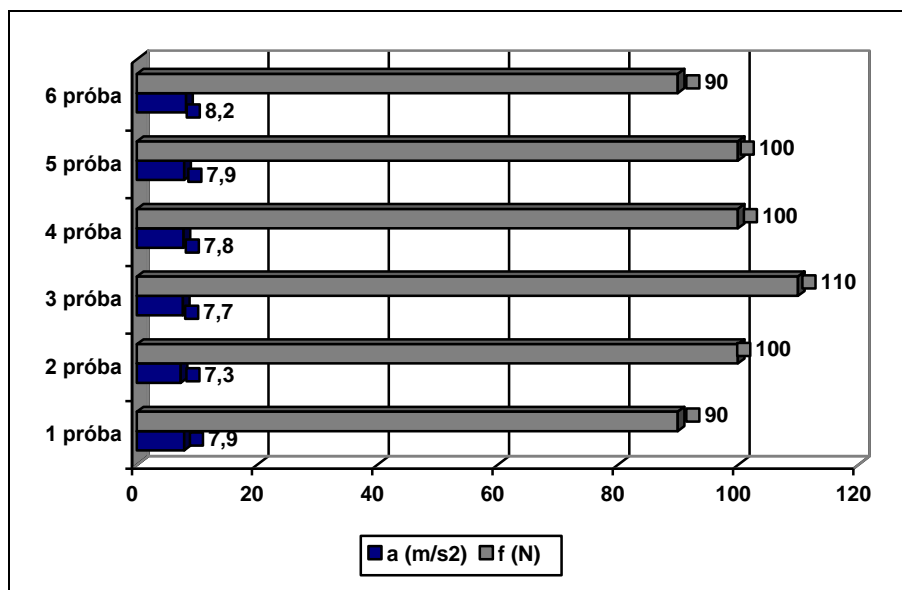
Rys. 4.42. Wyniki badań pojazdu VW Crafter (oznaczenie badawcze: 47)



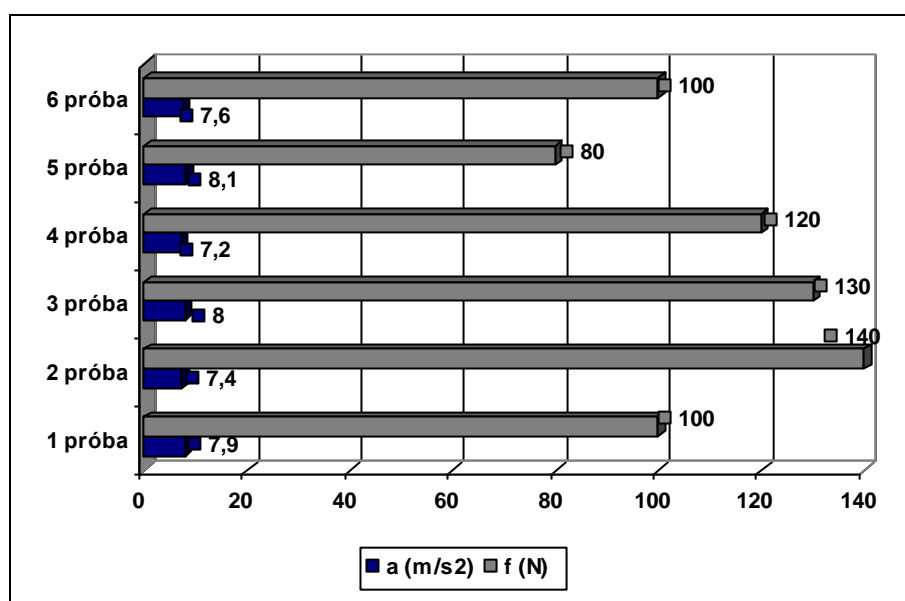
Rys. 4.43. Wyniki badań pojazdu Renault Master (oznaczenie badawcze: 48)



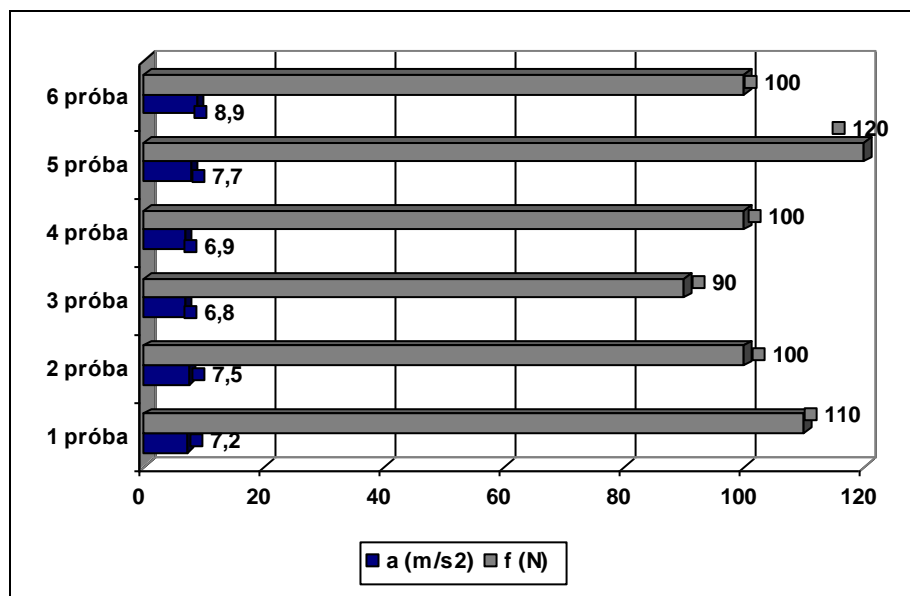
Rys. 4.44. Wyniki badań pojazdu Fiat Ducato (oznaczenie badawcze: 49)



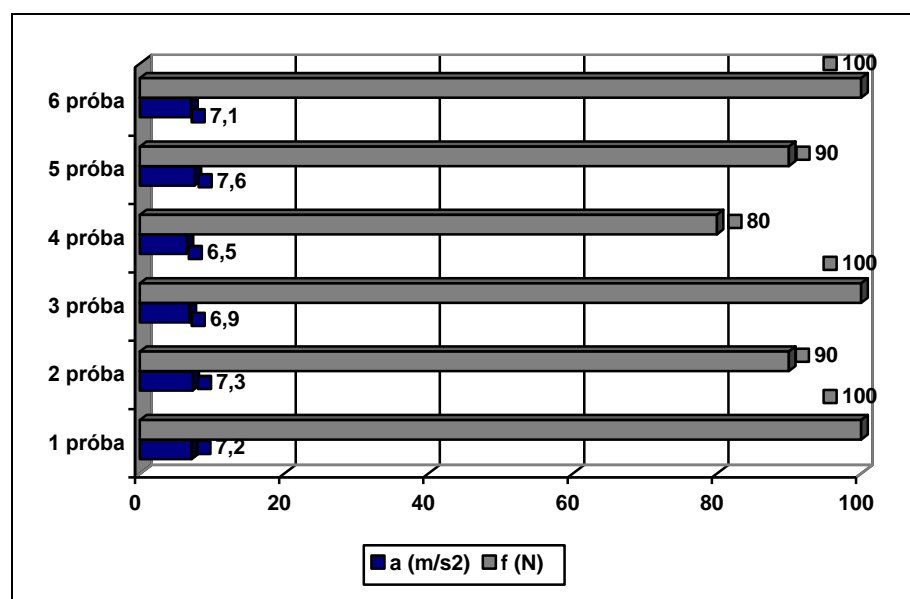
Rys. 4.45. Wyniki badań pojazdu Kia Ceed (oznaczenie badawcze: 50)



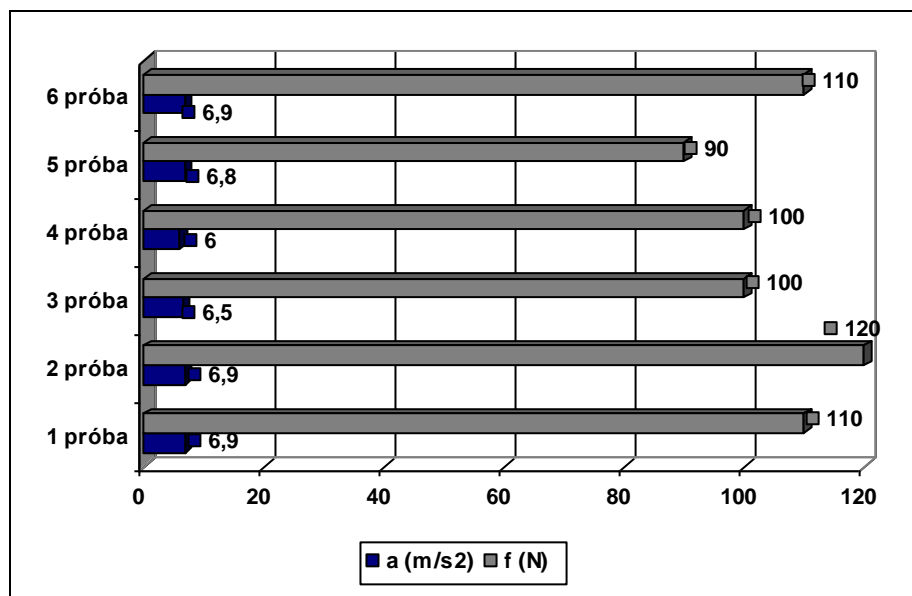
Rys. 4.46. Wyniki badań pojazdu Opel Astra (oznaczenie badawcze: 51)



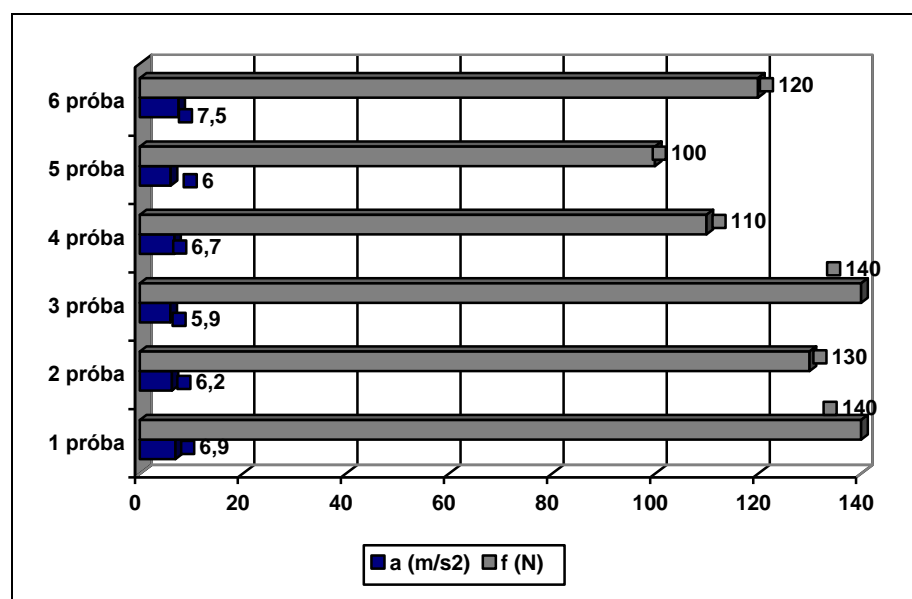
Rys. 4.47. Wyniki badań pojazdu Audi A3 (oznaczenie badawcze: 52)



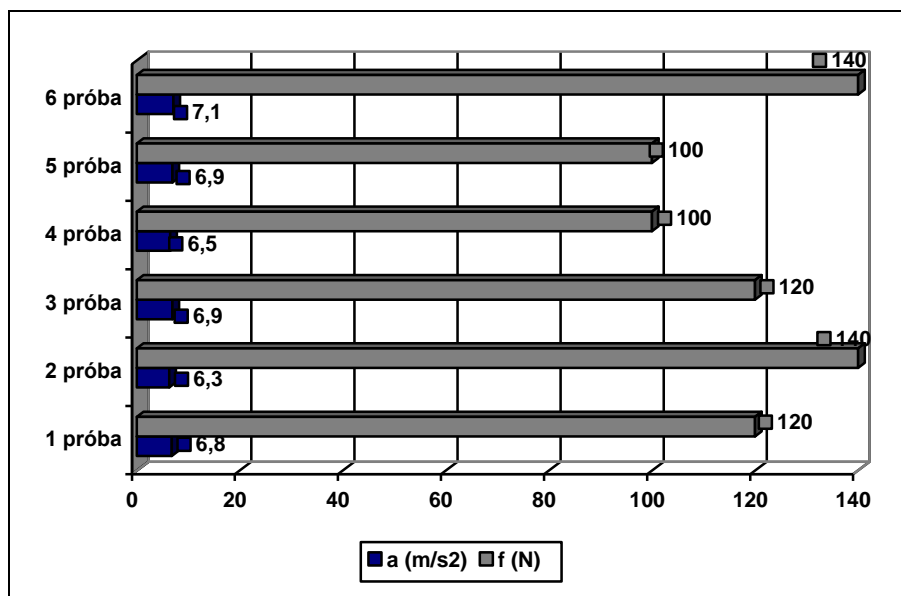
Rys. 4.48. Wyniki badań pojazdu Opel Corsa (oznaczenie badawcze: 53)



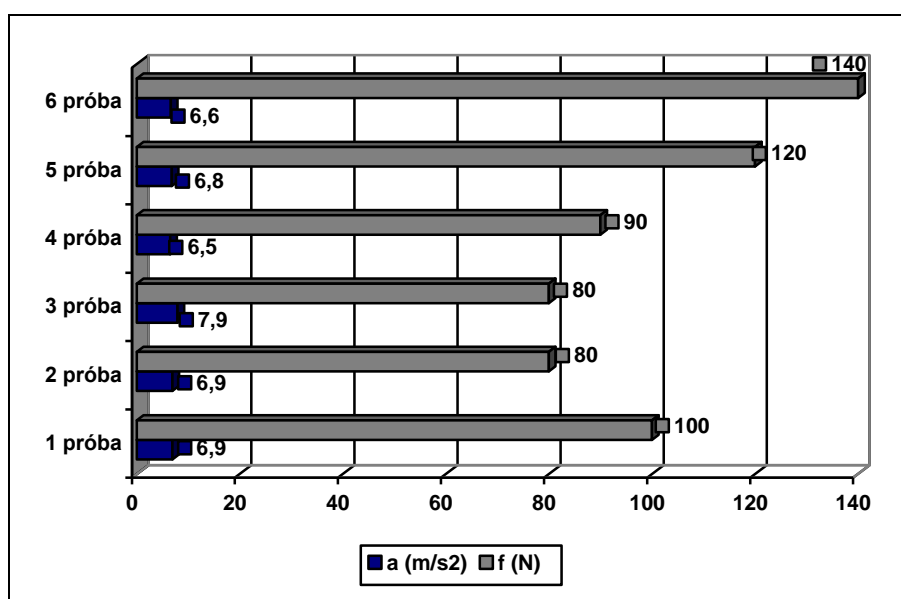
Rys. 4.49. Wyniki badań pojazdu Opel Mokka (oznaczenie badawcze: 54)



Rys. 4.50. Wyniki badań pojazdu Isuzu (oznaczenie badawcze: 55)



Rys. 4.51. Wyniki badań pojazdu Isuzu (oznaczenie badawcze: 56)



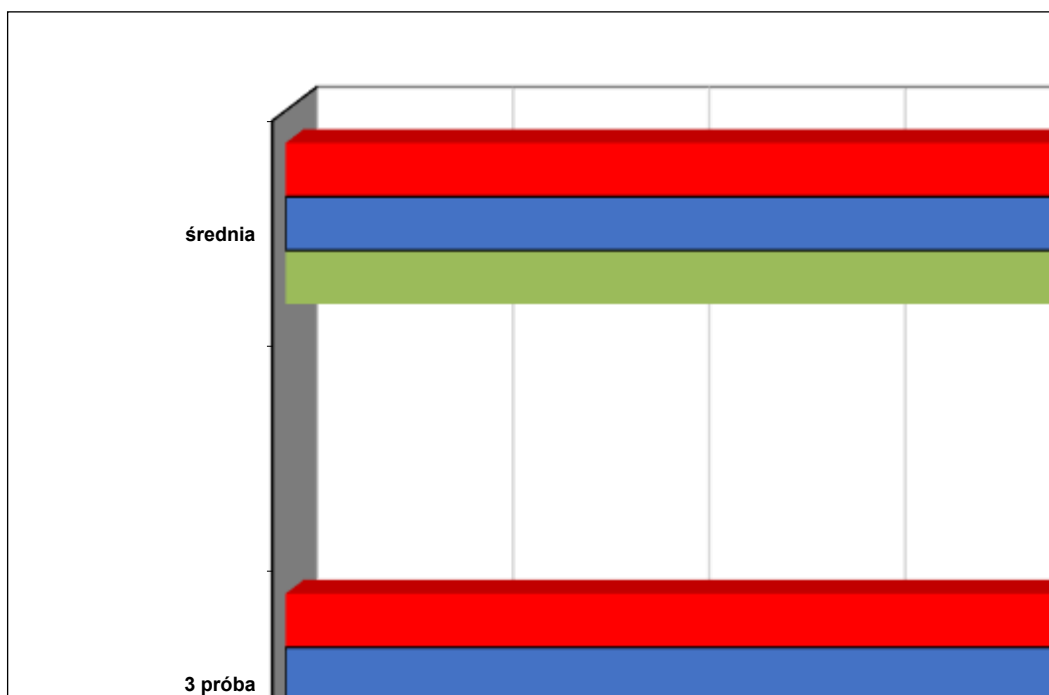
Rys. 4.52. Wyniki badań pojazdu Fiat Ducato (oznaczenie badawcze: 57)

4.6.3. Pojazdy jednośladowe i quady badane w okresie letnim

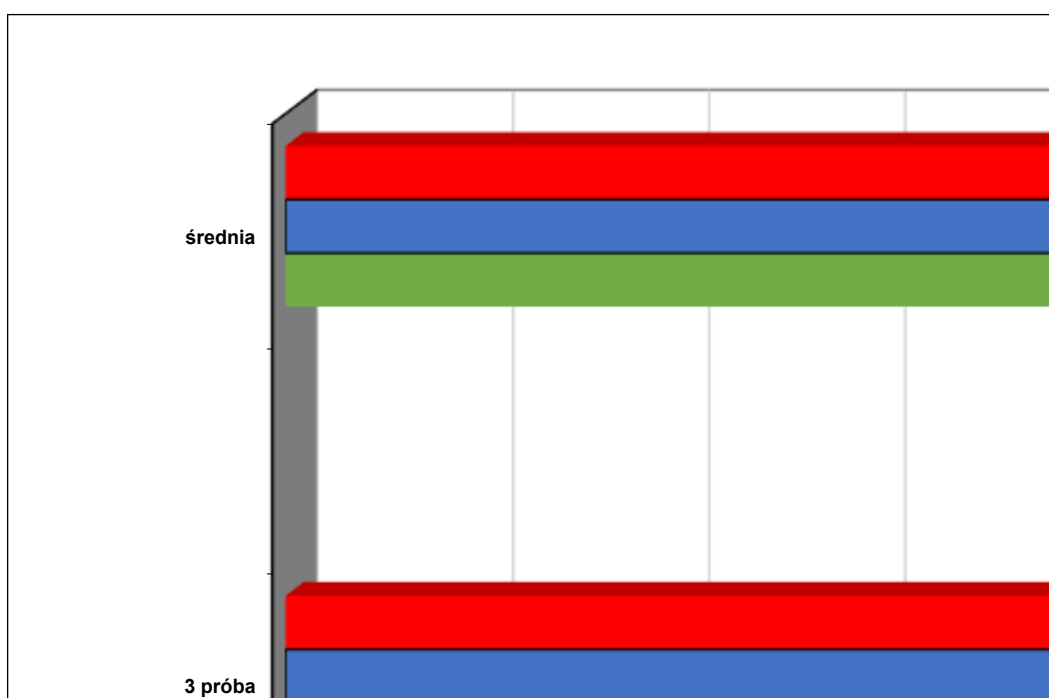
Wyniki badań dla pojazdów jednośladowych i quadów w okresie letnim zamieszczono w tab. 4.6 oraz zobrazowano graficznie na rys. 4.53–4.73. Natomiast w tab. 4.7 oraz na rys. 4.74–4.76 przedstawiono wartości średnie współczynnika opóźnienia hamowania w poszczególnych grupach pojazdów (grupach wymienionych z nazwy w tab. 4.3).

Tab. 4.6. Wyniki badań pojazdów jednośladowych oraz quadów w okresie letnim

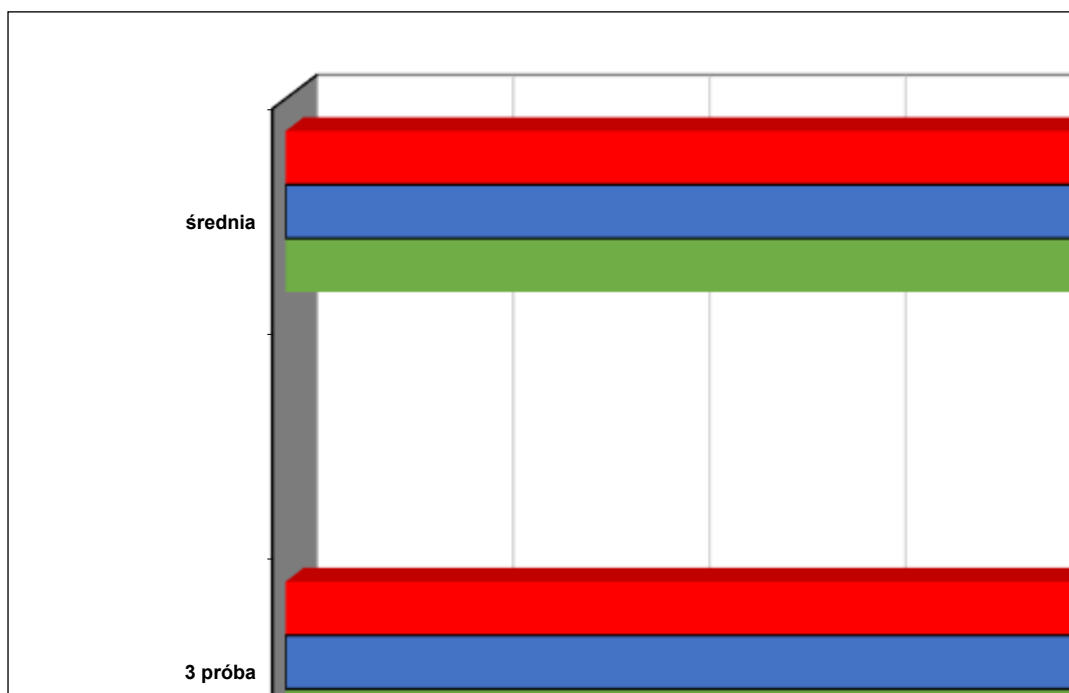
Oznaczenie badawcze	Marka i model	Opóźnienie a_h [m/s ²]											
		Hamulec przedni				Hamulec tylny				Hamulec przedni i tylny			
		Numer pomiaru			Średnia	Numer pomiaru			Średnia	Numer pomiaru			Średnia
		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
58	Honda CBR 1000R	7,9	7,7	7,9	7,83	6,7	6,4	6,2	6,43	9,1	9,4	9,2	9,23
59	Yamaha YZF R6	8,1	8,5	8,6	8,40	6,2	6,9	6,8	6,63	9,4	8,9	9,4	9,23
60	Kawasaki ZX6R	8,9	7,9	8,7	8,50	6,6	6,9	6,1	6,53	8,9	9,1	9,2	9,07
61	Yamaha Virago	5,2	5,9	5,2	5,43	2,2	2,1	1,9	2,07	6,4	7,5	7,1	7,00
62	Yamaha Drag Star	5,8	5,1	5,4	5,43	1,9	2,0	1,8	1,90	6,2	6,4	6,0	6,20
63	Kawasaki VN800	5,4	5,9	5,7	5,67	1,7	1,9	1,6	1,73	6,2	7,0	6,4	6,53
64	Honda Shadow	6,8	6,1	5,9	6,27	3,4	2,9	1,9	2,73	7,3	7,6	6,9	7,27
65	Honda VTX 1800	6,8	6,2	6,9	6,63	2,9	2,4	2,1	2,47	7,1	7,4	7,1	7,20
66	Honda Goldwing	7,1	6,9	5,9	6,63	2,9	2,0	1,9	2,27	7,3	7,5	6,4	7,07
67	Yamaha DT 50 R	4,5	4,7	4,9	4,70	3,4	3,6	3,4	3,47	5,6	5,8	5,4	5,60
68	Yamaha WR 990S	4,6	4,8	4,7	4,70	3,3	3,6	3,4	3,43	5,4	5,7	5,6	5,57
69	YamahaWR 450F	4,7	4,9	5,1	4,90	3,8	3,3	3,7	3,60	5,7	5,9	5,5	5,70
70	Honda X11	7,5	7,2	7,4	7,37	6,4	6,7	6,9	6,67	8,2	8,1	8,5	8,27
71	Suzuki Bandit 600F	6,4	6,8	6,3	6,50	5,2	4,9	5,8	5,30	7,9	8,2	7,9	8,00
72	Yamaha MT-01	7,1	7,3	6,9	7,10	5,9	5,1	5,7	5,57	8,0	8,1	7,8	7,97
73	Aerox	3,2	3,6	3,6	3,47	2,5	2,6	2,2	2,43	7,7	7,2	6,9	7,27
74	Peugeot	3,0	3,3	3,4	3,23	2,7	2,9	2,6	2,73	6,8	6,9	7,0	6,90
75	Piaggio	3,4	3,8	3,2	3,47	2,8	2,4	2,8	2,67	6,7	7,0	6,5	6,73
76	YFM 350 Raptor	5,5	5,9	5,6	5,67	3,9	4,2	4,0	4,03	6,7	7,1	6,7	6,83
77	YFZ 450	5,7	5,9	5,8	5,80	3,7	3,9	4,1	3,90	6,8	6,9	7,0	6,90
78	LTZ 400	6,2	5,9	5,9	6,00	4,4	4,2	3,9	4,17	7,1	6,9	7,0	7,00



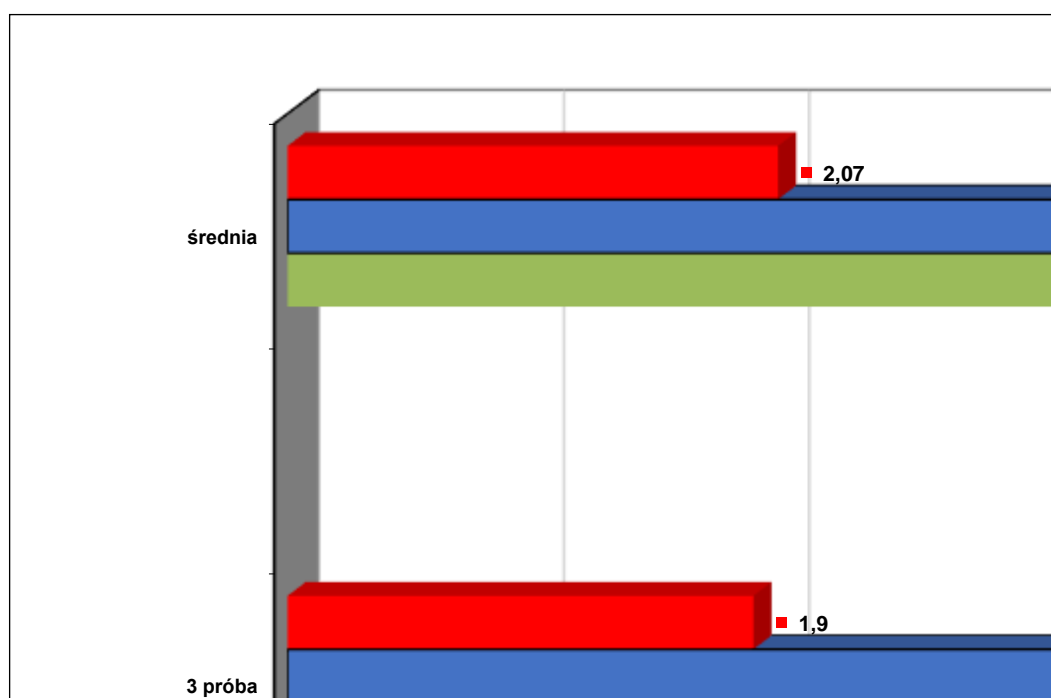
Rys. 4.53. Wyniki badań pojazdu Honda CBR 1000R (oznaczenie badawcze: 58)



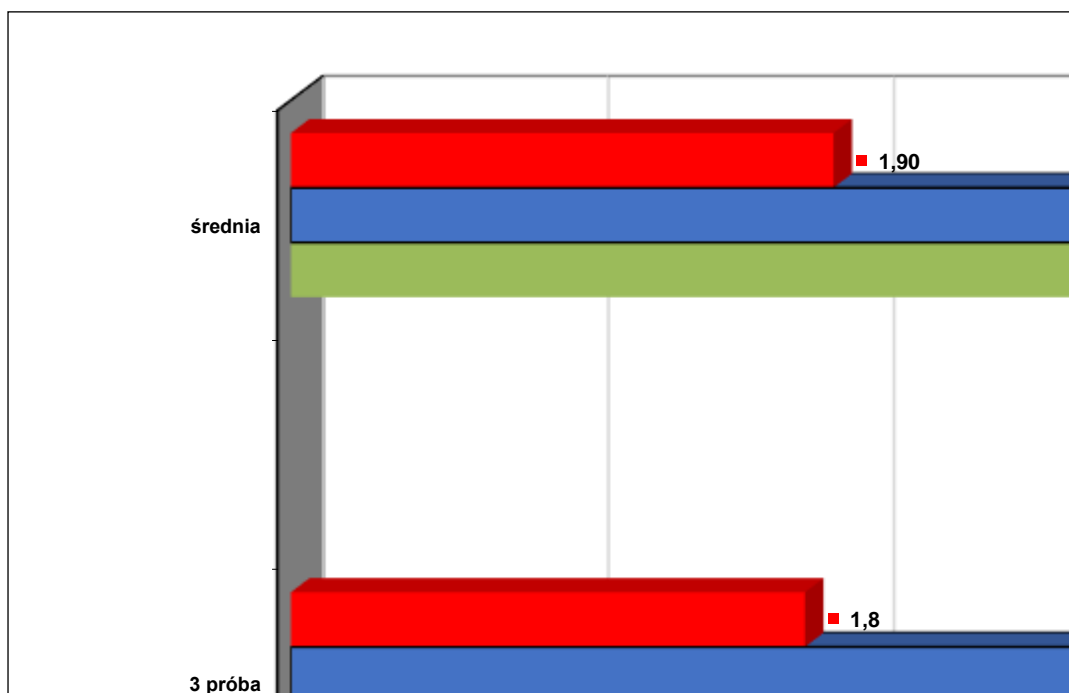
Rys. 4.54. Wyniki badań pojazdu Yamaha YZR R6 (oznaczenie badawcze: 59)



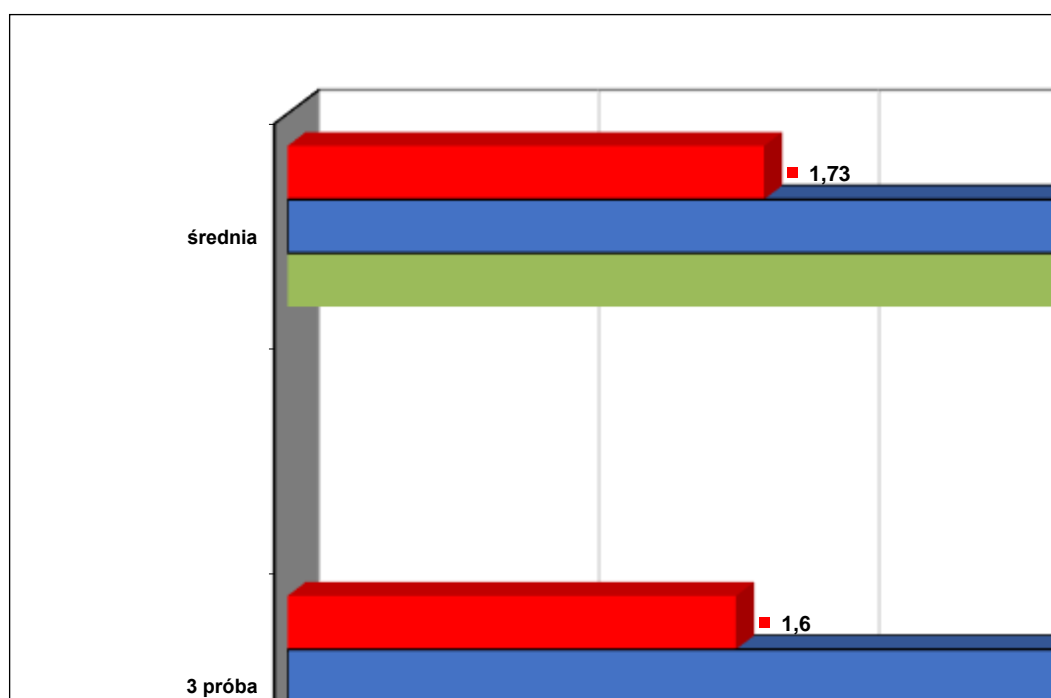
Rys. 4.55. Wyniki badań pojazdu Kawasaki ZX 6R (oznaczenie badawcze: 60)



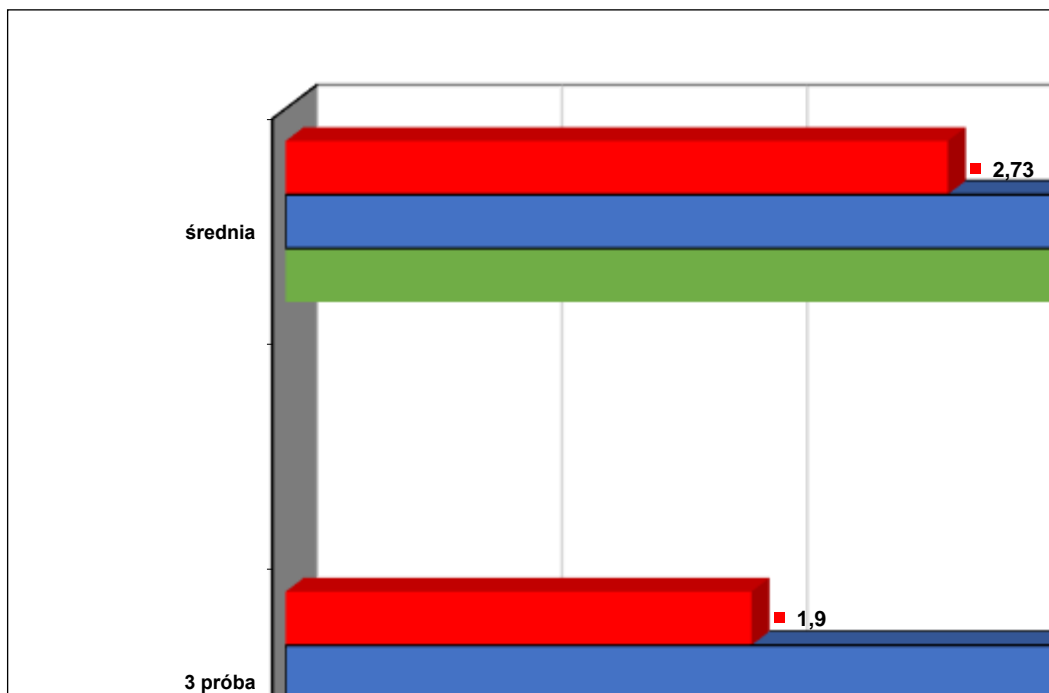
Rys. 4.56. Wyniki badań pojazdu Yamaha Virago (oznaczenie badawcze: 61)



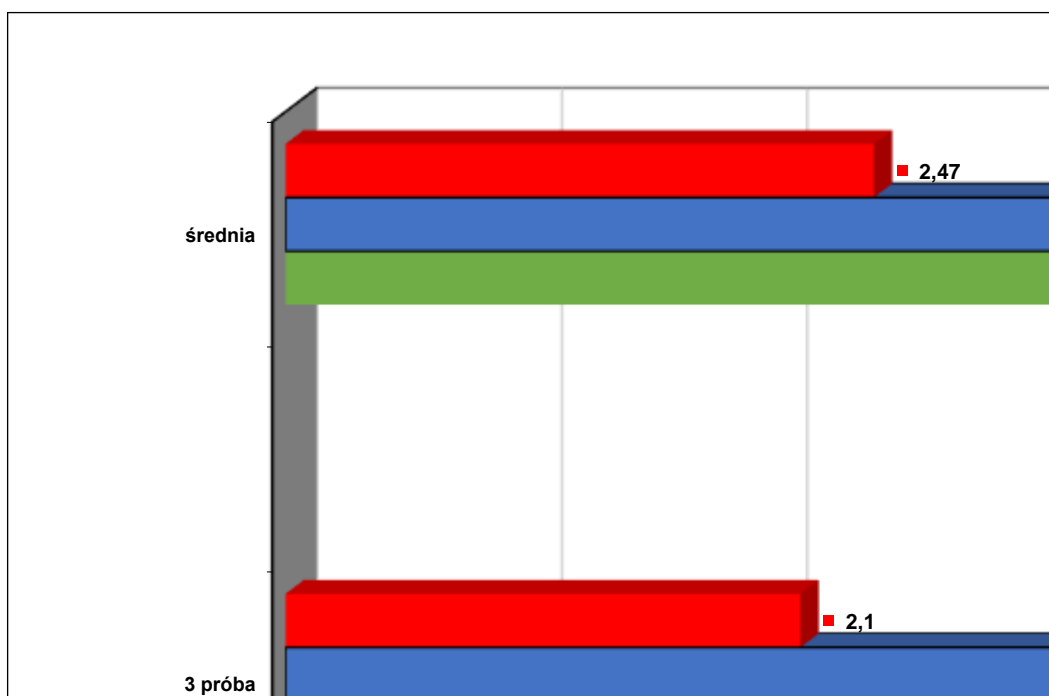
Rys. 4.57. Wyniki badań pojazdu Yamaha Drag Star (oznaczenie badawcze: 62)



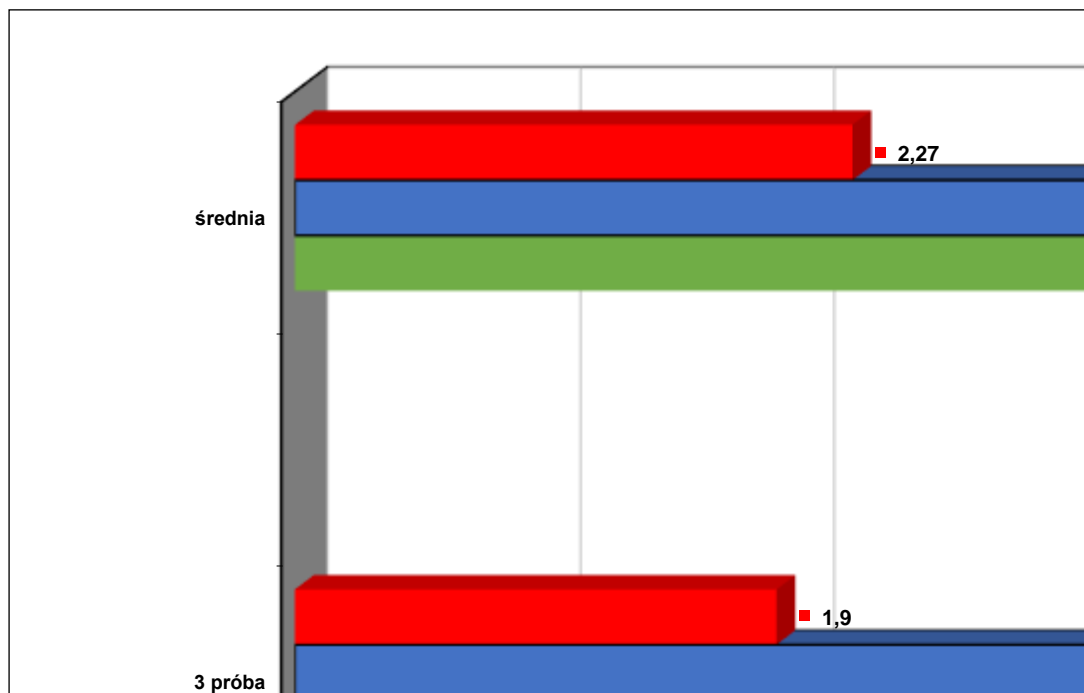
Rys. 4.58. Wyniki badań pojazdu Kawasaki WN 800 (oznaczenie badawcze: 63)



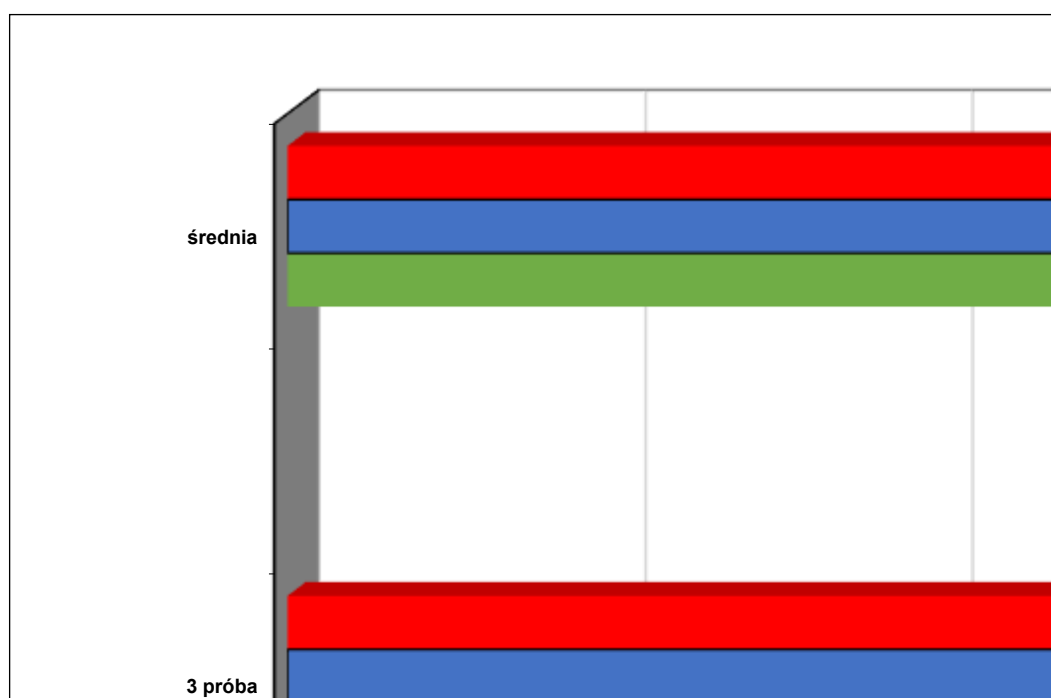
Rys. 4.59. Wyniki badań pojazdu Honda Shadow (oznaczenie badawcze: 64)



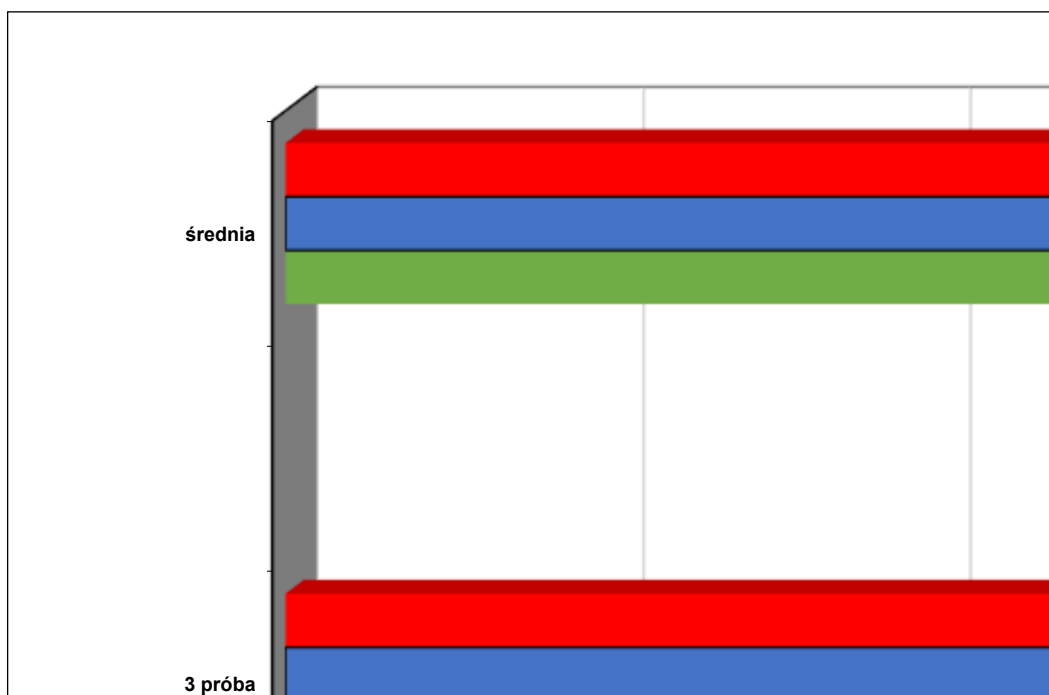
Rys. 4.60. Wyniki badań pojazdu Honda VTX 1800 (oznaczenie badawcze: 65)



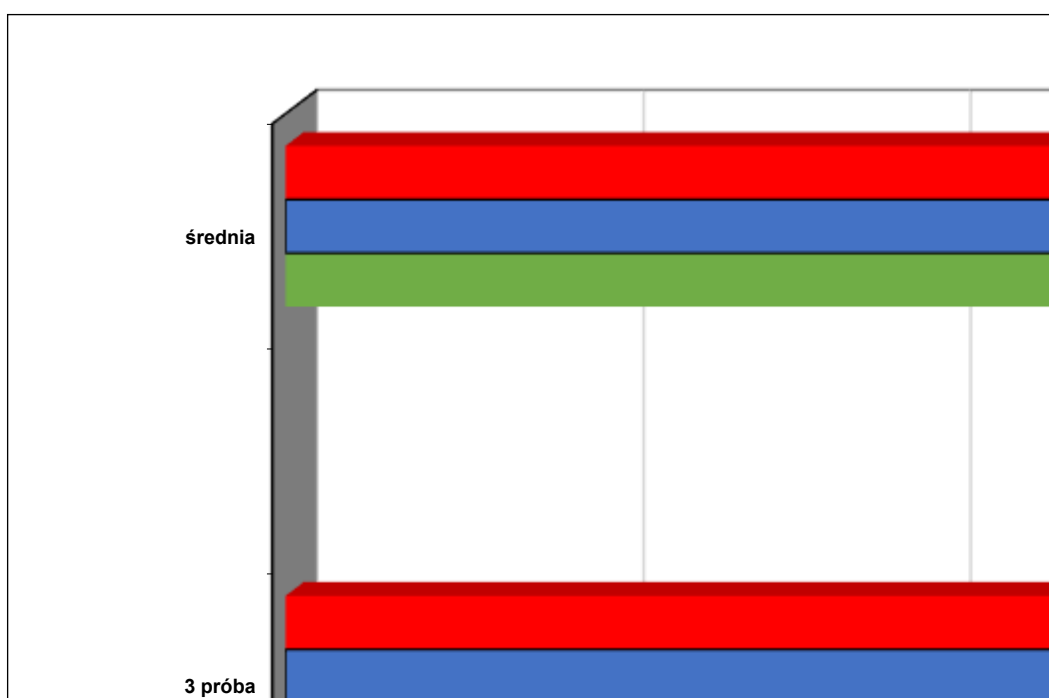
Rys. 4.61. Wyniki badań pojazdu Honda Goldwing (oznaczenie badawcze: 66)



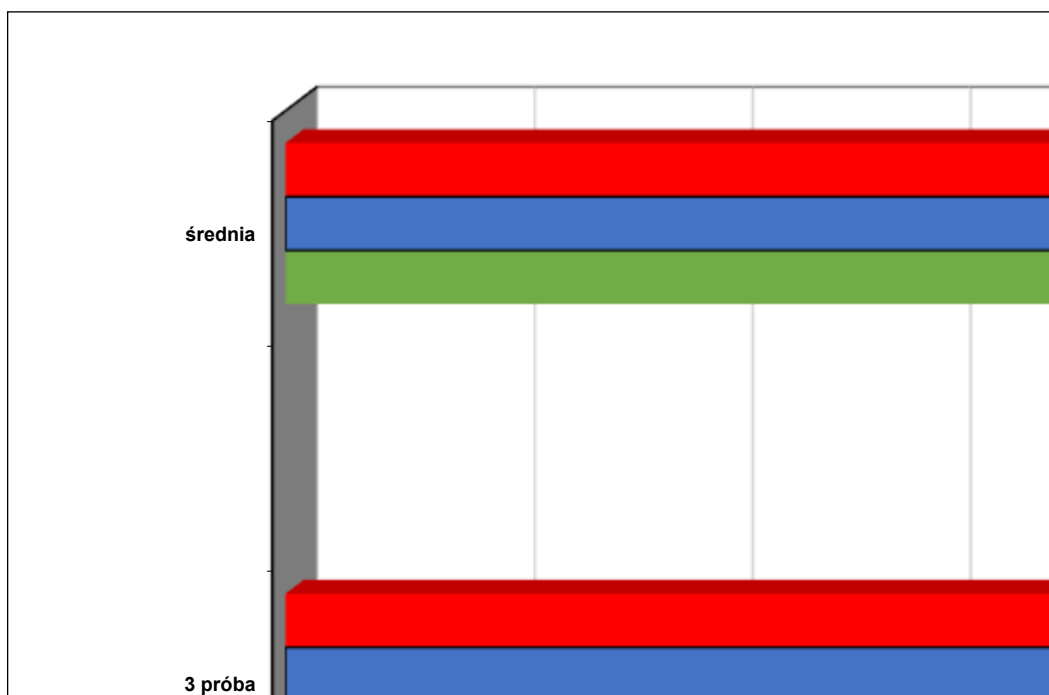
Rys. 4.62. Wyniki badań pojazdu Yamaha DT 50 R (oznaczenie badawcze: 67)



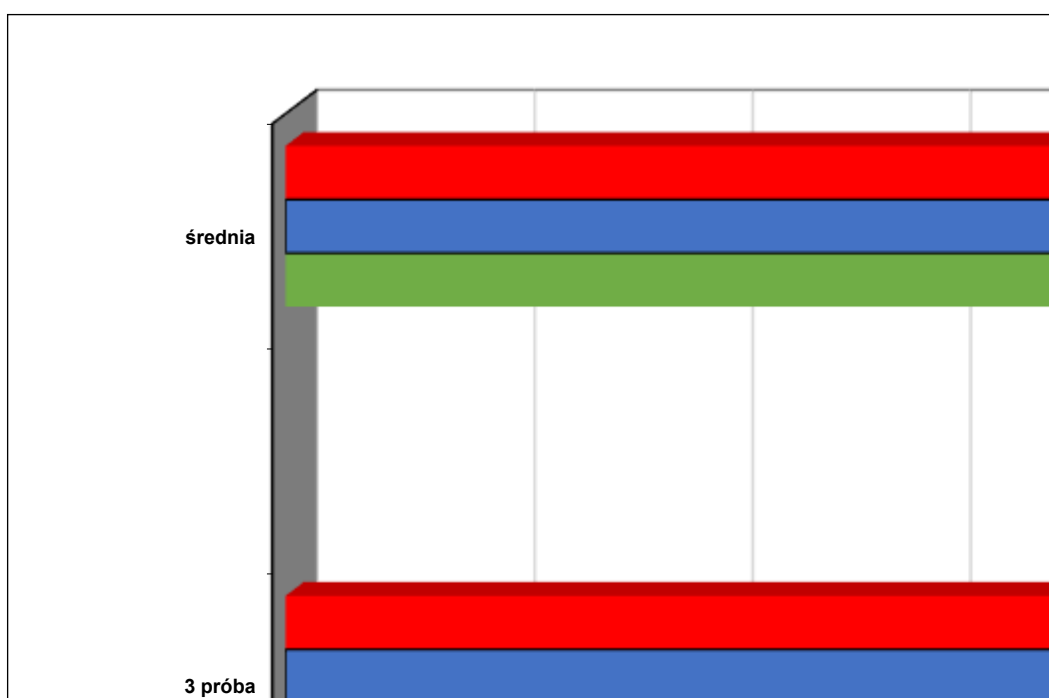
Rys. 4.63. Wyniki badań pojazdu Yamaha WR 990 S (oznaczenie badawcze: 68)



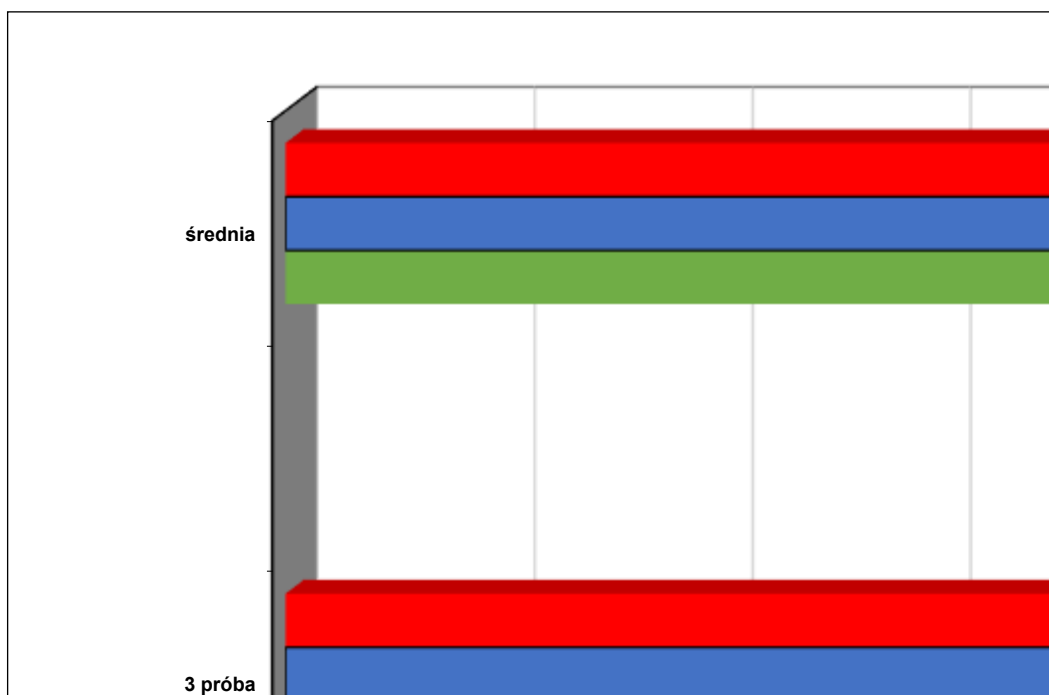
Rys. 4.64. Wyniki badań pojazdu Yamaha WR 450 F (oznaczenie badawcze: 69)



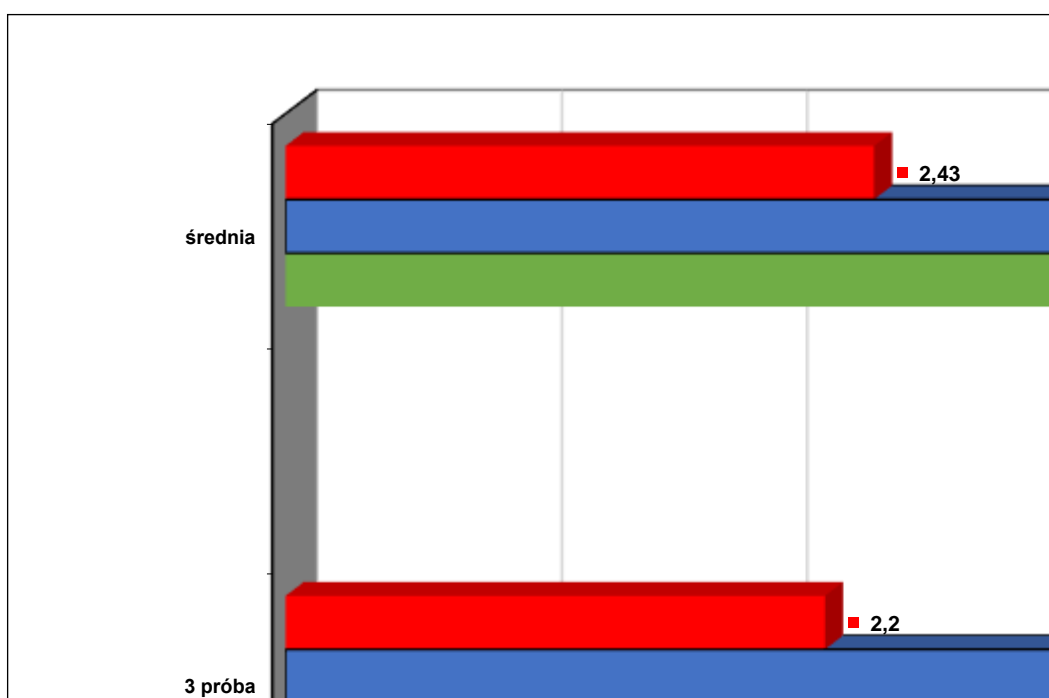
Rys. 4.65. Wyniki badań pojazdu Honda X11 (oznaczenie badawcze: 70)



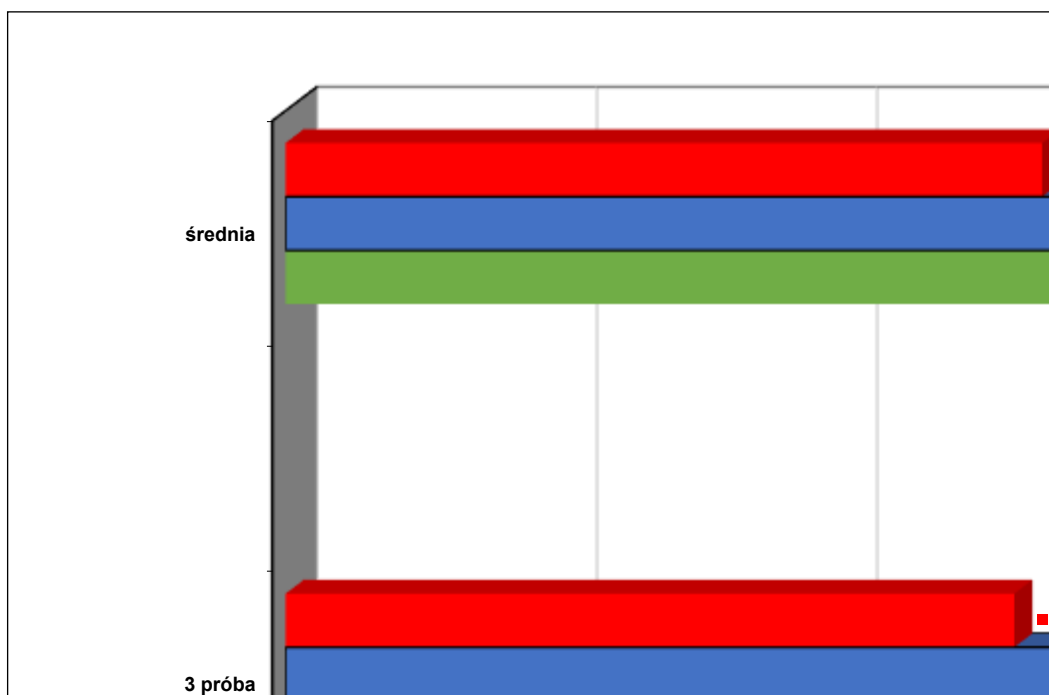
Rys. 4.66. Wyniki badań pojazdu Suzuki Bandit 600F (oznaczenie badawcze: 71)



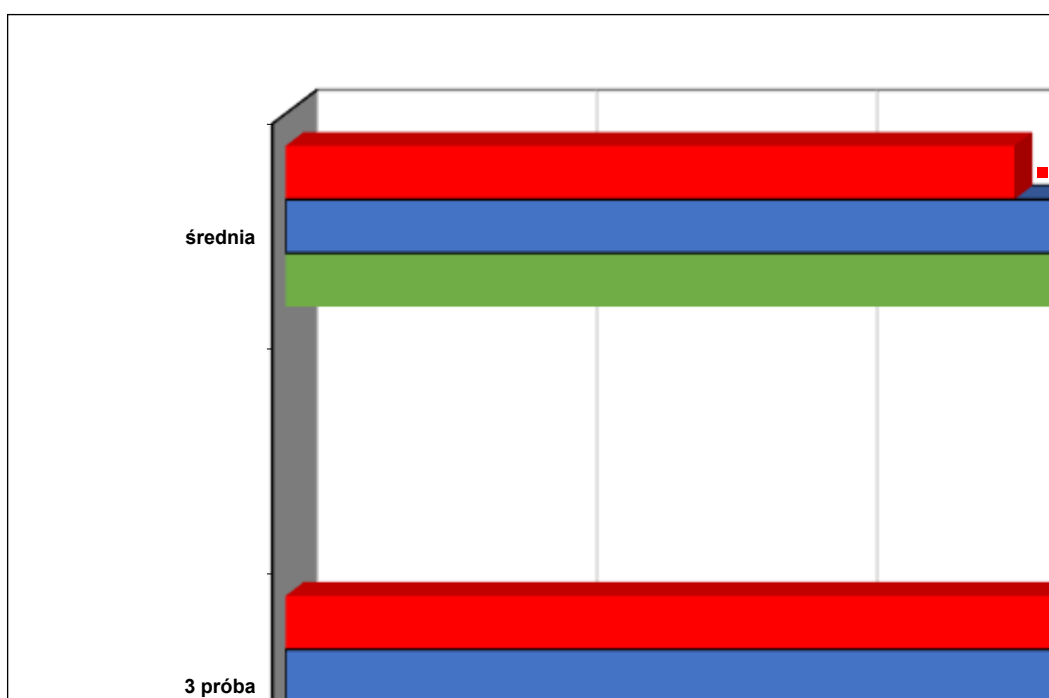
Rys. 4.67. Wyniki badań pojazdu Yamaha MT-01 (oznaczenie badawcze: 72)



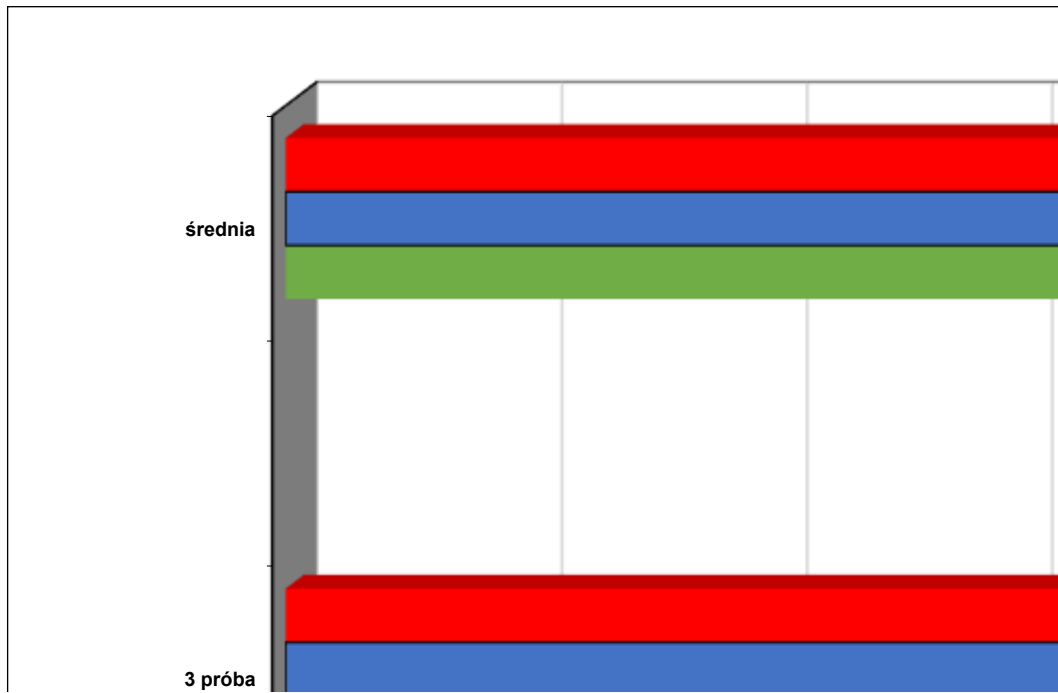
Rys. 4.68. Wyniki badań pojazdu Aerox (oznaczenie badawcze: 73)



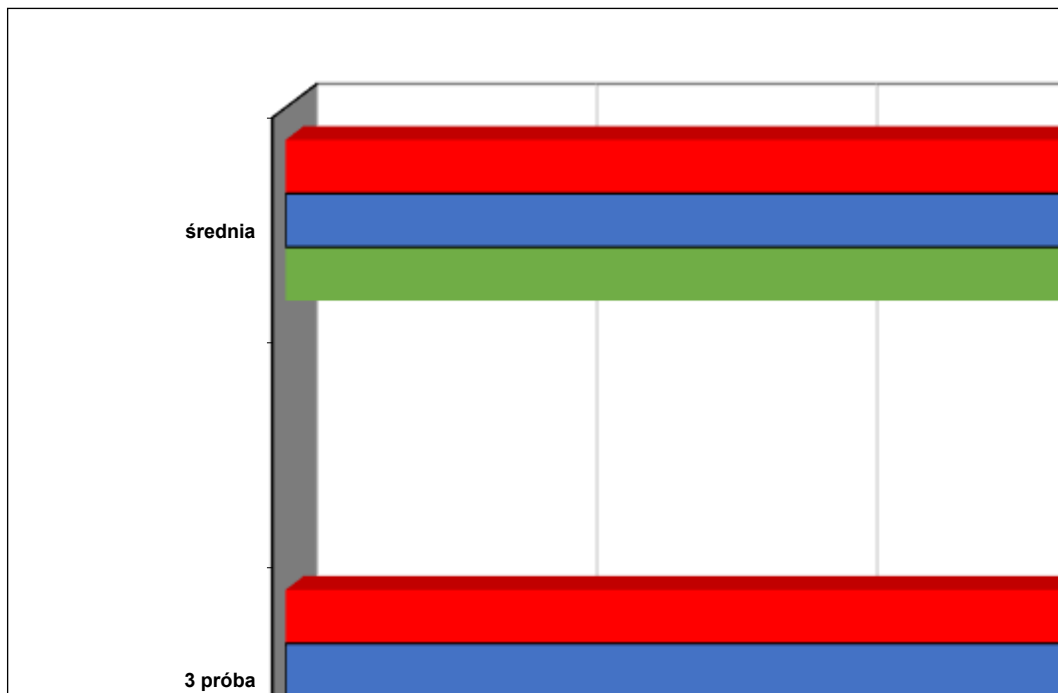
Rys. 4.69. Wyniki badań pojazdu Peugeot (oznaczenie badawcze: 74)



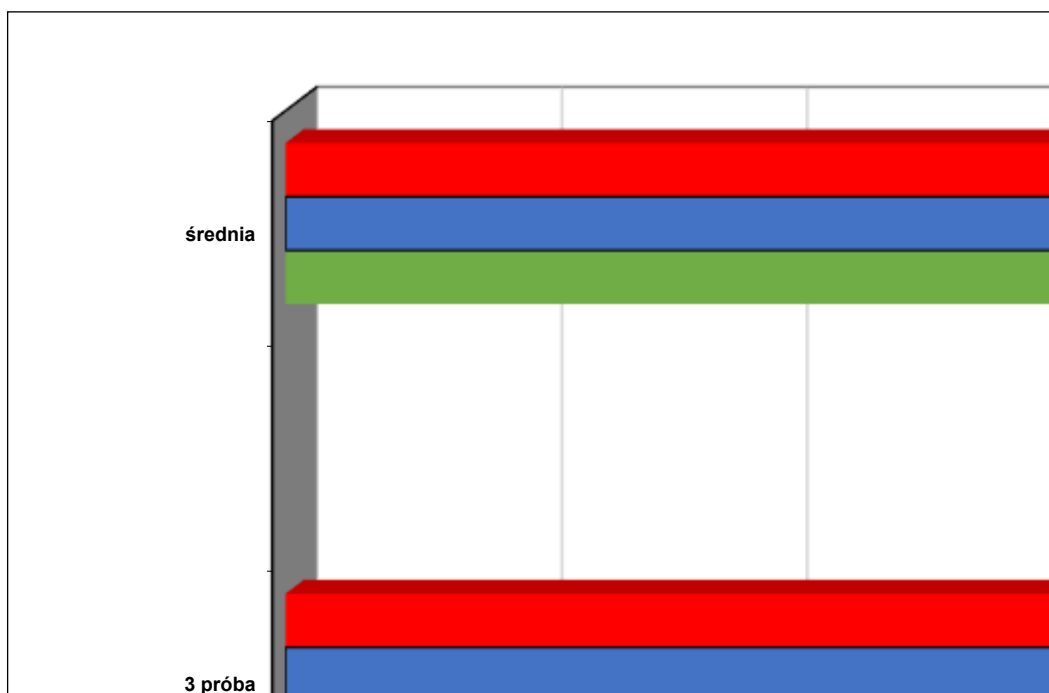
Rys. 4.70. Wyniki badań pojazdu Piaggio (oznaczenie badawcze: 75)



Rys. 4.71. Wyniki badań pojazdu YFM Raptor (oznaczenie badawcze: 76)



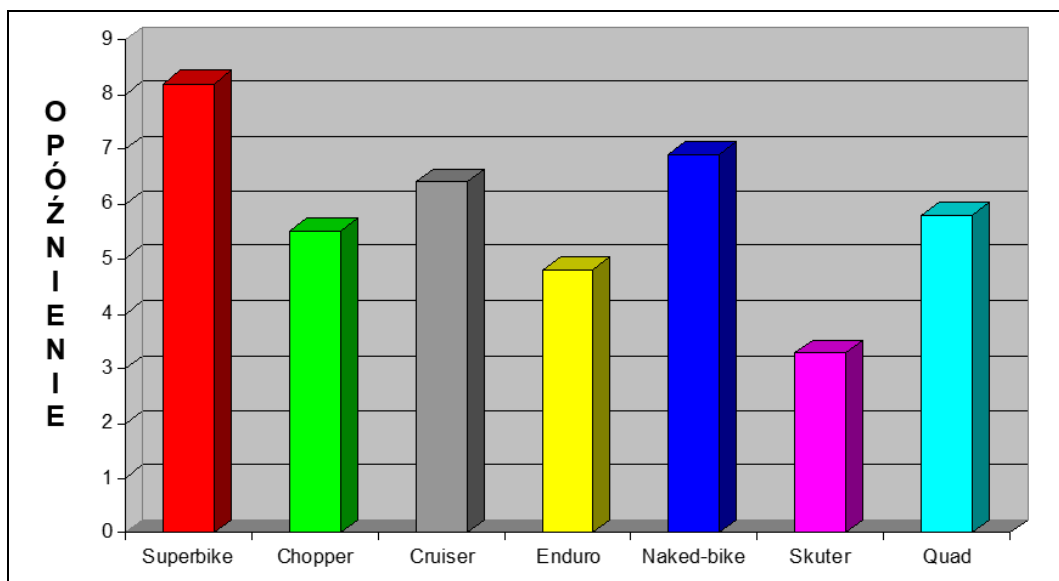
Rys. 4.72. Wyniki badań pojazdu YFZ 450 (oznaczenie badawcze: 77)



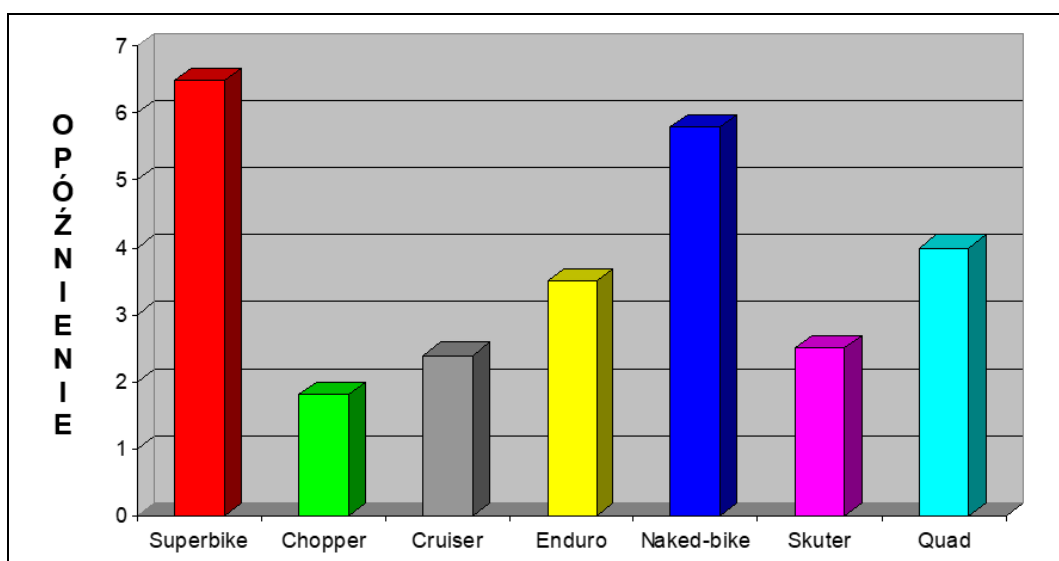
Rys. 4.73. Wyniki badań pojazdu LTZ 400 (oznaczenie badawcze: 78)

Tab. 4.7. Średnie wartości współczynnika opóźnienia hamowania w poszczególnych grupach pojazdów jednośladowych oraz quadów w badanych porze letniej

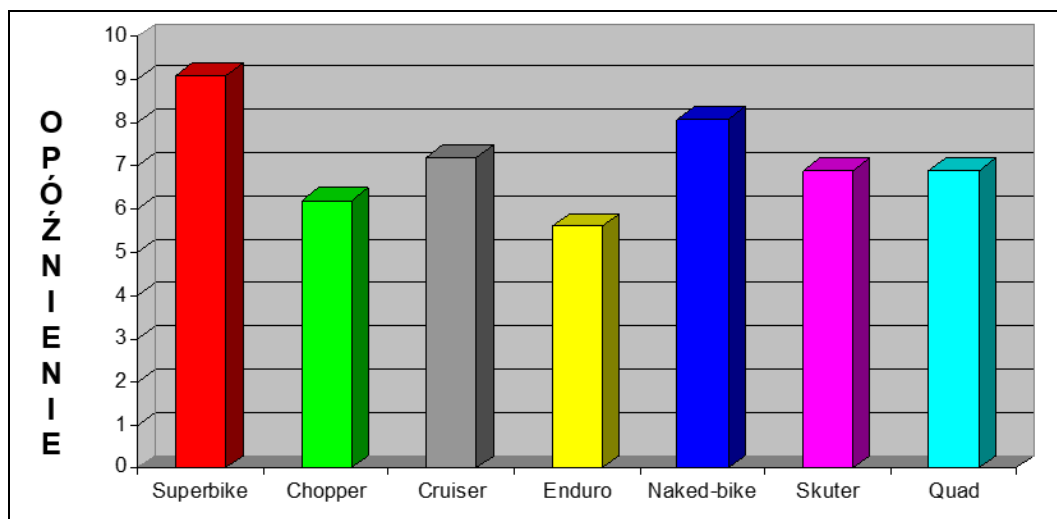
Grupa pojazdów	Opóźnienie średnie $a_{h\text{sr}}$ [m/s ²]		
	Hamulce przedni	Hamulec tylny	Hamulec przedni i tylny
Motocykle superbikee	8,24	6,53	9,18
Motocykle chopper	5,51	1,90	6,58
Motocykl cruiser	6,51	2,49	7,18
Motocykle enduro	4,77	3,50	5,62
Motocykle naked-bike	6,99	5,84	8,08
Skutery	3,39	2,61	6,97
Quady	5,82	4,03	6,91



Rys. 4.74. Wartości średniego opóźnienia hamowania hamulcem koła przedniego w poszczególnych grupach pojazdów



Rys. 4.75. Wartości średniego opóźnienia hamowania hamulcem koła tylnego w poszczególnych grupach pojazdów



Rys. 4.76. Wartości średniego opóźnienia hamowania hamulcem koła przedniego i tylnego w poszczególnych grupach pojazdów

4.7. Analiza wyników badań

4.7.1. Analiza wyników badań pojazdów dwuśladowych

Na potrzeby przeprowadzenia analizy wyników badań dla pojazdów dwuśladowych (zawartych w tab. 4.4 i 4.5) wykonano stosowne przeliczenia polegające na wyznaczeniu wartości maksymalnych, minimalnych, rozstępów między wartościami skrajnymi oraz procentowych stosunków połowy rozstępu do wartości średniej. Rezultaty wykonanych obliczeń zawarto w tab. 4.8–4.9. Ponadto zestawiono ze sobą w tab. 4.10 średnie wyniki wartości współczynnika opóźnienia hamowania pojazdów dla których wykonano po 6 pomiarów zarówno w okresie zimowym jak i letnim (oznaczenia badawcze: 15–31 oraz 41–57). Dla tych pojazdów wyznaczono także wartość różnicy w średnich wynikach otrzymanych w okresie zimowym i letnim, a następnie różnicę tę odniesiono procentowo do wartości średnich uzyskanych w okresie letnim.

Tab. 4.8. Rezultaty przeliczeń wyników dla pojazdów dwuśladowych badanych w okresie zimowym

Oznaczenie badawcze	Marka i model	Opóźnienie hamowania				
		Średnia $a_{h\bar{s}r}$ [m/s ²]	Max a_{hmax} [m/s ²]	Max a_{hmin} [m/s ²]	Rozstęp R [m/s ²]	0,5·R / $a_{h\bar{s}r}$ [%]
1	Kia Ceed	7,63	7,3	7,9	0,6	3,9
2	Opel Astra	7,43	6,9	8,0	1,1	7,4
3	Audi A3	7,00	6,8	7,2	0,4	2,9
4	Opel Corsa	6,47	5,9	7,3	1,4	10,8
5	Opel Mokka	6,77	6,5	6,9	0,4	3,0
6	Kia Soul	6,47	5,7	7,1	1,4	10,8
7	Skoda Yeti	8,03	7,4	8,5	1,1	6,8
8	VW Caddy	7,27	6,3	8,0	1,7	11,7
9	VW Crafter	7,03	6,9	7,2	0,3	2,1
10	Renault Master	5,93	5,8	6,1	0,3	2,5
11	Fiat Ducato	6,20	5,9	6,5	0,6	4,8
12	Isuzu	6,13	5,9	6,3	0,4	3,3
13	Mitsubishi L-200	6,67	6,3	6,9	0,6	4,5
14	Ford Ranger	6,63	6,0	7,0	1,0	7,5
15	VW Touran	6,47	5,9	7,2	1,3	10,1
16	Audi A6	7,00	6,7	7,3	0,6	4,3
17	VW Passat	7,20	6,7	7,8	1,1	7,6
18	Kia Soul	6,05	5,7	6,5	0,8	6,6
19	Skoda Yeti	6,47	5,5	7,4	1,9	14,7
20	VW Caddy	6,13	5,5	6,9	1,4	11,4
21	VW Crafter	6,37	5,7	7,0	1,3	10,2
22	Renault Master	5,90	5,6	6,3	0,7	5,9
23	Fiat Ducato	6,65	6,2	7,4	1,2	9,0
24	Kia Ceed	7,27	6,3	7,8	1,5	10,3
25	Opel Astra	7,00	6,1	7,6	1,5	10,7

Tab. 4.8. Rezultaty przeliczeń wyników dla pojazdów dwuśladowych badanych w okresie zimowym – c.d.

Oznaczenie badawcze	Marka i model	Opóźnienie hamowania				
		Średnia $a_{h\bar{s}r}$ [m/s ²]	Max a_{hmax} [m/s ²]	Max a_{hmin} [m/s ²]	Rozstęp R [m/s ²]	$0,5 \cdot R$ / $a_{h\bar{s}r}$ [%]
26	Audi A3	6,67	6,2	6,9	0,7	5,3
27	Opel Corsa	6,57	5,2	7,4	2,2	16,8
28	Opel Mokka	6,70	6,0	7,1	1,1	8,2
29	Isuzu D-max	6,07	5,5	6,6	1,1	9,1
30	Mitsubishi L-200	6,47	5,8	7,1	1,3	10,1
31	Fiat Ducato	6,75	6,2	7,1	0,9	6,7
Wartość minimalna		5,90	5,20	6,10	0,30	2,13
Wartość maksymalna		8,03	7,40	8,50	2,20	16,75
Wartość średnia		6,69	6,14	7,17	1,03	7,71

Tab. 4.9. Rezultaty przeliczeń wyników dla pojazdów dwuśladowych badanych w okresie letnim

Oznaczenie badawcze	Marka i model	Opóźnienie hamowania				
		Średnia $a_{h\bar{s}r}$ [m/s ²]	Max a_{hmax} [m/s ²]	Max a_{hmin} [m/s ²]	Rozstęp R [m/s ²]	0,5·R / $a_{h\bar{s}r}$ [%]
32	VW Touran	8,97	8,7	9,3	0,6	3,3
33	VW Caddy	7,60	7,2	8	0,8	5,3
34	Opel Mokka	7,97	7,5	8,6	1,1	6,9
35	VW Crafter	7,80	7,6	8	0,4	2,6
36	Renault Master	7,13	6,9	7,3	0,4	2,8
37	Fiat Ducato	7,67	6,9	8,1	1,2	7,8
38	Isuzu	8,27	8,1	8,5	0,4	2,4
39	Mitsubishi L-200	8,27	8,1	8,4	0,3	1,8
40	Fiat Ducato	8,90	8,7	9,1	0,4	2,2
41	VW Touran	8,65	7,9	9,2	1,3	7,5
42	Audi A6	8,75	7,6	10	2,4	13,7
43	VW Passat	9,18	8,7	10,2	1,5	8,2
44	Kia Soul	6,63	5,7	7,1	1,4	10,6
45	Skoda Yeti	8,30	7,4	8,8	1,4	8,4
46	VW Caddy	7,53	6,3	8	1,7	11,3
47	VW Crafter	7,12	6,2	7,8	1,6	11,2
48	Renault Master	6,18	5,6	6,9	1,3	10,5
49	Fiat Ducato	6,82	6,2	7,4	1,2	8,8
50	Kia Ceed	7,80	7,3	8,2	0,9	5,8
51	Opel Astra	7,70	7,2	8,1	0,9	5,8
52	Audi A3	7,50	6,8	8,9	2,1	14,0
53	Opel Corsa	7,10	6,5	7,6	1,1	7,7
54	Opel Mokka	6,67	6,0	6,9	0,9	6,8
55	Isuzu	6,37	5,2	7,5	2,3	18,1
56	Mitsubishi L-200	6,75	6,3	7,1	0,8	5,9
57	Fiat Ducato	6,93	6,5	7,9	1,4	10,1
Wartość minimalna		6,18	5,20	6,90	0,30	1,81
Wartość maksymalna		9,18	8,70	10,20	2,40	18,06
Wartość średnia		7,64	7,04	8,19	1,15	7,68

Tab. 4.10. Zestawienie rezultatów przeliczeń wyników dla pojazdów dwuśladowych badanych w okresie zimowym i letnim

Marka i model	Opóźnienie hamowania					$\frac{R_{Z-L}}{a_{h\dot{s}rL}}$ [%]
	Oznaczenie badawcze	Średnia $a_{h\dot{s}rZ}$ [m/s ²]	Oznaczenie badawcze	Średnia $a_{h\dot{s}rL}$ [m/s ²]	Różnica R_{Z-L} [m/s ²]	
VW Touran	15	6,47	41	8,65	2,18	25,2
Audi A6	16	7,00	42	8,75	1,75	20,0
VW Passat	17	7,20	43	9,18	1,98	21,6
Kia Soul	18	6,05	44	6,63	0,58	8,8
Skoda Yeti	19	6,47	45	8,30	1,83	22,1
VW Caddy	20	6,13	46	7,53	1,40	18,6
VW Crafter	21	6,37	47	7,12	0,75	10,5
Renault Master	22	5,90	48	6,18	0,28	4,6
Fiat Ducato	23	6,65	49	6,82	0,17	2,4
Kia Ceed	24	7,27	50	7,80	0,53	6,8
Opel Astra	25	7,00	51	7,70	0,70	9,1
Audi A3	26	6,67	52	7,50	0,83	11,1
Opel Corsa	27	6,57	53	7,10	0,53	7,5
Opel Mokka	28	6,70	54	6,67	-0,03	-0,5
Isuzu	29	6,07	55	6,37	0,30	4,7
Mitsubishi L-200	30	6,47	56	6,75	0,28	4,2
Fiat Ducato	31	6,75	57	6,93	0,18	2,6
Wartość minimalna	-	5,90	-	6,18	-0,03	-0,50
Wartość maksymalna	-	7,27	-	9,18	2,18	25,24
Wartość średnia	-	6,57	-	7,41	0,84	10,56

Przed rozpoczęciem analizy wyników należy dodać (o czym już wspomniano także w podrozdziale 4.4), że w grupie pojazdów dla których przewidziano wykonanie po sześć pomiarów, badania w porze letniej i zimowej przeprowadzono na tych samych egzemplarzach pojazdów (oznaczenia badawcze: 15–31 oraz 41–57). Natomiast w przypadku pojazdów dla których przewidziano po trzy pomiary w porze letniej i zimowych, stosowano w badaniach oddzielne egzemplarze pojazdów (oznaczenia badawcze: 1–14 oraz 32–40).

Pomimo zastosowania zróżnicowanych ilości pomiarów (3 lub 6), warto zwrócić uwa-

gę na wartości rozstępu między wynikami, tj. na różnice między wartością maksymalną a wartością minimalną. Dane dla pojazdów badanych w okresie zimowych (zawarte w tab. 4.8) wskazują, że wartość rozstępu wynosi od 0,30 do 2,20 m/s², przy czym średnia wartość rozstępu między wynikami wynosi 1,03 m/s². W szczególności odniesienie połowy wartości rozstępu do wartości średniej wskazuje w jakim zakresie wyniki skrajne odbiegają od średniej. Z danych zamieszczonych w tab. 4.8 wynika, że skrajane wyniki z poszczególnych serii pomiarowych odbiegają od wartości średniej w zakresie od 2,13 do 16,75% tej wartości średniej, natomiast przeciętnie parametr ten wynosi 7,71%. Tym samym można wskazać, że rozproszenie wyników pojedynczych pomiarów względem wartości średnich nie jest zbyt duże i wyniki te można uznać za względnie powtarzalne.

Bardzo podobna sytuacja występuje w przypadku wyników uzyskanych w porze letniej. Dane zawarte w tab. 4.9 wskazują, że rozstęp między wynikami wynosi od 0,30 do 2,40 m/s², przy czym średnia wartość rozstępu wynosi 1,15 m/s². Natomiast średnia wartość rozproszenia wyników skrajnych względem wartości średniej wynosi 7,68%. Przytoczne dane dotyczące wyników uzyskanych w porze letniej są bardzo zbliżone do danych dotyczących wyników uzyskanych w porze zimowej. Tym samym można wskazać, że wyniki uzyskane podczas badań w obydwu okresach (zimowym i letnim) cechuje zbliżona poziom dokładności ich uzyskania.

Przechodząc do analizy wartości bezpośrednich wyników pomiarów uzyskanych w porze zimowej (tab. 4.4 i 4.8) można zauważyć, że rozbieżności między wartościami średnimi wynoszą od 5,90 do 8,03 m/s², a globalna średnia dla wszystkich pojazdów badanych w okresie zimowym ukształtowała się na poziomie 6,69 m/s². Najniższą wartość uzyskano w pojeździe Renault Master (oznaczenie badawcze: 22), a najwyższą w pojeździe Skoda Yeti (oznaczenie badawcze: 7). W szczególności uwagę należy zwrócić na wartości średnie w poszczególnych grupach pojazdów. W przypadku pojazdów badanych trzykrotnie (oznaczenia badawcze: 1–14), wartość średnia wynosi:

- w grupie pojazdów miejskich (oznaczenia badawcze: 1–5) - 7,06 m/s²;
- w grupie pojazdów osobowo-dostawczych (oznac. badawcze: 6–8) - 7,26 m/s²;
- w grupie pojazdów dostawczych (oznaczenia badawcze: 9–11) - 6,39 m/s²;
- w grupie pojazdów typu pick-up (oznaczenia badawcze: 12–14) - 6,48 m/s².

Natomiast w pojazdach badanych sześciokrotnie (oznaczenia badawcze: 15–31) wartość średnia w poszczególnych grupach wynosi:

- w grupie pojazdów miejskich (oznaczenia badawcze: 20, 21, 24–28) - 6,91 m/s²;

- w grupie pojazdów osobowo-dostawczych (ozn. badawcze: 15, 18–20) - 6,28 m/s²;
- w grupie pojazdów dostawczych (oznaczenia badawcze: 21–23, 31) - 6,42 m/s²;
- w grupie pojazdów typu pick-up (oznaczenia badawcze: 29, 30) - 6,27 m/s².

Stosowanie wartości średnich wyznaczonych w poszczególnych grupach pojazdów powoduje pewne zbliżenie do siebie wyników uzyskanych po takich przeliczeniach i zacierają (zaniża lub zawyża) różnice w wartościach indywidualnych dla każdego pojazdu. Przykładowo w przypadku pojazdu Ka Soul (oznaczenie badawcze: 18), średnia uzyskana z pomiarów indywidualnych wynosi 6,05 m/s², a średnia dla grupy w której znajduje się ten pojazd (samochody miejskie) jest wyższa i wynosi 6,28 m/s². Natomiast w przypadku pojazdu Skoda Yeti (oznaczenie badawcze: 7) średnia z pomiarów indywidualnych wynosi 8,03 m/s², a średnia dla grupy w której znajduje się ten pojazd (samochody osobowo-ciężarowe) jest niższa i wynosi 7,26 m/s².

Biorąc pod uwagę wyniki uzyskane w okresie letnim (tab. 4.5 i 4.9) należy wskazać, że uzyskane wartości średnie zawierają się w przedziale od 6,18 do 9,18 m/s². Najniższą z tych wartości uzyskano w pojeździe Renault Master (oznaczenie badawcze: 48), a najwyższą w pojeździe VW Passat (oznaczenie badawcze: 43), natomiast średnia w grupie pojazdów badanych w okresie letnim wyniosła 7,64 m/s². Można zatem wskazać, że wyniki uzyskane w okresie letnim są wyższe od wyników uzyskanych w okresie zimowym. Analizując natomiast wartości średnie w poszczególnych grupach pojazdów badanych w okresie letnim należy wskazać, że w przypadku pojazdów badanych trzykrotnie (oznaczenia badawcze: 32–40), wartość średnia wynosi:

- w grupie pojazdów miejskich (oznaczenie badawcze: 34) - 7,97 m/s²;
- w grupie pojazdów osobowo-dostawczych (ozn. badawcze: 32, 33) - 8,28 m/s²;
- w grupie pojazdów dostawczych (oznaczenia badawcze: 35–37, 40) - 7,88 m/s²;
- w grupie pojazdów typu pick-up (oznaczenia badawcze: 38, 39) - 8,27 m/s².

Natomiast w pojazdach badanych sześciokrotnie (oznaczenia badawcze: 41–57) wartość średnia w poszczególnych grupach wynosi:

- w grupie pojazdów miejskich (oznaczenia badawcze: 42, 43, 50–54) - 7,81 m/s²;
- w grupie pojazdów osobowo-dostawczych (ozn. badawcze: 41, 44–46) - 7,78 m/s²;
- w grupie pojazdów dostawczych (oznaczenia badawcze: 47–49, 57) - 6,76 m/s²;
- w grupie pojazdów typu pick-up (oznaczenia badawcze: 55, 56) - 6,56 m/s².

Podobnie jak w przypadku pojazdów badanych w okresie zimowym, stosowanie wartości średnich wyznaczonych w poszczególnych grupach pojazdów zacierają (zaniża lub zawy-

za) różnice w wartościach indywidualnych dla każdego pojazdu. Przykładowo w przypadku pojazdu VW Crafter (oznaczenie badawcze: 47), średnia uzyskana z pomiarów indywidualnych wynosi $7,12 \text{ m/s}^2$, a średnia dla grupy w której znajduje się ten pojazd (samochody dostawcze) jest niższa i wynosi $6,76 \text{ m/s}^2$. Natomiast w przypadku pojazdu Opel Mokka (oznaczenie badawcze 54) średnia z pomiarów indywidualnych wynosi $6,67 \text{ m/s}^2$, a średnia dla grupy w której znajduje się ten pojazd (samochody miejskie) jest wyższa i wynosi $7,81 \text{ m/s}^2$.

Przytoczone przykłady dotyczące pojazdów badanych w okresie zimowym i letnim przemawiają za tym, aby w trakcie rekonstrukcji procesu hamowania korzystać raczej z wartości wyznaczonych w sposób indywidualny dla każdego pojazdu niż z wartości uśrednionych dla poszczególnych grup, jak to ma zazwyczaj miejsce w przypadku korzystania z danych poradnikowych, o których wspomniano w podrozdziale 2.4.4.

Warto również zawrócić uwagę na wyniki w grupie pojazdów, które poddano badaniom sześciokrotnie w porze zimowej (oznaczenia badawcze: 15-31) i sześciokrotnie w porze letniej (oznaczenia badawcze: 41-57), gdyż – jak już wcześniej wspomniano – były to te same egzemplarze pojazdów. W tab. 4.10 zestawiono ze sobą wartości średnie dla tych pojazdów uzyskane w obydwu okresach (zimowym i letnim) oraz wyznaczono różnice między tymi średnimi, którą następnie odniesiono do wartości wyższych, czyli wartości z uzyskanych w okresie letnim.

Analizując dane zawarte w tab. 4.10 należy wskazać – o czym już wcześniej też wspomniano – że generalnie wartości uzyskane w okresie letnim są wyższe od wartości uzyskanych w okresie zimowym, z jednym wyjątkiem dotyczącym pojazdu Opel Mokka (oznaczenia badawcze: 28 i 54), w przypadku którego w okresie letnim uzyskano wartość średnią niższą o $0,03 \text{ m/s}^2$. Różnice w wartościach średnich z obydwu okresów dla poszczególnych pojazdów wynoszą do $2,18 \text{ m/s}^2$, przy czym wartości uzyskane w okresie letnim są średnio wyższe o $0,84 \text{ m/s}^2$. Różnice w wynikach odniesione do rezultatów uzyskanych w okresie letnim wynoszą do 25,24% wartości z okresu letniego, przy czym średnia w tym obszarze wynosi 10,56%.

4.7.2. Analiza wyników badań pojazdów jednośladowych i quadów

Na potrzeby przeprowadzenia analizy wyników badań dla pojazdów jednośladowych i quadów (zawartych w tab. 4.6 i 4.7) wykonano stosowne przeliczenia wyznaczając – podobnie jak w przypadku pojazdów dwuśladowych – polegające na wyznaczeniu wartości maksymalnych, minimalnych, rozstępów między wartościami skrajnymi oraz procentowych stosun-

ków połowy rozstępu do wartości średniej. Rezultaty wykonanych obliczeń dla hamulca przedniego, tylnego oraz obydwu hamulcy zawarto w tab. 4.11–4.13.

Tab. 4.11. Rezultaty przeliczeń wyników badań dla hamulca przedniego w pojazdach jednośladowych oraz quadach

Oznaczenie badawcze	Marka i model	Opóźnienie hamowania				
		Średnia $a_{h\bar{s}r}$ [m/s ²]	Max a_{hmax} [m/s ²]	Max a_{hmin} [m/s ²]	Rozstęp R [m/s ²]	0,5·R / $a_{h\bar{s}r}$ [%]
58	Honda CBR 1000R	7,83	7,7	7,9	0,2	1,3
59	Yamaha YZF R6	8,40	8,1	8,6	0,5	3,0
60	Kawasaki ZX6R	8,50	7,9	8,9	1,0	5,9
61	Yamaha Virago	5,43	5,2	5,9	0,7	6,4
62	Yamaha Drag Star	5,43	5,1	5,8	0,7	6,4
63	Kawasaki VN800	5,67	5,4	5,9	0,5	4,4
64	Honda Shadow	6,27	5,9	6,8	0,9	7,2
65	Honda VTX 1800	6,63	6,2	6,9	0,7	5,3
66	Honda Goldwing	6,63	5,9	7,1	1,2	9,0
67	Yamaha DT 50 R	4,70	4,5	4,9	0,4	4,3
68	Yamaha WR 990S	4,70	4,6	4,8	0,2	2,1
69	Yamaha WR 450F	4,90	4,7	5,1	0,4	4,1
70	Honda X11	7,37	7,2	7,5	0,3	2,0
71	Suzuki Bandit 600F	6,50	6,3	6,8	0,5	3,8
72	Yamaha MT-01	7,10	6,9	7,3	0,4	2,8
73	Aerox	3,47	3,2	3,6	0,4	5,8
74	Peugeot	3,23	3,0	3,4	0,4	6,2
75	Piaggio	3,47	3,2	3,8	0,6	8,7
76	YFM 350 Raptor	5,67	5,5	5,9	0,4	3,5
77	YFZ 450	5,80	5,7	5,9	0,2	1,7
78	LTZ 400	6,00	5,9	6,2	0,3	2,5
Wartość minimalna		3,23	3,00	3,40	0,20	1,28
Wartość maksymalna		8,50	8,10	8,90	1,20	9,05
Wartość średnia		5,89	5,62	6,14	0,52	4,59

Tab. 4.12. Rezultaty przeliczeń wyników badań dla hamulca tylnego w pojazdach jednośladowych oraz quadach

Oznaczenie badawcze	Marka i model	Opóźnienie hamowania				
		Średnia $a_{h\bar{s}r}$ [m/s ²]	Max a_{hmax} [m/s ²]	Max a_{hmin} [m/s ²]	Rozstęp R [m/s ²]	$0,5 \cdot R$ / $a_{h\bar{s}r}$ [%]
58	Honda CBR 1000R	6,43	6,2	6,7	0,5	3,9
59	Yamaha YZF R6	6,63	6,2	6,9	0,7	5,3
60	Kawasaki ZX6R	6,53	6,1	6,9	0,8	6,1
61	Yamaha Virago	2,07	1,9	2,2	0,3	7,3
62	Yamaha Drag Star	1,90	1,8	2,0	0,2	5,3
63	Kawasaki VN800	1,73	1,6	1,9	0,3	8,7
64	Honda Shadow	2,73	1,9	3,4	1,5	27,4
65	Honda VTX 1800	2,47	2,1	2,9	0,8	16,2
66	Honda Goldwing	2,27	1,9	2,9	1,0	22,1
67	Yamaha DT 50 R	3,47	3,4	3,6	0,2	2,9
68	Yamaha WR 990S	3,43	3,3	3,6	0,3	4,4
69	Yamaha WR 450F	3,60	3,3	3,8	0,5	6,9
70	Honda X11	6,67	6,4	6,9	0,5	3,8
71	Suzuki Bandit 600F	5,30	4,9	5,8	0,9	8,5
72	Yamaha MT-01	5,57	5,1	5,9	0,8	7,2
73	Aerox	2,43	2,2	2,6	0,4	8,2
74	Peugeot	2,73	2,6	2,9	0,3	5,5
75	Piagio	2,67	2,4	2,8	0,4	7,5
76	YFM 350 Raptor	4,03	3,9	4,2	0,3	3,7
77	YFZ 450	3,90	3,7	4,1	0,4	5,1
78	LTZ 400	4,17	3,9	4,4	0,5	6,0
Wartość minimalna		1,73	1,60	1,90	0,20	2,88
Wartość maksymalna		6,67	6,40	6,90	1,50	27,44
Wartość średnia		3,84	3,56	4,11	0,55	8,18

Tab. 4.13. Rezultaty przeliczeń wyników badań dla hamulca przedniego i tylnego w pojazdach jednośladowych oraz quadach

Oznaczenie badawcze	Marka i model	Opóźnienie hamowania				
		Średnia $a_{h\bar{s}r}$ [m/s ²]	Max a_{hmax} [m/s ²]	Max a_{hmin} [m/s ²]	Rozstęp R [m/s ²]	$0,5 \cdot R$ / $a_{h\bar{s}r}$ [%]
58	Honda CBR 1000R	9,23	9,1	9,4	0,3	1,6
59	Yamaha YZF R6	9,23	8,9	9,4	0,5	2,7
60	Kawasaki ZX6R	9,07	8,9	9,2	0,3	1,7
61	Yamaha Virago	7,00	6,4	7,5	1,1	7,9
62	Yamaha Drag Star	6,20	6,0	6,4	0,4	3,2
63	Kawasaki VN800	6,53	6,2	7,0	0,8	6,1
64	Honda Shadow	7,27	6,9	7,6	0,7	4,8
65	Honda VTX 1800	7,20	7,1	7,4	0,3	2,1
66	Honda Goldwing	7,07	6,4	7,5	1,1	7,8
67	Yamaha DT 50 R	5,60	5,4	5,8	0,4	3,6
68	Yamaha WR 990S	5,57	5,4	5,7	0,3	2,7
69	Yamaha WR 450F	5,70	5,5	5,9	0,4	3,5
70	Honda X11	8,27	8,1	8,5	0,4	2,4
71	Suzuki Bandit 600F	8,00	7,9	8,2	0,3	1,9
72	Yamaha MT-01	7,97	7,8	8,1	0,3	1,9
73	Aerox	7,27	6,9	7,7	0,8	5,5
74	Peugeot	6,90	6,8	7,0	0,2	1,4
75	Piaggio	6,73	6,5	7,0	0,5	3,7
76	YFM 350 Raptor	6,83	6,7	7,1	0,4	2,9
77	YFZ 450	6,90	6,8	7,0	0,2	1,4
78	LTZ 400	7,00	6,9	7,1	0,2	1,4
Wartość minimalna		5,57	5,40	5,70	0,20	1,43
Wartość maksymalna		9,23	9,10	9,40	1,10	7,86
Wartość średnia		7,22	6,98	7,45	0,47	3,35

Pojazdy jednośladowe i quady wyposażone są w dwa rodzaje hamulców tj. hamulec przedni i tylny. Hamowanie może się odbywać z użyciem tylko jednego z nich lub obydwu jednocześnie. Ze względu na różnicę w konstrukcji hamulca przedniego i tylnego, związaną przede wszystkim z rozmiarami elementów ciernych należy oczekiwać, że najmniejsza sku-

teczność hamowania (a więc i najmniejsza wartość współczynnika opóźnienia hamowania) zostanie uzyskana w przypadku hamowania wyłącznie hamulcem tylnym, większa w przypadku użycia jedynie hamulca przedniego, a największa przy jednoczesnym użyciu hamulca przedniego i tylnego.

Przystępując do analizy wyników uzyskanych dla pojazdów jednośladowych i quadów, warto w pierwszej kolejności zwrócić uwagę na wartości rozstępu, czyli różnicy między wartościami skrajnymi. W przypadku wyników dotyczących użycia hamulca przedniego (tab. 4.11) różnica między wartością największą a najmniejszą zawiera się od 0,2 do 1,2 m/s², przy czym średnia wynosi 0,52 m/s², a stosunek połowy rozstępu do wartości średniej wynosi od 1,25 do 9,05% tej wartości, przy czym przeciętnie wartość ta w całej grupie wynosi 4,59 %. Wyniki hamowania z użyciem hamulca tylnego (tab. 4.12) wskazują, że rozstęp między zmierzonymi wartościami wynosi od 0,2 do 1,50 m/s², a średnia w tym obszarze kształtuje się na poziomie 0,55 m/s². Stosunek połowy wartości rozstępu do wartości średniej wynosi średnio 8,18%. Natomiast w przypadku wyników uzyskanych przy użyciu jednocześnie hamulca przedniego i tylnego (tab. 4.13) wartość rozstępu w całej grupie wynosi od 0,2 do 1,1 m/s², a stosunek połowy wartości rozstępu do wartości średniej wynosi od 1,43 do 7,86 %, co daje przeciętną na poziomie 3,35%. Na podstawie przytoczonych powyżej danych można stwierdzić, że wartości rozstępu we wszystkich trzech grupach wyników są zbliżone do siebie, co wskazywałoby na to, że wyniki te zostały uzyskane z podobną dokładnością.

Przechodząc do analizy wartości bezpośrednich wyników pomiarów uzyskanych z użyciem jedynie hamulca tylnego (tab. 4.6 i 4.12) należy wskazać, że zróżnicowanie uzyskanych średnich wartości jest znaczne. Najmniejszą wartość średnią wynoszącą 1,73 m/s² uzyskano podczas badania motocykla Kawasaki VN800 (oznaczenie badawcze: 63), a największą wartość średnią wynoszącą 6,67 m/s² podczas badania motocykla Honda X11 (oznaczenie badawcze: 70). Wartość średnia dla wszystkich pojazdów wyniosła 3,84 m/s².

Podobna sytuacja, związana z dużym zróżnicowaniem wartości średnich występuje także w przypadku wyników uzyskanych podczas hamowania z wykorzystaniem hamulca przedniego. Wartość najmniejszą wynoszącą 3,23 m/s², uzyskano podczas badania skutera Peugeot (oznaczenie badawcze: 74), a wartość największą wynoszącą 8,50 m/s² uzyskano podczas badania motocykla Kawasaki ZXR6 (oznaczenie badawcze: 60). Natomiast wartość średnia dla wszystkich pojazdów wyniosła 5,89 m/s².

Rezultaty badań uzyskane podczas hamowania z jednoczesnym użyciem hamulca przedniego i tylnego cechuje również, podobnie jak w dwóch wcześniejszych przypadkach, znaczna rozbieżność uzyskanych wyników. Wartość najmniejszą wynoszącą 5,57 m/s², uzy-

skano podczas badania motocykla Yamaha WR 990S (oznaczenie badawcze 68), a wartość największą wynoszącą $9,23 \text{ m/s}^2$ uzyskano podczas badania dwóch motocykli tj. Honda CBR 1000R (oznaczenie badawcze: 1) oraz Yamaha YZF R6 (oznaczenie badawcze: 2). Natomiast wartość średnia dla wszystkich pojazdów wyniosła $7,22 \text{ m/s}^2$.

Istotne zróżnicowanie wyników badań we wszystkich wcześniej przytoczonych przykładach wynika przede wszystkim z tego, że pojazdy te należą do konstrukcyjnie różnych grup pojazdów. Warto zatem poddać analizie wyniki z uwzględnieniem poszczególnych grup pojazdów takich jak motocykle superbike, choppers, cruisery, enduro, naked-bike, skutery i quady. Niezbędne do tego celu dane zostały zamieszczone w tab. 4.7 oraz na rys. 4.74–4.76.

Największe wartości współczynnika opóźnienia hamowania uzyskano w grupie motocykli superbike. Podczas hamowania hamulcem przednim średnia wartość opóźnienia wyniosła $8,24 \text{ m/s}^2$, a dla hamulce tylnego $6,53 \text{ m/s}^2$, natomiast w przypadku użycia obydwu hamulców jednocześnie opóźnienie osiągnęło średnią wartość wynoszącą $9,18 \text{ m/s}^2$. W żadnej innej grupie motocykli, skuterów, czy też quadów nie uzyskano większych wartości. Motocykle z grupy superbike to motocykle sportowe, zatem w ich przypadku spodziewana skuteczność procesu hamowania powinna być największa, gdyż są one wyposażone w tarcze hamulcowe o średnicy od 320 mm do 280 mm. Warto dodać, że podczas realizacji pomiarów w ramach niniejszej pracy doszło do niebezpiecznej sytuacji. W czasie badań opóźnienia hamowania hamulca przedniego motocykla sportowego przy gwałtownym użyciu jedynie hamulca przedniego następowało unoszenie tylnego koła nad powierzchnię jezdni na wysokość około 1 metra, a przypadku badań motocykla Honda CBR 1000 R (ozn. badaw. 1) nastąpił obrót w kierunku jazdy z przewrotem do przodu. Natomiast zasadniczo w każdej grupie motocykli, przy gwałtownym hamowaniu, tylko hamulcem koła tylnego występowało odchylenie w kierunku bocznym.

W porównaniu z motocyklami typu superbike – jak już wspomniano – w pozostałych grupach uzyskano niższe wartości współczynnika opóźnienia hamowania wynoszące (w przypadku hamowania hamulcem przednim i tylnym) odpowiednio $8,08 \text{ m/s}^2$ w motocyklach typu naked-bike, $7,18 \text{ m/s}^2$ w motocyklach typu cruiser oraz $6,52 \text{ m/s}^2$ w motocyklach typu chopper. Zaskakująco niskie wartości uzyskano w przypadku motocykli typu enduro, które wynosiły dla hamowania obydwoma hamulcami zaledwie $5,62 \text{ m/s}^2$. Wartości te są niższe nawet od wyników uzyskanych w grupie skuterów.

Motocykle typu superbike, naked bike, cruiser, chopper, oraz endro, to motocykle dwukołowe należące do kategorii homologacyjnej L3. W ich przypadku wartości opóźnienia hamowania przy użyciu hamulca przedniego i tylnego wynoszą od $5,62$ do $9,18 \text{ m/s}^2$, przy

użyciu jedynie hamulca przedniego wartości wynoszą od 4,77 do 8,24 m/s², a w przypadku użycia jedynie hamulca tylnego wartości te wynoszą od 1,90 do 6,53 m/s². Warto porównać te dane z informacjami zawartymi na rys. 2.31–2.33, które pochodzą z źródła o charakterze poradnikowym [53]. Według danych z tego źródła dla wszystkich motocykli które należą do kategorii homologacyjnej *L3* powinno się przyjmować wartość średniego opóźnienia hamowania wynoszące 5,1 m/s² dla hamowania hamulcem przednim i tylnym, 4,4 m/s² w przy hamowaniu tylko hamulcem przednim i 2,9 m/s² przy hamowaniu jedynie hamulcem tylnym. Wyniki uzyskane w ramach niniejszej pracy wskazują, że przyjęcie takich danych dla wszystkich motocykli z kategorii *L3* może prowadzić do uzyskania rezultatów odbiegających znacznie od rzeczywistego procesu hamowania pojazdu.

W przypadku kolejnej grupy pojazdów tj. skuterów (a więc pojazdów dwukołowych należących do kategorii homologacyjnej *L1*), zmierzone wartości opóźnienia przy hamowaniu hamulcem przednim wynoszą 3,39 m/s², a w przypadku hamowania hamulcem tylnym 2,61 m/s². Wartości te są zbliżone do danych podanych na rys. 2.31 i 2.32, które wynoszą odpowiednio 3,4 m/s² oraz 2,7 m/s². Rozbieżności występują natomiast w odniesieniu do wyników dotyczących hamowania jednocześnie hamulcem przednim i tylnym. Średnia wartość uzyskana w trakcie badań w ramach niniejszej pracy wynosi 6,97 m/s², natomiast dane na rys. 2.33 wskazują na znacznie niższą wartość wynoszącą 4,4 m/s².

W ostatniej grupie analizowanych pojazdów tj. quadów wyniku uzyskane w trakcie badań ukształtowały się w ten sposób, że w przypadku hamowania jedynie hamulcem tylnym wartość średniego opóźnienia wyniosła 4,03 m/s², przy użyciu jedynie hamulca przedniego 5,82 m/s², a w przypadku hamowania jednocześnie hamulcem przednim i tylnym 6,91 m/s². Uzyskane wartości są zbliżone do poziomu występującego w przypadku motocykli np. typu cruiser. Ze względu na brak danych dostępnych w literaturze, trudno je porównać z innymi wynikami dla pojazdów typu quad.

5. PODSUMOWANIE

Ogólna charakterystyka wyników pracy

Ruch pojazdów po drogach niesie za sobą zawsze ryzyko wystąpienia zdarzenia drogowego polegającego na możliwości wystąpienia wypadku. Pomimo licznych starań producentów pojazdów oraz różnych organizacji zajmujących się bezpieczeństwem ruchu, całkowite uniknięcie wypadków wydaje się w chwili obecnej niemożliwe, mimo stosowania najnowszych rozwiązań technicznych.

Wystąpienie wypadku drogowego jest sytuacją, w której niekiedy dochodzi do sporów między stronami uczestniczącymi w tym zdarzeniu. W takiej sytuacji dalsze działania wiążą się z wszczęciem postępowania sądowego, w trakcie którego powołany biegły sądowy ma za zadanie zrekonstruować proces przebiegu zaistniałego zdarzenia, którego ważnym elementem jest zwykle odtworzenie procesu hamowania pojazdu. Do tego celu niezbędne jest zastosowanie przez biegłego właściwych parametrów związanych z dynamiką ruchu pojazdu, w tym z dobraniem jak najbardziej odpowiedniej wartości współczynnika opóźnienia hamowania pojazdu.

Dobór odpowiedniej wartości współczynnika opóźnienia hamowania jest zadaniem trudnym, przede wszystkim ze względu na brak dostatecznej ilości danych odnoszących się do określonych pojazdów. Zazwyczaj stosowane są wartości przybliżone, co przekłada się na dokładność rezultatów przeprowadzanych przez biegłych obliczeń związanych z rekonstrukcją przebiegu zdarzenia drogowego.

Badania przeprowadzone w ramach niniejszej pracy, pozwoliły na częściowe wypełnienie luki związanej z brakiem danych o wartościach opóźnienia hamowania wybranych pojazdów jedno i dwuśladowych. Uzyskane rezultaty mogą być przydatne przy odtwarzaniu procesu hamowania pojazdów. Zwrócić uwagę należy jednak na to, że przeprowadzanie procesów rekonstrukcji zdarzeń drogowych powinno być poprzedzone wykonaniem badań pomiaru wartości współczynnika opóźnienia hamowania na identycznym egzemplarzu pojazdu, który uczestniczył w zdarzeniu drogowym, gdyż wówczas można w miarę dokładny sposób wyznaczyć faktyczną wartość tego współczynnika.

Ważniejsze wnioski

Realizacja pracy poświęconej badaniom wartości współczynnika opóźnienia hamowania w grupie pojazdów dwuśladowych, jednośladowych i quadów wymagała wykonania szeregu czasochłonnych działań. Wynikały one ze złożoności problematyki pracy, przyjętego

celu zadań badawczych. Na podstawie materiału zawartego w rozdziałach niniejszej pracy można stwierdzić, że:

1. Podczas przeprowadzania rekonstrukcji wypadku drogowego korzystanie z zagregowanych danych dotyczących współczynnika opóźnienia hamowania, zawartych w opracowaniach o charakterze poradnikowym może prowadzić do znacznej rozbieżności przy odtwarzaniu procesu hamowania.
2. Zalecane byłoby korzystanie z danych eksperymentalnych pochodzących z badań wykonanych na identycznym egzemplarzu pojazdu do tego który uczestniczył w wypadku drogowym poddawany rekonstrukcji.
3. Badania eksperymentalne mogą się ograniczać do wykonania kilku powtórzeń (np. od 3 do 6), gdyż wówczas dokładność wyniku końcowego związana jest z rozrzutem wokół wartości średniej wynoszącym kilka procent wartości średniej.
4. Badania eksperymentalne należałoby wykonywać w warunkach pogodowych zbliżonych do warunków w których doszło do wypadku drogowego. Należy się spodziewać, że np. w okresie letnim wyniki będą wyższe od wyników uzyskanych w okresie zimowym.

Wyniki uzyskane w trakcie realizacji niniejszy pracy mogą stanowić źródło informacji na potrzeby rekonstrukcji wypadków drogowych pojazdów. Przyczyniają się one do uzupełniania bazy wyników już istniejących. W szczególności wyniki dotyczące różnych grup pojazdów jednośladowych oraz quadów można uznać za szczególnie istotne, ze względu na brak szczegółowych danych o takich pojazdach.

Kierunki dalszych badań

Autorka niniejszej pracy doktorskiej wskazuje, iż dalsze kierunki proponowanych prac badawczych powinny zostać skierowane na poszerzanie bazy danych o wartościach współczynników opóźnienia hamowania dla kolejnych modeli pojazdów, zwłaszcza pojazdów sportowych, hybrydowych i elektrycznych oraz tych, w których są stosowane coraz bardziej zaawansowane systemy hamowania pojazdu. Obszar dalszych prac badawczych może dotyczyć również pojazdów wyposażonych w systemy EDR, czyli w rejestratory danych wypadkowych.

LITERATURA

- [1] Komenda Wojewódzka Policji w Gorzowie Wlkp., Analiza stanu bezpieczeństwa w województwie lubuskim za rok 2018 w porównaniu z latami 2016/2017, Dokument wewnętrzny dostępny na potrzeby Wydziału Ruchu Drogowego, Gorzów Wlkp. 2019.
- [2] Komenda Główna Policji, Wypadki drogowe w Polsce w 2016 roku, Biuro Ruchu Drogowego, Warszawa 2017.
- [3] Jurecki R.S., Jaśkiewicz M., Więckowski D., Bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego w Polsce, *Autobusy*, 2016, nr 11.
- [4] Jurecki R.S., Jaśkiewicz M., Więckowski D., Analiza bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu na drogach w Polsce w latach 2010–2014, X Międzynarodowa Konferencja AUTOMOTIVE SAFETY, 2016.
- [5] Komenda Główna Policji, Wypadki drogowe w latach 2011-2016, Biuro Ruchu Drogowego, Warszawa, 2017.
- [6] Cybulski M., Bartkowiak G., Bezpieczeństwo ruchu drogowego (BRD) a psychologiczne podstawy zachowań ryzykownych na drogach, Czynniki kształtujące zachowania zdrowotne człowieka na przestrzeni życia, Wydawnictwo UM w Poznaniu, Poznań, 2008.
- [7] Brożyna E., Czynniki ludzki a bezpieczeństwo w ruchu drogowym, *Autobusy*, 2017, nr 7–8.
- [8] Bąk J., Bąk-Gajda D., Psychologiczne czynniki bezpieczeństwa ruchu drogowego, *Eksploatacja i niezawodność*. 2008, nr 3.
- [9] Olszańska A., Bem Z., *Uczę jeździć samochodem. Wskazówki metodyczne dla instruktorów nauki jazdy*, Grupa IMAGE, Warszawa 2008.
- [10] Bąk J., Bąk-Gajda D., Wybrane czynniki psychologiczne wpływające na czas reakcji kierowcy, *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów*, 2013, nr 5.
- [11] Zora A., Czynniki zagrożenia w ruchu drogowym, *Logistyka* 2011, nr 6.
- [12] Włosek J., Juszczyk A., Program poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego województwa lubuskiego na lata 2016-2025, Lubuska Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, Zielona Góra, 2016.

- [13] Komenda Główna Policji, Wypadki drogowe w Polsce w 2014 roku, Biuro Prewencji i Ruchu Drogowego, Wydział Ruchu Drogowego, Warszawa, 2015.
- [14] Grabara A., Sordyl J., Ocena przestrzegania czynników wpływających na stan bezpieczeństwa ruchu drogowego przez jego uczestników, *Autobusy*, 2014, nr 5.
- [15] Ścieszko J., Papiernik Ż., Wpływ warunków atmosferycznych na zdarzenia drogowe na przykładzie województwa łódzkiego, Uniwersytet Łódzki, 2013.
- [16] Mączyński B., Czy pogoda wpływa na wypadki drogowe?, *Problemy*, 1968, nr 11.
- [17] Bezpieczeństwo uczestników ruchu drogowego, [online] <http://www.policja.pl/pol/aktualnosci/133644,Bezpieczenstwo-uczestnikow-ruchu-drogowego.html>, [dostęp: 10.2019].
- [18] Pałęga M., Bezpieczeństwo ruchu drogowego w Polsce w świetle wypadków drogowych i ich skutków, *Autobusy*, 2017, nr 12.
- [19] Nowe technologie w samochodach dbają o bezpieczeństwo, [online] <https://www.t-mobile-trendy.pl/bez-kategorii/nowe-technologie-w-samochodach-dbaja-o-bezpieczenstwo,artykul,52786.html>, [04.2019].
- [20] Nowe technologie w samochodach - bezpieczeństwo, [online] <https://www.motofakty.pl/artykul/nowe-technologie-w-samochodach-bezpieczenstwo-1.html>, [10.2019].
- [21] Nowotyńska I., Systemy wspomagające bezpieczeństwo w transporcie drogowym, *Autobusy*, 2013, nr 3.
- [22] Kłós Z., Nowoczesne technologie wspomagające bezpieczeństwo w transporcie, ZN Uniwersytetu Szczecińskiego, *Problemy Transportu i Logistyki*, 2010, nr 600.
- [23] Lejda K., Karbowniczek D., Bezpieczeństwo systemu człowiek-pojazd-otoczenie (C-P-O) w ruchu drogowym, *Autobusy*, 2013, nr 3.
- [24] Rybicka I., Drożdziel P., Kierowca jako najważniejszy element systemu kierowca-pojazd-otoczenie, [online] <https://www.czasopismologistyka.pl/artykuly-naukowe/send/318-artykuly-na-plycie-cd-3/6978-artykul>, [11.2019].
- [25] Komenda Główna Policji, Wypadki drogowe w Polsce w 2018 roku, Biuro Ruchu Drogowego, Wydział Ruchu Drogowego, Warszawa 2019.

- [26] Reński A., Bezpieczeństwo czynne samochodu. Zawieszenia oraz układy hamulcowe i kierownicze, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
- [27] Filipiak M., Jajczyk J., Nawrowski R., Putz Ł., Systemy bezpieczeństwa czynnego i ich diagnostyka, Politechnika Poznańska, Poznań, 2012.
- [28] Krzyszkowska P., Nowoczesne systemy bezpieczeństwa stosowane w pojazdach i ich wpływ na bezpieczeństwo uczestników ruchu drogowego, Bezpieczeństwo pracy, 2015, nr 9.
- [29] Starkowski D., Bieńczak K., Zwierzycki W., Samochodowy transport krajowy i międzynarodowy. Kompendium wiedzy praktycznej, Wydawnictwo System, Poznań, 2010.
- [30] Błaszczak P., Barański S., Analiza i modelowanie zachowań w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego, Logistyka, 2014, nr 3.
- [31] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 roku Prawo o ruchu drogowym (t.j. Dz.U. z 2020, poz. 695 z późn. zm.).
- [32] Barcik J., Czech P., Wpływ infrastruktury drogowej na bezpieczeństwo ruchu, [online] http://sjsutst.polsl.pl/archives/2010/vol67/013_ZN67_2010_BarcikCzech.pdf, [11.2019].
- [33] Kuliś E., Żółtowski B., Badania układów hamulców, Studies&Proceedings of Polish Association for Knowledge Management, 2011, nr 47.
- [34] Orzełowski S., Budowa podwozi i nadwozi samochodowych, Wydawnictwo WSiR, Warszawa, 2002.
- [35] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 26 czerwca 2012 roku w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz wzorów dokumentów stosowanych przy tych badaniach (Dz.U. z 2015 r., poz. 776 z późn. zm.).
- [36] Juda Z., Rozdział sił hamowania i efektywność energetyczna w układzie hamowania odzyskowego pojazdu elektrycznego, Logistyka, 2015, nr 3.
- [37] Merkisz J., Tarkowski S., Wybrane aspekty wykorzystania pokładowych urządzeń rejestrujących w pojazdach samochodowych, Eksploatacja i niezawodność, 2011, nr 2.

- [38] Koziej S., Bezpieczeństwo: istota, podstawowe kategorie i historyczna ewolucja, Bezpieczeństwo Narodowe, 2011, nr 2.
- [39] Frei D. Grundfragen der Weltpolitik, Stuttgart, 1997.
- [40] Hołyst B., Bezpieczeństwo społeczeństwa, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2015.
- [41] Bąk-Gajda D., Bąk J., Psychologia transportu i bezpieczeństwa ruchu drogowego, Wydawnictwo Difin, Warszawa, 2010.
- [42] Dukiet-Nagórska T., Prawo karne, część ogólna, szczególna, wojskowa, Warszawa, 2014.
- [43] Wicher J., Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2012.
- [44] Komenda Główna Policji, Wypadki drogowe w Polsce w 2019 roku, Biuro Ruchu Drogowego, Warszawa, 2020.
- [45] Plainis S., Murray I., Reaction times as an index of visual conspicuity when driving at night, *Ophthalmic and Physiological Optics*, 2002, nr 5.
- [46] Program bezpieczeństwa ruchu drogowego dla dróg krajowych w Polsce na lata 2007–2013. GAMBIT - drogi krajowe. Synteza, Konsorcjum Fundacja Rozwoju Inżynierii Lądowej, Politechnika Gdańska, Gdańsk, 2014.
- [47] Arczyński S., Mechanika ruchu samochodu, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1993.
- [48] Chawiński A., Czech P., Gustof P. i in., Droga hamowania wybranych samochodów osobowych, *Autobusy*, 2017, nr 12.
- [49] Jezierski K., Jezierska M., 1000 motocykli. Historia, klasyka, technologia, Oficyna Wydawnicza Olesieluk, Warszawa, 2008.
- [50] Brown R., Motocykle. Wczoraj i dziś, Wydawnictwo Parragongie, Warszawa 2007.
- [51] Unarski J., Zębala J., Zbiór podstawowych wzorów i równań stosowanych w analizie wypadków drogowych, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków, 2006.
- [52] Lozia Z., Woliński P., Relacje wartości długości drogi hamowania i drogi zatrzymania dla różnych warunków ruchu samochodu, *Autobusy, Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 2010, nr 6.

- [53] Wypadki drogowe, Vademecum Bieglego Sadowego, Instytut Ekspertyz Sadowych, Kraków 2011.
- [54] Wypadki drogowe - elementy analizy i opiniowania. Praca zbiorowa pod red. J. Wiercińskiego, WKiŁ, Warszawa, 1985.
- [55] Mitschke M., Dynamika samochodów, WKŁ, Warszawa, 1997.
- [56] Chęć A., Kurek J., Lewandowski A., Piotrowski B., Badanie hamowania samochodu osobowego w miejscu zaistniałego wypadku drogowego, Paragraf na drodze, nr 15, Instytut Ekspertyz Sadowych, Kraków, 2000.
- [57] Kowalewski K., Szymura J., Witkowski Z., Stan techniczno-eksploatacyjny a opóźnienie hamowania, Paragraf na drodze, nr 11, Instytut Ekspertyz Sadowych, Kraków, 1998.
- [58] Ciepka P., Zębala J., Kuranowski A., Hamowanie samochodów na przejściach dla pieszych, Paragraf na drodze, nr 21, Instytut Ekspertyz Sadowych, Kraków, 2006.
- [59] Janczur R., Świder P., Wpływ ciśnienia pompowania opon na opóźnienie hamowania samochodu, nr 10, Instytut Ekspertyz Sadowych, Kraków, 2009.
- [60] Dudziak M., Kędziora K., Lewandowski A., Warszczyński J., Szorstkość suchej nawierzchni bitumicznej a efektywność hamowania samochodu e hamowania, Paragraf na drodze, nr 11, Instytut Ekspertyz Sadowych, Kraków, 1998.
- [61] Kędziora K., Dudziak M., Lewandowski A., Waluś K.J., Wpływ cech topografii nawierzchniowej na intensywność hamowania samochodu osobowego z układem przeciwblokującym koła (ABS), Paragraf na drodze, nr 24, Instytut Ekspertyz Sadowych, Kraków, 2006.
- [62] Chwiejczak T., Kędziński M., Badanie skuteczności hamowania motocykli. Ślady pozostawione przez ich koła, Paragraf na drodze, nr 5, Instytut Ekspertyz Sadowych, Kraków, 1998.
- [63] https://www.google.pl/maps/@52.7586498,15.2384338,3a,75y,108.62h,90.34t/data=!3m6!1e1!3m4!1sXh6A5PE-OZhs_aKRRZ37og!2e0!7i16384!8i8192?entry=ttu
[03.2024]
- [64] Kudarauskas N., Analysis of emergency braking of a vehicle, Transport, 22, 3, s. 154–159.

- [65] Lan L., Yipeng Y., Guoyuan W., Xiangmo Z., Shan F., Xishun L., Runmin W., Mengxiao Z, A systematic review of autonomous emergency braking system: impact factor, technology and performance evaluation, *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 2022, s. 1–13.
- [66] <https://www.autocentrum.pl/motoslownik/aeb/> [04.2024]
- [67] Saade J., Chajmowicz H., Cuny S., Prospective evaluation of the effectiveness of autonomous braking systems in increasing pedestrian road safety in France, *IRCOBI conference 2019, IRC-19-17*, s. 221–232.
- [68] Wei Y., Xiang Z., Qian L., Xin Ch., Research of longitudinal active collision avoidance of autonomous emergency braking pedestrian system (AEB-P), *Sensors*, 2019, 19, 4671, s. 1–34.
- [69] Kashkanow A., Semenov A., Kashkanova A., Kryvinska N., Palchevsky O., Baraban S., Estimating the effectiveness of electric vehicles braking when determining the circumstances of a traffic accident, *Scientific Reports*, 2023, 13: 19916.
- [70] <https://www.volkswagen.fr/app/professionnels/offres/touran> [04.2024].
- [71] <https://natville.com.br/2016-Volkswagen-Caddy-Review-Drive-2747490.html> [04.2024].
- [72] <https://magazynauto.pl/uzywane/opel-mokka-i-a,aid,346> [04.2024].
- [73] <https://www.turbosquid.com/pl/3d-models/vw-crafter-2011-minibus-l3h2-3d-1905719> [04.2024].
- [74] <https://www.europa-ciezarowki.pl/news-pojazdy-ciezarowe/a46858/renault-master-ze-utylnitarny-elektryczne-html> [04.2021].
- [75] <https://www.dostawczakiem.pl/ fiat-ducato-2021-z-nowymi-silnikami-multijet3-2184-ccm/> [04.2024].
- [76] <https://rozmiary-opon.pl/size/isuzu/d-max/2024/> [04.2021].
- [77] <https://www.canm8.com/precision-cruise-mitsubishi-l-200.html> [04.2024].
- [78] <https://www.rorosauto.no/tilbud/23344/3/nye-ford-ranger> [04.2024].
- [70] <https://www.carwale.com/audi-cars/a6/technology-45-tfsi/> [04.2024].
- [80] <https://www.evofilmshop.com/pl/volkswagen/volkswagen-passat-sedan> [04.2024].

- [81] <https://www.autoblog.com/buy/2018-Kia-Soul/> [04.2024].
- [82] <https://www.evofilmshop.com/pl/skoda/skoda-yeti> [04.2024].
- [83] <https://przedsiebiorcy.eu/nowa-kia-ceed-polsce-poczatek-wakacji/> [04.2024].
- [84] <https://leasingnet.pl/pl/p/OPEL-ASTRA-KOMBI-BUSINESS-EDITION-DIESEL-2023/347> [04.2024].
- [85] <https://www.autotrader.co.uk/cars/audi/a3> [04.2024].
- [86] <https://rozmiary-opon.pl/size/opel/corsa/2021/> [04.2024].
- [87] <https://mobilidade.estadao.com.br/guia-mobilidade/honda-cbr-1000rr-fireblade/> [05.2024].
- [88] <https://www.yamaha-motor.com.au/products/motorcycle/road/supersport/yzf-r6> [05.2024].
- [89] <https://www.moto.it/listino/kawasaki/ninja-636-zx-6r/ninja-636-zx-6r-2024/TuEd9g> [05.2024].
- [90] <https://yama-sklep.pl/yamaha-virago> [05.2024].
- [91] <https://motogen.pl/yamaha-xvs-1100-drag-star-motocykl-uzywany-1999-2008-opinia-wady-zalety-zmiany-historia/> [05.2024].
- [92] https://www.kawasaki.pl/pl/products/archive/Cruiser/2004/VN800_Classic/overview?Uid=060AWlhZXFhZWV5ZW1tfW19bXV1RW15ZRhgERTgk [05.2023].
- [93] <https://katalog.bikesearch.pl/honda-shadow-750-abs-rc50-10-2010-IDE7ubHA> [05.2024].
- [94] <https://katalog.bikesearch.pl/honda-vtx-1800-sc46-2001-2006-IDc-nX2A> [04.2024].
- [95] <https://moto.wp.pl/honda-gl1800-gold-wing-cena-informacje-dane-techniczne-6572320472525600a> [05.2024].
- [96] <https://www.mecaboite-mag.fr/4438-yamaha-dt-50-r-caracteristiques-techniques.html> [05.2024]
- [97] <https://motobanda.pl/motocykle/yamaha/wr> [05.2024].
- [98] https://backyarddesign.co.uk/designs/yamaha-wr450f__trashed/20192023-en/ [05.2024].

- [99] <https://swiatmotocykli.pl/uzywane/dariusz-dobosz/honda-x11-opinie-swiata-motocykli/> [05.2024].
- [100] <https://swiatmotocykli.pl/uzywane/dariusz-dobosz/suzuki-gsf-600-650-bandit-opinie-swiata-motocykli/> [05.2024].
- [101] <https://motobanda.pl/yamaha-mt-01-1700-2005-2009> [05.2024].
- [102] <https://motortrade.com.ph/motorcycles/yamaha-mio-aerox-s/> [05.2024].
- [103] <https://shutery-rowery.pl/pl/p/PEUGEOT-CITYSTAR-50/121> [05.2024].
- [104] <https://scooteria.pl/piaggio/> [05.2024].
- [105] https://superostmk.live/product_details/38537872.html [05.2024].
- [106] <https://www.yamaha-motor.eu/pl/pl/atv-side-by-side/sport/pdp/yfz450r-se-2023/> [04.2024].
- [107] <https://www.etsy.com/pl/listing/835157455/suzuki-ltz400-stickers-graphics-kit> [05.2024].
- [108] Hattori A., Kurami K., Control System for Autonomous Driving Vehicle. Japan Society of Automotive Eng. Review, Vol. 14, nr 1/1993, s. 68–75.
- [109] Latchford J., Chirwa E.C., Airbag head restrain system. Proc. Inst. Mech. Eng, Vol. 214, 2000, s 229–241.
- [110] Naab K., Hoppstock R, Sensor systems and signal processing for advanced driver assistance, In Smart Vehicle, Swet &Zeitlinger, Lisse, 1995, s. 69–97.
- [111] Szydłowski W. M., Jenkins P. J., Modeling of a sliding phase in accident reconstruction, SAE Paper No 930655, 1993.
- [112] Wicher J., Some aspects of vehicle active safety, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, Vol. 1, nr 3, 1995, s. 244–251.
- [113] Kończykowski W, Odtwarzanie i analiza przebiegu wypadku drogowego, Info-Expert, Paryż-Warszawa, 1993.
- [114] Leiter R., Hamulce samochodów osobowych i motocykli, Warszawa, WKŁ, 1998.
- [115] Lambert K., S., A study of vehicles properties that influence rollover and their effect on electronic stability controllers, Auburn University, Alabama, 2007.

- [116] Patil C. B., Antilock brake system re-design and control prototyping using a one-fifth scale vehicle experimental test-bed, Master Thesis, Department o Mechanical Engineering, The University od Texas at Austin, Austin, Texas, 2003.
- [117] Szczepaniak C, Podstawy modelowania system człowiek-pojazd-otoczenie. PWN, Warszawa, 1999.
- [118] Parczewski K. Effect of the tyre inflation pressure on the vehicle dynamics during braking manoeuvre, Maintenance and Reliability, Lublin, 15, 2, 2013, s. 113–139.
- [119] Akta Sądu Okręgowego w Gorzowie Wielkopolskim.