P O L I T E C H N I K A P O Z N A Ń S K A

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ I TRANSPORTU

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Bartosz Orszulak

Identyfikacja cech symulatora samochodu osobowego i ocena jego zastosowania w szkoleniu kierowców

Promotor:
prof. dr hab. inż. Jerzy Merkisz

Promotor pomocniczy:
dr inż. Maciej Andrzejewski

POZNAŃ 2021

Spis treści

Streszczenie 4
Summary 5
Spis skrótów i oznaczeń 6
1. Wprowadzenie do problematyki pracy 8
   1.1. Wstęp 8
   1.2. Bezpieczeństwo drogowe w Unii Europejskiej 13
   1.3. Bezpieczeństwo drogowe w Polsce 16
   1.4. System szkoleń kierowców 23
   1.5. Symulatory i symulacje 24
2. Przedmiot pracy 27
   2.1. Geneza problemu 27
   2.2. Cel i zakres pracy 28
3. Opis stanowiska symulacyjnego 29
   3.1. Stanowisko symulacyjne 29
   3.2. Oprogramowanie symulatora 31
4. Metodyka badań 33
   4.1. Wprowadzenie 33
   4.2. Metodyka rejestracji wybranych zmiennych 33
   4.3. Metodyka identyfikacji stanowiska 34
      4.3.1. Wprowadzenie 34
      4.3.2. Analiza dokumentacji symulatora 34
      4.3.3. Sztuczny kierowca testowy 35
      4.3.4. Wirtualny świat 36
      4.3.5. Rejestratory wizyjne 38
   4.4. Metodyka oceny stylu jazdy 38
   4.5. Metodyka oceny stanowiska 39
5. Cechy identyfikujące stanowiska 41
   5.1. Powtarzalności częstotliwości rejestracji danych 41
   5.2. Powtarzalności systemu symulacyjnego 44
   5.3. Rozpędzanie i hamowanie awaryjne pojazdu 49
   5.4. Przyspieszanie i awaryjne hamowanie pojazdu w zależności od załączonych systemów bezpieczeństwa 53
   5.5. Wpływ dociążenia nadwozia 57
   5.6. Wpływ warunków atmosferycznych 61
      5.6.1. Opady deszczu 61
      5.6.2. Opady śniegu 64
      5.6.3. Wpływ czołowego wiatru 68
   5.7. Opóźnienia systemu antropotechnicznego 72
   5.8. Pomiary wybranych parametrów świetlnych 73

6. Cechy związane ze stylem jazdy kierowcy 76
6.1. Podstawowe dane do analizy stylu jazdy 76
6.2. Ocena stylu jazdy w ujęciu bezpieczeństwa 79
6.3. Ocena stylu jazdy w ujęciu ekologii 83
6.4. Ankieta doświadczeń, samooceny i wiedzy kierowców 85
7. Ocena cech stanowiska symulacyjnego 88
7.1. Ocena dokumentacji i szkoleń od dostawcy 88
7.2. Ocena bezpieczeństwa i ergonomii stanowiska 88
7.3. Ocena eksploatacyjno-utrzymaniowa 89
7.4. Ocena użytkowników 89
7.5. Ocena realizacji założonych celów dla stanowiska 90
7.6. Zestawienie ocen stanowiska 90
8. Zakończenie 92
8.1. Podsumowanie 92
8.2. Wnioski ogólne 93
8.3. Wnioski szczegółowe 93
8.4. Wnioski metodyczne 94
8.5. Wnioski perspektywiczne 95
Literatura 97
Źródła internetowe 102

Streszczenie

Przedmiotem niniejszej pracy była identyfikacja, rozumiana tutaj jako wybór i ocena, wybranych cech zaawansowanego symulatora samochodu osobowego i jego ocena zastosowania w tematyce szkolenia kierowców. Temat zrealizowano w dwóch etapach. Pierwszym etapem pracy badawczej była identyfikacja wybranych cech stanowiska symulacyjnego pojazdu osobowego i ich ocena. Natomiast druga część polegała na opracowaniu i przeprowadzeniu eksperymentu badawczego do oceny zastosowania obiektu badań do celów szkoleniowych dla kierowców. Głównym celem było wsparcie nauczania zagadnień związanych z bezpieczeństwem i ekologią transportu pojazdów drogowych realizowanych za pomocą treningów symulacyjnych. Doświadczenia bazowały na zobrazowaniu różnic między stylami jazdy, takimi jak: zapoznawczym, ekonomicznym i agresywnym. Przedmiotem badań i realizacji pracy był zestaw symulacyjny AS1200-6 AutoSim, który należy do Instytutu Silników Spalinowych i Napędów.

Dążeniem autora w pierwszym etapie była krytyczna ocena stanowiska badawczego do treningów symulacyjnych i jaki wpływ mają na działanie modelu pojazdu osobowego w wirtualnym świecie wybrane zmienne parametry środowiskowe oraz parametry systemów bezpieczeństwa. Natomiast drugi etap pracy miał na celu sformułowanie narzędzi wspomagających ocenę stylu jazdy kierowcy w aspektach bezpieczeństwa, ekologii i eksploatacji pojazdu na różnych typach dróg. W ramach realizacji celów pracy posłużono się grupą około 90 studentów, którzy wcielali się w rolę wirtualnych kierowców, którzy również oceniali swoje umiejętności i zwyczaje z rzeczywistego świata. Sterowali oni wirtualnym pojazdem osobowym na dwóch trasach o różnej długości i charakterystyce, podczas których rejestrowano wybrane parametry symulacji do dalszych analiz stylu jazdy danego kierowcy.

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że stosowanie stanowiska symulacyjnego spełnia przyjęte kryterium powtarzalności a zmienne parametry mogą być przydatne podczas drogowych treningów symulacyjnych kierowców. Ponadto, opracowano podstawową metodologię badań symulacyjnych w ujęciu bezpieczeństwa i ekologii transportu, która może być skutecznie wykorzystywana w nauce oraz szkoleniu zarówno młodych jak i doświadczonych kierowców. Efektem było również podanie zaleceń dla efektywniejszego korzystania z podobnych stanowisk symulacyjnych dotyczących weryfikacji wiedzy i umiejętności kierowców oraz zminimalizowanie choroby symulatorowej.

Identification of features of a passenger car simulator and an analysis of its application in driver training

Summary

The subject of this paper was to identify selected elements of a passenger car simulator and to assess its use in the field of driver training. The topic was realized in two stages. The first stage of the research was the identification of selected features of the passenger vehicle simulation stand and their evaluation. The second part consisted of developing and conducting a research experiment. The main task was to support the teaching of issues related to the safety and ecology of road vehicle transport by means of simulation trainings. The experience was based on illustrating the differences between driving styles, such as introducing, economic and aggressive ride. The base tool for the work is the AS1200-6 AutoSim simulation set, which belongs to the Institute of Combustion Engines and Powertrains.

In the first part, the author tried to evaluate the test stand for simulation training and check how selected variable environmental parameters and safety systems affect the performance of the passenger vehicle model in the virtual world. The second stage of the work was aimed at developing tools supporting the assessment of the driver's driving style in terms of safety, ecology and operation of the vehicle on various types of roads. In order to achieve the goals of the work, group around 90 of students was involved, who played the role of virtual drivers, who also rated their skills and habits from the real world. They derived a virtual passenger vehicle on two routes of different lengths and characteristics, during which selected simulation parameters were registered for further analysis of a driver's driving style.

On the basis of the research results it has been shown that the use of the simulation station fulfils the adopted criterion of repeatability and that variable parameters may be useful during simulation training of road drivers. In addition, basic simulation testing methodology has been developed in terms of transport safety and ecology, which can be effectively used for the study and training of young or well experienced drivers. This also resulted in recommendations for more effective use of similar simulation stands for verifying the knowledge and skills of drivers and minimizing simulation sickness.

Spis skrótów i oznaczeń

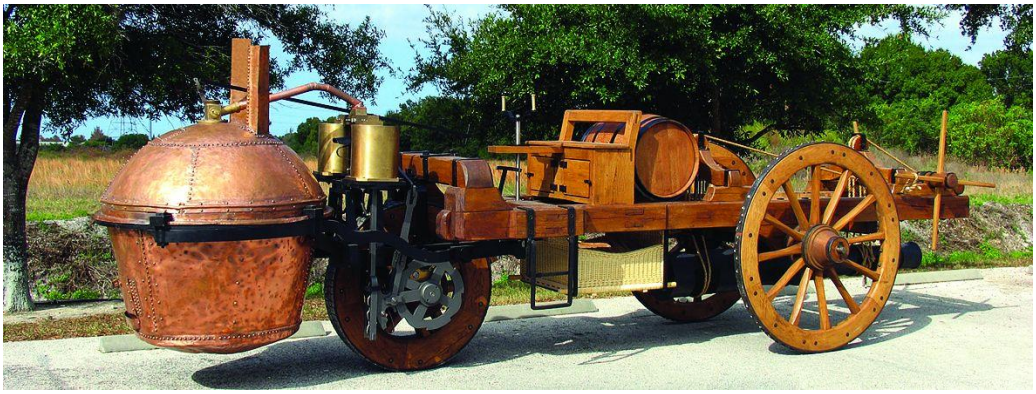
A_{Poj}	przyspieszenie pojazdu [m/s^2]
ABS	Anti-lock Braking System – przeciwblokujący układ hamulcowy
Akt.Bieg	aktualna nastawa skrzyni biegów
BHP	bezpieczeństwo i higiena pracy
BRD	bezpieczeństwo ruchu drogowego
Cał.Z.Pal	całkowite zużycie paliwa [dm^3]
CE	Conformité Européenne – zgodność europejska
CEBR	Centrum Edukacji Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego
CEPiK	Centralna Ewidencja Pojazdów i Kierowców
Chw.Z.Pal	chwilowe zużycie paliwa [dm^3]
Cp	wskaźnik zdolności potencjalnej
Cpk	wskaźnik zdolności rzeczywistej
EASA	European Union Aviation Safety Agency – Agencja Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego
ESP	Electronic Stability Program – elektroniczna kontrola stabilizacji tor jazdy samochodu
GDDKiA	Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad
HUMVEE	High-Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle – wielozadaniowy pojazd kołowy o wysokiej mobilności, potocznie określa również wojskowy samochód terenowy
ISSiN	Instytut Silników Spalinowych i Napędów
ISSiT	Instytut Silników Spalinowych i Transportu
ITD	Inspekcja Transportu Drogowego
ITS	Instytut Transportu Samochodowego
KGP	Komenda Główna Policji
KRBRD	Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego
L	luminancja [cd/m^2]
LCD	*liquid-crystal display* – wyświetlacz ciekłokrystaliczny
LSL	*lower specification limit* – dolny limit specyfikacji
LVD	Low Voltage Directive – Dyrektywa niskonapięciowa
MMS	*multimedia messaging service* – usługa multimedialna wiadomości
Mon.Obr.	moment obrotowy silnika [Nm]
NIK	Najwyższa Izba Kontroli
NPBRD	Narodowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego
OSK	Ośrodek Szkolenia Kierowców
POBRD	Polskie Obserwatorium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego
Pp	wskaźnik potencjalnej wydajności procesu
Ppk	wskaźnik rzeczywistej wydajności procesu
PPM	*parts per million* – liczba części na milion
PSITJ	Polskie Stowarzyszenie Instruktorów Techniki Jazdy
PWN	Polskie Wydawnictwo Naukowe
RMS	Royal Mail Ship – statek poczty brytyjskiej

RPM	*revolutions per minute* – liczba obrotów wału korbowego silnika na minutę [obr/min]
SEWIK	System Ewidencji Wypadków i Kolizji
SMS	*short message service* – krótka wiadomość tekstowa
StDev	*standard deviation* – odchylenie standardowe
UE	Unia Europejska
USL	*upper specification limit* – górny limit specyfikacji
Ust.Ham.Re	ustawienie hamulca ręcznego [%]
Ust.Kier.	ustawienie kierownicy [^{o}]
Ust.P.Hamu	ustawienie pedału hamulca [%]
Ust.P.Przy	ustawienie pedału przyspieszenia [%]
Ust.P.Sprz	ustawienie pedału sprzęgła [%]
V_{Poj}	prędkość pojazdu [km/h]
VR	*virtual reality* – rzeczywistość wirtualna
WE	Wspólnota Europejska
WNT	Wydawnictwa Naukowo-Techniczne
WORD	Wojewódzki Ośrodek Ruchu Drogowego
X	położenie pojazdu w układzie współrzędnych kartezjańskich dla osi X [m]
Y	położenie pojazdu w układzie współrzędnych kartezjańskich dla osi Y [m]
ZI	silnik o zapłonie iskrowym

1. Wprowadzenie do problematyki pracy

1.1. Wstęp

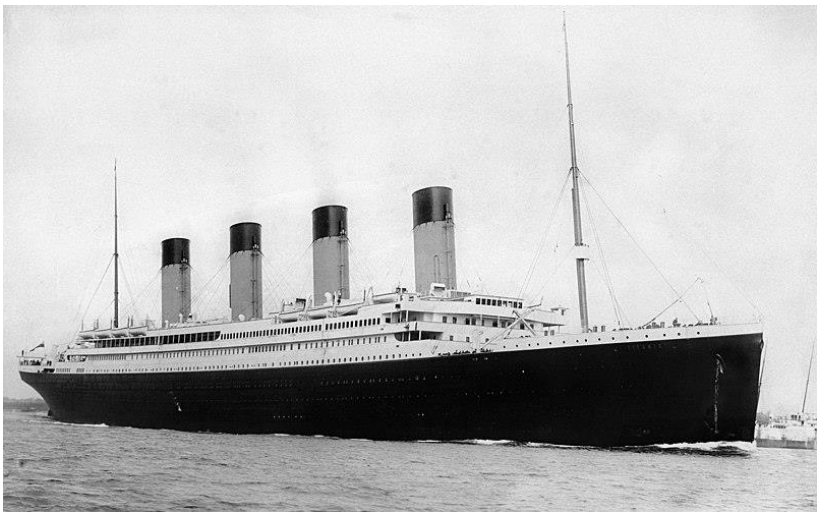
Historia rozwoju transportu jest powiązana w dużym stopniu z nieustającą ludzką ciekawością i chęcią ciągłego rozwoju oraz wynikiem kolejnych potrzeb związanych z przemieszczaniem mienia, ludzi i informacji na świecie we wszystkich możliwych znanych oraz nieznanych jeszcze ludzkości metodach. Początkowo skupiano się głównie na zwiększeniu prędkości środków transportowych, powiększaniu ładowności dla transportowanych dóbr i ludzi oraz budowaniu rozwiązań o większej wytrzymałości. Wraz z postępem technologicznym w wielu dziedzinach zaczęto dostrzegać konieczność uwzględnienia kolejnych nowych aspektów z takich zakresów jak: bezpieczeństwo, eksploatacja, czy też budowy wyspecjalizowanej infrastruktury powiązanych obiektów związanych z transportem. Spowodowało to trwałe zmiany w konstruowaniu coraz to nowszych rozwiązań technologicznych i związanych z nimi zmian w społeczeństwach wraz z intensyfikacją transportu na przestrzeni ostatnich wieków. Jako punkt przełomowy w historii ludzkości można przyjąć Rewolucję Przemysłową zapoczątkowaną w XVIII wieku w Anglii i Szkocji, dzięki której doszło do istotnych zmian technologicznych i gospodarczo-społecznych oraz kulturowych. Dzięki niej stało się możliwe zrewolucjonizowanie maszyn i transportu. Jednym z pierwszych wynalazków był parowóz (rys. 1.1), stanowiący podwaliny dla kolei czy też nowych rozwiązań statków wodnych.



Rys. 1.1. Widok repliki pierwszego parowozu wynaleziony w 1769 r. przez Nicolasa Josepha Cugnota [36]

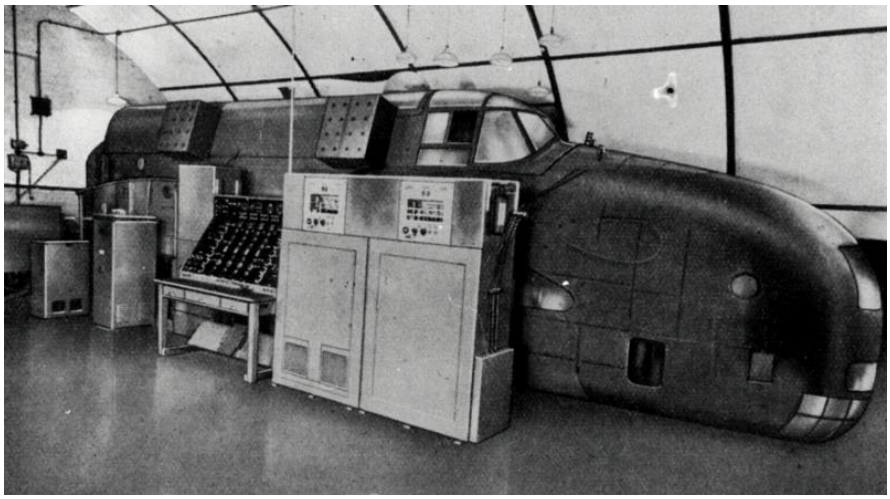
Niejednokrotnie rozwój bezpieczeństwa i technologii były zapoczątkowane przez wpływ opinii publicznej na skutek reakcji na masowe katastrofy transportowe lub zagrożenia związane transportem, bądź ze względu na wyniki badań instytucji naukowych. Spowodowało to bardzo często daleko idące zmiany prawne, ale też opracowanie zbioru dobrych praktyk, w celu działań prewencyjnych. Takie postępowanie dało podwaliny pod dzisiejsze normy i standardy w wielu dziedzinach nauk, przemysłu oraz życia społecznego. Jednym z lepiej znanych przykładów jest katastrofa RMS Titanic z 1912 r. (rys. 1.2). Po katastrofie, specjalna brytyjska komisja opracowała w 1913 r. stosowny raport z zaleceniami prewencyjnymi dla podobnych zdarzeń, które były wprowadzane systematycznie [65, 110]. Obecnie można dostrzec zmianę priorytetów w krajach rozwijających się i rozwiniętych w wielu dziedzinach, w tym w transporcie, na rzecz szeroko rozumianego bezpieczeństwa, ekonomii eksploatacyjnej, ochrony środowiska połączonej z odpowiedzialnością społeczną. W przypadku motoryzacji było to powiązane z coraz powszechniejszym dostępem pojazdów mechanicznych przez śred-

nio zamożnych obywateli, których było stać na nowe rozwiązania transportowe. Ciągle rosnąca liczba pojazdów o coraz większych możliwościach transportowych generowała nowe pozytywne możliwości użytkowe i tym samym stwarzała coraz poważniejsze zagrożenia.



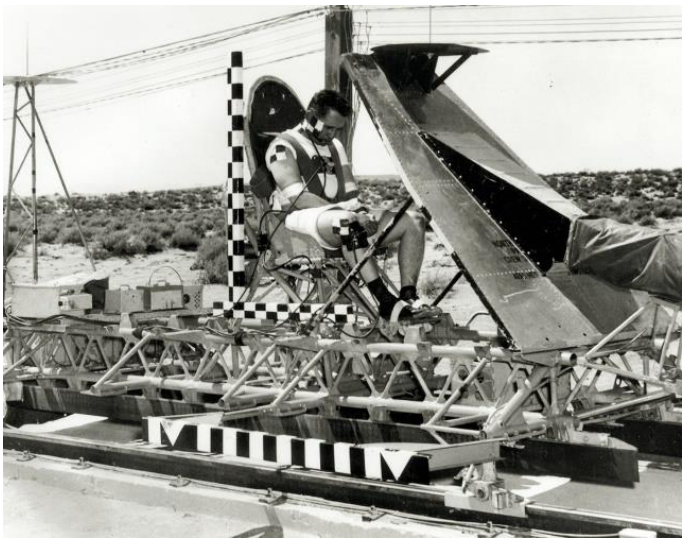
Rys. 1.2. Widok RMS Titanic [112]

Kolejnym istotnym punktem w historii jest okres II Wojny Światowej, podczas której zaczęto poważnie dostrzegać potrzebę ratowania ludzkiego życia operatorów maszyn (w szczególności wyszkolonych pilotów wojskowych), jak i pasażerów, ze względu na powstające braki w zakresie wykwalifikowanych załóg dla maszyn podczas konfliktów zbrojnych, jak i straty ekonomiczne. Zaczęto coraz częściej zadawać pytanie, ile maszyna i ludzki organizm może wytrzymać i co można zrobić, aby zwiększyć szanse na przeżycie. Jednym z ciekawych symulatorów z tego okresu jest symulator wojskowego brytyjskiego bombowca Halifax (znany pod nazwą symulator Silloth), który miał za zadanie przetrenowanie całej załogi z zakresu obsługi i reakcji na uszkodzenia systemów. Był to jeden z pierwszych specjalistycznych symulatorów odwzorowujących relatywnie wiernie systemy funkcyjne symulowanego samolotu (rys. 1.3) [69]. Dzięki takim i podobnym stanowiskom zaczęto również analizować nie tylko przyczyny, ale też rozpoczęto działania poprawiające istniejące rozwiązania i poszukiwania nowych możliwości poprawy aktualnej sytuacji.



Rys. 1.3. Widok symulatora bombowca Halifax – symulator Silloth [105]

Głównie odbywało się to przez opracowywanie coraz lepszych konstrukcji i testowaniu ich za pomocą doświadczeń badawczych, w tym symulacyjnych. Początkowo, w przypadku badań tematów okołolotniczych i drogowych wykorzystywano ochotników, a w późniejszym okresie wyspecjalizowane ludzkie manekiny, dla lepszego przeanalizowania zachodzących zjawisk. Najlepiej to obrazuje historia wojskowych badań w Stanach Zjednoczonych związanych z wytrzymałością ludzkiego organizmu na przeciążenie podczas przyspieszania i hamowania, które były bardzo istotne dla ówczesnego lotnictwa, astronautyki oraz późniejszej motoryzacji. Osobą odpowiedzialną za realizację badań był pułkownik doktor John Paul Stapp (rys. 1.4) znany swego czasu również jako „najszybszy człowiek na ziemi" i „najbardziej hamujący człowiek na ziemi". Badacz ten przez 8 lat testował na sobie skutki gwałtownego przyspieszania i hamowania, aż do czasu zakazu od przełożonych dalszych prób na sobie ze względu na coraz to poważniejsze uszczerbki zdrowotne oraz ryzyko śmierci, gdzie postać ta pełniła również główną rolę zarządzającą w całym eksperymencie.



Rys. 1.4. Widok Johna P. Stappa podczas testów – listopad 1950 [111]

John P. Stapp związał się w dalszych projektach naukowych z branżą motoryzacyjną. Jako jeden z pierwszych zaczął stosować lotnicze manekiny wykorzystywane pierwotnie przez wojsko do badań zastosowania pasów bezpieczeństwa w pojazdach do zobrazowania skrajnie niebezpiecznych symulacji wypadków. Pierwszym zastosowanym manekinem był metalowo-gumowy manekin Sierra Sam (rys. 1.5) wykorzystywany pierwotnie jako manekin testujący zagadnienia związane z spadochronami lotników podczas II Wojny Światowej. Był to protoplasta dzisiejszych manekinów bezpieczeństwa do testów zderzeniowych. Model ten posiadał niski poziom biowierności względem ludzkiego organizmu, ale pomimo tego zebrane materiały z prób zszokowały ówczesne społeczeństwo w kwestii pasów bezpieczeństwa montowanych w pojazdach i ogólnego bezpieczeństwa drogowego [89, 90, 114].

Wszystkie te działania sprowadzały się do lepszego zrozumienia systemu antropotechnicznego jakim jest człowiek i konstrukcja pojazdu podczas realizacji danego scenariusza przyczyno-skutkowego. Wraz z rozwojem technologii elektronicznej i informatycznej standardem stało się też wykorzystywanie symulacji komputerowych do predykcji oraz analizy skutków zdarzeń. Coraz częściej też można spotkać symulację komputerową wykorzystywaną do nauki i szkoleń przyszłych kierowców, stanowiącą połączenie do weryfikacji wiedzy teoretycznej z praktyką, bez narażania życia żadnej osoby [3, 8, 9].



Rys. 1.5. Widok manekina Sierra Sam [106]

Tematyka szeroko rozumianej symulacji na przestrzeni ostatnich dekad staje się coraz powszechniejsza i obligatoryjna oraz jest zauważalna w społeczeństwach na całym świecie. Dotyka ona nie tylko branży informatycznej, ale wszystkich dziedzin naukowych, które poszukują nieustannie ulepszeń procesów szkoleniowych, analitycznych [41, 59, 61, 62], bądź przede wszystkim oszczędności względem odpowiedników rzeczywistych rozwiązań, które równocześnie gwarantuje wysoki poziom bezpieczeństwa. Realizacja zadań symulacji może oczywiście ograniczać się do wyspecjalizowanego programu obliczeniowego (mogą to być programy z zakresu np. mechaniki przepływu cieczy, analizy i rozwoju epidemii chorób, czy też popularne gry wirtualne), ale też może być wyłącznie mechaniczny lub zadaniowy symulator nie wykorzystujący żadnych zasobów informatycznych (symulator działania pasów bezpieczeństwa, symulator dachowania pojazdu na rys. 1.6), stanowiska do nauki tworzenia i naprawy przewodów komunikacyjnych, symulatory udzielania pierwszej pomocy (tzw. fantomy), strzelnice, szkoły dla nurków głębinowych lub podziemnych, sprzęty sportowe do ćwiczeń np. bieżnie, rowery treningowe, steppery, ergometry czy też ruchome schody.

Technologia symulacyjna rozpoczęła swój kolejny, istotny rozdział w połowie XX wieku, który można powiązać z upowszechnieniem elektroniki i systemów komputerowych, zwiększeniem mocy obliczeniowych i gromadzenia danych. Obecnie można stwierdzić, iż przeżywa się ciągły dynamiczny rozkwit rozwiązań z zakresu symulacji, co potwierdza liczba branż korzystających z różnych formy symulacji w celach głównie biznesowych. Jednym z przykładów szybkiego ich rozwoju jest branża gier elektronicznych lub gier wideo (a obecnie coraz częściej można się spotkać z określeniem gier wirtualnych) oraz różnego rodzaju branże przemysłowe tworzące prototypy. Symulacja podąża za rozwojem technologii elektronicznej i informatycznej, gdzie staje się coraz mocniej powiązana przede wszystkim z rzeczywistością wirtualną. Dotyczy to w szczególności programów stosowanych do zaawansowanych programów obliczeniowych (np. Matlab, LabVIEW), projektowych (np. Eagle, Inventor) i z dynamicznie rozwijającym się rynkiem gier komputerowych. Samo pojęcie „wirtualna rzeczywistość" wywodzi się z języka angielskiego od *virtual reality* – w skrócie VR. Termin ten stanowi



Rys. 1.6. Wizualizacja symulatora dachowania z ośrodka SKODA Auto Lab Poznań [107]

syntetyzowanie przez programy komputerowe doznań odbieranych przez zmysły ludzkie (najczęściej poprzez zmysły wzroku [57], słuchu, ale też wykorzystując dodatkowe wyspecjalizowane systemy peryferyjne [14] można stymulować zmysły dotyku, zapachu, smaku), np. w symulatorach lotów lub w grach komputerowych. Zaawansowane stanowiska symulacyjne stanowią obecnie złożone urządzenia mechaniczno-elektroniczno-informatyczne i są to zazwyczaj symulatory kabinowe, próbujące oddać jak najwierniej lub w formie uproszczonej wrażenie operowania rzeczywistym odpowiednikiem danego urządzenia lub procesu [85]. Najczęściej są to obiekty powiązane ze środkami transportu: statki, samoloty, lokomotywy (rys. 1.7) specjalistyczne pojazdy lądowe, ale również niebezpieczne urządzenia (np. dźwigi), które coraz częściej stają się elementem nieodzownym w szkoleniach, standardach i wymaganiach międzynarodowych czy też na terenie Unii Europejskiej. Również coraz częściej można spotkać symulatory pojazdów drogowych umożliwiające realizacje zadań z zakresu ekojazdy [2, 15,16], czy też wpływ czynników psychofizycznych na kierowców [7, 20, 26, 28].



Rys. 1.7. Kokpit symulatora lokomotywy [96]

Jednymi z najciekawszych symulatorów w opinii autora niniejszej pracy są rozwiązania łączące różne technologie i liczne zadania, jakie mają wypełniać do realizacji powierzonych zadań. Przykładem takich maszyn są różnego rodzaju symulatory: transportowe, nowoczesne wirtualne strzelnice bojowe, stanowiska zarządzające procesami, operacji medycznych i wiele innych. Jednym z przykładów jest zaawansowany system symulacyjny „Śnieżnik". Jest to wielomodułowy symulator szkoleniowy żołnierzy do różnych warunków bojowych i różnych stanowiskach ogniowych. System ten posiada różne moduły symulacyjne mogące wspólnie współpracować na tym samym scenariuszu symulacyjnym w tym samym czasie, a składają się na niego symulatory: strzelań pola walki, stanowiska moździerzowego, strzelca ogniowego śmigłowca, strzelca ogniowego pojazdu HUMVEE, stanowiska strzelca wyborowego, stanowiska wysuniętego obserwatora i inne [100, 108].

Warto również wyjaśnić genezę słowa symulacja, które wywodzi się od łacińskiego słowa *simulatio*, oznaczające „udawanie". Natomiast samo pojęcie „symulator" (z języka łacińskiego *simulator*) znaczyło „naśladowcę". Według Encyklopedii Powszechnej PWN z 1976 r [19]: „symulacja – sztuczne odtwarzanie (np. w warunkach laboratoryjnych; często za pomocą maszyn matematycznych) właściwości danego obiektu, zjawiska lub przestrzeni występujących w naturze, lecz trudnych do obserwowania, zbadania, powtórzenia, itp. (…). Symulacja umożliwia prowadzenie pomiarów, badań (np. propagacji fal radiowych), nauki (np. pilotażu), treningów (np. symulacja lotów kosmicznych) w wybranym miejscu i czasie. Według Leksykonu PWN z 1972 r. [37]: „symulator – model imitujący działanie urządzenia rzeczywistego (np. pieca hutniczego) lub przebieg określonych procesów rzeczywistych (np. zakłóceń, warunków lotu)". Początkowo symulatory zastosowano na szerszą skalę w lotnictwie. Wspomniany Leksykon PWN [37] podaje definicję: „symulator lotu (naśladownik lotu) – urządzenie naziemne odtwarzające warunki lotu, stosowane do szkolenia i treningu pilotów". Definicje najbliższe obecnemu rozumieniu słów „symulacja" i „symulator" podaje Leksykon naukowo-techniczny WNT z 1984 r. [36]:

- „symulacja" to „odtwarzanie właściwości danego obiektu, zjawiska, procesu lub środowiska istniejącego w rzeczywistości za pomocą jego modelu, realizowanego często przy użyciu komputerów",
- „symulator" to „urządzenia pozwalające na odtwarzanie przebiegów rzeczywistych w warunkach sztucznych, stosowany zwykle do celów szkoleniowych" [38].

1.2. Bezpieczeństwo drogowe w Unii Europejskiej

Zagadnienie bezpieczeństwa w ramach zrównoważonego rozwoju transportu w krajach członkowskich poświęcono w szczególności transportowi drogowemu, który jest jednym z najważniejszych zagadnień społecznych Unii Europejskiej (UE). W komunikacie „Europa 2020 – strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu" Komisja podkreśliła znaczenie spójności społecznej, gospodarki bardziej przyjaznej środowisku, edukacji i innowacji dla Europy. Cele te, widoczne w różnych aspektach europejskiej polityki transportowej, sprzyjają zapewnieniu zrównoważonej mobilności wszystkich obywateli, ograniczenie emisji dwutlenku węgla w transporcie i pełne wykorzystanie postępu technologicznego. Bezpieczeństwo ruchu drogowego stanowiło kluczowy element przygotowywanej białej księgi dotyczącej polityki transportowej na lata 2010-2020, ponieważ zmniejszenie liczby ofiar wśród użytkowników dróg jest kluczowym czynnikiem w zakresie poprawy ogólnych parametrów systemu transportowego i zaspokojenia potrzeb oraz oczekiwań obywateli, w tym przedsiębiorstw" [63]. Unia Europejska opracowała w 2009 r. ramy

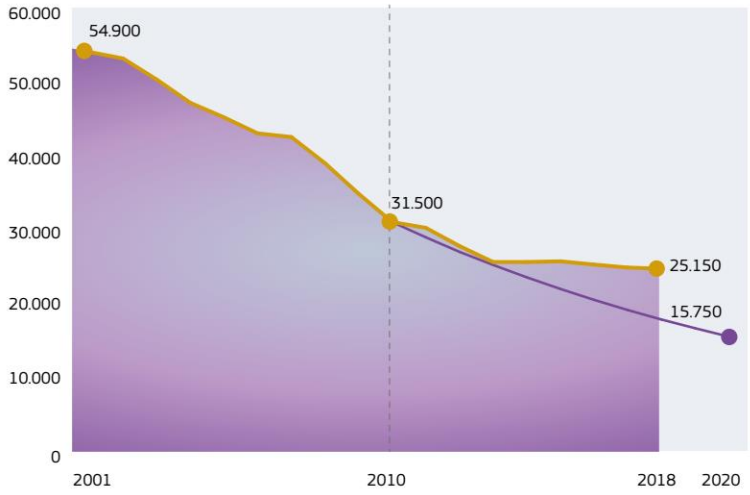
polityki bezpieczeństwa ruchu drogowego UE na lata 2011-2020, stanowiącej czwarty europejski program na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego.

W 2019 r. zostało opracowane dalsze rozwinięcie na lata 2021-2030, a w 2018 r. przedstawiono strategiczny plan zakończonego aktualnie mandatu komisji UE na rzecz bezpieczeństwa drogowego. Plan ten skupia się na ośmiu głównych zagadnieniach, takich jak [64]:

1. Lepsze zarządzanie bezpieczeństwem ruchu drogowego.
2. Silniejsze wsparcie finansowe na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego.
3. Bezpieczne drogi i pobocza dróg.
4. Bezpieczne pojazdy.
5. Bezpieczne korzystanie z dróg.
6. Szybkie i skuteczne reagowanie w sytuacjach awaryjnych.
7. Przyszłościowe zabezpieczenie ruchu drogowego.
8. Globalna rola UE: eksportowanie rozwiązań bezpieczeństwa dla ruchu drogowego.

Dotychczasowe działania UE w ramach polityki na lata 2011-2020 w porównaniu do 2018 r. wykazują skuteczne zrealizowanie obranych założeń i zadań. Dotychczasowe podsumowania statystyczne obrazują to najlepiej, które wskazują na poprawę sytuacji w liczbie ofiar śmiertelnych na terenie UE (rys. 1.8), w tym dla poszczególnych krajów członkowskich (rys. 1.9). W 2020 nie został osiągnięty planowany pułap poniżej 15 750 ofiar śmiertelnych, ale i tak odnotowywano poprawę sytuacji na przestrzeni ostatnich trzech dekad [30, 63, 64]:

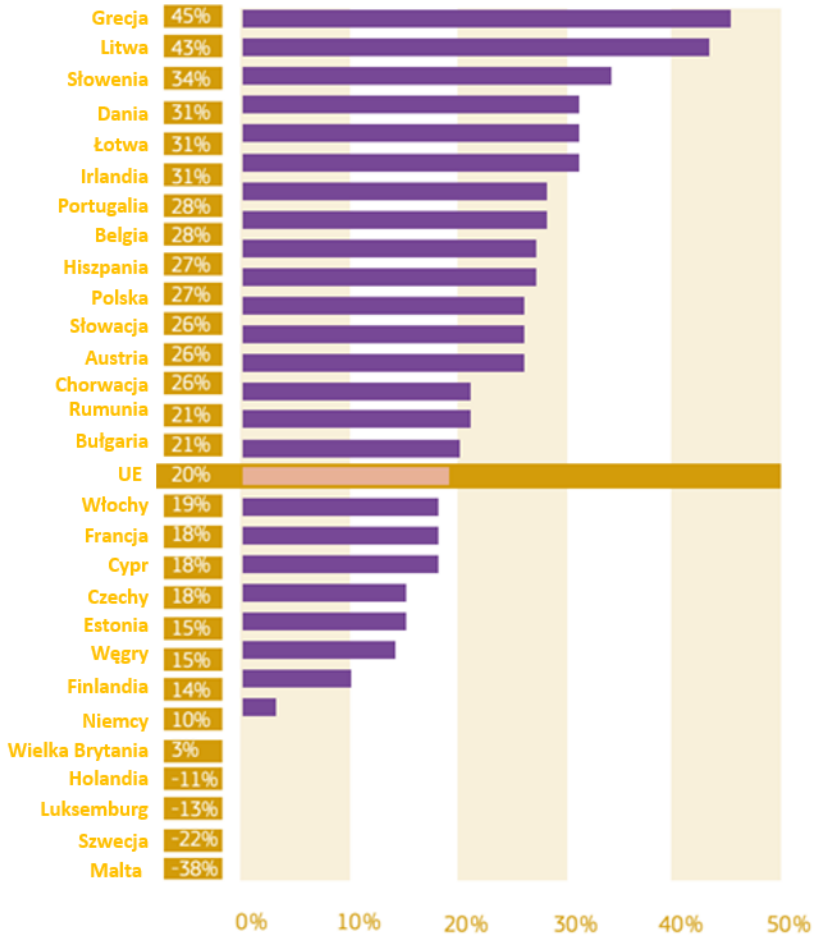
- 1991 r. – 75 400 ofiar śmiertelnych,
- 2001 r. – 54 000 ofiar śmiertelnych,
- 2011 r. – 30 700 ofiar śmiertelnych,
- 2018 r. – 25 100 ofiar śmiertelnych.



Rys. 1.8. Łączna liczba ofiar śmiertelnych w UE w latach 2001-2018 [63]

Najlepiej obrazuje powyższe cele i zadania wstęp w dokumencie roboczym komisji pt. Ramy polityki bezpieczeństwa ruchu drogowego UE na lata 2021-2030 – Kolejne kroki w kierunku realizacji „wizji zero":

„UE potwierdziła swój ambitny cel długoterminowy osiągnięcia prawie zerowej liczby ofiar śmiertelnych do 2050 r. („wizja zero"). Popierając oświadczenie z Valletty z marca 2017 r. w sprawie bezpieczeństwa ruchu drogowego w konkluzjach Rady, unijni ministrowie transportu ustalili również, po raz pierwszy, cel ograniczenia liczby poważnych obrażeń w UE do 2030 r. w porównaniu z poziomem z 2020 r.



Rys. 1.9. Zmniejszenie liczby ofiar śmiertelnych według krajów w latach 2010-2018 [63]

Aby zbliżyć się do realizacji tych celów, w komunikacie „Europa w ruchu" zawarto nowe podejście. Po pierwsze, sposób myślenia przewidziany w „wizji zero" musi zakorzenić się w większym stopniu niż dotychczas – zarówno wśród decydentów, jak i całego społeczeństwa. Wypadki drogowe to „cisi zabójcy", ponieważ są one często niezauważane przez sferę publiczną, choć w sumie w samej Europie każdego tygodnia ginie w nich tyle ludzi, ile może wejść na pokład jumbo jeta, tj. około 500. Nie akceptujemy wypadków śmiertelnych w powietrzu i nie powinniśmy dłużej akceptować ich na drogach – przesłanka zakładająca, że żadna utrata życia nie jest dopuszczalna, musi leżeć u podstaw wszelkich decyzji w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Po drugie, musimy wdrożyć „bezpieczny system" na szczeblu unijnym. (...) Najważniejszymi elementami jest zapewnienie bezpiecznych pojazdów, bezpiecznej infrastruktury, bezpiecznego użytkowania dróg (prędkość, trzeźwość na drodze, zapinanie pasów bezpieczeństwa i zakładanie kasków) oraz lepszej opieki po wypadku, które stanowią dawno stwierdzone i ważne czynniki w podejściu opartym na „bezpiecznym systemie".

Po trzecie, musimy być gotowi stawić czoła nowym trendom takim jak coraz częstsze zjawisko rozpraszania uwagi przez urządzenia przenośne. Niektóre osiągnięcia technologiczne, przede wszystkim w dziedzinie jakości sieci połączeń i automatyzacji, w przyszłości stworzą nowe możliwości w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego, zmniejszając rolę ludzkich błędów. Najlepsze maszyny nie są jeszcze jednak nawet w zbliżonym stopniu tak dobre jak ich ludzkie odpowiedniki i co najmniej w fazie przejściowej – powstają nowe zagrożenia związane, przykładowo, z obecnością pojazdów o szerokim wachlarzu różnorodnych zautomatyzowanych i połączonych funkcji w ruchu

mieszanym z „tradycyjnymi" pojazdami i niechronionymi użytkownikami drogi, takimi jak motocykliści, rowerzyści i piesi.

Automatyzacja oraz gospodarka dzielenia się (na przykład systemy wspólnego korzystania z samochodów i rowerów) oraz stały rozwój nowym form mobilności osobistej (na przykład – przynajmniej w 2019 r. – elektryczne hulajnogi) również zapewniają nowe możliwości w zakresie zmniejszania zagęszczenia ruchu, zwłaszcza na obszarach miejskich. Choć te warianty transportu są ekscytujące i bardziej przyjazne środowisku, musimy również zapewnić, aby były bezpieczne. Miasta są w szczególnie dobrym położeniu, aby wypracować synergie między bezpieczeństwem a środkami na rzecz zrównoważonego rozwoju: na przykład rzadsze korzystanie z samochodów w miastach wraz z bezpieczniejszymi warunkami dla pieszych i rowerzystów zmniejszy emisje CO2, poprawi jakość powietrza i obniży zagęszczenie ruchu – i pomoże uczynić społeczeństwo bardziej aktywnym i zdrowszym. Podobne synergie można znaleźć przy okazji zapewnienia bezpiecznego i przystępnego cenowo dostępu do mobilności wszystkim członkom społeczeństwa, zwłaszcza osobom niepełnosprawnym i rosnącemu odsetkowi osób starszych. Ponadto więcej uwagi poświęca się obecnie aspektom bezpieczeństwa ruchu drogowego związanym z płcią (na przykład w nowym teście zderzeniowym, w którym uwaga skupia się na systemach ograniczania ruchu i który wejdzie w życie w 2022 r., wykorzystywany będzie również manekin imitujący kobietę.

W stosownych przypadkach Komisja będzie w dalszym ciągu tworzyć prawodawstwo, tak jak wcześniej. Uzupełnimy te wysiłki o zintensyfikowane starania w ramach bliższej współpracy w celu wypracowania skuteczniejszych polityk bezpieczeństwa ruchu drogowego ze wszystkimi zainteresowanymi stronami i z wykorzystaniem badań naukowych i innowacji, aby przygotować i przetestować nowe rozwiązania oparte na polityce.

Wreszcie te refleksje dotyczące szczebla unijnego mają na celu również zapewnienie wkładu w globalną debatę na temat bezpieczeństwa ruchu drogowego w kluczowym momencie „dekady działań na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego" ogłoszonej przez ONZ na lata 2010–2020, w trakcie intensywnych przygotowań do 3. Globalnej konferencji ministerialnej w sprawie bezpieczeństwa ruchu drogowego, która odbyła się w Sztokholmie (19–20 lutego 2020 r.). Nie chodzi tu jedynie o ustanowienie nowych ram i celów dotyczących zapobiegania zgonom i obrażeniom na drogach na całym świecie w nadchodzącym dziesięcioleciu, lecz o silniejsze osadzenie kwestii związanych z bezpieczeństwem ruchu drogowego w celach zrównoważonego rozwoju." [18].

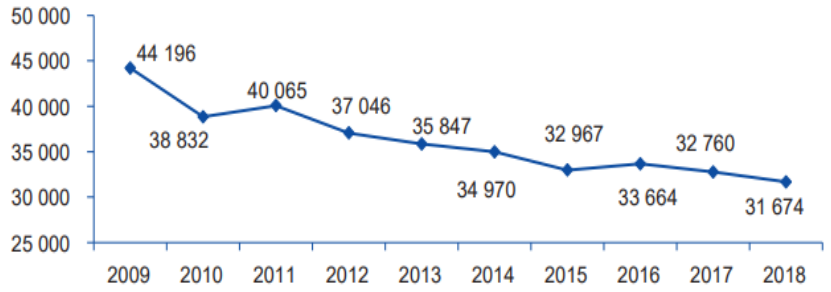
Podsumowaniem konferencji jest Deklaracja Sztokholmska 2020 [17, 104], która podkreśla istotę intensyfikacji działań wszystkich państw, ale w szczególności zwraca uwagę na kraje o niskim dochodzie, które muszą zwiększyć działania na rzecz bezpieczeństwa, w celu osiągniecia ambitnych planów jakimi są: redukcja liczby zabitych i ciężko rannych w wypadkach drogowych do 2030 r. o połowę oraz w dalszej konsekwencji realizację „Wizji Zero" w 2050 r.

1.3. Bezpieczeństwo drogowe w Polsce

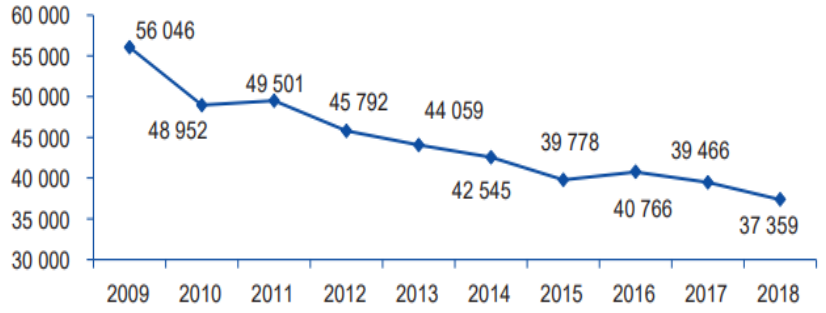
Jednymi z najważniejszych źródeł informacji w Polsce odnośnie do wypadków drogowych są raporty sporządzane przez Biuro Ruchu Drogowego Komendy Głównej Policji, Krajową Radę Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, Polskie Obserwatorium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, Główny Urząd Statystyczny oraz System Ewidencji Wypadków i Kolizji. Wszystkie wyżej wymienione instytucje współpracują ze sobą w celach zbierania i analizy zebranych danych, opracowywania planów przyszłościowych działań oraz zaleceń dla poprawy aktualnego stanu bezpieczeństwa drogowego.

Obecnie jednym z najważniejszych wspólnych celów polityki UE dla bezpieczeństwa drogowego do 2020 r. jest zmniejszenie liczby śmiertelnych ofiar wypadków drogowych o połowę względem danych z 2010 r. Polska ma trudne zadanie do wykonania, aby w 2020 r. liczba zabitych nie osiągnęła pułapu większego niż 2000 rocznie. Dodatkowo w 2013 r., Narodowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego na lata 2013-2020 wskazał dodatkowy cel w postaci ograniczenia liczby ciężko rannych ofiar do maksymalnego pułapu 6900 osób w danym roku.

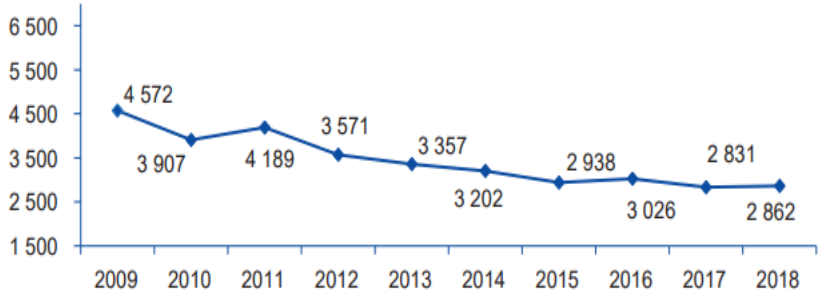
Aktualne dane statystyczne od 2010 r. wskazują na systematyczną poprawę sytuacji w zakresie liczby zgłoszonych wypadków drogowych (rys. 1.10) [39, 66], podobnie jak dla trendu liczby rannych osób (rys. 1.11) w wypadkach drogowych. Niestety, dla trendu liczby zabitych w wypadkach drogowych (rys. 1.12), odnotowano wzrost ofiar względem roku poprzedzającego o 31 osób (1,1%) Natomiast zmniejszyła się liczba ciężko rannych o 140 osób (–1,3%). Trendy wspomnianych zmian są jednak zbyt powolne względem przyjętych celów głównych wskazanych w Narodowym Programie Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego na lata 2013-2020 (względem wskaźników z 2010 r.) [88].



Rys. 1.10. Liczba wypadków drogowych w Polsce w latach 2009-2018 [109]



Rys. 1.11. Liczba rannych w wypadkach drogowych w Polsce w latach 2009-2018 [109]



Rys. 1.12. Liczba przypadków śmiertelnych w wypadkach drogowych w Polsce w latach 2009-2018 [109]

Wczytując się w raport Komendy Głównej Policji warto zwrócić uwagę na rozdział IV pt. „Rodzaje wypadków drogowych", w którym przedstawiono podsumowanie za 2018 r.: „Spośród wszystkich rodzajów wypadków drogowych na pierwsze miejsce wysuwają się zdarzenia, które zakwalifikowano do kategorii „zderzenie się pojazdów w ruchu". W 2018 r. wypadków takich było 17 041, co stanowiło 53,8% ogółu. Śmierć w nich poniosło 1269 osób (44,3% wszystkich zabitych), a rannych zostało 21 877 osób (58,6% ogółu rannych). Następnym, najczęściej występującym rodzajem wypadku, było „najechanie na pieszego". Takich zdarzeń było 7242 (22,9%), w ich wyniku zginęły 792 osoby (27,7%), a 6800 zostało rannych (18,2%)" [109]. Raport w dalszej części wskazuje jasno, iż za główną przyczynę i sprawcę wypadków wskazuje czynnik ludzki, a w szczególności zachowywanie się grup użytkowników dróg, podczas gdy inne czynniki miały zdecydowanie mniejsze znaczenie. Zaprezentowano to w tab. 1.1, z której wynika, iż w 2018 r. udział wypadków z winy kierujących wyniósł 87%, gdzie zginęło 2177 osób, czyli 76% ofiar śmiertelnych a 33261 osób było rannych (89%).

Tabela 1.1

Liczba wypadków drogowych w Polsce i ich skutki według sprawstwa [109]

Sprawstwo wypadków	**Wypadki**	**%**	**Zabici**	**%**	**Ranni**	**%**
Wina kierujących	27 556	87,0	2 177	76,1	33 261	89,0
Wina pieszych	2 119	6,7	348	12,2	1 814	4,9
Wina pasażerów	116	0,4	5	0,2	118	0,3
Współwina	380	1,2	39	1,4	497	1,3
Pozostałe przyczyny	1 503	4,7	293	10,2	1 669	4,5
Ogółem	31 674	100,0	2 862	100,0	37 359	100,0

Analizując ogólne statystyki i komentarze polskiej policji za 2018 r. można w łatwy sposób odnaleźć przyczyny wypadków (tab. 1.2) oraz inne elementy powiązane. Główna ich część była spowodowana przez kierujących pojazdami osobowymi (74,8%) i miała miejsce za dnia (71,3%) w dobrych warunkach atmosferycznych, na prostych odcinkach i skrzyżowaniach, na drogach dwukierunkowych lub jednojezdniowej z winy kierującego. Analiza płci sprawców wskazuje, iż 73,6% wypadków spowodowali mężczyźni kierującymi pojazdami.

Od wielu lat Komenda Główna Policji zwraca szczególną uwagę na udział „młodych kierowców" w przedziale wiekowym 18–24 lata, gdzie w statystykach charakteryzują się najwyższym wskaźnikiem liczby wypadków na 10 tys. populacji wynoszącym 18,6%, którzy byli sprawcami przeszło 5113 wypadków, w których zginęło 428 osób z winy kierującego pojazdem, a 6734 zostało rannych. Stanowi to poważny problem, pomimo poprawiających się polskich statystyk, ale też w skali innych krajów rozwiniętych gospodarczo. Najczęstszymi błędami tej grupy w Polsce jest nie dostosowanie prędkości do warunków ruchu, ale też brak doświadczenia i umiejętności w kierowaniu pojazdami drogowymi oraz duża skłonność do niebezpiecznych manewrów. Warto zwrócić uwagę, iż ten problem jest znany od dawna, na co wskazuje raport NIK o nadawaniu uprawnień kierowcom z 2015 r., w którym zwracano uwagę na konieczność poprawy jakości szkoleń i egzaminowania kandydatów na kierowców pojazdów drogowych. Wskazywano wówczas na wiele problemów podstawowych, między innymi takich jak:

1. *„(...) Najwyższa Izba Kontroli wskazuje na niską jakość przygotowania kursantów do egzaminu i bezpiecznej jazdy na drogach. Potwierdza to pokaźna liczba przerwanych egzaminów, a przede wszystkim przyczyny ich przerwania. W kontrolowanym okresie egzamin praktyczny przerwano w ponad 200 tys. przypadków (na ok. 690 tys. egzaminów przeprowadzonych w skontrolowanych*

Tabela 1.2
Przyczyny wypadków drogowych w Polsce spowodowanych przez kierujących pojazdami [109]

Przyczyny	Wypadki		Zabici		Ranni	
	Ogółem	%	Ogółem	%	Ogółem	%
Nieustąpienie pierwszeństwa przejazdu	7 488	27,2	322	14,8	9 158	27,5
Niedostosowanie prędkości do warunków ruchu	6 256	22,7	778	35,7	8 249	24,8
Nieprawidłowe wyprzedzanie	1 310	4,8	202	9,3	1 581	4,8
Nieprawidłowe omijanie	371	1,3	29	1,3	390	1,2
Nieprawidłowe wymijanie	587	2,1	64	2,9	747	2,2
Nieprawidłowe skręcanie	782	2,8	39	1,8	894	2,7
Nieprawidłowe cofanie	485	1,8	20	0,9	489	1,5
Nieprawidłowa zmiana pasa ruchu	681	2,5	48	2,2	847	2,5
Nieprawidłowe zawracanie	132	0,5	14	0,6	162	0,5
Nieprawidłowe przejeżdżanie przejazdu dla rowerów	333	1,2	5	0,2	330	1,0
Nieprawidłowe zatrzymanie, postój	9	–	–	–	11	–
Nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu na przejściu dla pieszych	3 072	11,1	216	9,9	3 012	9,1
Nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu przy skręcaniu w drogę poprzeczną	228	0,8	2	0,1	232	0,7
Nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu w innych okolicznościach	459	1,7	25	1,1	449	1,3
Omijanie pojazdu przed przejściem dla pieszych	59	0,2	6	0,3	57	0,2
Wyprzedzanie pojazdu przed przejściem dla pieszych	13	–	–	–	13	–
Jazda bez wymaganego oświetlenia	27	0,1	9	0,4	26	0,1
Niestosowanie się do sygnalizacji świetlnej	450	1,6	16	0,7	614	1,8
Niezachowanie bezpiecznej odległości między pojazdami	2 292	8,3	57	2,6	2 976	8,9
Gwałtowne hamowanie	227	0,8	2	0,1	272	0,8
Zmęczenie, zaśnięcie	533	1,9	76	3,5	762	2,3
Nieprzestrzeganie innych znaków i sygnałów	108	0,4	13	0,6	140	0,4
Inne przyczyny	1 654	6,0	234	10,7	1 850	5,6
Ogółem	27 556	100,0	2 177	100,0	33 261	100,0

WORD), z czego blisko 60% przypadków (120 tys.) dotyczyło egzaminu praktycznego w ruchu miejskim. Egzaminatorzy najczęściej przerywali egzamin z tak istotnych powodów, jak nieustąpienie pierwszeństwa przejazdu np. na skrzyżowaniu lub pieszemu (34%. egzaminów) lub niezastosowanie się do znaków i sygnałów świetlnych (21%.). Zdarzało się, że zdający zachowywali się w sposób, który zagrażał bezpośrednio życiu i zdrowiu uczestników ruchu drogowego (14%), groził spowodowaniem kolizji drogowej lub ją powodował (11%). Ponad 6 tys. zdających z własnej woli poprosiło o przerwanie egzaminu" [98].

2. *„NIK ma wiele zastrzeżeń do sposobu szkolenia i prowadzenia kursów w ośrodkach szkolenia kierowców. Część ośrodków prowadziła kursy w sposób niezgodny z programem, pojazdami niespełniającymi wymagań. W latach 2013-2014 w co szóstym skontrolowanym przez policję samochodzie wykorzystywanym do nauki jazdy wykryto różnego rodzaju nieprawidłowości. W większości przypadków stwierdzono zły stan techniczny kontrolowanych pojazdów, brak uprawnień instruktorów do prowadzenia szkolenia, nieprowadzenie karty jazdy kursanta oraz braki w dodatkowym wyposażeniu pojazdów. Zdarzało się, że kursantów*

szkolili instruktorzy, którzy nie posiadali ważnych badań lekarskich i psychologicznych" [98].

3. *„NIK wskazuje także, że chociaż wiele ofiar wypadków drogowych umiera, ponieważ nie zdołano podtrzymać ich przy życiu do czasu przyjazdu ratowników, podczas szkoleń nie zawsze przykładano należytą uwagę do przygotowania kursantów do skutecznego i bezpiecznego udzielania pierwszej pomocy przedmedycznej"* [98].

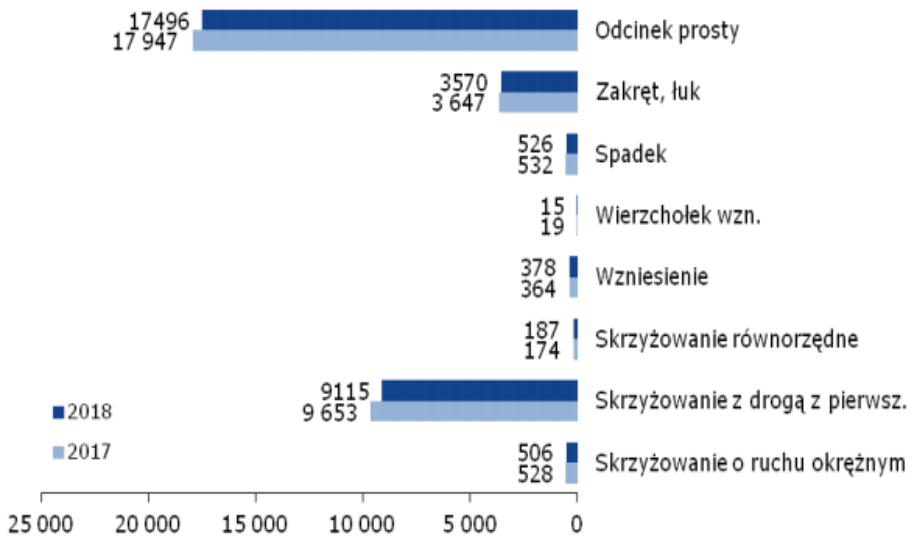
Od tamtej pory wiele elementów uległo zmianie w tym w zakresie nadzoru i finansowania ośrodków szkolenia kierowców oraz formy egzaminowania. Niestety w wynikach statystyk KGP i nie tylko ciągle mamy do czynienia z problemami wiedzy, doświadczenia oraz kultury jazdy u młodych kierowców [10, 12].

Raport „Stan bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz działania realizowane w tym zakresie w 2018 r." sporządzony przez KRBRD prezentuje odmienne podejście do analizy danych, wskaźniki do monitorowania NPBRD oraz zadania realizowane przez członków KRBRD dla poprawy aktualnej sytuacji według filarów tematycznych, a są nimi [95]:

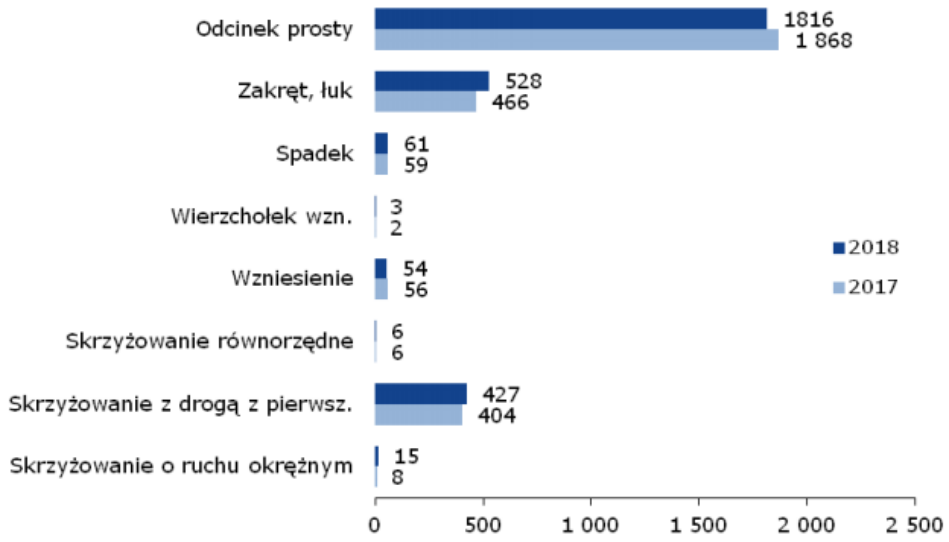
1. **Bezpieczny Człowiek**
   - 1.1. Badanie postaw i opinii społeczeństwa względem BRD wraz z przeprowadzeniem efektywności kampanii dotyczących BRD
   - 1.2. Edukacja BRD w ramach działalności CEBR
   - 1.3. Ogólnopolskie działania informacyjno-edukacyjne BRD skierowane do uczestników ruchu drogowego powyżej 60 roku życia
   - 1.4. Intensyfikacja nadzoru policji w obszarach o wysokim poziomie zagrożenia pieszych
   - 1.5. Monitorowanie zachowań uczestników ruchu drogowego
   - 1.6. Kampanie i wydarzenia w zakresie:
     a) kształtowania bezpiecznych zachowań motorowerzystów i motocyklistów w ruchu drogowym,
     b) bezpiecznego poruszania się uczestników ruchu drogowego po drogach szybkiego ruchu,
     c) problematyki używania telefonów komórkowych w ruchu drogowym.
2. **Bezpieczne Drogi**
   - 2.1. Realizacja zadań inwestycyjnych poprawiających BRD na istniejącej sieci dróg krajowych zarządzanych przez GDDKiA
   - 2.2. Wytyczne dotyczących bezpiecznego ruchu rowerowego
   - 2.3. Wytyczne dotyczące prawidłowego oświetlenia przejść dla pieszych
   - 2.4. Realizacja programu rozwoju gminnej i powiatowej infrastruktury drogowej na lata 2016-2019
   - 2.5. Zarządzanie bezpieczeństwem infrastruktury drogowej na drogach krajowych
   - 2.6. Badanie efektywności przekroju 2+1 pasowego ze szczególnym uwzględnieniem różnych rozwiązań rozdzielających kierunki ruchu
   - 2.7. Uspokajanie ruchu na drogach krajowych m.in. poprzez stosowanie urządzeń uspokojenia ruchu i optymalną organizację ruchu
   - 2.8. Badanie wpływu reklam, w tym świetlnych, na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego
   - 2.9. Badanie wpływu stosowania usług Inteligentnych Systemów Transportowych na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego
   - 2.10. Badanie oznakowania eksperymentalnego dróg w aspekcie zachowań uczestników ruchu

3. **Bezpieczna Prędkość**
   3.1. Kampania edukacyjna dotycząca nadmiernej prędkości
   3.2. Badanie doboru dopuszczalnych prędkości ruchu na drogach z uwzględnieniem dynamicznego zarządzania ruchem
   3.3. Intensyfikacja nadzoru policji w zakresie przekraczania prędkości
4. **Bezpieczny Pojazd**
   4.1. Dokonanie standaryzacji polskiej normy dotyczącej wyposażenia apteczki samochodowej i analiza możliwości jej wprowadzenia jako elementu wyposażenia pojazdu
   4.2. Zwiększenie efektywności działań kontrolnych ITD
   4.3. Opracowanie propozycji zmian prawnych z zakresu bezpieczeństwa pojazdów
5. **Ratownictwo i opieka powypadkowa**
   5.1. Rozwój systemu ratownictwa medycznego
   5.2. Modernizacja sprzętu i doposażenie służb ratownictwa drogowego
   5.3. Opracowanie i wdrożenie koncepcji „korytarzy życia" na drogach szybkiego ruchu
6. **System Zarządzania BRD**
   6.1. Rozwój POBRD
   6.2. Ogólnopolskie szkolenia dla samorządowych zarządców dróg w zakresie stosowania inżynieryjnych środków poprawiających bezpieczeństwo uczestników ruchu drogowego

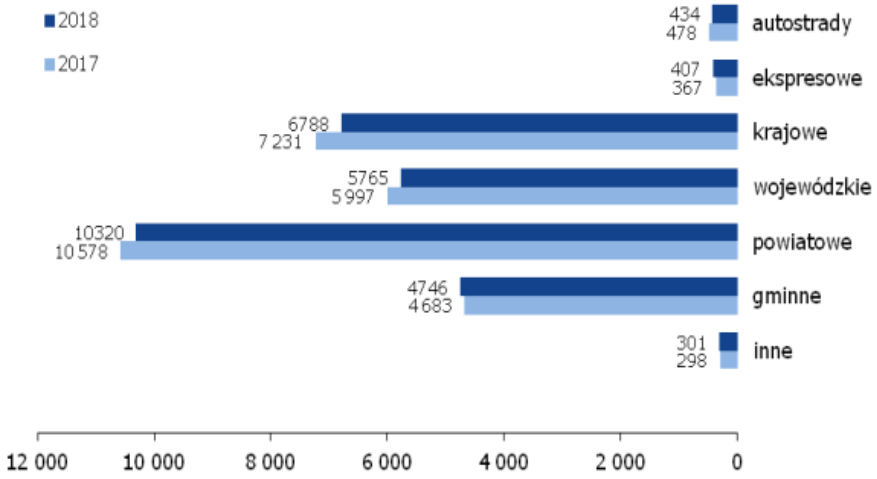
W raporcie KRBRD wskazano, na podstawie zebranych danych w 2018 r., iż w Polsce główną przyczyną wypadków drogowych jest nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu a wzrost liczby ofiar śmiertelnych wypadków drogowych był spowodowany przez nie zachowanie bezpiecznej odległości między pojazdami, przy dużych wartościach prędkości. „Należy zwrócić uwagę na fakt, że dane z kolejnych lat jednoznacznie wskazują, iż problem wypadków spowodowanych przez kierujących pojazdami, będących pod działaniem innych środków działających podobnie do alkoholu jest charakterystyczny dla osób w wieku poniżej 40 lat (zarówno, jeśli chodzi o sprawców, jak i ofiary takich wypadków). W 2018 r. spowodowali oni blisko 94% tych wypadków, w których stanowili prawie 96% ofiar śmiertelnych i 90% ofiar rannych" [95]. Bardzo przydatnymi zestawieniami danych są informacje odnośnie typu i rodzaju drogi na jakim doszło do wypadków oraz ofiar śmiertelnych (rys. 1.13–1.16). Wynika z nich, iż głównymi



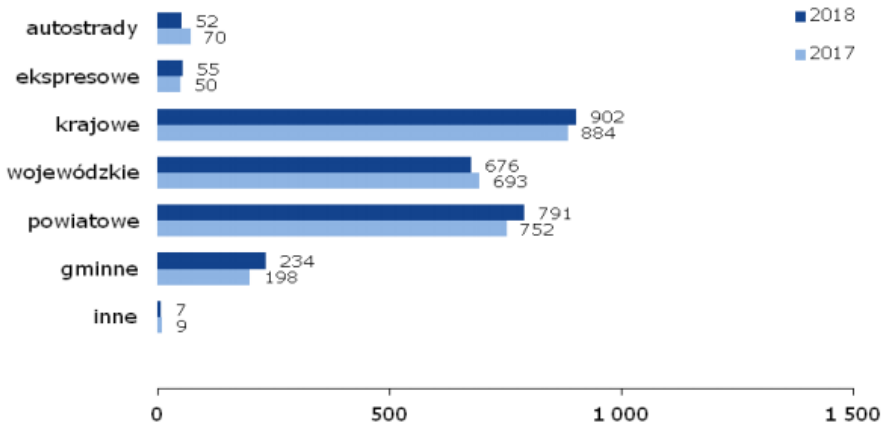
Rys. 1.13. Wpływ rodzaju odcinka drogi na liczbę wypadków drogowych w Polsce [95]



Rys. 1.14. Wpływ rodzaju odcinka drogi na liczbę ofiar śmiertelnych wypadków drogowych w Polsce [95]



Rys. 1.15. Liczba wypadków drogowych w Polsce w zależności od kategorii drogi [95]



Rys. 1.16. Liczba ofiar śmiertelnych wypadków drogowych w Polsce w zależności od kategorii drogi [95]

miejscami wypadków drogowych są proste odcinki, a następnie skrzyżowania i łuki (rys. 1.13–1.14). Natomiast w przypadku kategorii dróg, najbezpieczniejszymi są autostrady i drogi ekspresowe (rys. 1.15–1.16). Często również szczególnie zwraca się uwagę na wypadki dotyczące przejazdów kolejowych [29].

1.4. System szkoleń kierowców

Obecna struktura systemu szkoleń kierowców drogowych w Polsce została wprowadzona przez ustawę z dnia 20 czerwca 1997 r. o prawie o ruchu drogowym (Dz. U. z 2018 r., poz.1990 ze zm.), gdzie wprowadzono licencjonowane OSK dla kierowców i stworzono instytucje WORD. Aktualnie, przeprowadzanie egzaminów państwowych na prawo jazdy odbywa się w oparciu o [113]:

- ustawę z dnia 5 stycznia 2011 r. o kierujących pojazdami (Dz.U. z 2019 r. poz. 341 ze zm.),
- ustawę z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym (Dz.U. z 2018 r. poz. 1990 ze zm.),
- rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 28 czerwca 2019 r. w sprawie egzaminowania osób ubiegających się o uprawnienia do kierowania pojazdami, szkolenia, egzaminowania i uzyskiwania uprawnień przez egzaminatorów oraz wzorów dokumentów stosowanych w tych sprawach (Dz.U. z 2019 r. poz. 1206),
- rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 4 marca 2016 r. w sprawie szkolenia osób ubiegających się o uprawnienia do kierowania pojazdami, instruktorów i wykładowców (Dz.U. z 2018 r. poz. 1885 ze zm.),
- rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 24 lutego 2016 r. w sprawie wydawania dokumentów stwierdzających uprawnienia do kierowania pojazdami (Dz.U. z 2016 r. poz. 231 ze zm.),
- rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 20 maja 2016 r. w sprawie wzorów dokumentów stwierdzających uprawnienia do kierowania pojazdami (Dz.U. z 2016 r. poz. 702 ze zm.),
- rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 16 stycznia 2013 r. w sprawie wysokości opłat za przeprowadzenie egzaminu państwowego oraz stawek wynagrodzenia związanych z uzyskiwaniem uprawnień przez egzaminatorów (Dz.U. z 2014 r. poz. 974),
- rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 11 stycznia 2013 r. w sprawie wysokości opłat za wydanie dokumentów stwierdzających uprawnienia do kierowania pojazdami (Dz.U. z 2013 r. poz. 83),
- uchwały statut dla danego WORD przez zarządu województwa.

Natomiast osoba ubiegająca się o nadanie prawa jazdy musi spełniać kryteria podstawowe takie jak: mieć ukończone 18 lat, posiadać orzeczenie lekarskie i psychologiczne o braku przeciwwskazań do kierowania pojazdami, mieć ukończony z wynikiem pozytywnym kurs w OSK oraz zdać państwowe egzaminy z teorii i praktyki w Wojewódzkim Ośrodku Ruchu Drogowego. Sam kurs w OSK dla kategorii B składa się z 30 godzin lekcyjnych teorii i 30 godzin jazd, który kończy się egzaminami wewnętrznymi z teorii i praktyki, po którym kursant uzyskuje możliwość ubiegania się o wyznaczenie terminów na państwowy egzamin dla części teoretycznej i praktyczny.

Oczekuje się również na wprowadzenie istotnych zmian w aktualnym systemie szkolenia kierowców, które są przekładane od 2013 r. ze względu na opóźnienia w uruchamianiu funkcjonalności bazy CEPiK 2.0, które będą dotyczyć osób zdobywających prawo jazdy w takich aspektach jak [101]:

- dwuletni okres próbny,
- dodatkowe limity prędkości,
- zakaz podejmowania pracy jako kierowca przez pierwsze osiem miesięcy od uzyskania prawa jazdy,
- oklejenie zielonym listkiem pojazdu przez osiem miesięcy,
- możliwe przedłużenie okresu próbnego decyzją starosty,
- dwuletni okres próbny będzie obowiązywał również piratów drogowych,
- udział w obowiązkowym kursie dokształcającym w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego,
- udział w obowiązkowym szkoleniu praktycznym dotyczącym zagrożeń w ruchu drogowym.

PSITJ, NIK, policja, media i inne podmioty związane z transportem coraz częściej wskazują, iż problem wysokiego udziału młodych kierowców w wypadkach w Polsce jest powiązany w dużym stopniu z niedoskonałością systemu szkolenia kierowców. Jednym z ciekawszych komentarzy jest wywiad z Markiem Dworzeckim, członkiem PSITJ z redakcją czasopisma Rzeczpospolita na temat spostrzeżeń i wniosków w tej tematyce, który określił siedem głównych problemów w tym obszarze [103]:

- osoby szkolone nie są uczone zajmowania prawidłowej pozycji za kierownicą,
- kandydaci na kierowców nie są odpowiednio zaznajamiani z mechanizmami i przyrządami sterowania,
- kursanci nie są uczeni prawidłowej techniki kierowania pojazdem,
- młodzi kierowcy nie tylko nie są uczeni bezpiecznej jazdy, ale nawet nie są należycie przygotowani do egzaminu państwowego,
- instruktorzy nienależycie wykonują swoje obowiązki,
- kontrole ośrodków szkolenia kierowców są nieskuteczne,
- w branży istnieje tzw. zmowa milczenia.

Punkty przedstawione powyżej pokrywają się częściowo z raportami NIK z 2011 r. „NIK o przyczynach wypadków drogowych" [99] i z 2014 r. „Bezpieczeństwo ruchu drogowego" [97]. W przypadku pierwszego raportu wskazywano, iż drugim w kolejności najważniejszym elementem przyczyniającym się do wypadków są „nieprawidłowości w szkoleniu i dokształcaniu kierowców". Natomiast w drugim raporcie wskazano na mało skuteczny system nadawania uprawnień do kierowania pojazdami, pomimo zmian w szkoleniu i egzaminowaniu. Efekty uzyskane w wyniku zmian nie przyniosły zakładanych efektów końcowych. Zwrócono również uwagę na budowanie i promocję właściwej świadomości społecznej, odnośnie do niebezpieczeństw w ruchu drogowym oraz kształtowanie właściwych postaw społecznych w tym aspekcie.

1.5. Symulatory i symulacje

Symulatory mogą być różnymi systemami, urządzeniami czy też programami komputerowymi, których sposób działania stara się przeważnie odwzorować lub przestawić dane zagadnienie, zjawisko, proces czy też umożliwić wykonanie dalszych doświadczeń w oparciu o określoną implementację rozwiązania danego tematu. Wzrastająca popularność, dostępność i zmniejszenie cen rozwiązań sprzętowych oraz programistycznych przyczynia się zdecydowanie do coraz popularniejszego stosowania ich w określonych rozwiązaniach przemysłowych, handlowych i komercyjnych. Elementy symulacyjne są coraz częściej wymagane w kompetencjach inżynierów przemysłowych. Aktualnie, w ramach opracowywanych kompetencji Inżyniera Przemysłu 4.0, odchodzi się od wyspecjalizowania wąsko tematycznego pracownika, a stawia się również na interdyscyplinarność i współpracę między różnymi działami. Jedną z kluczowych technologii do

osiągnięcia Przemysłu 4.0 jest technologia symulacji, gdzie przez zastosowanie odpowiednich narzędzi symulacyjnych i modelowania staje się możliwe szybkie prototypowanie, odwzorowywanie właściwości maszyn, produktu lub nawet całych fabryk. Takie zastosowanie symulacji może spowodować ograniczenie strat, optymalizację procesów, zwiększenie kontroli jakości, ułatwi diagnostykę oraz umożliwi dalsze wytyczanie nowych innowacyjnych rozwiązań do implementacji rzeczywistych obiektów lub złożonych procesów [21, 55, 75, 77–84, 86, 87, 102].

Rozwiązania i zastosowania symulacyjne bardzo często były elementem świadomie wykorzystywanym od uzyskania przez człowieka świadomości i zdolności kojarzenia przyczynowo-skutkowego. Dobrze przedstawia to fraza, iż „kiepskie przygotowanie prowadzi do kiepskich rezultatów". Dlatego też treningi, ćwiczenia, szkolenia i innego rodzaju aktywności mają istotny element symulacyjny w ujęciu przygotowania człowieka do konkretnych zadań. W przypadku rozwiniętej technologii elektromechanicznej i informatycznej dla rozwiązań transportowych najczęściej ma się na myśli wcześniej wspomniane urządzenia, programy obliczeniowe czy też złożone systemy logistyczne oraz materiałowe. Główne zalety i przyczyny coraz częstszego stosowania tego typu symulacji można podsumować w poniższych aspektach:

- Bezpieczeństwo – dla danego rozwiązania symulacyjnego najczęściej w swoich założeniach implementacyjnych wykazują o wiele wyższy poziom bezpieczeństwa, umożliwiając przetestowanie procedur, rzeczywistych problemów bez narażania życia [32, 47]. Bardzo dobrymi przykładami są symulatory wszelkiego rodzaju pojazdów transportowych, trenażery strażackie czy aplikacje wojskowe, gdzie najczęściej występuje o wiele wyższy wskaźnik ryzyka i konsekwencji w przypadku błędnego rozwiązania danego zadania testowego dla potencjalnie niebezpiecznego rzeczywistego zdarzenia [60, 67].
- Ekonomia i wydajność – stanowiska symulacyjne coraz częściej stają się popularne ze względów ekonomicznych (spadki cen w warstwach softwarowych i hardwarowych), ale też stanowią bardzo ważne zabezpieczenie w minimalizowaniu dalszych strat społeczno-gospodarczych. Realizuje się to przez odpowiednie przygotowanie przede wszystkim ludzi i procedur do bardzo specyficznych scenariuszy zadań dla danego przypadku, np. mało prawdopodobnego, aczkolwiek możliwego zdarzenia. Centra szkoleniowe strażaków z jednostek specjalistycznych do gaszenia pożarów na dużych wysokościach, lotniskach czy też w tunelach transportowych stanowią dobrym przykładem uwzględnienia powyższego kryterium. Implementacje bazujące na rzeczywistych obiektach lub korzystające z jedno lub kilkukrotnych środków trwałych, które są traktowane jak materiał eksploatacyjny, nie mają racji stosowania w ujęciu ekonomicznym. Warto również zaznaczyć, iż takie stanowiska ze specjalistycznymi zadaniami charakteryzują się najczęściej większą wydajnością i żywotnością eksploatacyjną oraz dostępnością [33, 71].
- Kontrola – jednym z najważniejszych przyczyn stosowania stanowisk symulacyjnych w transporcie jest możliwość pełnej kontroli przebiegu zdarzeń i procesów podczas realizowanego scenariusza. Osoba sterująca stanowiskiem może decydować o zmianie przebiegu zdarzeń i wywoływać niespodziewanie mało prawdopodobne rzeczywiste zdarzenia o dowolnej częstotliwości i rodzaju, w zakresie możliwości stanowiska [40, 49].
- Widoczność i możliwość rejestracji danych – stanowiska z rozbudowaną warstwą programową mają przeważnie dostęp do zastosowanych modeli i powiązanych z nimi wartości zmiennych, które tworzą przestrzeń symulacji oraz mają bezpośredni wpływ na nią [35, 50, 52]. Dzięki temu staje się możliwe lepsze zrozumie-

nie i prześledzenie zdarzeń w układach antropotechnicznych, w których człowiek pełni rolę jednostki centralnej w asyście symulowanej jednostki lub jednostek logicznych [73, 74]. Powyższe działanie daje możliwość łatwego sposobu dla przeprowadzenia rejestracji wybranych sygnałów w ujęciu złożonych procesów przyczynowo-skutkowych dla określonych prób badawczych [54, 56], które jest zaawanasowaną i złożoną formą rejestracji telemetryczną stosowaną w rzeczywistych pojazdach drogowych [22–25].

- Forma przekazu wiedzy i powtarzalność – badania symulacyjne i powiązane z nimi stanowiska stanowią bardzo często interdyscyplinarne obszary pracy, gdzie jest możliwe wykorzystywanie różnych, połączonych ze sobą form przekazywania wiedzy [72, 76], przy zachowaniu powtarzalności symulacji w krytycznych aspektach ujętych przez projektantów. Daje to możliwość szkoleń, testowania, obserwacji, analizy i kontroli założonych wyników w danym scenariuszu, względem zmieniających się wybranych elementów symulacji, ludzi czy też wpływu upływu rzeczywistego czasu [46].

Wymienione powyżej rozwiązania symulacyjne mają też różnego rodzaju wady, spowodowane najczęściej kompromisami między poziomem odzwierciedlenia rzeczywistości a kosztami ekonomicznymi, możliwościami technologicznymi, założeniami projektowymi i implementacyjnymi czy ograniczeniami ludzkimi. Jednak to dzięki nim jest możliwe przekraczanie kolejnych granic i tworzenie nowych zadań, które ciągle są niezbędne do realizacji przez ludzkość. Bardzo dobrym tego przykładem są symulatory związane z podbojem kosmosu, a w szczególności dla projektu Apollo, gdzie kosmonauci, inżynierowie, naukowcy i technicy rozwiązywali kolejne problemy naukowe dla uzyskania ostatecznego celu, jakim było wylądowanie pierwszego człowieka na księżycu, a następnie bezpieczny jego powrót. Aktualnie również istotnymi problemami w polityce UE, w tym z zakresu symulacji, są kwestie zużycia paliwa oraz emisji szkodliwych związków spalin pojazdów drogowych [5, 11, 31, 34, 42–45, 48, 53].

2. Przedmiot pracy

2.1. Geneza problemu

Autor niniejszej rozprawy doktorskiej, w ramach realizowanego studium doktoranckiego, postawił sobie jako cel zwiększenie potencjału stanowiska symulacyjnego AS1200-6 Autosim, znajdującego się w Instytucie Silników Spalinowych i Napędów na Politechnice Poznańskiej; w szczególności określenie jego przydatności do badań z zakresu antropotechnicznego układu pomiędzy człowiekiem i pojazdem osobowym w ustalonych wirtualnych warunkach środowiskowych. Dokonując przeglądu literatury i zebranych doświadczeń autora, dotyczących badań symulacyjnych z zastosowaniem zaawansowanych symulatorów pojazdów osobowych, w zakresie powiązanych ze sobą dziedzin nauki, stwierdzono, iż tego rodzaju tematyka jest złożona, niewystarczająco opisana naukowo oraz powiązana z różnymi obszarami wiedzy. Stanowi to bardzo dobre miejsce do podjęcia prac z zakresu badań interdyscyplinarnych z różnych dziedzin, w tym technicznych, medycznych i społecznych. Jednym z problemów był brak pełnej dokumentacji stanowiska pod względem opisu modelu symulacyjnego, wzorca oryginalnego pojazdu i brak pełnej otwartości kodu oprogramowania. Stanowiło to problem poznawczy i ograniczało zrozumienie pewnych kwestii podstawowych. Kolejnym problemem był szeroki zakres tematyczny podczas analizy literaturowej i dyskusji pośród różnych środowisk naukowych potencjalnie zainteresowanych nawiązaniem interdyscyplinarnej współpracy naukowej. Duża liczba grup zainteresowanych dotyczyła różnych dziedzin nauk, takich jak: motoryzacja, ruch lądowy (głównie drogowy), architektura, symulacja, elektromechanika, informatyka, medycyna, przepisy prawe i inne. Ponadto, środowiska symulacyjne wykorzystujące zaawansowane symulatory kabinowe w Polsce do celów szkoleniowych są jeszcze mało popularne, niewielkie, bardzo zróżnicowane i często są hermetyczne ze względu na tajemnice handlowe czy specjalizację.

Efektem finalnym zebranej wiedzy i doświadczeń z różnych ośrodków szkolących z wykorzystywaniem symulatorów było określenie braku specjalistycznej wiedzy, wytycznych dla tworzenia scenariuszy wirtualnych zadań i niedoskonałości w tematyce stosowania zaawansowanych stanowisk symulacyjnych cywilnych pojazdów drogowych do pełnego wykorzystania potencjału tego typu maszyn, w odróżnieniu od podobnych stanowisk symulacyjnych pojazdów latających i pływających, które mają narzucone bardzo szczegółowe zadania do spełnienia przez międzynarodowe prawa i normy.

Najlepszym przykładem diametralnych różnic między podejściem do szkoleń pojazdów cywilnych i wojskowych jest system szkoleń sił lotniczych [1, 6]. W przypadku symulatorów lotniczych F-16 jest to doświadczenie wyniesione z lotniczych szkół wojskowych i usankcjonowane prawnie w ramach *Continuation Training* (kontynuacja szkoleniowa), która jest prawną koniecznością okresowej weryfikacji zdolności oraz umiejętności pilotów do wykonywania zadań, zgodnie z wymogami Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA). Jednym z podstawowych zadań polskiego pilota wojskowego F-16 na symulatorze lotniczym tego typu maszyny jest udowodnienie czy potrafi sterować głównym komputerem samolotu bez odrywania rąk od wolantów sterujących, dzięki którym jest w stanie zarządzać całym systemem, nawet w sytuacji potencjalnie niebezpiecznej. Natomiast w przypadku szkoleń kierowców pojazdów drogowych ma się bardzo ogólne zalecenia wynikające z dyrektywy 2003/59/WE, odnoszące się jedynie do grup kierowców autokarów i pojazdów ciężarowych o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 3,5 Mg, na podstawie której opracowano szczegółowy załącznik do rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 8 kwietnia 2011 r. (poz. 444) w sprawie urządzenia do symulowania jazdy w warunkach specjalnych. Określa on

głównie wymagania techniczno-organizacyjne i zakres funkcjonalności realizowanej przez symulator bez podawania wytycznych szkoleń, które powinny zawierać cele główne oraz dodatkowe wraz z opisywanymi przykładowymi scenariuszami symulacyjnymi [4, 38].

W tym miejscu należy wyraźnie podkreślić, że używając w pracy terminu identyfikacja cech, rozumie się go tradycyjnie, jako wybór cech i ocenę ich ważności, a nie w znaczeniu rozpoznania (sporządzenie opisu matematycznego) właściwości statycznych i dynamicznych układu.

2.2. Cel i zakres pracy

Przedstawione we wstępie, genezie i w kolejnych rozdziałach informacje z obecnej sytuacji z zakresu bezpieczeństwa transportu drogowego, krytycznej oceny stanowisk symulacyjnych i braku specjalistycznych, powszechnych oraz spójnych wymagań metodycznych do szkoleń kierowców pojazdów osobowych przy wykorzystaniu zaawansowanych symulatorów jazdy, stanowią genezę niniejszej rozprawy doktorskiej. Na tej podstawie sformułowano cel główny pracy, jakim jest:

Identyfikacja cech systemu antropotechnicznego, będącego połączeniem symulatora pojazdu samochodu osobowego i kierowcy w ujęciu bezpieczeństwa i ekologii transportu

W ramach realizacji głównego celu rozprawy doktorskiej przyjęto podział pracy, ze względu na tematykę, na dwie odrębne grupy tematyczne. W pierwszej części przedstawiono badania związane z krytyczną oceną stanowiska symulacyjnego. Natomiast w drugim etapie bazowano na opracowaniu zaleceń metodycznych z zakresu prowadzenia szkoleń wykorzystujących zaawansowany symulator pojazdu osobowego. Zostały również opracowane cele dodatkowe pracy, jakimi są:

- określenie kryteriów oceny symulatora,
- identyfikacja wybranych elementów symulatora pojazdu osobowego,
- sformułowanie narzędzi do oceny symulatora,
- opracowanie metodologii badań symulacyjnych w ujęciu bezpieczeństwa i ekologii transportu,
- opracowanie zaleceń w kwestii korzystania ze stanowisk symulacyjnych.

Na potrzeby realizacji wskazanych wcześniej zadań rozprawy doktorskiej konieczne było opracowanie autorskiego zestawienia metod badawczych. Głównymi problemami był wysoki poziom złożoności, duża liczba i różnorodności pomiarów, wpływ czynnika ludzkiego, problematyczne zagadnienia i niejednoznaczność badań związane ze specyfiką działania systemu antropotechnicznego człowiek–pojazd osobowy, brak usankcjonowanych jednoznacznych procedur, norm lub wytycznych badawczych, które mogłyby zostać wykorzystane do osiągnięcia zakładanych podobnych celów. Na potrzeby realizacji celów: głównego i dodatkowych przyjęto selekcję wybranych cech wcześniej wspomnianego systemu i realizację uproszczonych badań.

3. Opis stanowiska symulacyjnego

3.1. Stanowisko symulacyjne

Głównym narzędziem wykorzystywanym w niniejszej pracy doktorskiej jest symulator pojazdu osobowego AS1200-6 norweskiej firmy AutoSim. Jest to zestaw składający się z pełnowymiarowego trenażera kabiny pojazdu umieszczonego na ruchomej podstawie o sześciu stopniach swobody (eMove eM6-400) i systemu informatycznego zarządzającego działaniem całego symulatora. W przypadku modelu zakupionego przez dawny Instytut Silników Spalinowych i Transportu (ISSiT, Politechnika Poznańska), a obecnie Instytut Silników Spalinowych i Napędów (ISSiN, Politechnika Poznańska) została wybrana konfiguracja bazująca na kabinie pojazdu Lancia Ypsilon z 2011 r., z ekranem sferycznym wycentrowanym wokół głowy kierowcy, obejmującym 220^{o} o wysokości 4 m (rys. 3.1). Realizacja wizualizacji wirtualnego otoczenia jest wykonywana przez 4 rzutniki multimedialne i 3 ekrany LCD pełniące rolę lusterek w wirtualnej rzeczywistości.



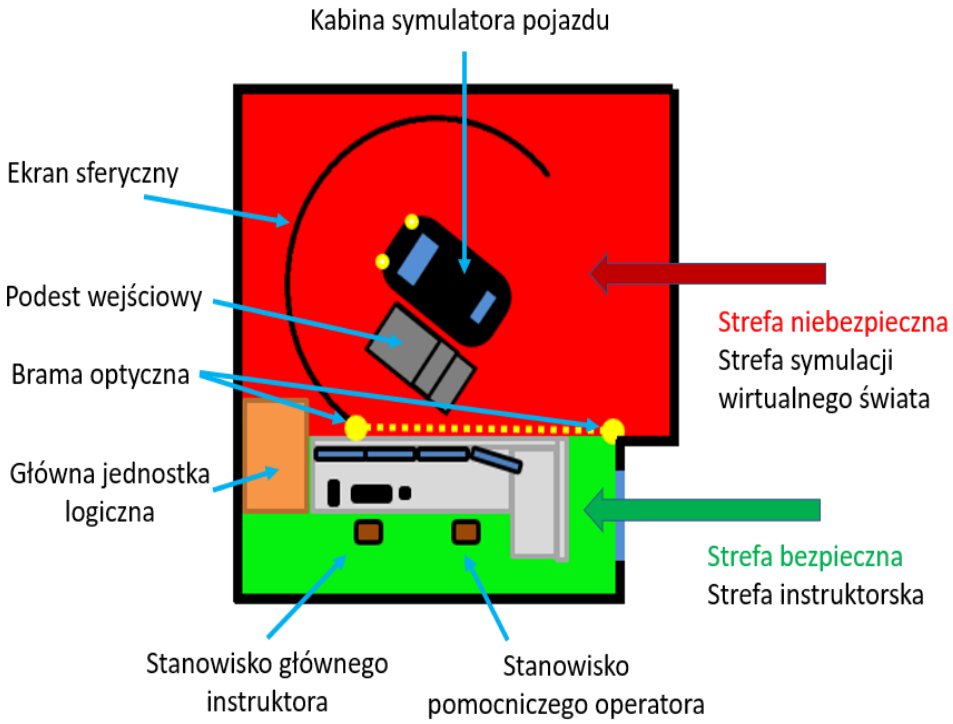
Rys. 3.1. Widok obiektu badań stanowiącego kabinę główną symulatora pojazdu Lancia Ypsilon

Opisywany zestaw o unikalnej konfiguracji jest tylko w ISSiN, ale komercyjnie podobne rozwiązania są sprzedawane i wykorzystywane w różnych ośrodkach szkolenia kierowców oraz badawczo-naukowych na terenie UE i Kanady. Podobny zestaw o zbieżnej konfiguracji jest wykorzytywany w Instytucie Transportu Samochodowego w Warszawie. Głównymi cechami tego zestawu podawanymi przez producenta są takie elementy, jak:

- wykorzystywanie kabiny rzeczywistego pojazdu,
- system o sześciu stopniach swobody ruchu,
- sprzężenie zwrotne układu kierowniczego,
- panoramiczny przedni obraz,
- zaawansowana technologia dźwiękowa,
- możliwość współdziałania przez sieć wielu symulatorów lub modułów peryferyjnych, np. hamownia silnikowa będącą w sprzężeniu zwrotnym z symulatorem,

- możliwość modyfikacji i rozbudowy symulatora o nowe elementy współdziałające z stanowiskiem badawczym.

Stanowisko symulacyjne pojazdu osobowego zostało zaprojektowane jako docelowe połączenie z rzeczywistą hamownią dynamiczną silnika spalinowego, do badań z zakresu eksploatacji silników spalinowych, systemów antropotechnicznych, ekologii transportu i umiejętności oceny kierowców. Laboratorium symulacyjne podzielono na dwie strefy (rys. 3.2) ze względów bezpieczeństwa i lepszego odbioru wirtualnej przestrzeni przez osobę kierującą symulowanym pojazdem. Było to konieczne ze względu na uzyskanie lepszego efektu immersji wirtualnej przestrzeni, gdzie to kierowca ma do zrealizowania zadania wynikające ze scenariusza symulacyjnego.



Rys. 3.2. Schemat organizacyjny laboratorium symulacyjnego

Ponadto, w ramach poprawy stanowiska instruktorskiego i symulatora, zdecydowano się na wprowadzenie zmian optymalizacyjnych, umożliwiając tym samym wygodniejszą i efektywniejszą realizację prac związanych z przeprowadzeniem scenariuszy symulacyjnych i związanych z nimi badań naukowych. Do najistotniejszych zmian należały takie elementy, jak:

- zmiana ergonomiczna ustawień peryferii dla instruktora – przez odpowiednie skonfigurowanie ustawień ekranów i innych peryferii stanowiska, stała się możliwa lepsza oraz łatwiejsza analiza bieżącej sytuacji przez jednego instruktora, z możliwością równoczesnej kontroli wirtualnego świata;
- zmieniono kontrole dźwięków odtwarzanych w symulatorze – w pierwotnej konfiguracji brakowało sposobu kontroli odwzorowania akustycznego w kabinie kierowcy. Przez zamontowanie przy stanowisku instruktorskim dodatkowego elementu w postaci miksera audio i modyfikacji linii dźwiękowych uzyskano nowe, lepsze możliwości, które wpłynęły pozytywnie na efekty immersji symulacji;
- wprowadzano procedury przygotowawcze stanowiska symulacyjnego do zajęć dydaktycznych i użytkowych – dzięki zastosowaniu stosownych procedur inicjali-

zacyjnych oraz obsługi stanowiska, zgodnie z wytycznymi producenta, uzyskano lepszą stabilność jego działania i warunki środowiskowe do długotrwałej pracy w warunkach zmroku dla kierowców oraz obsługi stanowiska;

- zwiększenie bezpieczeństwa stanowiska przez zastosowanie dodatkowych elementów oświetleniowych – efekty świetlne w postaci podświetleń stopni do symulatora spowodowały ograniczenie ryzyka niezauważenia podestów, a w konsekwencji potknięć lub upadków osób wsiadających i wysiadających z kabiny symulatora umieszczonej 1,5 m nad ziemią;
- przygotowano rozdzielenie stref klimatycznych między salą symulatorową widoczną na rys. 3.3 a kabiną pojazdu – istotny wpływ na zwiększenie czasu obsługi symulatora przez kolejnych bądź nowych kierowców miało na celu obniżenie i łatwiejsze utrzymanie temperatury na poziomie około 20°C. Dzięki takim działaniom i połączeniu odpowiedniego scenariusza symulacyjnego opóźniono występowanie znaczących i nieprzyjemnych symptomów choroby symulatorowej z około 20–30 min do ponad 60 min lub odnotowano całkowity brak u osób uczestniczących w realizowanych badaniach;
- stworzono punkt dostępowy do obwodów pomiarowych jednostki logicznej symulatora – było to spowodowane koniecznością zastosowania syntetycznego kierowcy o powtarzalnych wymuszeniach w bardzo dokładnych odstępach czasowych, przy ograniczeniach sprzętowych. Obwody, których to dotyczy są odpowiedzialne za zbieranie informacji o położeniu nastaw pedałów sprzęgła, hamulca, gazu i hamulca postojowego. Rozwiązanie to umożliwiło weryfikację działania sprzętu symulacyjnego w warunkach „optymalnych" do oceny reakcji systemu na wymuszenia skokowe.



Rys. 3.3. Widok stanowiska sterującego symulatorem

3.2. Oprogramowanie symulatora

Zakupiony zestaw symulatora pojazdu osobowego AS1200-6 firmy AutoSim jest wyposażony w różnego typu oprogramowanie umożliwiające pełne wykorzystanie

funkcjonalności stanowiska. Można je podzielić na następujące grupy, ze względu na zastosowanie i przeznaczenie:

- przeprowadzanie szkoleń symulacyjnych,
- tworzenie i modyfikacje scenariuszy symulacyjnych,
- serwisowo-diagnostyczne,
- deweloperskie do rozszerzania potencjału stanowiska.

Natomiast w ramach głównych cech funkcjonalnych warstwy programistycznej, wyróżniającej zestaw, można wyróżnić w niej takie elementy jak:

- tworzenie komunikatów w dowolnym preferowanym języku dla realizowanych scenariuszów symulacyjnych,
- zaawansowany i ciągle rozwijany system SimWorld firmy AutoSim,
- automatyzacja i ewaluacja scenariuszy treningowych,
- zdalne debugowanie problemów przez AutoSim przez internet,
- indywidualna konfiguracja istotnych parametrów symulowanych pojazdów i elementów wirtualnego świata,
- różnorodna forma kooperacji kierowcy z instruktorem,
- możliwość łączenia różnych stanowisk w ramach jednej wirtualnego świata,
- tworzenie zdarzeń w scenariuszu symulacyjnym opartych na sztucznej inteligencji, bądź na programach wywoływanych danymi zdarzeniami.

Zastosowane rozwiązania dla systemu szkoleniowego zapewniają możliwość zrealizowania podstawowych zadań z zakresu szkoleniowo-treningowego przedstawionego przez prawodawców, dla certyfikowanych symulatorów drogowych, takich jak np.:

- zapoznanie z kabiną pojazdu,
- nauka operowania skrzynią biegów i pedałami,
- obserwowanie obrazu w lusterkach,
- utrzymywanie dystansu,
- utrzymywanie prędkości pojazdu i silnika,
- hamowanie i zatrzymywanie,
- skręcanie na skrzyżowaniach,
- ekojazda,
- prowadzenie pojazdu na rondzie,
- jazda pod górę i z góry, latem lub zimą,
- wpływ zmiennych warunków atmosferycznych,
- złożone manewry techniczne z prowadzenia pojazdu,
- cofanie,
- parkowanie,
- treningi bezpieczeństwa.

4. Metodyka badań

4.1. Wprowadzenie

Głównymi założeniami w przedstawionej pracy była realizacja postawionych celów, zgodnie z hasłem klasycznej metrologii sformułowanej przez Galileusza: „Policz to, co można policzyć, zmierz to, co zmierzyć, a to co jest niemierzalne, uczyń mierzalnym". Liczba zadań i złożoność tematów oraz odmienne tematyki problematyki poszczególnych celów głównych i dodatkowych spowodowały potrzebę zastosowania różnych form i metod badawczych. Równocześnie chciano zastosować uniwersalne metody badawcze, które mogą być powielone i wykorzystywane na innych stanowiskach symulacyjnych, gdzie mogą być różne rozwiązania symulacyjne, zależnie od typu i celu danego stanowiska symulacyjnego. Zdecydowano się rozdzielić zastosowaną metodologię, zgodnie z poniższymi grupami tematycznymi:

- rejestracja wybranych zmiennych,
- identyfikacja stanowiska,
- ocena stylu jazdy,
- ocena stanowiska.

Powyższy podział został stworzony przez autora pracy, który zależnie od sytuacji może być modyfikowany i rozbudowany o nowe elementy, zależnie od problematyki i zadań wymaganych do spełnienia.

4.2. Metodyka rejestracji wybranych zmiennych

Na potrzeby realizacji celów rozprawy opracowano specjalnie dostosowany program rejestracyjny dla wybranych kluczowych zmiennych związanych z realizacją scenariuszy symulacyjnych. Zdecydowano, jako wartość częstotliwości rejestracji danych z symulacji, zastosować wartość 20 Hz (0,05 s), ze względu na czas reakcji kierowcy (przeciętnie szacowany w zakresie 0,7–1,0 s lub nawet od 0,3 s dla osób o szczególnych predyspozycjach). Podobne wcześniejsze badania na poziomie rejestracji zmiennych z częstotliwością 10 Hz (0,1 s) potwierdziły konieczność uszczegółowienia procesów szybkozmiennych. Ograniczono zbieranie informacji wyłącznie do pojazdu kierowanego przez rzeczywistego kierowcę z powodów skoncentrowania wyłącznie uwagi na systemie antropotechnicznym, składającym się z rzeczywistego kierowcy i kierowanego przez niego wirtualnego pojazdu. Inne obiekty w symulacji były pomijane z powodu braku przydatności w zakresie realizacji głównych celów pracy i interakcji, wynikającej z przyjętego scenariusza symulacyjnego.

Zdecydowano się na rejestrację 129 zmiennych, które przeważnie stanowiły poszczególne wartości obliczeń zmiennych z realizacji symulacji, za wyjątkiem zakodowanego ustawienia stanów logicznych wszystkich rejestrowanych przełączników z kabiny symulatora. W ramach dalszych badań i analiz zdecydowano się ograniczyć prace do kluczowych rejestrowanych wartości symulacji, wykorzystywanych w kolejnych etapach pracy. Było to podyktowane koniecznością stworzenia czytelnego i prostego systemu wspierającego ocenę przez instruktora, który będzie też zrozumiały dla każdego kierowcy, w celu przybliżenia mu współzależności między podstawowymi zmiennymi wpływającymi istotnie na końcowy wynik bezpieczeństwa oraz ekonomii danej próby przejazdu wirtualnego pojazdu. Obrano kluczowe zmienne wartości opisujące model głównego pojazdu sterowanego przez kierowcę, stanowiące fundament do dalszych prac analitycznych.

Były to następujące zmienne:

- czas systemowy rejestracji pomiarów,
- prędkość pojazdu,
- przyspieszenie pojazdu,
- obciążenie silnika,
- prędkość obrotowa wału korbowego silnika,
- operowanie skrzynią biegów,
- chwilowe zużycie paliwa,
- całkowite zużycie paliwa.

4.3. Metodyka identyfikacji stanowiska

4.3.1. Wprowadzenie

Kolejnym zadaniem było opracowanie metodyki identyfikacji stanowiska symulacyjnego pojazdu osobowego. Było to konieczne w celu sprawdzenia i określenia, jak wpływa zaimplementowana konfiguracja stanowiska na dane wymuszenia związane z interakcją kierowcy. Przebadano również wartości zmiennych podstawowych elementów środowiskowych, które można modyfikować w symulacji. Zdecydowano się zastąpić oryginalne wymuszenia ludzkie przez rozwiązania elektroniczne i elektromechaniczne, w celu otrzymania powtarzalnych sygnałów sterujących i ograniczenia rozrzutu wyników.

Do weryfikacji częstotliwości rejestracji danych wykonano 15 prób przejazdów z syntetycznym kierowcą bez załączonych systemów ESP i ABS, z automatyczną skrzynią biegów. Pojazd miał za zadanie rozpędzić się do maksymalnej prędkości przy maksymalnym wymuszeniu z pedału przyspieszenia w określonym czasie, a następnie rozpocząć hamowanie awaryjne przy maksymalnym wymuszeniu z pedału hamulca. Po każdym wymuszeniu pojazd był przenoszony do punktu wirtualnego startu, po zakończeniu hamowania.

4.3.2. Analiza dokumentacji symulatora

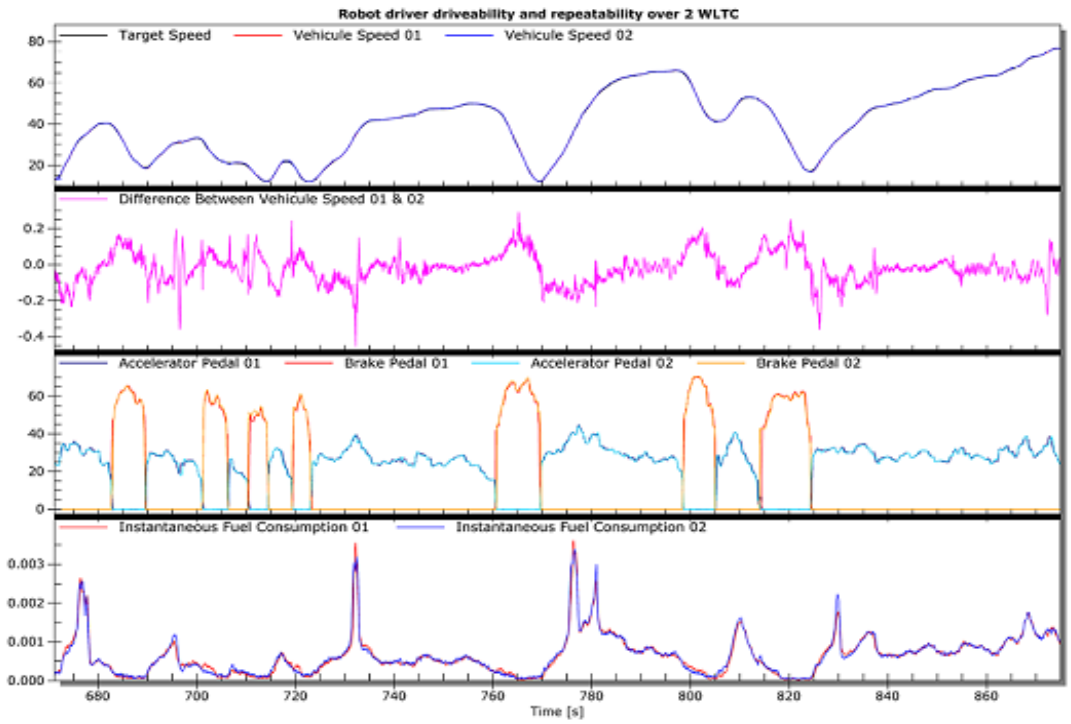
Symulator pojazdu osobowego znajdujący się w Instytucie Silników Spalinowych i Napędów jest rozwiązaniem systemowym zakupionym od firmy AUTOSIM model AS1200-6. Zgodnie z wymaganiami formalnymi kontraktu i wymaganiami wynikającymi z dyrektywy 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 17 maja 2006 r. otrzymano pakiet podstawowych oraz dodatkowych dokumentów opisujących działanie stanowiska treningowego. Bardzo istotnym elementem były dodatkowe szkolenia producenta wyjaśniające praktyczne zagadnienia z zakresu obsługi i użytkowania. Również dzięki ciągłej współpracy i pomocy dostawcy systemu było możliwe poszerzenie wiedzy, lepsze zrozumienie zasad eksploatacyjnych oraz ogólna poprawa działania przedmiotu badań w trakcie realizowanych prac edukacyjnych, projektowych i badawczych. Dzięki dogłębnej analizie dokumentacji było możliwe określenie możliwości i ograniczeń mechanicznych, elektronicznych, elektro-mechanicznych oraz systemowych dla wirtualnego świata. Punkt ten stanowił istotny krok w celu określenia dalszych zadań, które miały wskazać braki wiedzy i potwierdzić zakres przydatności stanowiska do przyszłych prac badawczych.

4.3.3. Sztuczny kierowca testowy

Rozwiązania tego typu stosuje się obowiązkowo w badaniach systemów bezpieczeństwa dla nowoczesnych pojazdów drogowych. Przykładem komercyjnego rozwiązania firmy Greenmot jest urządzenie o nazwie *Driver Robot* (robotyczny kierowca). Jest to uniwersalny system symulujący kierowcę pojazdu (rys. 4.1), który gwarantuje powtarzalność i dokładność wymuszeń dla badanego pojazdu (rys. 4.2). Bardzo często jest on wykorzystywany do różnego typu badań certyfikacyjnych, testów drogowych i w różnego rodzaju laboratoriach związanych z: badaniami emisji spalin, zużycia paliwa, zużycia oraz zarządzania energią elektryczną, wytrzymałości, transmisją mocy, napędów, hałasu, wibracji, niszczącymi czy też rozwojowymi.



Rys. 4.1. Przykłady zamontowanego sztucznego kierowcy do realizacji badań [93]

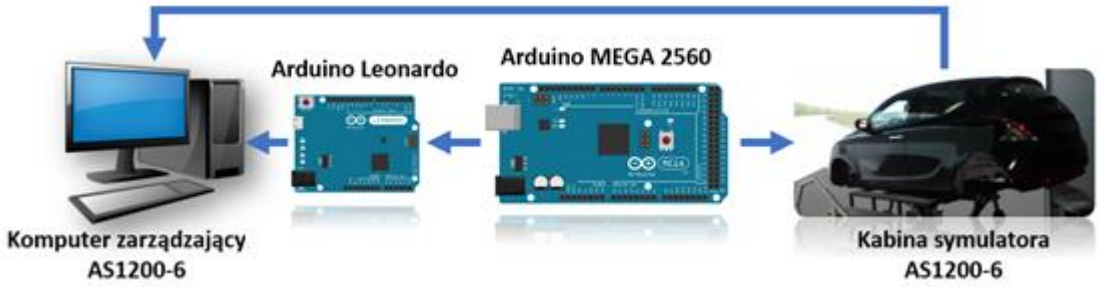


Rys. 4.2. Przebiegi czasowe wybranych parametrów rejestrowanych przez urządzenie oferowane przez firmę Greenmot [93]

Zbadanie stanowiska symulacyjnego wymagało zweryfikowania jak zachowuje się przyjęty przez producenta symulatora model matematyczny wirtualnego pojazdu względem wybranych sygnałów sterujących pochodzących od kierowcy i wirtualnego otoczenia. W wyniku zastąpienia wybranych sygnałów mechanicznych przez sterowanie elektroniczne było możliwe stworzenie uproszczonego sztucznego kierowcy bazującego na prostych układach elektronicznych. Rozwiązanie to spowodowało konieczność pominięcia niektórych układów mechaniczno-elektrycznych, np. dla pedałów kierowcy oraz przyjęcie uproszczonych założeń dla realizacji prób badawczych.

Przyjęte rozwiązanie nie wpłynęło negatywnie na identyfikację całego systemu symulacyjnego, czy też na zebrane dane pomiarowe. Dzięki zastosowaniu takiego rozwiązania uzyskano znacząco ograniczenie kosztów sprzętowo-programistycznych względem rozwiązania oferowanego przez firmę Greenmot. Stworzono sztucznego kierowcę, który wyeliminował błędy i niedoskonałości psychofizyczne rzeczywistych kierowców oraz umożliwił wykonanie skomplikowanych i czasochłonnych badań w akceptowalnym czasie.

Głównym elementem wykonawczym i sterującym był moduł prototypowy Arduino MEGA 2560, który pełnił zadania związane z sterowaniem pojazdem. Realizował to przez sterowanie sygnałami elektrycznymi odpowiedzialnymi za hamulec ręczny, ustawienie pozycji pedałów pojazdu, pozycje kierownicy za pomocą serwomechanizmu, oraz wydawał komendy sterujące dla głównego komputera zarządzającego całym symulatorem, przez połączony dodatkowy moduł Arduino Leonardo. Zadanie drugiego układu było ograniczone wyłącznie do emulowania systemowej dodatkowej klawiatury, odpowiedzialnej za wydawanie komend dla programu symulacyjnego. System ten zobrazowano na rys. 4.3.



Rys. 4.3. Widok kierunku sterowania stworzonego rozwiązania dla sztucznego kierowcy na potrzeby realizacji badań identyfikacyjnych

4.3.4. Wirtualny świat

Realizację badań oparto na skonfigurowanym zestawie symulacyjnym od producenta, stanowiącym narzędzie do realizacji celów głównych i dodatkowych. W założeniach dotyczących eksperymentów przyjęto stosowanie jednego typu wirtualnego pojazdu bazującego na rzeczywistym odpowiedniku – samochodzie Volkswagen Golf czwartej generacji (rys. 4.4).

Identyfikacja stanowiska była realizowana z zastosowaniem dwóch prostych map symulacyjnych wirtualnych przestrzeni. Pierwsza mapa o nazwie „infinity" była to mapa pustej przestrzeni bez żadnych dodatkowych elementów poza płaską drogą, pojazdem wirtualnym i sferą nieba. Druga mapa „airport" była to prosta implementacja prostego lotniska o dwóch pasach z podstawową infrastrukturą lotniskową bez żadnych

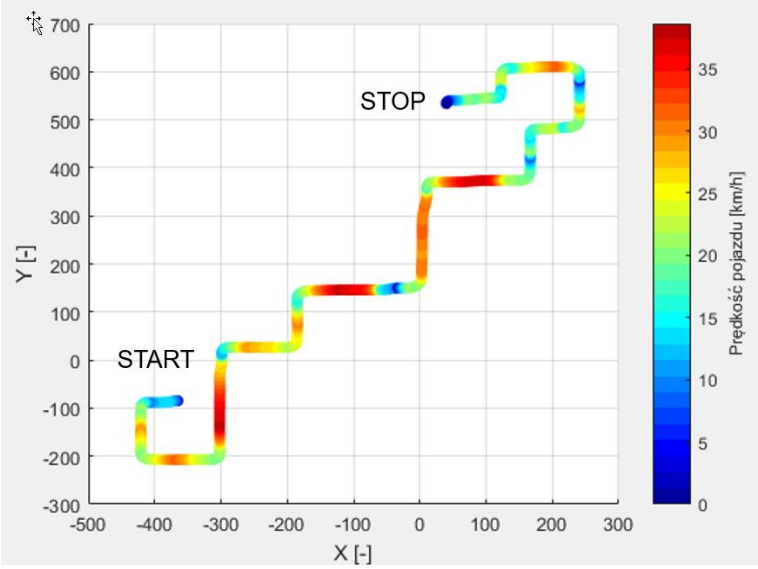
dodatkowych elementów aktywnych, gdzie jej zastosowanie było podyktowane koniecznością posiadania punktów referencyjnych, w związku z niektórymi badaniami identyfikacyjnymi.



Rys. 4.4. Widok wirtualnego pojazdu kierowanego przez rzeczywistego kierowcę podczas realizacji programu symulacji [51]

Badania związane ze stylem jazdy badanego kierowcy były realizowane na dwóch złożonych odmiennych mapach przestrzeni wirtualnych. Założono na potrzeby realizacji zadań o nieumieszczaniu dodatkowych elementów, uczestników wirtualnego ruchu drogowego mogących różnie wpływać na badanych kierowców.

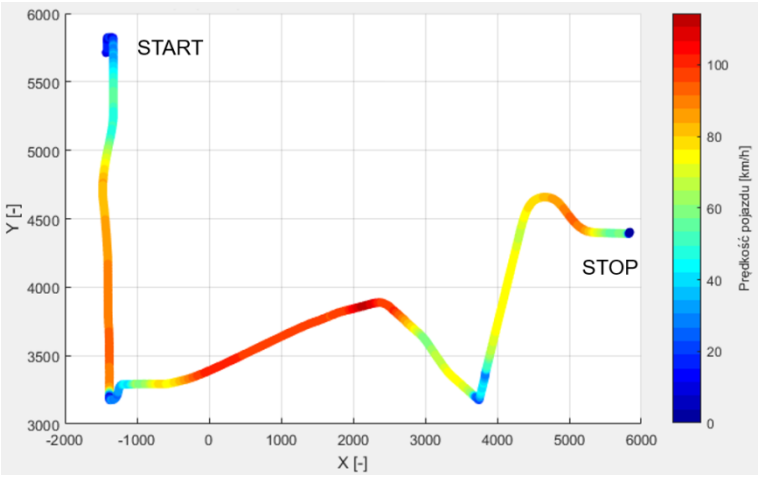
Pierwszą z map była mapa miejska z licznymi skrzyżowaniami nierównorzędnymi, z sygnalizacją świetlną, ograniczeniem prędkości do 50 km/h, gdzie obrano przebieg trasy zgodny z przedstawionym na rys. 4.5. Charakterystyka mapy i trasy przejazdu była wypełniona różnymi blisko i daleko położonymi obiektami (znaki drogowe, skrzyżowania czy budynki), a także wymagająca częstych zmian kierunku ruchu sterowanego pojazdu.



Rys. 4.5. Widok trasy zarejestrowanego przejazdu na mapie miejskiej

Natomiast badania realizowane na drugiej mapie były osadzone w rzeczywistości podmiejskiej, gdzie kierowca miał za zadanie przejechać z jednego terenu zabudowanego do drugiego przez drogi krajowe i odcinek drogi ekspresowej (rys. 4.6). Trasa

ta posiadała zdecydowanie mniejszą liczbę bliskich obiektów, ale większość obiektów orientacyjnych była położona w większych odległościach, wykraczających poza widzenie stereoskopowe. Również liczba koniecznych manewrów była mniejsza. Kierowca, w odróżnieniu od poprzedniej symulowanej lokalizacji, musiał dostosowywać swoją prędkość zależnie od typu drogi.



Rys. 4.6. Widok trasy zarejestrowanego przejazdu na mapie podmiejskiej

4.3.5. Rejestratory wizyjne

Podczas wykonywania badań obserwacyjnych i pomiarowych wykorzystywano kamery firmy GoPro modele Hero 3+ Black Edition oraz Hero 4 Black (rys. 4.7). Wybór zastosowania tego rodzaju kamer był podyktowany przede wszystkim ich kryterium rejestracyjnym w zakresie maksymalnej szybkości rejestracji klatek w ciągu 1 s, który dla tych modeli wynosi 240 fps przy rozdzielczości 720 p. Istotne były również takie elementy, jak: czas ciągłej rejestracji, format otrzymywanych danych, możliwości edycji zarejestrowanych danych, rozmiary fizyczne, elastyczność i uniwersalność instalacyjna, łatwość zmiany nastaw względem zadań rejestracji.



Rys. 4.7. Widok kamer GoPro Hero 4 Black Edition [92]

4.4. Metodyka oceny stylu jazdy

Opracowano autorską metodykę do oceny stylu jazdy rzeczywistego kierowcy na symulatorze pojazdu osobowego w wirtualnym świecie. Konieczne było opracowanie założeń elementów zmiennych i powtarzalnych do skutecznego zebrania odpowiedniego materiału badawczego do dalszych analiz. Głównymi przyczynami takiego podejścia była konieczność ograniczenia liczby danych i umożliwienie łatwego odtworzenia po-

dobnych prób badawczych z innymi uczestnikami, na podobnych systemach symulacyjnych. Na potrzeby realizacji eksperymentu przyjęto następujące założenia:

- badaną grupą są studenci – będący równocześnie grupą „młodych kierowców" o dużej różnorodności i przekroju doświadczenia z zakresu prowadzenia pojazdów osobowych,
- do realizacji zadań symulacyjnych będzie wykorzystany jeden typ wirtualnego pojazdu, który będzie wykorzystywany do prób rejestracyjnych,
- realizacja obsługi symulatora i elementów powiązanych musi być wykonywana przez osoby przeszkolone pod nadzorem osoby odpowiedzialnej za badania,
- trasy przejazdu muszą być ograniczone do dwóch różnych odmiennych środowisk wirtualnych, gdzie jedynym aktywnym uczestnikiem ruchu drogowego jest kierowca,
- zadaniem głównym kierowcy jest wykonanie trzech przejazdów o różnych kryteriach motywacyjnych, którymi mają być kolejno przejazdy: zapoznawczy z trasą, jak najbardziej zbliżony do spełnienia wytycznych ekojazdy i agresywny, którego kryterium będzie przejechanie trasy w jak najkrótszym czasie,
- kierowca pojazdu ma realizować przejazd przy zachowaniu rzeczywistych zasad ruchu drogowego,
- maksymalny czas na wykonanie wszystkich sześciu przejazdów to 1,5 h,
- kierowca lub obsługa symulatora może przerwać eksperyment lub pominąć wybraną grupę tras w oparciu o aktualny stan psychofizyczny osób uczestniczących w przedmiocie badań.

Elementem dodatkowym w eksperymencie był wywiad z osobami biorącymi udział w badaniach w postaci ankiety. Było to potrzebne w celu scharakteryzowania i sprawdzenia wiedzy, samooceny oraz zwyczajów badanej grupy. Stworzono autorską dwuczęściową ankietę. Pierwsza część składała się z 30 pytań o gradacji odpowiedzi: tak, raczej tak, nie wiem, raczej nie, nie. Natomiast druga zawierała trzy otwarte pytania z zakresu praktycznego. Ankieta miała charakter dobrowolny, w celu jak najlepszego scharakteryzowania grupy, gdzie poproszono o wpisywanie kolejnych odpowiedzi w ramach przyjętej kolejności pytań. Przyjęto założenie, iż czas na wypełnienie ankiety nie powinien przekraczać 20 min.

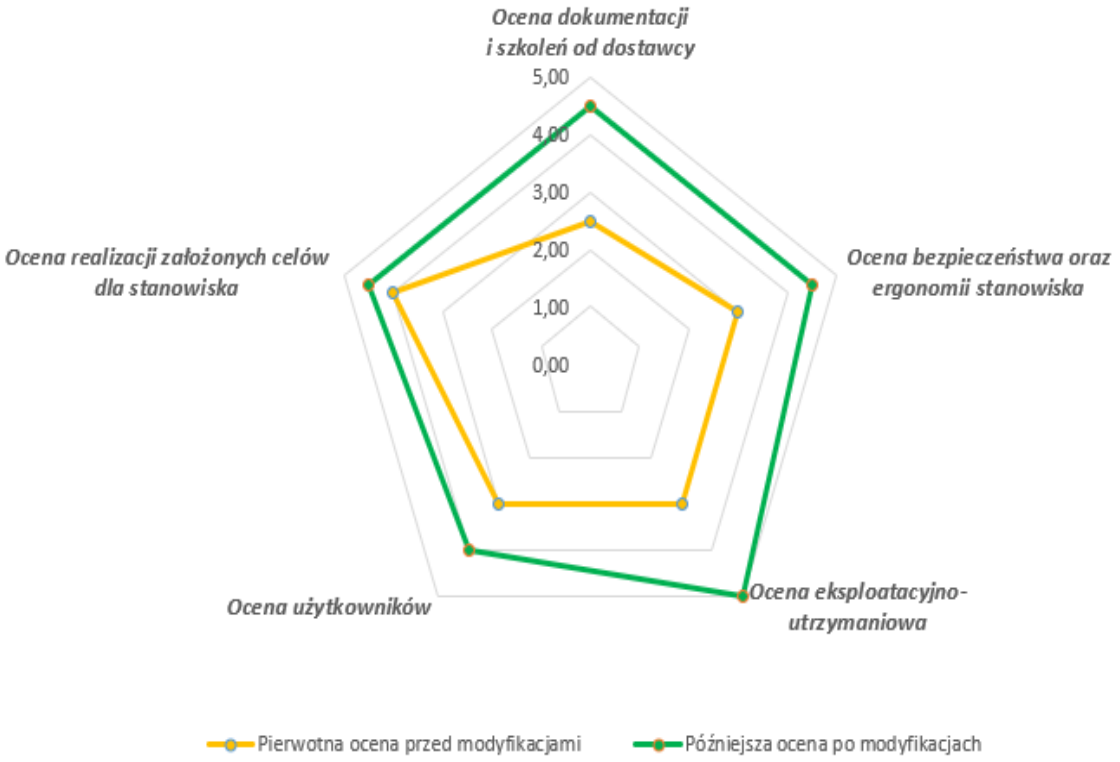
4.5. Metodyka oceny stanowiska

Jednym z najtrudniejszych zadań jest częściowa lub całościowa ocena stanowiska pod względem jego aktualnego stanu. Jest to zagadnienie złożone i bardzo często zależy od subiektywnego podejścia osoby audytującej w ujęciu obowiązujących przepisów. W przypadku zaawansowanych symulatorów bardzo często dane stanowisko jest tworzone na podstawie specyfikacji, które bazują głównie tylko na danych z norm i przepisów jednostek certyfikujących dane stanowisko do konkretnych celów, np. szkoleniowych. Takie rozwiązania podczas zamawiania stanowiska są dopuszczalne, ale według autora pracy wymagają dokładniejszej analizy celów i potencjalnych problemów stanowiska symulacyjnego. Ma to szczególne znaczenie w ujęciu jego użytkowania, utrzymaniowym i bezpieczeństwa. Również takie podejście ponownej oceny czy też audytu wewnętrznego może być bardzo przydatne dla istniejących stanowisk, które mogą posiadać wady ukryte lub wymagać kalibracji parametrycznej, czy też modernizacji w zakresie bezpieczeństwa, ergonomii itp.

Opracowano autorską ocenę stanowiska symulacyjnego przez osobę nabywającą lub posiadającą stanowisko, która bazuje na analizie:

- dokumentacji i szkoleń od dostawcy,
- bezpieczeństwa i ergonomii stanowiska,
- eksploatacyjno-utrzymaniowej,
- użytkowników,
- realizacji założonych celów dla stanowiska.

Przedstawiony podział poszczególnych ocen ma na celu zobrazowanie mocnych i słabych stron audytowanego stanowiska, które mogą wymagać dalszych działań w celu poprawy lub rozwiązania danego problemu. Szczególnie przydatne mogą być wykresy typu radarowego, które mogą łatwo zobrazować wpływ danego działania na późniejszą porównawczą ogólną ocenę stanowiska (rys. 4.8).

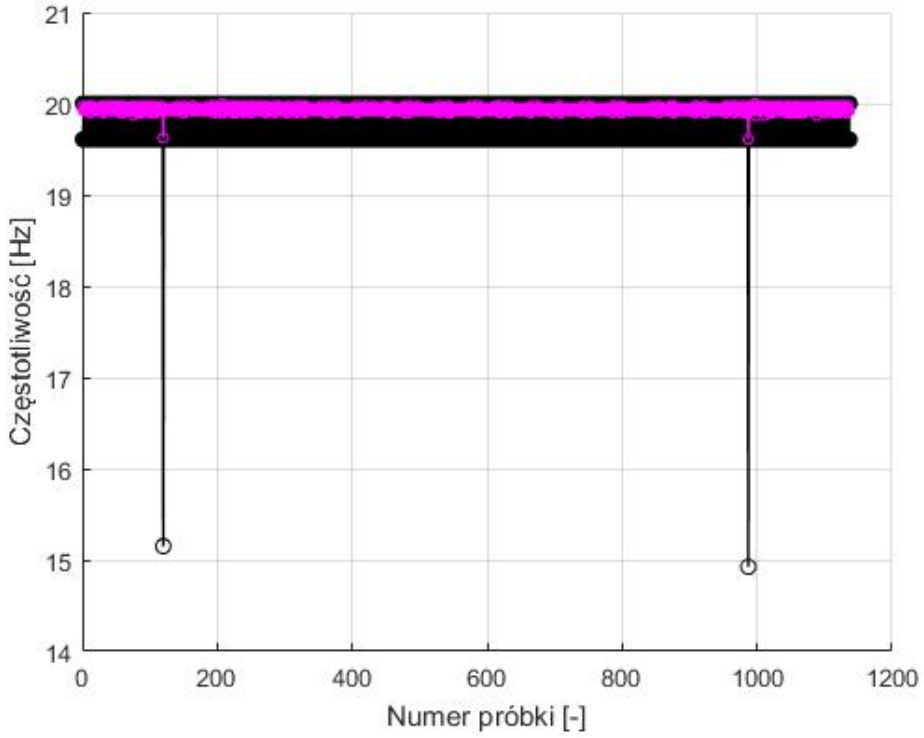


Rys. 4.8. Przykładowy wykres radarowy z oceny stanowiska symulacyjnego

5. Cechy identyfikujące stanowiska

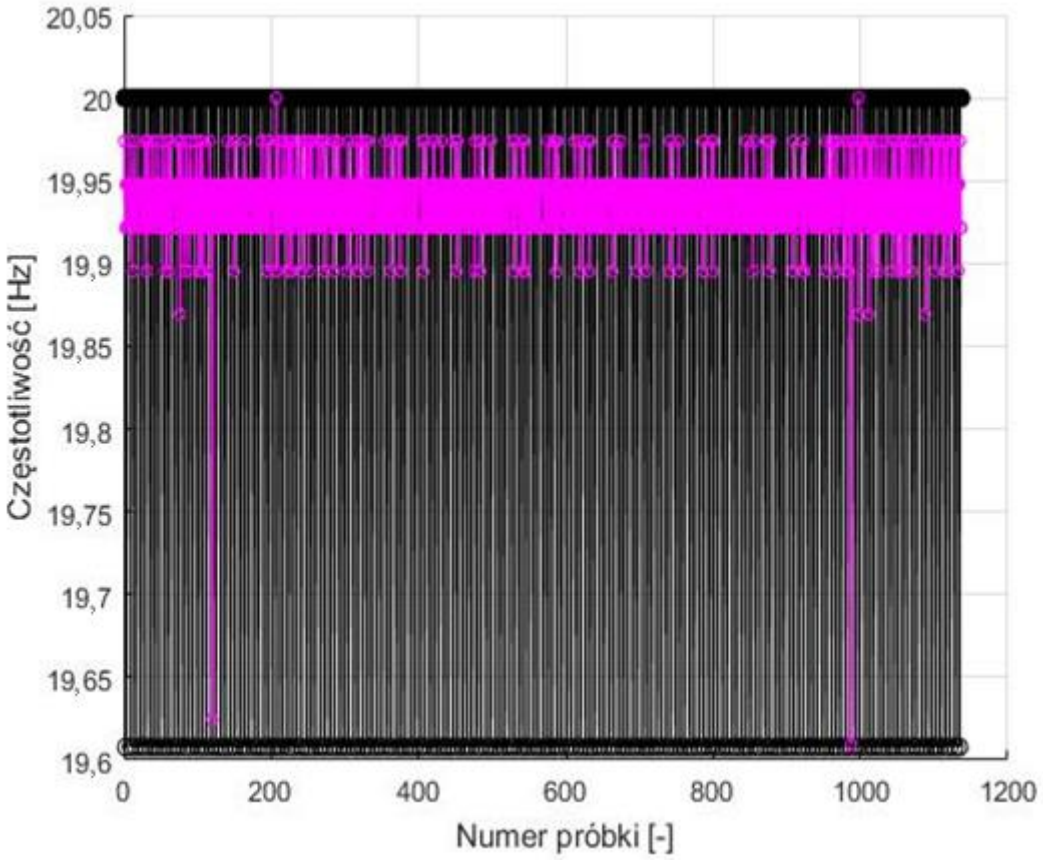
5.1. Powtarzalności częstotliwości rejestracji danych

Jednym z najważniejszych zagadnień podjętym w pracy badawczej nad systemem symulacyjnym było sprawdzenie narzędzia rejestracyjnego danych z przedmiotu badań. Pierwszym elementem analizy zebranych danych była weryfikacja stabilności i powtarzalności zapisu wartości z symulatora. W tym celu oceny posłużono się rejestrowanym czasem symulacji zapisywanym w plikach rejestracji, który jest połączony z systemem zegarowym głównego komputera symulatora. Podczas realizowanych prac badawczych przyjęto częstotliwość rejestracji danych na poziomie 20 Hz (0,05 s). Wartość tą przyjęto ze względu na konieczność rejestracji zjawisk szybkozmiennych, wynikających ze specyfiki systemu antropotechnicznego pojazd−kierowca, ale też ze względu na dokładniejsze rejestrowanie danych.

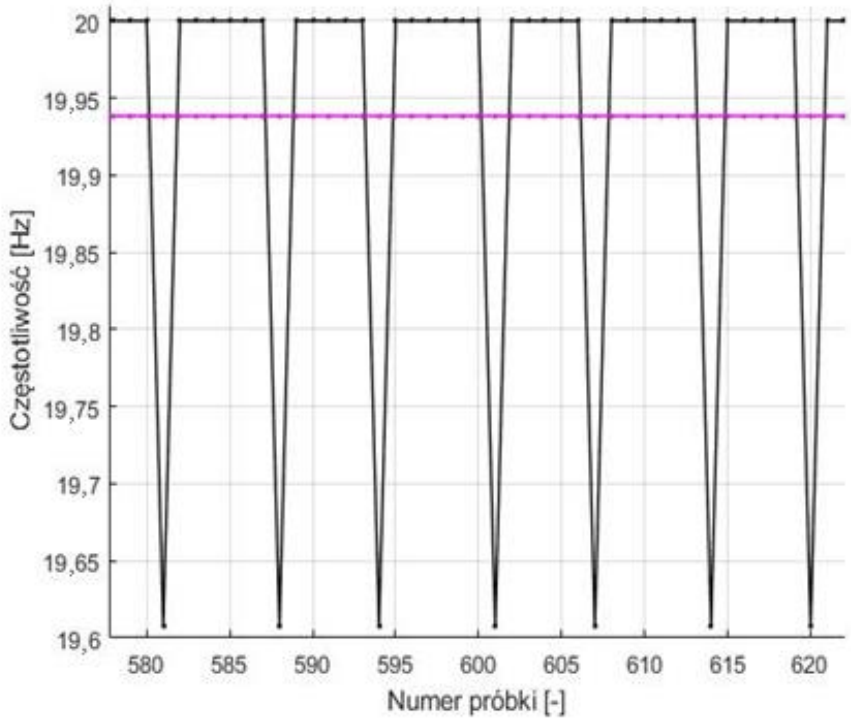


Rys. 5.1. Częstotliwości rejestracji danych w dziedzinie kolejnych próbek pomiarowych (kolor czarny) i wyliczonej średniej częstotliwości (średniej z prób)

Zarejestrowane wartości częstotliwości danych pomiarowych dla danej próbki (kolor czarny) wyraźnie wskazują główne ekstrema na poziomach 19,61 Hz i 20,00 Hz (rys. 5.1–5.3). Średnia wartość częstotliwości rejestracji danych dla analizowanego zapisu wyniosła 19,94 Hz. Wykonano również uśrednienie wartości dla danej próbki z kolejnych pomiarów (kolor różowy), które kształtuje się na poziomie od 19,92 Hz do 19,95 Hz. Na rysunku 5.1 dostrzega się również wyraźne pojedyncze wyodrębnione punkty o częstotliwości na poziomie około 15 Hz. Fluktuacje od średniej częstotliwości rejestracji danych mogą być spowodowane przez dodatkowe operacje obliczeniowe, oczyszczanie pamięci systemu symulacyjnego czy też przez opóźnienia w zapisie danych. Przybliżenie dla głównego zakresu rejestracji częstotliwości dla zakresu od 19,60 Hz do 20,05 Hz obrazuje zmiany wokół wartości średniej z prób głównie w zakresie 19,92–19,95 Hz na podobnych poziomach z odchyłkami wynoszącym około 0,30 Hz.

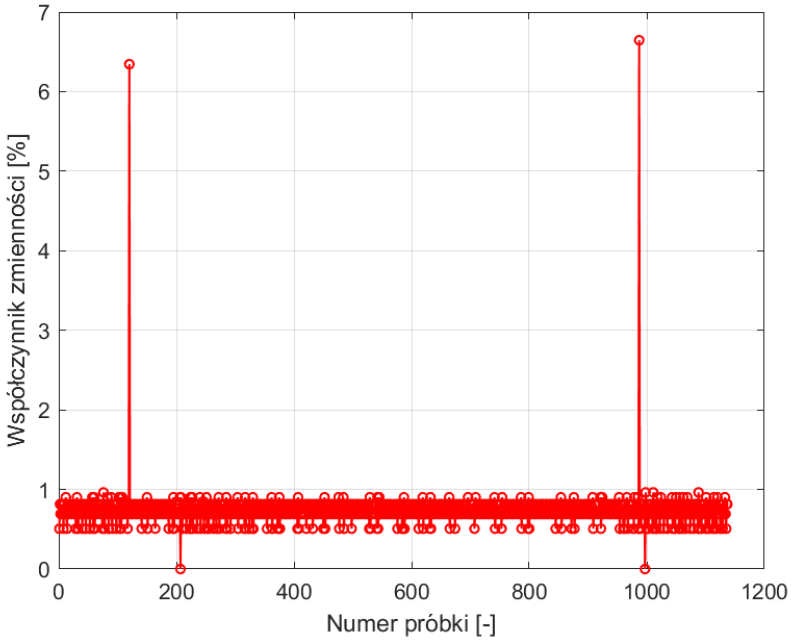


Rys. 5.2. Przybliżenie dla głównych częstotliwości rejestracji w dziedzinie kolejnych próbek pomiarowych (kolor czarny) i wyliczonej średniej częstotliwości (średniej z prób)



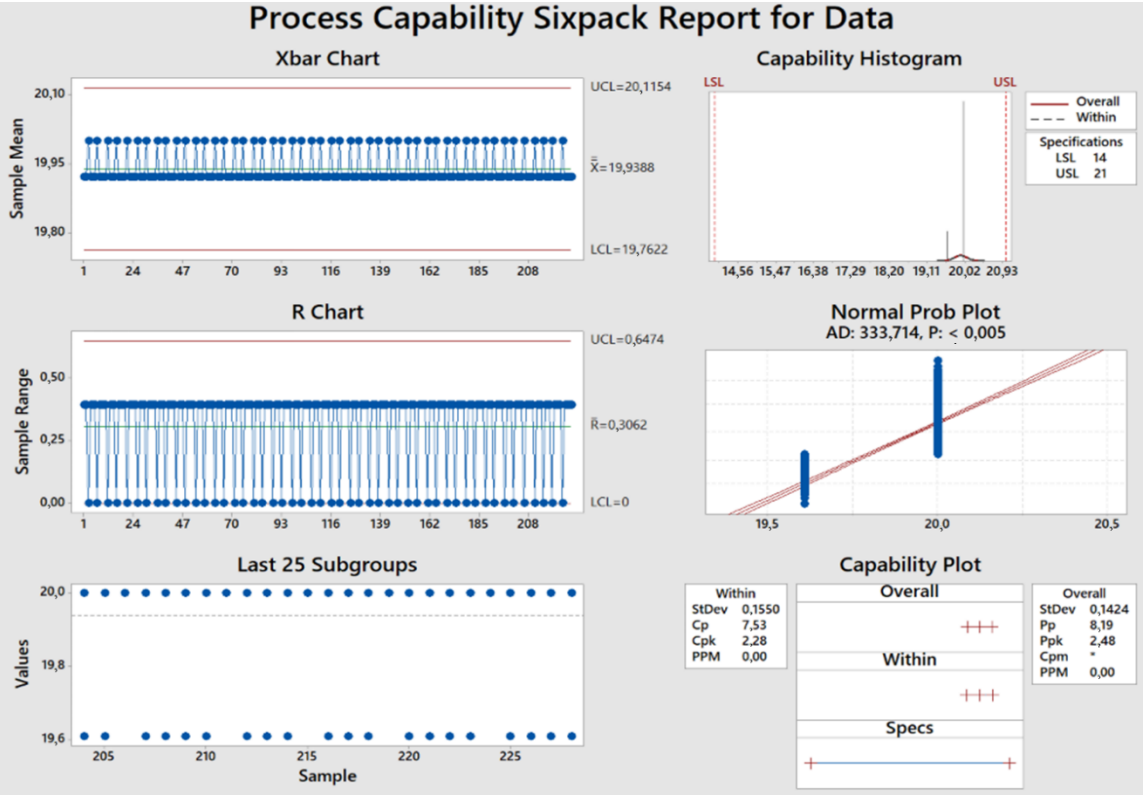
Rys. 5.3. Powiększenie częstotliwości rejestracji danych pomiarowych (kolor czarny) i średniej ogólnej częstotliwości dla całego jej zakresu (kolor różowy)

Jest to spowodowane nagłymi spadkami od zasadniczej częstotliwości rejestracji danych wynoszącej 20,00 Hz do poziomu 19,61 Hz co około szóstą zarejestrowaną próbką pomiarową. Jest to widoczne na rys. 5.3, gdzie przedstawiono powiększenie pojedynczego wycinka częstotliwości rejestracji danych (kolor czarny) z niesioną średnią ogólną całej próby rejestracyjnej (kolor różowy). Przeprowadzono również analizę współczynnika zmienności dla zebranych prób rejestracyjnych (rys. 5.4). Zdecydowana większość analizowanych próbek posiadała wartości współczynnika zmienności kształtujący się głównie między 0,5% a 1,0%, za wyjątkiem wcześniej wspomnianych dwóch zaobserwowanych próbek wynoszących około 6,5%. Wspomniane punkty to miejsca, gdzie wystąpiły największe różnice w porównywanych profilach przyspieszeń w trakcie rozpoczęcia przyspieszania pojazdu oraz rozpoczęcia awaryjnego hamowania.



Rys. 5.4. Współczynniki zmienności dla częstotliwości rejestrowanych danych

Na rysunku 5.5 przedstawiono analizę danych z zastosowaniem programu Minitab18, przy założeniu idealnego rozkładu normalnego. Z analizy można odczytać, iż dane te nie mają rozkładu normalnego, ale rozmieszczone są głównie w dwóch punktach w przytoczonym przykładzie. Wyliczono, iż średnia częstotliwość rejestracji wynosi 19,9388 Hz, natomiast zmienność procesu wynosi 0,3062 Hz, rozkład wyników rejestracji jest na poziomach 20,0 Hz oraz 19,6 Hz. Odchylenie standardowe dla poszczególnych grup analizowanych danych wyniosło 0,1550 Hz oraz całościowe 0,1424 Hz. Natomiast wskaźniki zdolności procesu wyniosły dla Cp = 7,53 i dla Cpk = 2,28, wskaźniki wydajności procesu wyniosły dla Pp = 8,19 i Ppk = 2,48. Cpk wynosi powyżej 1,33, stanowiąc tym samym o stabilnym i powtarzalnym procesie dla przyjętych maksymalnych granicznych zrejestrowanych wartości częstotliwości LSL oraz USL, a równocześnie PPM zgodnie wynosi 0.



Rys. 5.5. Widok okna programu Minitab18 z wynikiem przeprowadzonej rejestracji danych i ich analizy

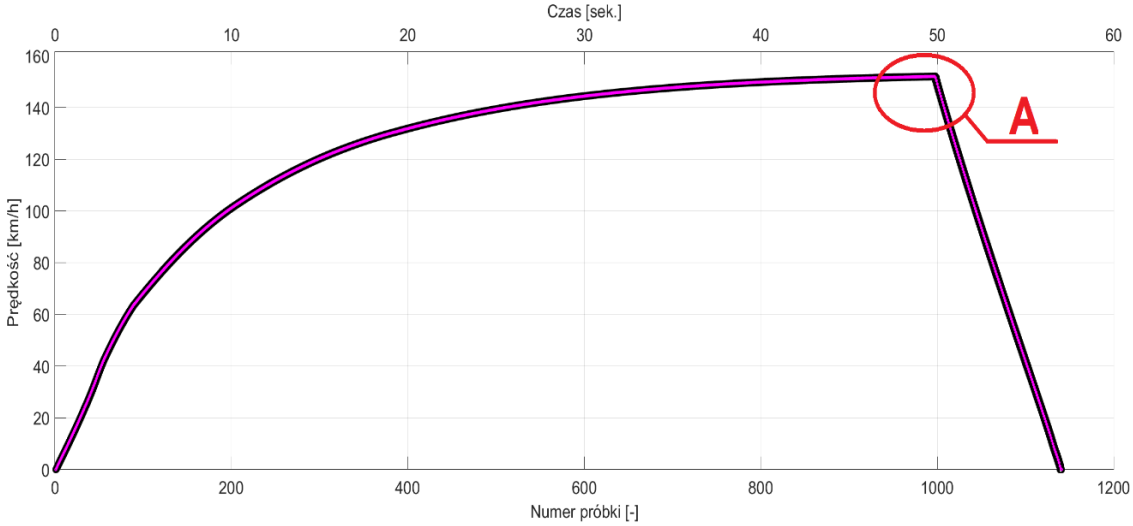
Na podstawie uzyskanych danych można wnioskować, iż system rejestracji danych z przeanalizowanego symulatora realizuje stabilną i powtarzalną pracę pomiarową w ujęciu procesowym, a tym samym jedna próbka pomiarowa odpowiada w przybliżeniu 0,05 s.

5.2. Powtarzalności systemu symulacyjnego

Kolejnym etapem weryfikacji systemu symulatora była analiza powtarzalności wymuszeń skokowych dla wybranych wartości podczas piętnastu cykli przyspieszania i hamowania wirtualnym pojazdem. Badany wirtualny samochód rozpędzał się po prostym torze do maksymalnej prędkości (około 152 km/h) jaką mógł osiągnąć w czasie około 50 s (odpowiadającym 1000 próbką rejestracji), a następnie rozpoczynał awaryjne hamowanie. Każdy cykl był poprzedzony i zakończony chwilowym postojem. System symulacyjny, pod wpływem sztucznego kierowcy, ustawiał pojazd w pozycji wyjściowej dla kolejnych próby.

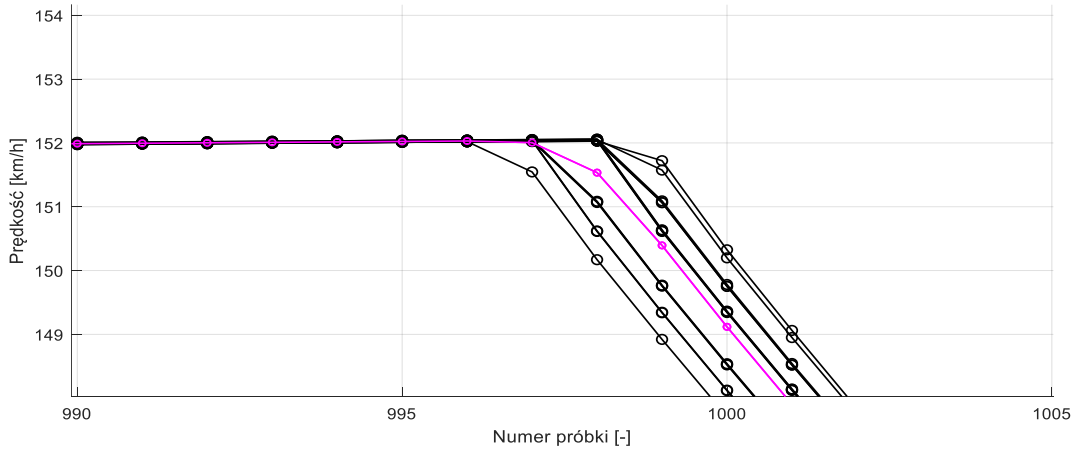
Na pierwszym wykresie (rys. 5.6) przedstawiono krzywą profilu pojazdu, która w pierwszej części od 0 do około 1000 próbki jest narastającą ze zmienną krzywizną, a od około 1000 próbki do ostatniej zarejestrowanej próbki 1140 ma przebieg zbliżony do funkcji liniowej. Największe nieregularności i najszybsze zwiększanie prędkości dla krzywej są widoczne w pierwszej fazie przyspieszania w przedziale od 0 do około 100 próbki, gdzie skrzynia automatyczna ma problem z kontrolą trakcji i następują szybkie przełączenia między pierwszym a drugim jej biegiem (aż do pełnego przełączenia na drugi bieg około 60 próbki), osiągając prędkość około 60 km/h. Kolejnym miejscem zmiany przebiegu funkcji jest zakres działania trzeciego biegu występujący między około 100 a 210 próbką, który pod koniec uzyskuje wartość około 100 km/h. Czwarty bieg trwa od około 210 do 380 próbki uzyskując prędkość 130 km/h w czasie przełą-

czenia na piąty bieg. Prędkość maksymalna uzyskana przez pojazd wynosi 152 km/h w czasie rozpoczęcia hamowania dla około 1000 próbki. Utrata całkowitej prędkości następuje liniowo do ostatniej próbki znajdującej się około 1140 dla każdej z prób. Zaobserwowano również różnice w zakresie jednej próbki pomiarowej w punkcie zakończenia przyspieszania, a rozpoczęcia hamowania, który oznaczono szczegółem A.



Rys. 5.6. Profile prędkości prób pojazdu (kolor czarny), średniej wartości (kolor różowy) i zaznaczonym szczegółem „A" w miejscu zakończenia przyspieszania i rozpoczęciu hamowania

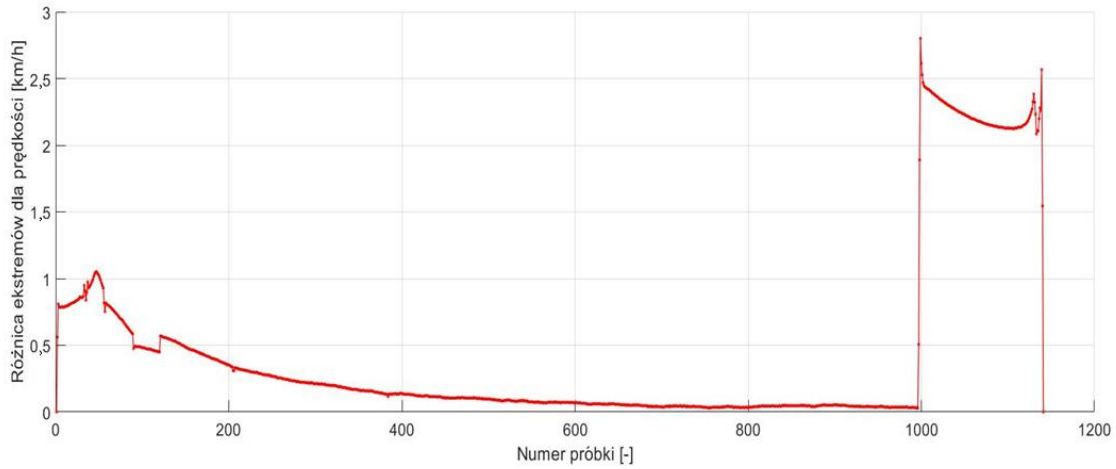
Szczegół A z rys. 5.6 przedstawiony na rys. 5.7 wskazuje bardzo duże powtarzalności profili prędkości do czasu rozpoczęcia hamowania. Rozdzielenie charakterystyk w czasie rozpoczęcia hamowania awaryjnego spowodowane jest różnicą punktu rozpoczynającego rejestrację. Różnice między nimi wynoszą ± jedną próbkę pomiarową od wyliczonej średniej wartości.



Rys. 5.7. Przebiegi prędkości dla szczegółu „A" z rys. 5.6

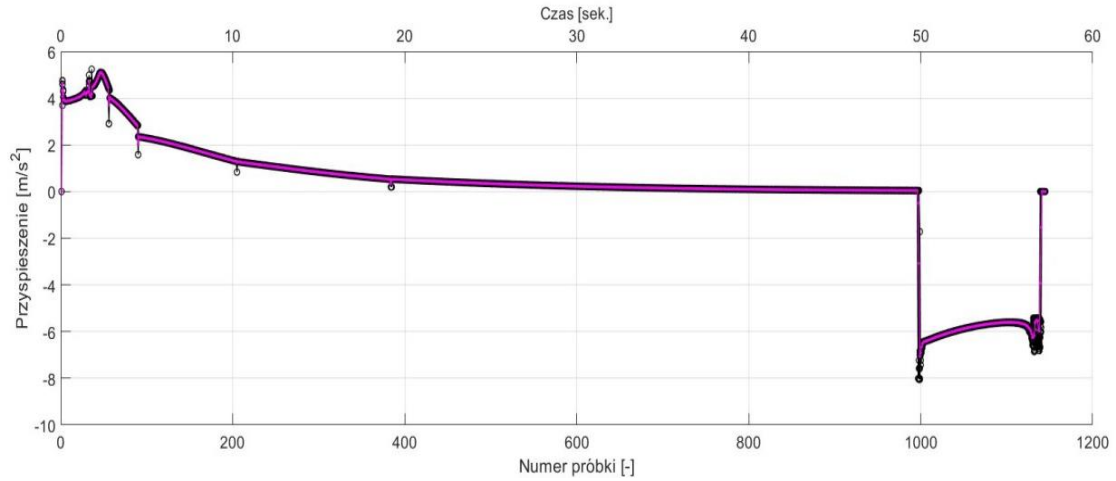
Analizując profile prędkości w ujęciu ekstremów maksymalnej oraz minimalnej wartości prędkości (rys. 5.8) uzyskanej dla poszczególnej próbki zweryfikowano, iż największe różnice dla przyspieszania mają miejsce od czasu rozpoczęcia rejestracji danych do chwili pełnego przełączenia na drugi bieg. Różnica pomiędzy wartościami wyniosła maksymalnie 1,1 km/h, a następnie różnice systematycznie malały do poziomu poniżej 0,1 km/h. Natomiast czas rozpoczęcia hamowania posiadał różnice ekstre-

mów od około 2,8 km/h do około 2,1 km/h. Fluktuacje widoczne na początku przyspieszania, hamowania oraz pełnego zatrzymania wynikają z różnic rozpoczęcia analizy danych, które wynikają z ± jednej próbki pomiarowej i zrejestrowanych wtedy wartości prędkości.



Rys. 5.8. Różnica ekstremów dla profili prędkości prób pojazdu

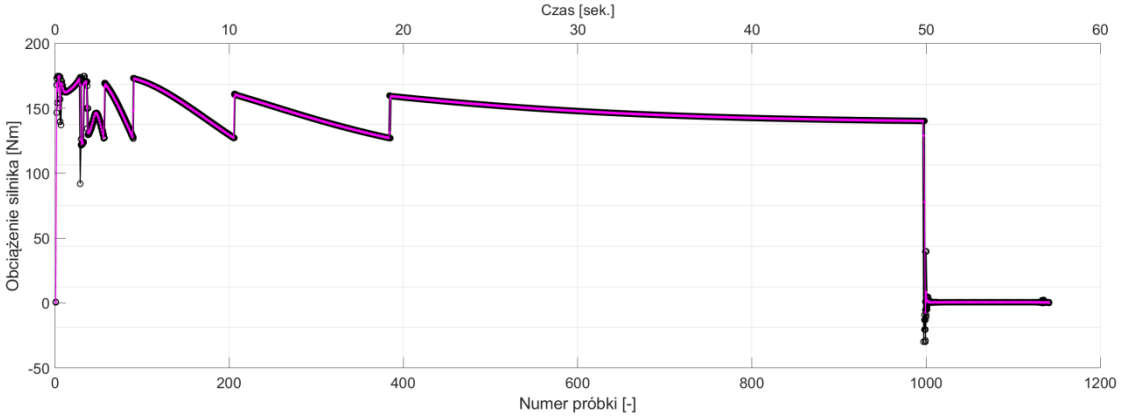
Profile przyspieszania dla identyfikowanego pojazdu (rys. 5.9) mają dużą powtarzalność dla zarejestrowanych prób. Powiązane zakresy zmian biegów również obrazują zakresy zmian przyspieszenia. Największe przyspieszenie jest uzyskiwane na drugim biegu, osiągając wartość maksymalną około 5 m/s^2 w około 65 próbki, a następnie systematycznie zmniejsza się prawie do czasu rozpoczęcia hamowania, które osiąga maksymalną wartość przyspieszania około 8 m/s^2, a następnie stabilizuje się na poziomie około 6 m/s^2 aż do zatrzymania.



Rys. 5.9. Profile przyspieszania pojazdu (kolor czarny) i wartości po uśrednieniu (kolor różowy)

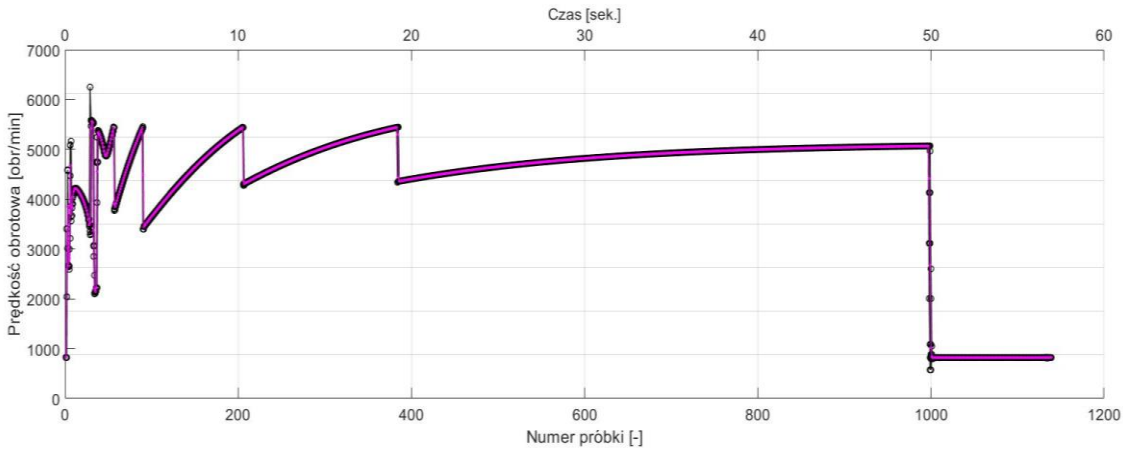
Kolejna rejestracja wykonana dla obciążenia wirtualnego silnika ZI (rys. 5.10), obrazuje problem wysterowania skrzyni automatycznej, gdzie od początku rejestracji do około 60 próbki widać szybkozmienne obciążenia silnika, a następnie po przełączeniu na drugi bieg ustabilizowanie działania skrzyni biegów. Zakres obciążenia silnika podczas rejestrowanych prób przyspieszania głównie mieścił się w przedziale od 120 Nm do 180 Nm. Wraz z zmianą biegu na wyższy bieg wzrastało obciążenie silnika, aby następnie wraz z dalszym rozpędzaniem na danym biegu wartość ta spadła do chwili

przełączenia na wyższy bieg. Rozpoczęcie hamowania awaryjnego wskazuje, iż pojazd początkowo hamuje silnikiem osiągając wartości około -20 Nm, ale po chwili skrzynia biegów rozłącza układ jezdny od silnika i jego obciążenie do zakończenia hamowania wynosi około 0 Nm.



Rys. 5.10. Profile momentu obciążenia silnika pojazdu (kolor czarny) i wartości po uśrednieniu (kolor różowy)

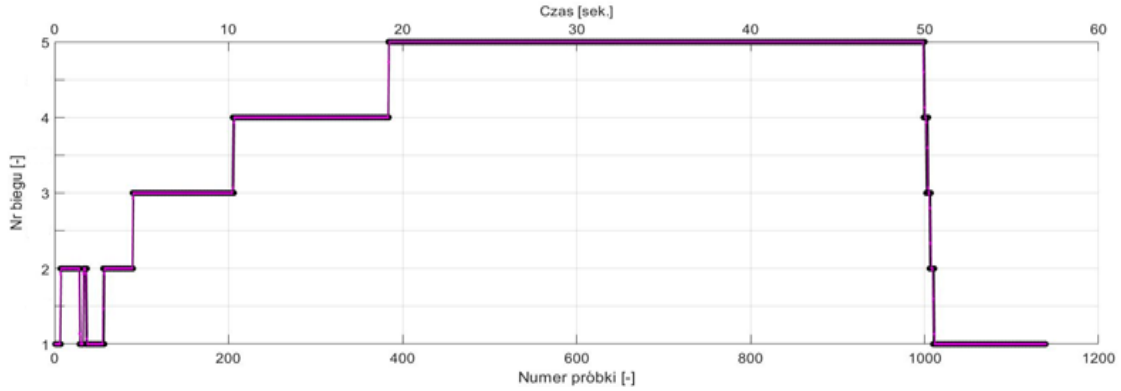
Profile dla zarejestrowanych prędkości obrotowych wału silnika (rys. 5.11) podobnie jak poprzednie charakterystyki, posiadają bardzo zbliżone profile. Podobnie jak na wcześniej opisywanych profilach pierwsza cześć rejestracji posiada widoczny problem prawdopodobnie trakcyjny, wynikający ze sterowania skrzyni biegów, gdzie można odnotować szybkozmienne zmiany prędkości obrotowej silnika, aż do czasu definitywnego załączenia drugiego biegu. Zakres prędkości obrotowej silnika z zarejestrowanych prób mieścił się od około 820 obr/min do 5000 obr/min dla pierwszego biegu, drugi bieg od około 2000 obr/min do około 6000 obr/min, trzeci bieg od około 3500 obr/min do 5500 obr/min, czwarty bieg mieścił się od 4500 obr/min do 5500 obr/min. Natomiast piąty bieg, podobnie jak czwarty, rozpoczynał swoją pracę od 4500 obr/min i w czasie rozpoczęcia hamowania miał około 5000 obr/min. Samo hamowanie spowodowało, gwałtowny spadek i przejście pracy silnika na prędkość obrotową biegu jałowego wynoszącym około 950 obr/min.



Rys. 5.11. Profile prędkości obrotowej wału korbowego silnika pojazdu (kolor czarny) i wartości po uśrednieniu (kolor różowy)

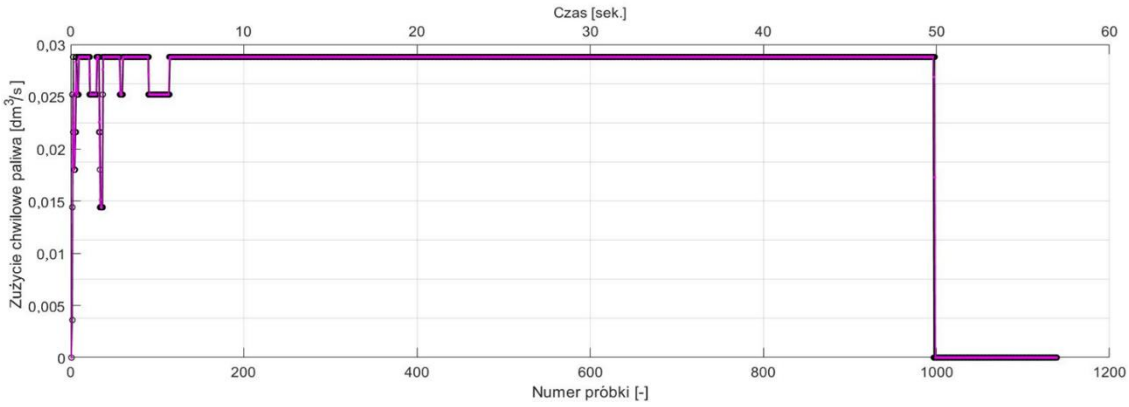
Jednym z ważniejszych profili rejestrowanych były profile działania automatycznej skrzyni biegów badanego pojazdu (rys. 5.12). Widoczny jest tu problem prawdopodob-

nie utracenia trakcji przez pojazd, gdzie skrzynia biegów od początku rejestracji profili wykonuje bardzo szybkie zmiany między pierwszym, a drugim biegiem, aż do ustabilizowania obciążenia silnika i wykonania poprawnego przełączenia na drugi bieg oraz na kolejne biegi. W przypadku rozpoczęcia hamowania awaryjnego automatyczna skrzynia biegów szybko redukuje kolejne biegi (w przeciągu zaledwie około 30 próbek – 1,5 s), aż do pierwszego biegu, na którym pozostaje do zakończenia hamowania awaryjnego.

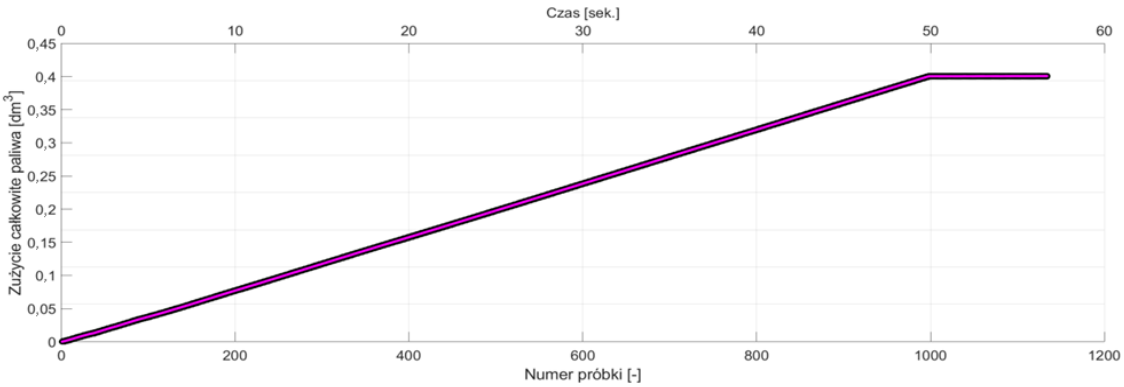


Rys. 5.12. Profile działa skrzyni biegów (kolor czarny) i wartości po uśrednieniu

Ostatnimi rejestrowanymi profilami były profile chwilowego oraz całościowego zużycia paliwa przez pojazd (rys. 5.13 i 5.14). Ze względu na charakter wymuszenia zużycie paliwa kształtowało się na wysokim poziomie od samego początku rejestracji z chwilowymi spadkami podczas zmiany biegów dla pierwszych trzech biegów. Maksymalne zużycie chwilowe paliwa wyniosło około 0,029 dm^3/s, ale również istotne jest to, iż uzyskane wyniki mają charakter skokowy, który prawdopodobnie jest powiązany z zakresami prędkości obrotowej wału silnika. Natomiast w przypadku hamowania pojazdu, który w czasie zatrzymania posiadał pracujący silnik w trybie jałowym, zużycie chwilowe paliwa wyniosło 0 dm^3/s. Prawdopodobnie jest to uproszczenie lub błąd dla skrzyni automatycznej. W przypadku całkowitego zużycia paliwa charakterystyka ma prawie przebieg liniowy poza początkowym etapem, aż do czasu hamowania, gdzie wartość zużycia całościowego paliwa staje się wartością stałą, aż do zakończenia próby.



Rys. 5.13. Profile chwilowego zużycia paliwa przez pojazd (kolor czarny) i wartości po uśrednieniu (kolor różowy)



Rys. 5.14. Profile całkowitego zużycia paliwa przez pojazd (kolor czarny) i wartości po uśrednieniu (kolor różowy)

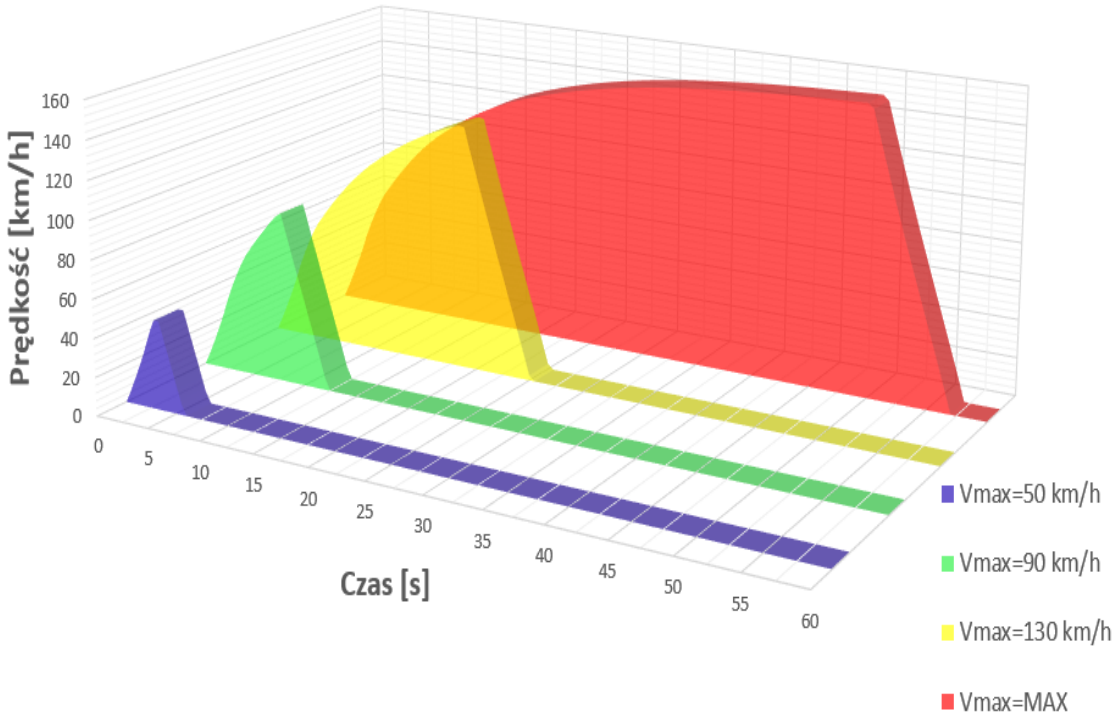
Otrzymane wyniki dla cykli przyspieszeń i hamowań (rys. 5.6–5.14) dla wybranych znaczących wartości, wskazują wysokie podobieństwo otrzymywanych danych będących odpowiedzią systemu symulacyjnego na realizowane wymuszenia skokowe dla pedałów gazu i hamulca przez sztucznego kierowcę. Głównymi miejscami różnic pomiędzy próbami jest początek przyspieszania i chwila zakończenia przyspieszania oraz rozpoczęcia hamowania awaryjnego oznaczonym szczegółem „A" (rys. 5.6 i 5.7). Jest to spowodowane również przez początek etapu rozpędzania pojazdu, gdzie pierwsze trzy próbki mogły różnić się nieznacznie między sobą, jest to miejsce krytyczne dla rozpoczęcia przyspieszania oraz analizowania danych.

5.3. Rozpędzanie i hamowanie awaryjne pojazdu

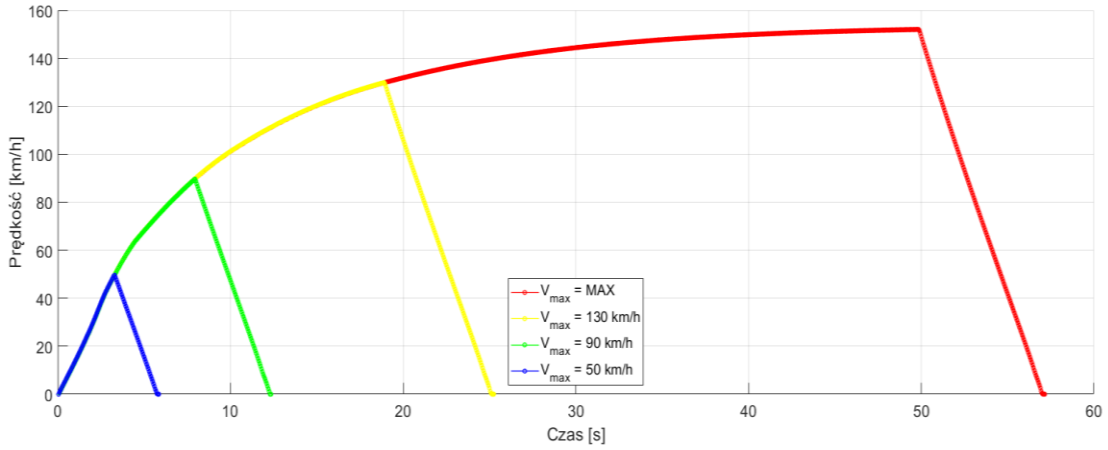
Ostatnim etapem weryfikacji powtarzalności badanego stanowiska symulacyjnego były ponownie próby skokowe jak w poprzednim punkcie, ale zmodyfikowane w zakresie czasu trwania przyspieszania i hamowania. Celem takiego zabiegu było osiągnięcie powtarzalnej maksymalnej prędkości w chwili rozpoczęcia hamowania, dzięki czemu było możliwe zaobserwowanie zależności pomiędzy próbami dla danej grupy prędkości maksymalnej i ponowna weryfikacja powtarzalności. Wybrano cztery wartości prędkości maksymalnych, bazując na standardowych ograniczeniach prędkości w Polsce, wynoszących 50 km/h (oznaczonych kolorem niebieskim), 90 km/h (oznaczonych kolorem zielonym), 130 km/h (oznaczonych kolorem żółtym), oraz prędkość maksymalną osiąganą przez pojazd w czasie 50 s przyspieszania (oznaczonych kolorem czerwonym).

Na rysunku 5.15 przedstawiono w rzucie izometrycznym w pełni uśrednione próby zgrupowane zależnie od prędkości maksymalnej. Każdy z prezentowanych profili podczas przyspieszenia posiada identyczny profil przyspieszania do czasu rozpoczęcia hamowania. Natomiast profil prędkości podczas hamowania dla każdej z prób jest niemal identyczny pod względem wytracania prędkości do pełnego zatrzymywania.

Natomiast w przedstawieniu uproszczony profilowym (dwuwymiarowym – rys 5.16), gdzie nakładane są wartości od największych po najmniejsze można dokładniej zaobserwować wspominane wcześniej zbieżności w profilach oraz podobieństwa dla hamowania awaryjnego. Z charakterystyk, przedstawionych na rys. 5.16–5.23 można zaobserwować powtarzalne zachowanie obiektu badawczego podczas przyspieszeń z odmiennymi chwilami rozpoczęcia hamowań. Natomiast podczas hamowania można zaobserwować identyczny charakter spadku prędkości.

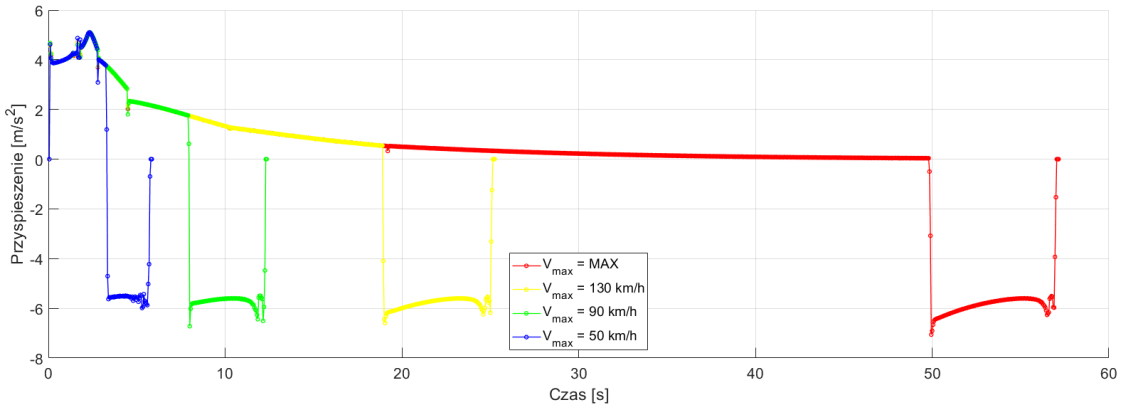


Rys. 5.15. Przebiegi czasowe prędkości pojazdu z prób zależnie od prędkości maksymalnej



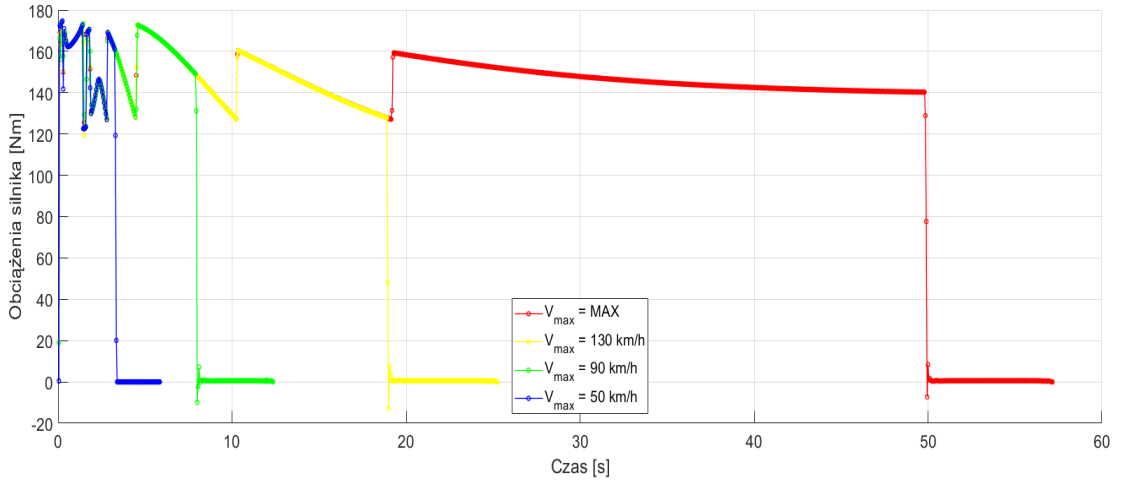
Rys. 5.16. Charakterystyki czasowe prędkości pojazdu zależnie od prędkości maksymalnej

Charakterystyki przyspieszeń badanego pojazdu zachowują się podobnie do wcześniej wspomnianych charakterystyk prędkości, z różnicą dla hamowania awaryjnego, którego czas trwania jest różny w zależności od wyjściowej prędkości pojazdu oraz posiada różnice w kształcie końcowym zakończenia profilu hamowania przed osiągnieciem 0 m/s^2. Wartości maksymalne przyspieszeń dla rozpędzania są identyczne i wynoszą 5 m/s^2. Natomiast przyspieszania podczas hamowania są różne w przebiegach ale wartości średnie kształtują się na podobnych wartościach wynoszących od około 5,5 m/s^2 do 7,0 m/s^2, gdzie ich przebieg jest bardziej krzywoliniowy oraz zmienny wraz ze zwiększonąą prędkością maksymalną danej próby.



Rys. 5.17. Charakterystyki czasowe przyspieszania pojazdu zależnie od prędkości maksymalnej

Wyniki dla obciążenia silnika (rys. 5.18) zachowują się podobnie podczas przyspieszania dla każdego z przypadków do czasu rozpoczęcia hamowania awaryjnego, gdzie dla każdego przypadku zostaje szybko zredukowane obciążenie silnika do 0 Nm do końca hamowania.

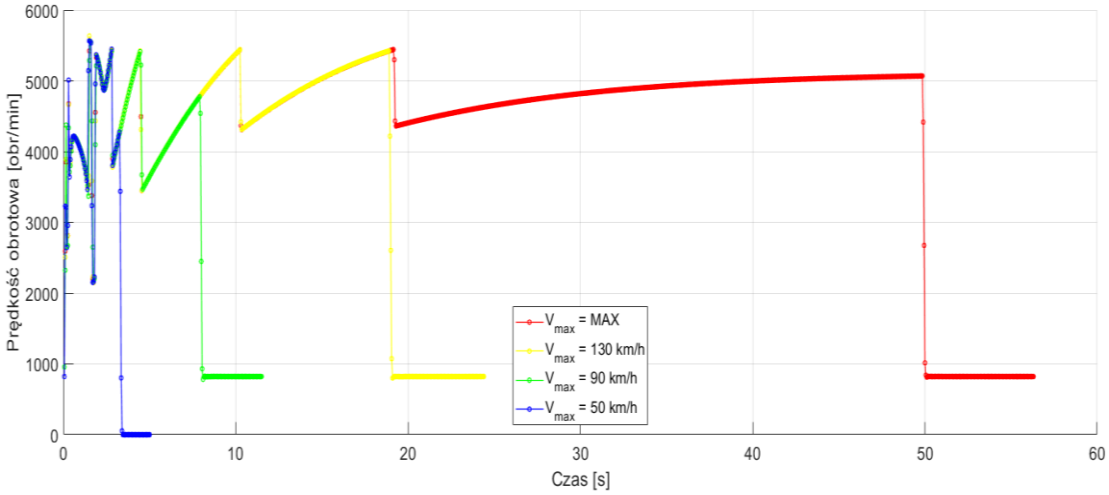


Rys. 5.18. Charakterystyki czasowe momentu obciążenia silnika pojazdu zależnie od prędkości maksymalnej

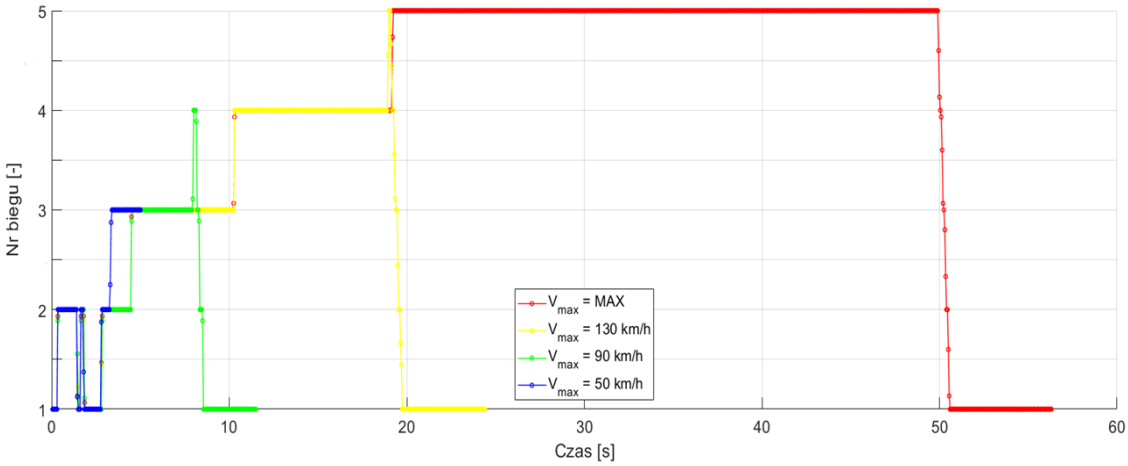
Podobna sytuacja ma miejsce dla charakterystyk prędkości obrotowej wału silnika, gdzie każda próba do czasu rozpoczęcia hamowania awaryjnego zachowuje się w sposób przewidywany i powtarzalny. Natomiast w przypadku hamowania awaryjnego dla przypadku V_{max} wynoszący 50 km/h dochodzi do całkowitej redukcji prędkości obrotowej wału silnika, w odróżnieniu od reszty przypadków, gdzie silnik pracuje bez obciążenia.

Kolejne analizowane charakterystyki (rys. 5.20) przedstawiają działanie wysterowania automatycznej skrzyni biegów. Zarejestrowane próby mają identyczny przebieg dla części wspólnych od początku rozpędzania pojazdu do rozpoczęcia hamowania awaryjnego. Można również zauważyć podobieństwa w działaniu między weryfikowanymi przypadkami podczas realizacji hamowania, które polegają na nagłej i chwilowej zmianie biegu o jeden wyższy bieg, aby po chwili zredukować stopniowo przełożenie do biegu pierwszego. W przypadku najkrótszego czasu rozpędzania można zauważyć, iż skrzynia biegów po rozpoczęciu hamowania awaryjnego wykonała przełączenie na wyższy bieg, ale nie zredukowała przełożenia do pierwszego biegu

z powodu zgaszenia silnika. Natomiast w przypadku najwyższego biegu nie następuje chwilowe zwiększenie biegu w czasie rozpoczęcia hamowania.



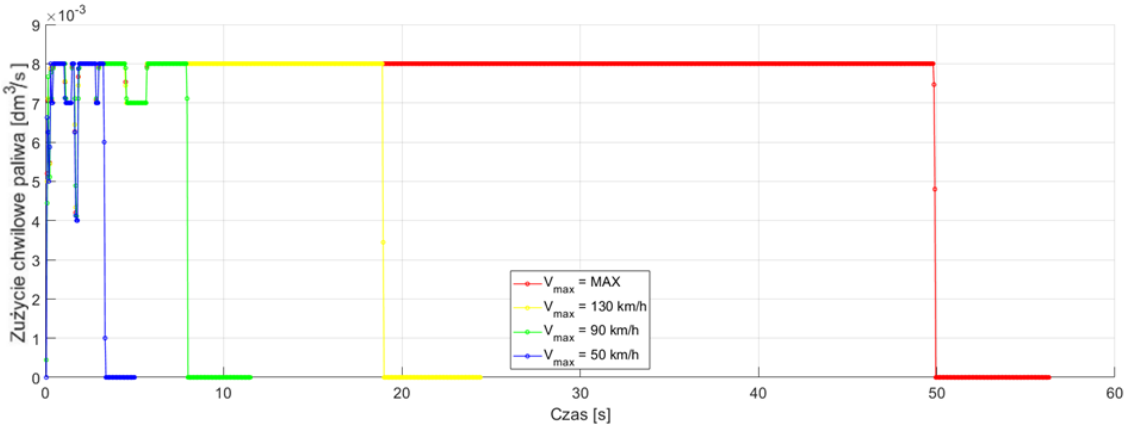
Rys. 5.19. Charakterystyki czasowe prędkości obrotowej wału silnika pojazdu zależnie od prędkości maksymalnej



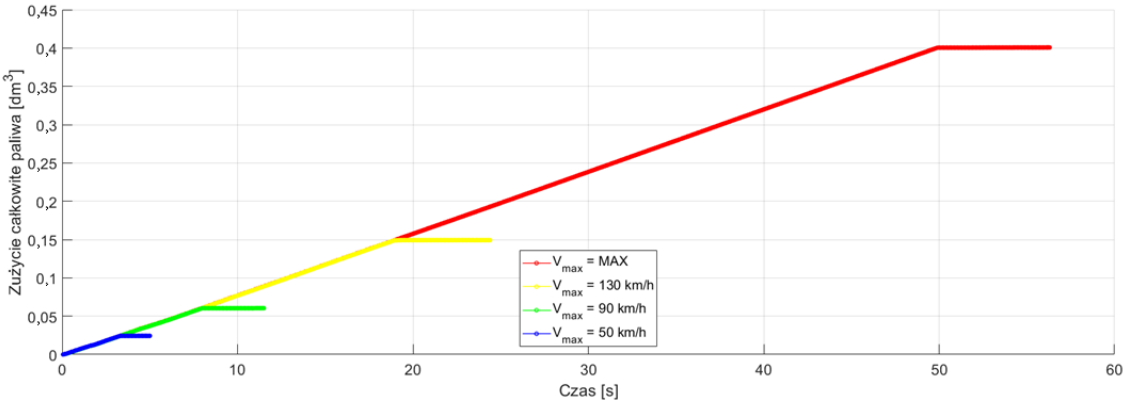
Rys. 5.20. Charakterystyki czasowe działania skrzyni biegów pojazdu zależnie od prędkości maksymalnej

Zarejestrowane charakterystyki (rys. 5.21 i 5.22) przedstawiają chwilowe oraz całościowe zużycie paliwa dla zrealizowanych prób pomiarowych. Podobnie jak wcześniej przedstawionych charakterystyk posiadają identyczny przebieg dla części wspólnych, a od chwili rozpoczęcia hamowania awaryjnego zużycie paliwa całkowicie zanika. Trzeba zauważyć iż tylko dla najkrótszego czasu rozpędzania silnik gaśnie, a dla reszty przebiegów ich silniki ciągle działają.

Otrzymane dane potwierdziły powtarzalność między próbami różniącymi się maksymalnym czasem rozpędzania. Okazały się być identyczne dla wszystkich części wspólnych podczas przyspieszania, dlatego też w celu lepszego zobrazowania zdecydowano się przedstawić otrzymane dane z prób na nakładających wartościach w kolejności od największej prędkości maksymalnej do najmniejszej na wykresach dwuwymiarowych. Dzięki czemu można łatwiej określić różnice między próbami, w szczególności podczas hamowań, w odróżnieniu do wykresu trójwymiarowych (rys. 5.15–5.22), które w rzucie izometrycznym są trudne do porównania.



Rys. 5.21. Charakterystyki czasowe chwilowego zużycia paliwa przez pojazd zależnie od prędkości maksymalnej



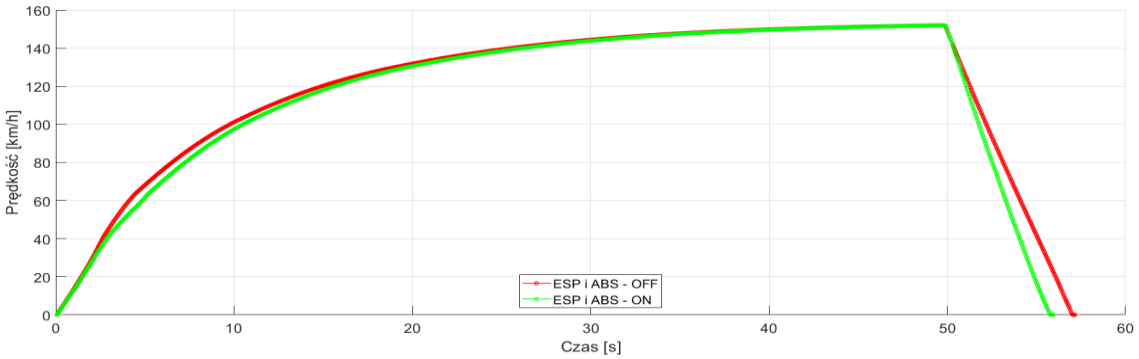
Rys. 5.22. Charakterystyki czasowe całkowitego zużycia paliwa przez pojazd zależnie od prędkości maksymalnej

5.4. Przyspieszanie i awaryjne hamowanie pojazdu w zależności od załączonych systemów bezpieczeństwa

Kolejnym etapem identyfikacji stanowiska była kwestia określenia różnic w zachowaniu zestawu symulacyjnego zależnie od stanu załączenia lub wyłączenia systemów bezpieczeństwa ESP i ABS w badanych systemie symulacyjnym w próbie wymuszenia skokowego podczas przyspieszania i hamowania awaryjnego. Na rysunkach 5.23–5.29 przedstawiono kolorem zielonym uzyskane dane w przypadku, gdy są załączone systemy ABS i ESP, a kolorem czerwonym, gdy są oba powyższe systemy wyłączone.

Analizując dane z rys. 5.23 można odnotować różnice podczas przyspieszania oraz hamowania pojazdu. Największa różnica w prędkości podczas przyspieszania występuję około 4,5 s dla rejestracji danych. Różnica między wartościami osiąga wtedy około 7,3 km/h, która ma związek z szybszym przełączaniem skrzyni automatycznej w początkowej fazie rozpędzania pojazdu, a w szczególności podczas zmiany z drugiego na trzeci bieg, gdzie pojazd z wyłączonymi systemami bezpieczeństwa osiągnął większą prędkość. Od tego miejsca następuje zmiana tendencji w przyspieszaniu, gdzie większe przyspieszenie uzyskuje pojazd z załączonymi systemami bezpieczeństwa. Dzięki czemu różnica między prędkościami zmniejsza się. Dobrze obserwowalne może to być dla głównych punktów trwania rejestracji, gdzie dla około 10 s trwania rejestracji różnica wynosi około 3,7 km/h, następnie dla 20 sekundy osiąga ona około 1,3 km/h, w przypadku 30 s uzyskuje wartość około 0,5 km, a dla 40 s wynosi około 0,1 km/h. W chwili

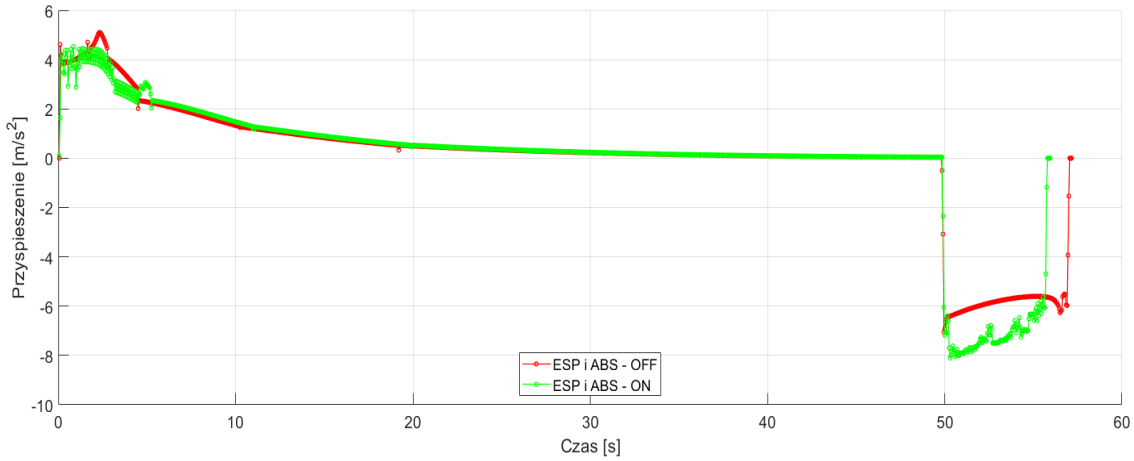
rozpoczęcia hamowania awaryjnego różnice między prędkościami są poniżej 0,05 km/h. Natomiast sam proces hamowania przebiega również odmiennie, gdyż dla obu przypadków wytracają prędkość pojazdu w sposób zbliżony do liniowego, ale dla opcji z załączonymi systemami bezpieczeństwa czas do pełnego zahamowania jest o około 1,25 s szybszy i tym samym pojazd zatrzymuje się w około 5,9 s.



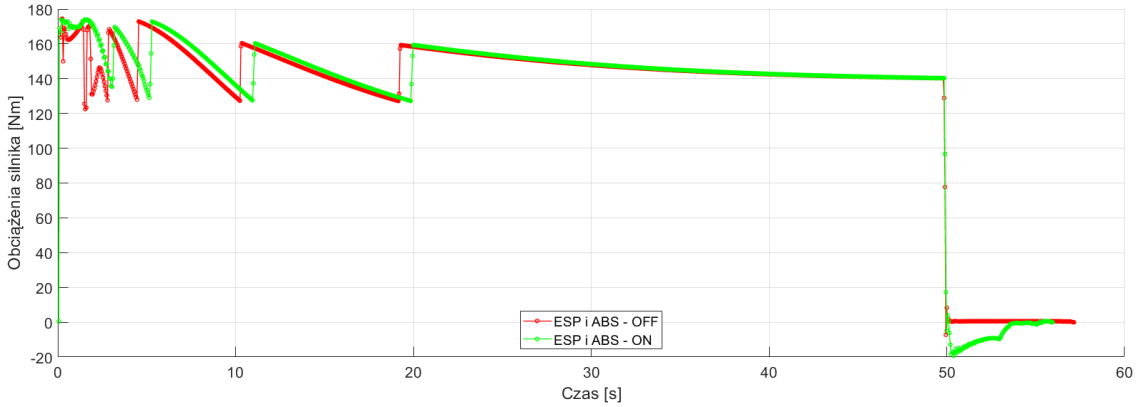
Rys. 5.23. Przebiegi czasowe prędkości pojazdu zależnie od stanu systemu ESP i ABS

Różnice przedstawione dla charakterystyki prędkości można lepiej zrozumieć analizując przyspieszania występujące podczas realizacji prób badawczych, które są widoczne na rys. 5.24. Główne różnice można zaobserwować między początkiem a 4,5 s rozpędzania, gdzie charakterystyka przyspieszania dla wyłączonych systemów jest bardziej narastająca, jednolita oraz osiąga maksymalną wartość przyspieszania wynoszącą około 5,1 m/s^2 w czasie około 2,3 s. Natomiast dla drugiego przypadku obserwuje się od początku rejestracji podobne wyjściowe przyspieszenie na poziomie 4,2 m/s^2, które w dalszej części ma charakter szybkozmiennego przyspieszenia, oscylującego wokół 4 m/s^2 z amplitudą około ±0,5 m/s^2 do około 2,3 s. Następnie wartość średnia przyspieszania pojazdu obniżają się do poziomu około 2,5 m/s^2 wraz z amplitudą oscylacji do ±0,25 m/s^2. Kolejno około 4,5 s po zmianie drugiego biegu na trzeci zmienia się charakter przebiegu przyspieszania na jednolity bez oscylacji, który przewyższa delikatnie wartości rejestrowane do końca rozpędzania dla przypadku z wyłączonymi systemami bezpieczeństwa. W obu przypadkach przyspieszenie systematycznie zmniejsza się wraz z wzrostem prędkości pojazdu. W chwili rozpoczęcia hamowania awaryjnego różnica między przyspieszeniami wynosi około 0,004 m/s^2 oraz średnie przyspieszanie jest na poziomie około 0,04 m/s^2. Samo hamowanie awaryjne również dla obu przypadków jest inne, gdyż analizując sytuacje dla odłączonych systemów bezpieczeństwa uzyskuje się krzywą jednolitą, która uzyskuje średnie przyspieszanie na poziomie około –6 m/s^2, szczytowo –7 m/s^2 oraz czas do pełnego hamowania wynosi około 7,2 s. Natomiast dla załączonych systemów ESP i ABS uzyskuje się szybszy czas zatrzymania pojazdu o 1,25 s, gdzie szczytowo przyspieszenie wyniosło około –8,1 m/s^2 oraz przebieg przyspieszenia jest zdecydowanie bardziej poszarpany i osiąga mniejsze wartości.

Kolejne charakterystyki dla obciążenia silnika (rys. 5.25) lepiej obrazują działanie algorytmów zastosowanych w systemie symulacyjnym, gdzie widać odmienne strategie przyjęte w sterowaniu pojazdem. W przypadku przyspieszania możemy zaobserwować większe obciążenie silnika dla przypadku z załączonymi systemami bezpieczeństwa, ale w odróżnieniu od wyłączonych jest ona bardziej ciągło liniowa z mniejszymi zmianami chwilowymi oraz jest przesunięta w fazie, objawiając się wolniejszym działaniem. Natomiast podczas hamowania awaryjnego pojazd wykonuje prawdopodobnie częściowe hamowanie silnikiem dla załączonych systemów ESP i ABS, gdzie dla wyłączonych układów bezpieczeństwa następuje całkowite odcięcie obciążenie silnika.

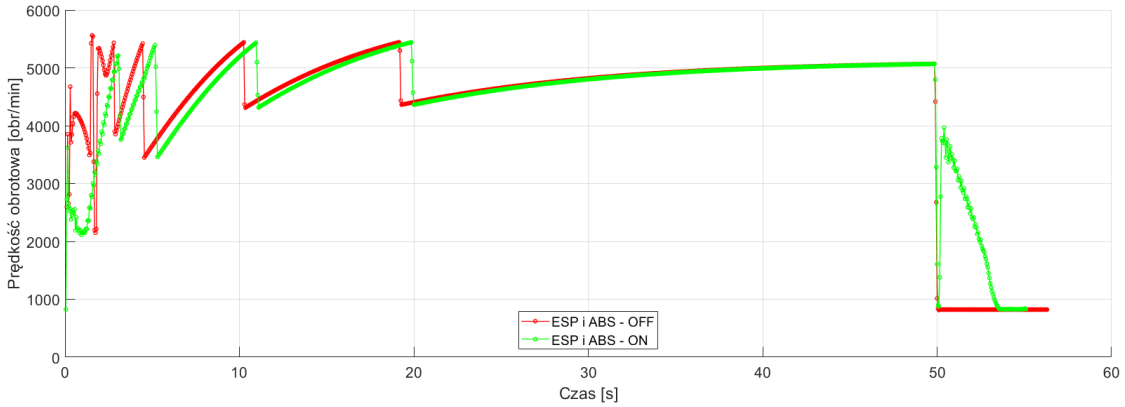


Rys. 5.24. Przebiegi czasowe przyspieszania pojazdu zależnie od stanu systemu ESP i ABS



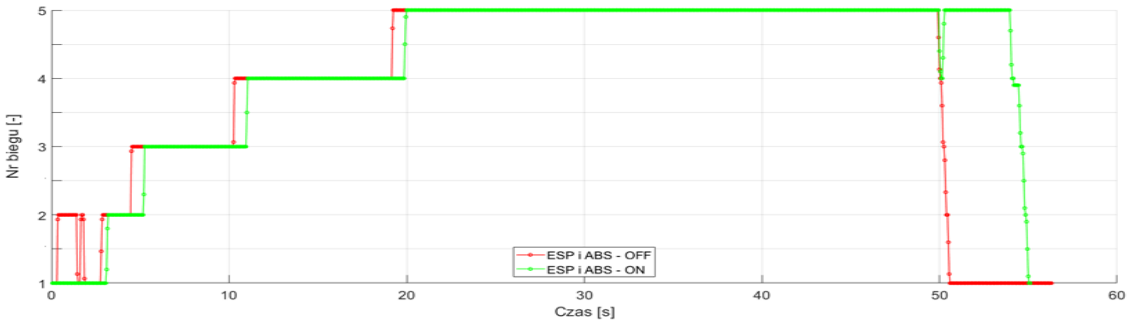
Rys. 5.25. Przebiegi czasowe obciążenia silnika zależnie od stanu systemu ESP i ABS

Podobnie jak poprzednio można zauważyć różnice w sterowaniu prędkością obrotową silnika (rys. 5.26), która w zakresie początkowym do 4,5 s trwania rejestracji ma odmienny charakter działania. W przypadku z załączonymi systemami bezpieczeństwa prędkość obrotowa początkowo gwałtownie wzasta, aby zmaleć po 0,2 s do poziomu 2250 obr/min po utracie prawdopodobnie trakcji, a następnie zaczyna stopniowo wzrastać od 1,2 s do około 3,0 s, osiągając maksymalnie 5200 obr/min na pierwszym biegu. Natomiast dla wyłączonych systemów bezpieczeństwa sterowanie prędkością obrotową silnika jest szybkozmienne przez szybką pracę skrzyni automatycznej. Początkowo prędkość obrotowa utrzymuje się na średnim poziomie 4000 obr/min przez pierwsze około 1,5 s, a następnie zwiększa się do poziomu około 5000 obr/min, aby ustabilizować się po ostatecznej zmianie na drugi bieg. Dalsze sterowanie dla obu przypadków jest podobne, ale jest ono przesunięte w czasie, a różnice zmniejszają się stopniowo w czasie. W chwili rozpoczęcia hamowania awaryjnego posiadają podobną wartość na poziomie około 5060 obr/min. Przypadek z wyłączonymi systemami bezpieczeństwa od razu rozłącza obciążenie układu napędowego od silnika i stabilizuje go do pracy z prędkością obrotową biegu jałowego wynoszącą około 820 obr/min. Natomiast dla drugiego przypadku początkowo wartość zmniejsza się również do około 820 obr/min, aby po około 0,2 s wzrosnąć do poziomu 4000 obr/min i systematycznie zmniejszać się do prędkości obrotowej biegu jałowego silnika po około 3,5 s.



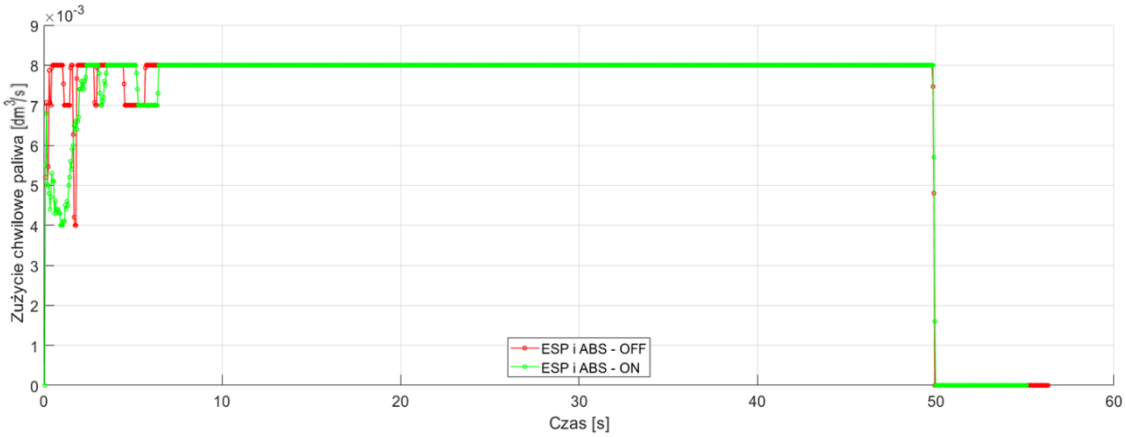
Rys. 5.26. Przebiegi czasowe prędkości obrotowej wału korbowego silnika pojazdu zależnie od stanu systemu ESP i ABS

Jednym z kluczowych elementów w różnicy w zachowaniu dla obu przypadków jest wcześniej wspominane działanie skrzyni automatycznej, która posiada odmienne charakterystyki dla obu przypadków w początkowej fazie ruchu oraz podczas hamowania awaryjnego. W przypadku rozpoczęcia przyspieszania dla wyłączonych systemów można zauważyć szybkozmienne działanie algorytmu sterującego, który po początkowym podwyższeniu biegu zaczyna go zmniejszać nieregularnie. Natomiast dla załączonych systemów bezpieczeństwa obserwuje się stopniowe i systematyczne załączanie kolejnych biegów skrzyni bez zbędnych operacji. W przypadku hamowania awaryjnego dla opcji bez systemów ESP i ABS obserwuje się nagłą redukcję z najwyższego biegu do pierwszego. Natomiast dla drugiego przypadku obserwuje się chwilowe redukcje biegu, aby po chwili ponownie wrócić do wyższej nastawy, a następnie redukcje do najniższego biegu.

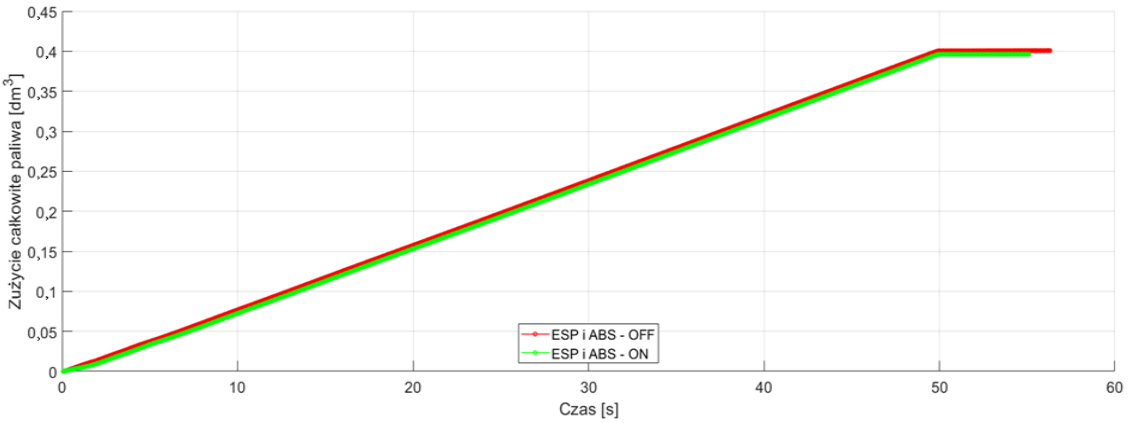


Rys. 5.27. Przebiegi czasowe działania skrzyni biegów zależnie od stanu systemu ESP i ABS

Ostatnie analizy dla chwilowego oraz całościowego zużycia paliwa, prawdopodobnie posiadają odmienny algorytm zużycia paliwa (rys. 5.28 i 5.29). W przypadku bez załączonych systemów bezpieczeństwa obserwowalne są wyraźne zakresy pomiarowe ze stopniowaniem co około 0,001 dm^3. Natomiast dla przypadku załączonych systemów ESP i ABS można wyróżnić więcej pośrednich wartości pomiarowych w początkowej fazie przyspieszania, które początkowo zmniejszają się z podobnego poziomu około 0,007 dm^3/s do 0,004 dm^3/s, aby stopniowo wzrosnąć do 0,008 dm^3/s po około 2,4 s. Następnie wartości stabilizują się podobnie pomiędzy 0,007 dm^3/s a 0,008 dm^3/s. W przypadku całościowego zużycia paliwa różnice są zauważalne tylko na początku charakterystyk, gdzie można zaobserwować mniejsze zużycie całkowite paliwa dla przypadku z załączonymi systemami bezpieczeństwa przez pierwsze 2,4 s.



Rys. 5.28. Przebiegi chwilowego zużycia paliwa zależnie od stanu systemu ESP i ABS



Rys. 5.29. Przebiegi czasowe całkowitego zużycia paliwa zależnie od stanu systemu ESP i ABS

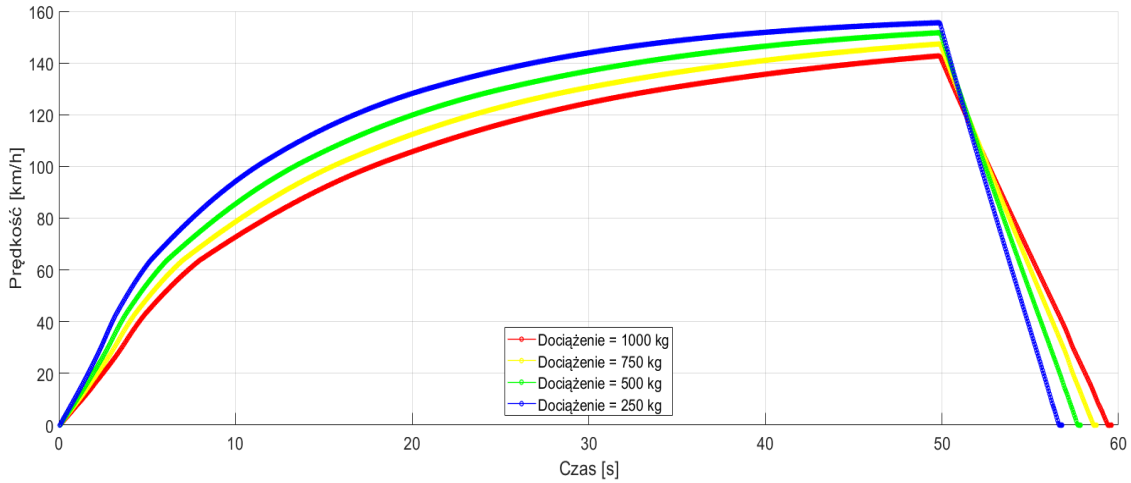
Na rysunkach 5.23–5.29 można odnotować, iż w przypadku, gdy oba systemy były wyłączone pojazd przyspieszał szybciej w początkowej fazie rozpędzania, występowało większe zużycie paliwa, a czas hamowania awaryjnego był dłuższy o 1,25 s. W przypadku załączonych systemów bezpieczeństwa można zaobserwować bardzo poszarpane przebiegi, które są wynikiem działania systemów ESP oraz ABS, w celu zapewnienia bezpieczeństwa i kontroli nad pojazdem przez kierowcę.

5.5. Wpływ dociążenia nadwozia

Następnym badaniem identyfikacyjnym było określenie odpowiedzi systemu symulacyjnego, gdzie wirtualny pojazd zostaje dociążony dodatkowym obciążeniem, umiejscowionym centralnie w pojeździe. Na potrzeby identyfikacji przyjęto cztery poziomy wartości dodatkowej masy: 250 kg, 500 kg, 750 kg i 1000 kg. Ostatnie dwie największe wartości są dla większości pojazdów osobowych niedopuszczalne, ale zostały przyjęte w celach poznawczych.

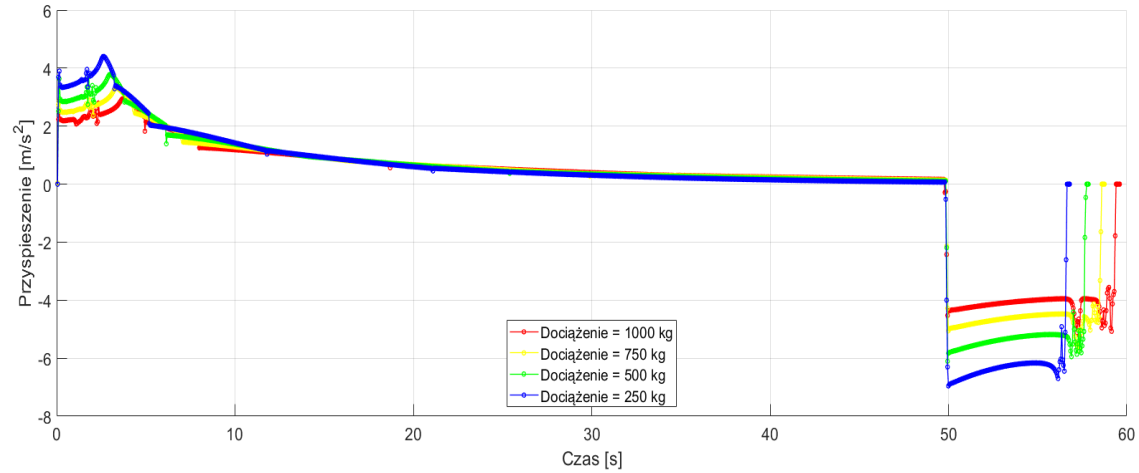
Pierwsza charakterystyka prędkości widoczna na rys. 5.30 obrazuje wpływ dodatkowego dociążenia, gdzie wzrost obciążenia powoduje zmniejszenie przyrastania prędkości pojazdu. Miejscem największych różnic między prędkościami jest czas po około 15 s, gdzie pojazd z 250 kg obciążeniem uzyskuje około 115 km/h, następnie dla 500 kg prędkość wynosi około 106 km/h, dla 750 kg wartość ta szacuje się na około 98 km/h oraz dla 1000 kg wynosi około 92 km/h. Dalsze przebiegi charakterystyk systematycznie zmniejszają różnice między wartościami prędkości. Podczas rozpoczęcia hamowa-

nia awaryjnego około 50 s, prędkości te wynoszą kolejno 156 km/h, 152 km/h, 147 km/h oraz 143 km/h. Również odnotowywana jest różnica w czasie hamowania, gdzie przy założeniu wspólnego poziomu hamowania od 110 km/h czasy poszczególnych hamowań wynoszą kolejno około 4,9 s, 5,7 s, 6,5 s oraz 7,5 s.



Rys. 5.30. Przebiegi czasowe prędkości pojazdu zależnie od dociążenia pojazdu

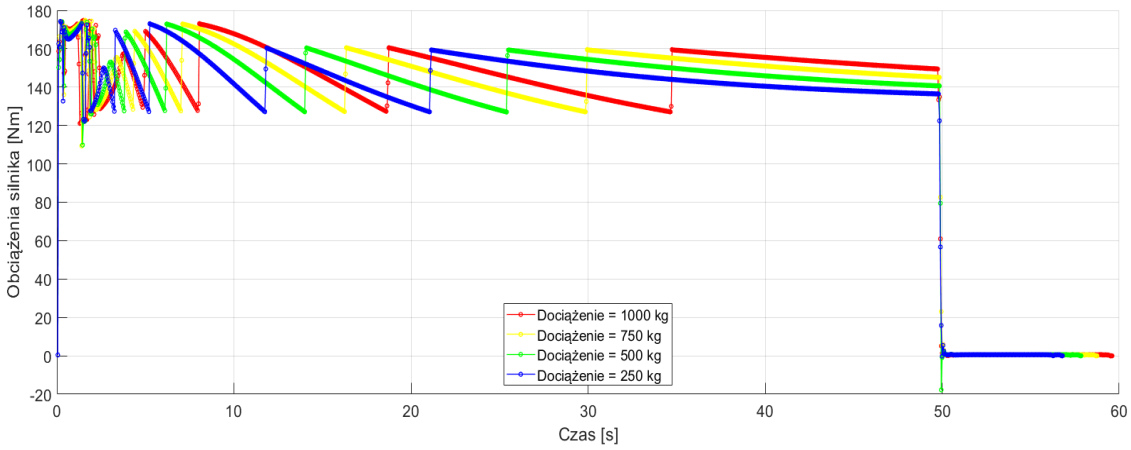
Kolejną powiązaną charakterystyką jest (rys. 5.31) przebieg przyspieszeń wirtualnego pojazdu. Można zaobserwować podobne przebiegi dla przyspieszania pojazdu, gdzie główną różnicą jest zmniejszenie maksymalnej amplitudy przyspieszenia dla coraz bardziej dociążonego pojazdu oraz przesunięcie w czasie maksymalnej wartości szczytowej danych prób, które wyniosły: około 4,4 m/s^2 w czasie 2,6 s, następnie około 3,8 m/s^2 w czasie 3,0 s, kolejno 3,2 m/s^2 w czasie 3,3 s oraz dla ostatniego przypadku 2,8 m/s^2 w czasie 3,8 s. Istotnym miejscem jest przedział czasowy około 15 s, gdzie dochodzi do zrównania wszystkich wartości przyspieszeń na poziomie około 0,89 m/s^2, a w dalszym przebiegu czasu rozłożenia ich w odwrotnej kolejności, aby w czasie rozpoczęcia hamowania wynosić kolejno (począwszy od najmniejszego dociążenia): 0,07 m/s^2, 0,11 m/s^2, 0,14 m/s^2 oraz 0,16 m/s^2.



Rys. 5.31. Przebiegi czasowe przyspieszenia pojazdu zależnie od dociążenia pojazdu

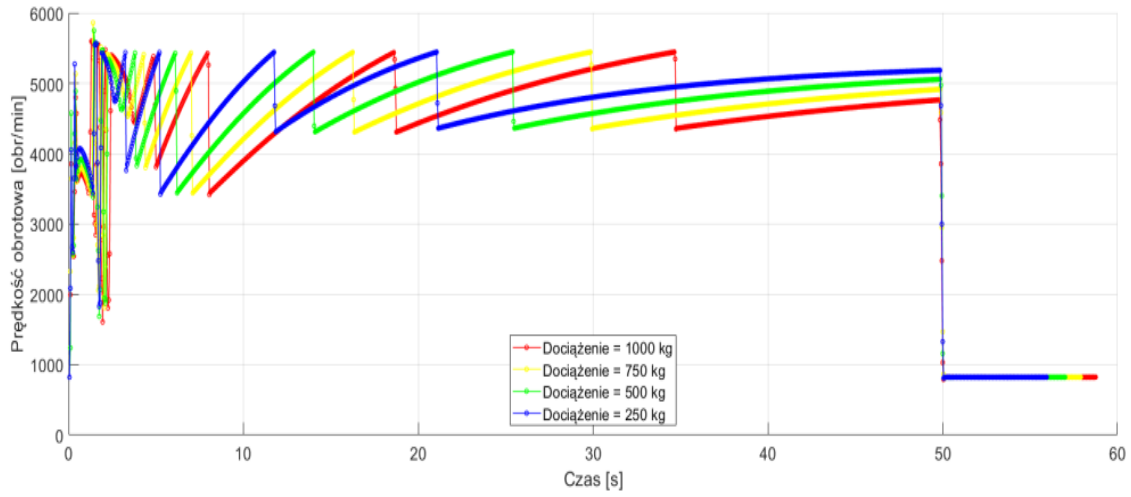
Na następnej charakterystyce obciążenia silnika (rys. 5.32), przedstawiono różnice początkowego przyspieszania oraz przesunięcia w czasie wcześniej wspomnianej prędkości pojazdu. Samo obciążenie podczas prawie całego trwania przyspieszania utrzy-

muje się w zakresach od około 120 Nm do około 175 Nm i jest silnie powiązane z działaniem skrzyni biegów oraz prędkością obrotową silnika. Przez to można zaobserwować od początku rejestracji do około 2,5 s szybkozmienne obciążenie silnika, wynikające prawdopodobnie z utraty trakcji i z działania modelu kontrolującego przyspieszanie pojazdu. Natomiast w chwili rozpoczęcia hamowania awaryjnego obserwuje się szybkie zmniejszenie obciążenia silnika do 0 Nm w ciągu około 0,2 s.

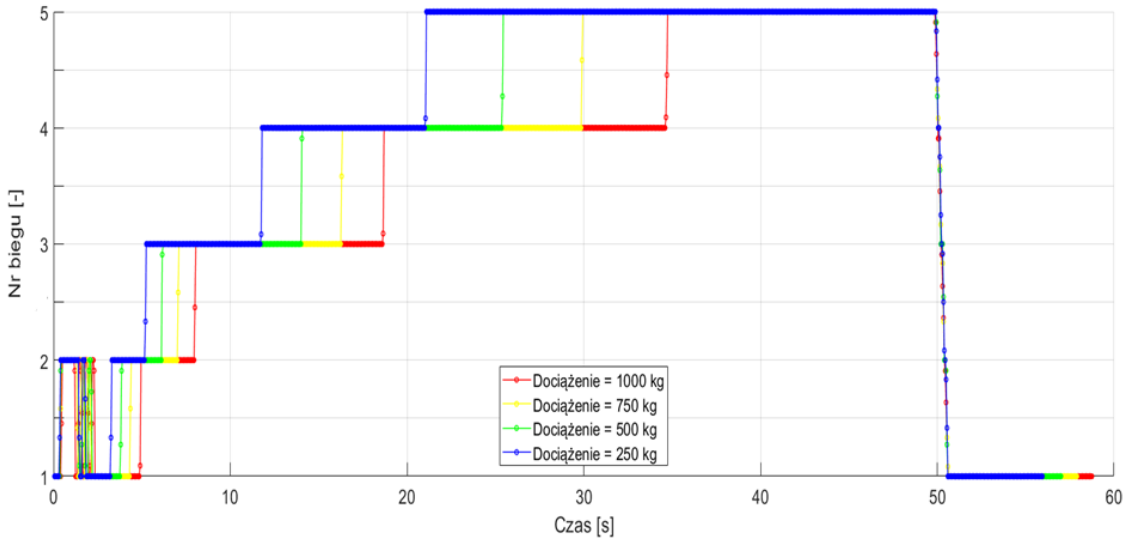


Rys. 5.32. Przebiegi czasowe momentu obciążenia silnika pojazdu zależnie od dociążenia pojazdu

Charakterystyka prędkości obrotowej silnika (rys. 5.33) przedstawia wcześniej wspominany problem początkowego wysterowania układu napędowego, gdzie można obserwować szybkozmienne zmiany prędkości obrotowej silnika, które są powiązane z autonomicznym operowaniem skrzyni automatycznej widocznej na rys. 5.34, w trakcie pierwszych 2,5 s trwania rejestracji charakterystyk. Wszystkie przebiegi są podobne w ogólnym zarysie, ale są one głównie przesunięte w czasie przez załączanie kolejnych wyższych biegów skrzyni automatycznej. W przypadku rozpoczęcia hamowania awaryjnego obserwuje się dla wszystkich przypadków szybkie obniżenie prędkości obrotowej silnika do prędkości obrotowej biegu jałowego wynoszącej około 820 obr/min oraz redukcję biegu piątego do pierwszego w czasie około 0,2 s.

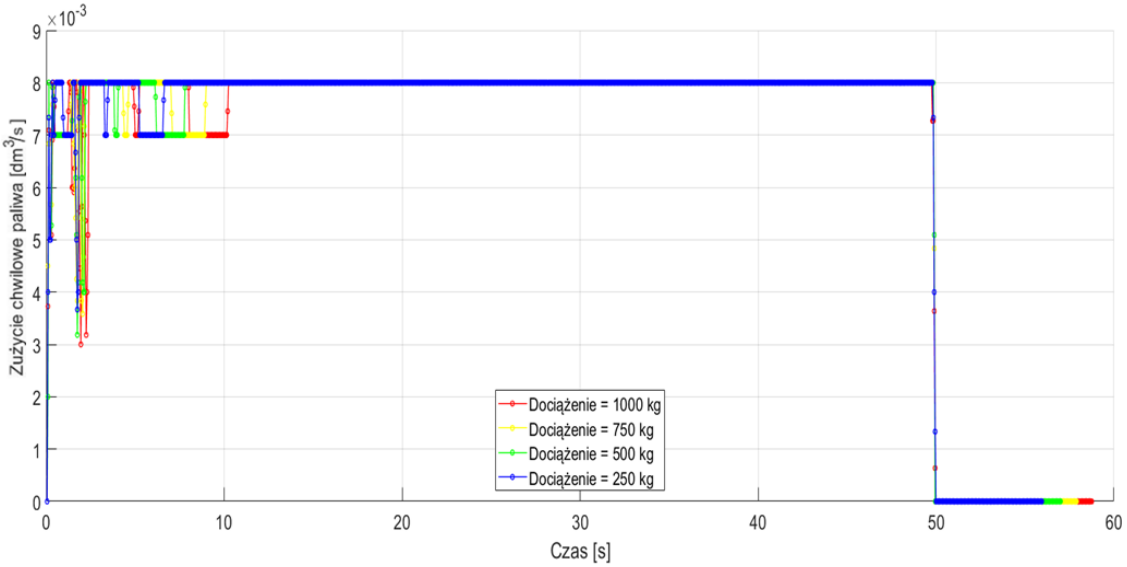


Rys. 5.33. Przebiegi czasowe prędkości obrotowej wału korbowego silnika pojazdu zależnie od dociążenia pojazdu

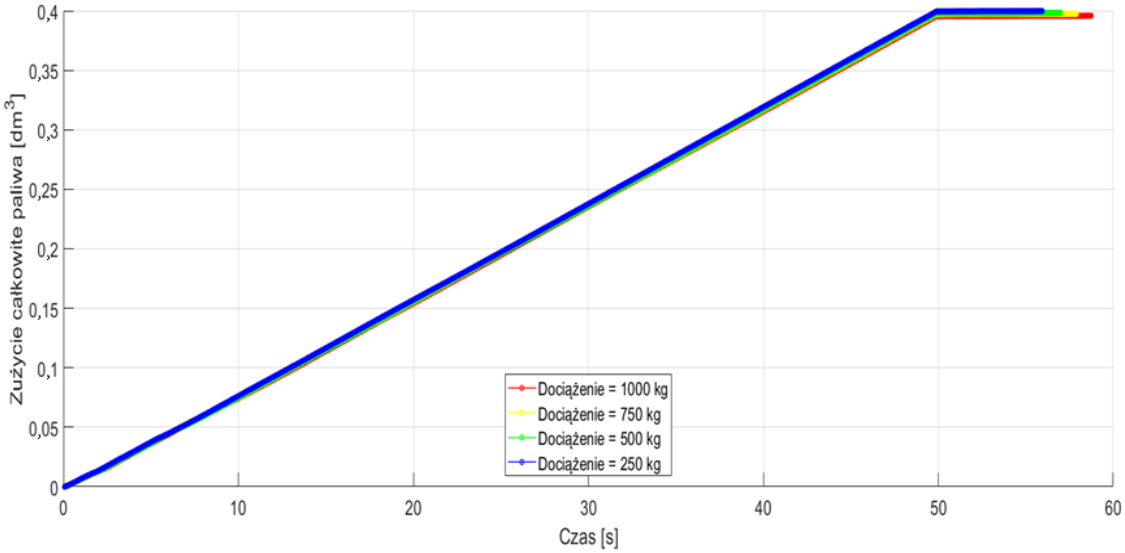


Rys. 5.34. Przebiegi czasowe prędkości obrotowej wału korbowego silnika pojazdu zależnie od dociążenia pojazdu

Ostatnimi analizowanymi charakterkami są przebiegi zużycia chwilowego oraz całościowego paliwa (rys. 5.35 i rys. 5.36). Główne różnice można odnotować podczas początkowego etapu przyspieszenia, gdzie można zaobserwować w 2 s chwilowe, spadki zużycia paliwa, a następnie ustabilizowanie stopniowe wynoszące między 0,007 dm^3/s a 0,008 dm^3/s oraz dla około 11 s trwania próby następuje zrównanie wartości na poziomie 0,008 dm^3/s dla wszystkich wariantów. Podczas rozpoczęcia hamowania awaryjnego dochodzi do zatrzymania zużycia paliwa mimo utrzymywania przez silnik prędkości obrotowej biegu jałowego.



Rys. 5.35. Charakterystyki prędkości obrotowej wału silnika pojazdu zależnie od dociążenia pojazdu



Rys. 5.36. Przebiegi czasowe prędkości obrotowej wału korbowego silnika pojazdu zależnie od dociążenia pojazdu

Uzyskane charakterystyki wykazują widoczny wpływ zwiększenia masy pojazdu na analizowane parametry (rys. 5.30–5.36). Pojazd z najmniejszym obciążeniem uzyskiwał największe przyspieszenie podczas przyspieszania i hamowania, w odróżnieniu od pojazdów o największej masie.

5.6. Wpływ warunków atmosferycznych

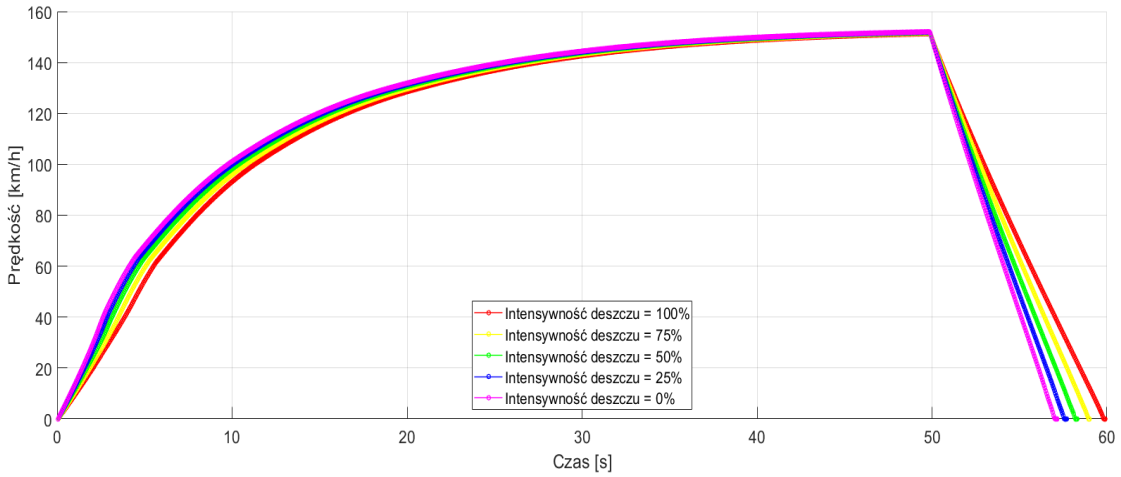
5.6.1. Opady deszczu

Pierwszym badanym przypadkiem wpływu warunków atmosferycznych na prowadzenie pojazdu była kwestia regulacji opadu deszczu, która została zaimplementowana przez twórców oprogramowania przez zmianę intensywności w zakresie 0–100%, gdzie 0% był równoznaczny z brakiem opadów, a 100% oznaczał maksymalny ulewny deszcz. Zmiana intensywności opadu deszczu wpływała na parametry przyczepności pojazdu, ale również powodowała zmiany wizualne w postaci symulowanego deszczu, zmiany zachmurzenia i pogorszenia widoczności otoczenia, który wymagały załączenia wycieraczek w pojeździe w celu poprawy obrazu drogi przez kierowcę.

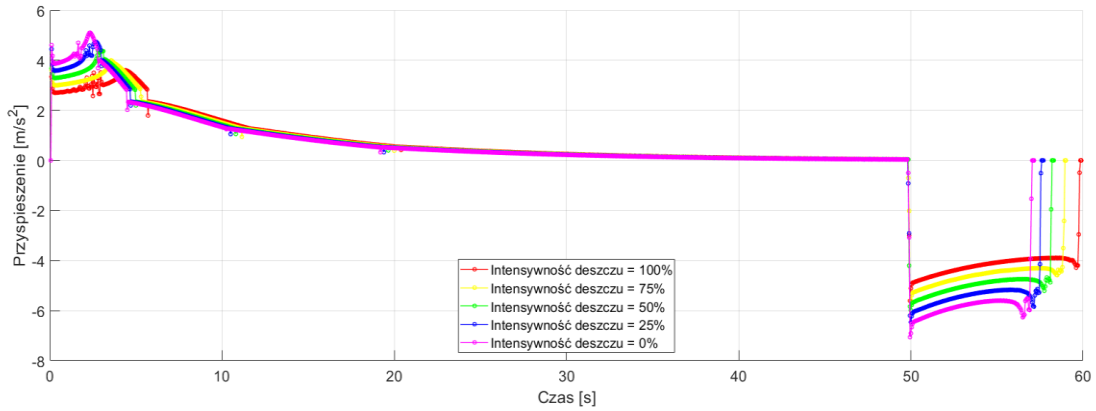
Charakterystyka prędkości pojazdu (rys. 5.37) obrazuje różnice w uzyskiwanych prędkościach pojazdu dla zrealizowanych wariantów intensywności opadu deszczu. Wraz ze wzrostem wskaźnika odpowiedzialnego za deszcz zmniejsza się prędkości pojazdu oraz wydłuża się czas hamowania. Największe różnice obserwuje się dla około 3 s, gdzie kolejne uzyskane prędkości wynoszą około: 44 km/h, 41 km/h, 36 km/h, 32 km/h oraz 29 km/h. W czasie rozpoczęcia hamowania awaryjnego (50 s) wszystkie wartości wynoszą około 151 km/h. Całkowite spadki prędkości kształtują się kolejno w czasie: 7,1 s, 7,6 s, 8,3 s, 9,1 s oraz 9,9 s.

Charakterystyki przyspieszenia (rys. 5.38) przedstawiają podobne przebiegi. Podczas przyspieszania pojazdu są one wydłużone oraz obniżone w amplitudach w trakcie pierwszych 11 s rejestracji, proporcjonalnie do użytego wskaźnika intensywności opadu deszczu. Od około 5,6 s następuje zmiana kolejności przyspieszeń oraz stopniowa stabilizacja. W czasie rozpoczęcia hamowania awaryjnego wszystkie warianty posiadają podobne wartości przyspieszania na poziomie 0,038 m/s^2. Natomiast hamowanie dla

każdego z przypadków wygląda podobnie w przebiegu, ale różni się czasem trwania, poziomem średniego przyspieszenia i poszczególną wartością maksymalną.

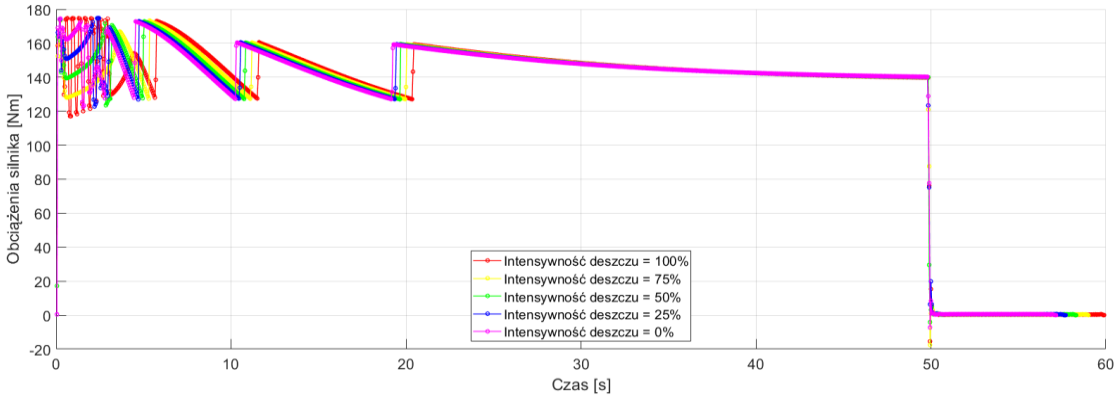


Rys. 5.37. Przebiegi czasowe prędkości pojazdu zależnie od intensywności deszczu

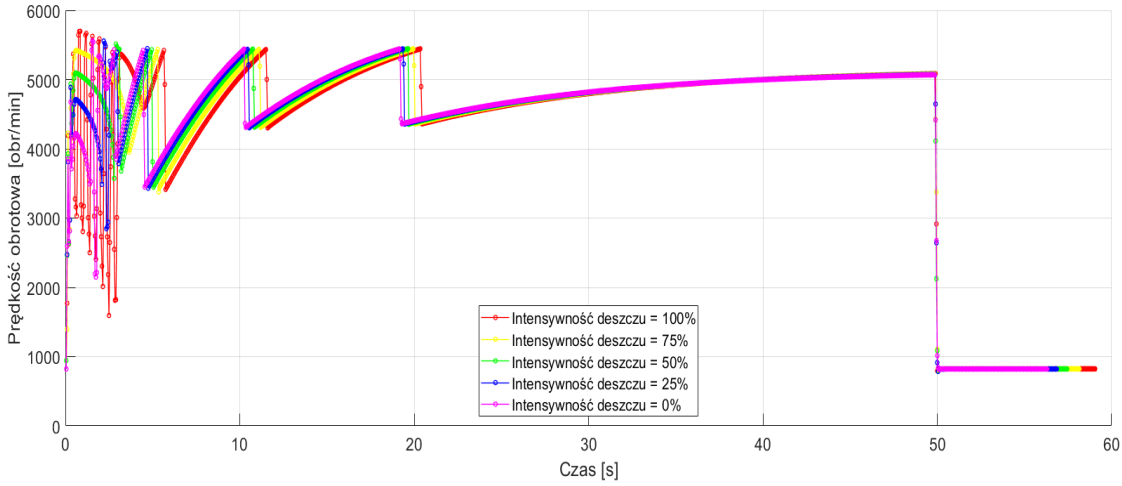


Rys. 5.38. Przebiegi czasowe przyspieszania pojazdu zależnie od intensywności deszczu

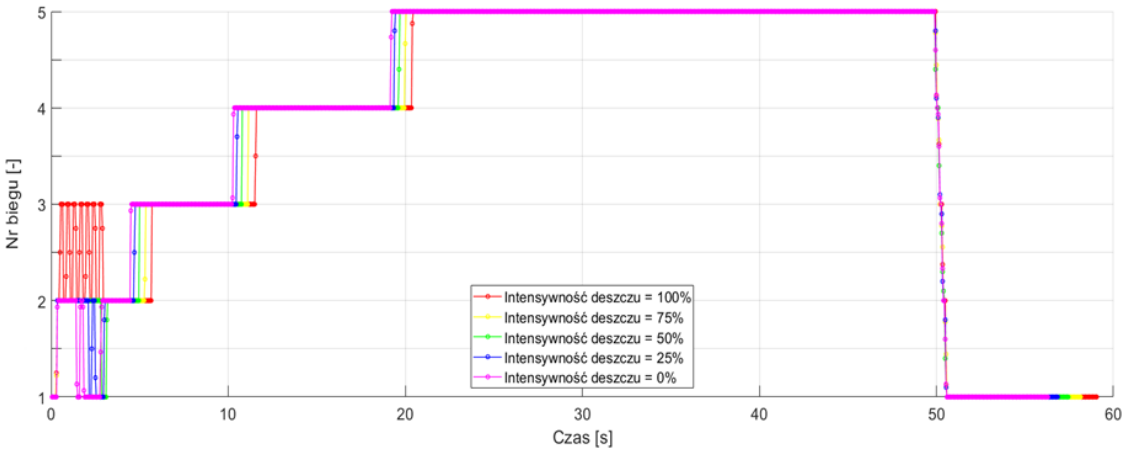
W przypadku obciążenia silnika, prędkości obrotowej silnika oraz sterowania automatyczną skrzynią biegów można obserwować wpływ zwiększania intensywności współczynnika deszczu na wysterowanie układu napędowego. Największe różnice obserwuje się od rozpoczęcia rejestracji do około 4,5 s. Są one prawdopodobnie również spowodowane brakiem przyczepności pojazdu, gdzie dla intensywności 100% można obserwować wysterowanie skrzyni na trzecim biegu. Można również w tym czasie zauważyć szybkozmienne sterowanie następującymi elementami takimi jak: ustawieniem biegów, prędkości obrotowej silnika oraz obciążenia silnika. Samo obciążenie silnika przez prawie cały czas trwania przyspieszania mieści się w zakresie od około 120 Nm do 175 Nm, a prędkość obrotowa silnika nie przekracza wartości 5700 obr/min. Ustabilizowanie wartości po 4,5 s ma związek z poprawą przyczepności oraz przełączeniem skrzyni biegów na trzeci bieg. W czasie rozpoczęcia hamowania awaryjnego wszystkie warianty posiadają bardzo zbliżone wartości dla obciążenie silnika równe 140 Nm, prędkość obrotową silnika wynoszącą około 5060 obr/min i wysterowanie skrzyni biegów na piątym biegu. Samo zatrzymanie pojazdu w każdym z przypadku realizowane jest w podobny sposób, gdzie obciążenie silnika zanika, a jego prędkość obrotowa jest na poziomie biegu jałowego oraz wysterowanie skrzyni automatyczne ustawia pierwszy bieg w około 0,2 s.



Rys. 5.39. Przebiegi czasowe momentu obciążenia silnika pojazdu zależnie od intensywności deszczu



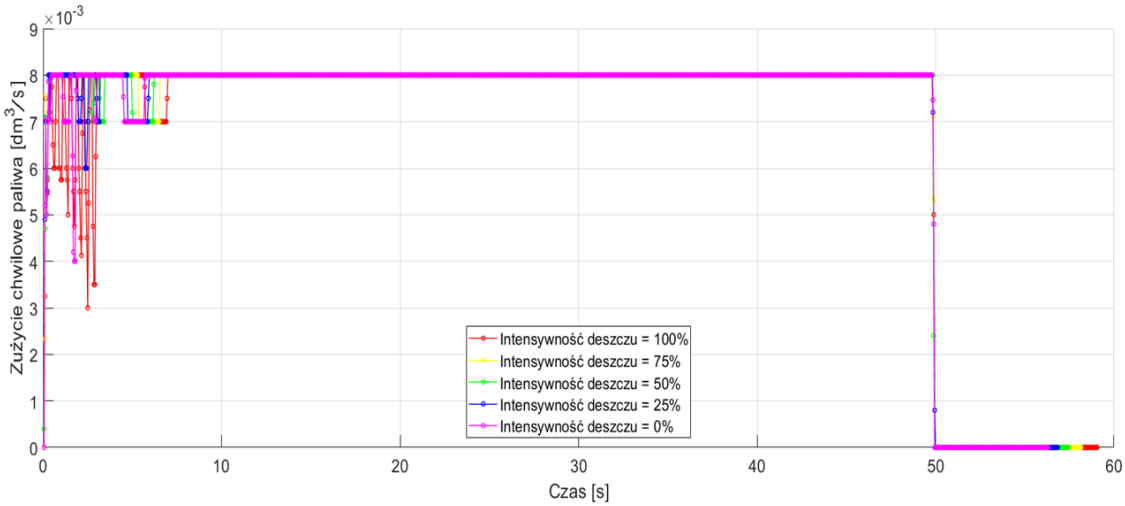
Rys. 5.40. Przebiegi czasowe prędkości obrotowej wału korbowego silnika pojazdu zależnie od intensywności deszczu



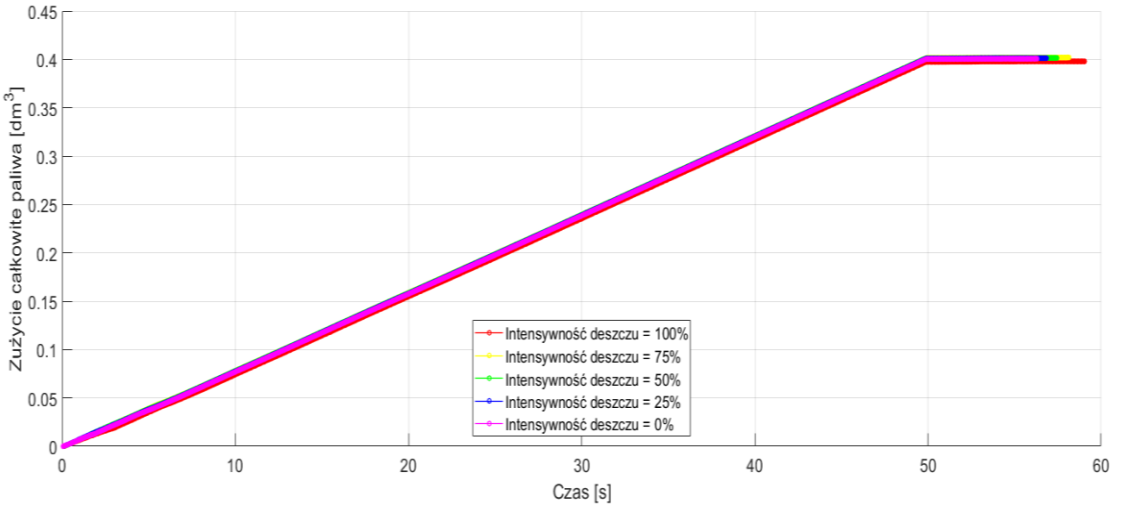
Rys. 5.41. Przebiegi czasowe działania skrzyni biegów pojazdu zależnie od intensywności deszczu

Ostatnie analizowane charakterystyki odpowiedzialne za chwilowe oraz całościowe zużycie paliwa są różne tylko w początkowym etapie do około 4,5 s, a następnie stabilizują się najpierw progowo między 0,007 dm^3/s a 0,008 dm^3/s do około 7 s, a później

osiągają identyczne zużycia paliwa wynoszącego 0,008 dm^3/s. W czasie rozpoczęcia hamowania awaryjnego zostaje zatrzymane zużycie paliwa, a wartość jego całkowite zużycia staje się stałą pomimo ciągłego działania silnika na prędkości biegu jałowego.



Rys. 5.42. Przebiegi czasowe zużycia paliwa przez pojazd zależnie od intensywności deszczu



Rys. 5.43. Przebiegi czasowe całkowitego zużycia paliwa przez pojazd zależnie od intensywności deszczu

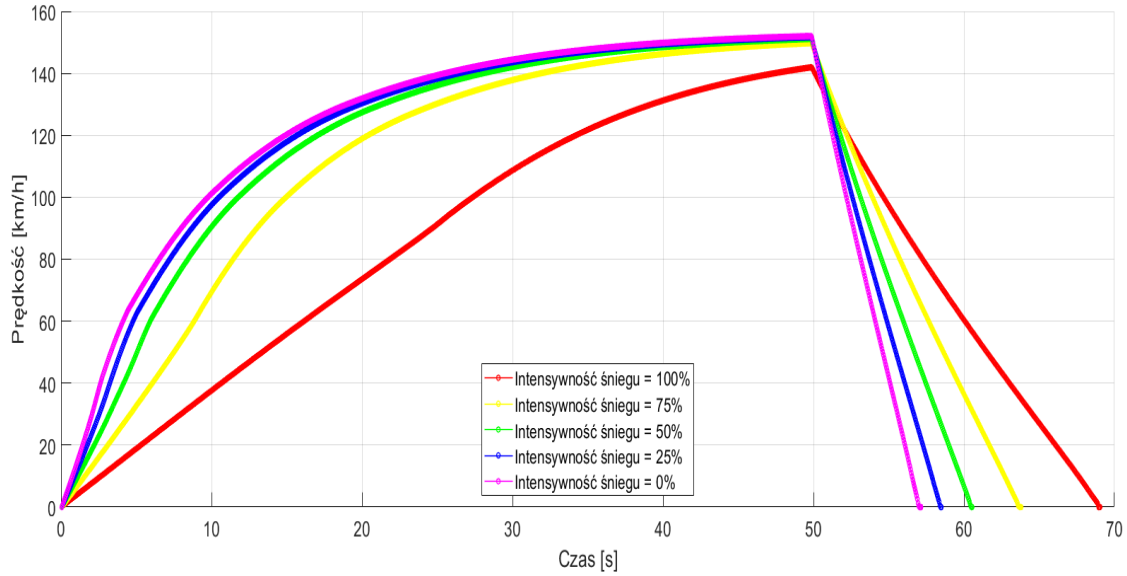
Uzyskane wyniki wskazują istotny wpływ deszczu na przyspieszanie i hamowanie pojazdu (rys. 5.37–5.43). Pojazd bez deszczu zyskał największe wartości przyspieszenia podczas przyspieszania i hamowania. Stopniowy wzrost wskaźnika intensywności opadu deszczu powodował pogorszenia parametrów trakcyjnych.

5.6.2. Opady śniegu

Kolejnym badanym przypadkiem wpływu warunków atmosferycznych była kwestia regulacji wskaźnika opadu śniegu, która została zaimplementowana przez twórców oprogramowani,a podobnie jak w poprzednim punkcie, zmiennego wskaźnika w zakresie od 0% do 100%, gdzie 0% jest równoznaczny z brakiem opadów, a 100% oznaczał maksymalne opady śniegu. Zmiana intensywności opadów śniegu wpływała na wirtual-

ne otoczenie podobnie jak w poprzednim punkcie w ujęciu zmiany przyczepności i dodatkowych efektów wizualnych.

Charakterystyka prędkości (rys. 5.44) uwidacznia znaczące różnice w przebiegach poszczególnych profili dla zadanych nastaw. Główną przyczyną takiej sytuacji najprawdopodobniej jest późniejsze uzyskanie odpowiedniej przyczepności trakcji przez pojazd wraz z coraz wyższymi nastawami wskaźnika intensywności opadów śniegu. W chwili rozpoczęcia hamowania awaryjnego prawie wszystkie przypadki poza maksymalnym wysterowaniem warunków atmosferycznych (ten przypadek osiąga prędkość około 142 km/h) są na poziomie około 151 km/h. Również obserwowalny jest wpływ nastaw pogodowych na proces hamowania, gdzie czas do całkowitego zahamowania wynosi kolejno: 7,1 s, 8,5 s, 10,6 s, 13,8 s. Dla przypadku, w którym pojazd posiadałby podobną wyjściową prędkość, to czas hamowania wyniósłby prawdopodobnie około 20,5 s, natomiast w zrealizowanej próbie dla początkowej wartości wynoszącej 142 km/h czas hamowania wyniósł 19,1 s.

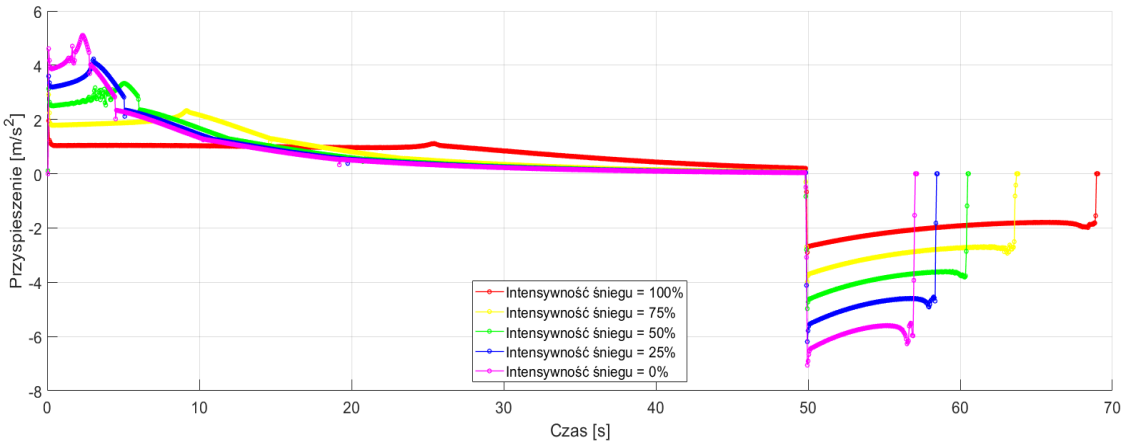


Rys. 5.44. Przebiegi czasowe prędkości pojazdu zależnie od intensywności opadów śniegu

Kolejna istotna charakterystyka przyspieszeń pojazdu (rys. 5.45) tłumaczy wcześniej wspomnianą przyczynę przyczyn osiągania niższych prędkości początkowych, gdzie zauważalne jest późniejsze uzyskiwanie wartości maksymalnej oraz posiadają one proporcjonalnie niższe amplitudy mimo podobnego przebiegu zmienności. Podczas przyspieszania pojazdu, jego maksymalne wartości rozkładają się następująco dla poszczególnych wariantów nastawy pogodowych:

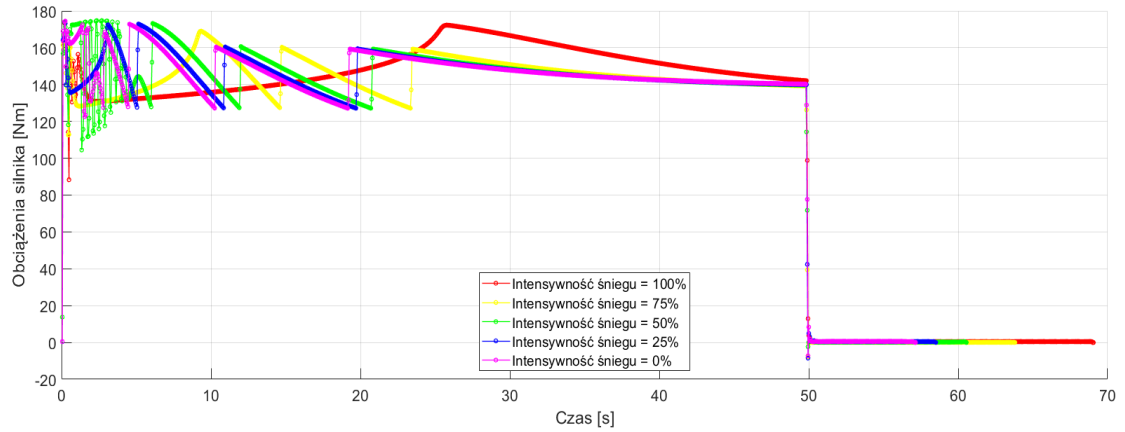
- intensywność 0% – maksymalne przyspieszenie 5,1 m/s^2 w czasie około 2,4 s,
- intensywność 25% – maksymalne przyspieszenie 4,2 m/s^2 w czasie około 3,1 s,
- intensywność 50% – maksymalne przyspieszenie 3,3 m/s^2 w czasie około 5,1 s,
- intensywność 75% – maksymalne przyspieszenie 2,3 m/s^2 w czasie około 9,2 s,
- intensywność 100% – maksymalne przyspieszenie 1,1 m/s^2 w czasie około 25,5 s.

Zauważalny jest również wpływ warunków atmosferycznych na charakterystyki przyspieszeń podczas hamowania awaryjnego, gdzie przebiegi są do siebie podobne, ale poszczególne wartości szczytowych, średnich przyspieszeń oraz czas trwania hamowania jest różny. Wartości średnie wynoszą około: –5,8 m/s^2, –4,8 m/s^2, –3,9 m/s^2, –2,9 m/s^2 oraz –1,9 m/s^2 w kolejności zwiększającej się intensywności opadów śniegu.

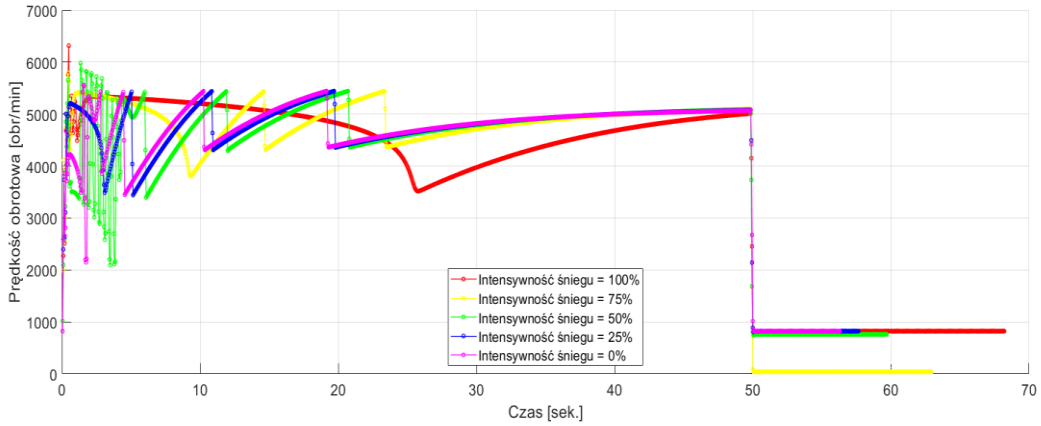


Rys. 5.45. Przebiegi czasowe przyspieszenia pojazdu zależnie od intensywności opadów śniegu

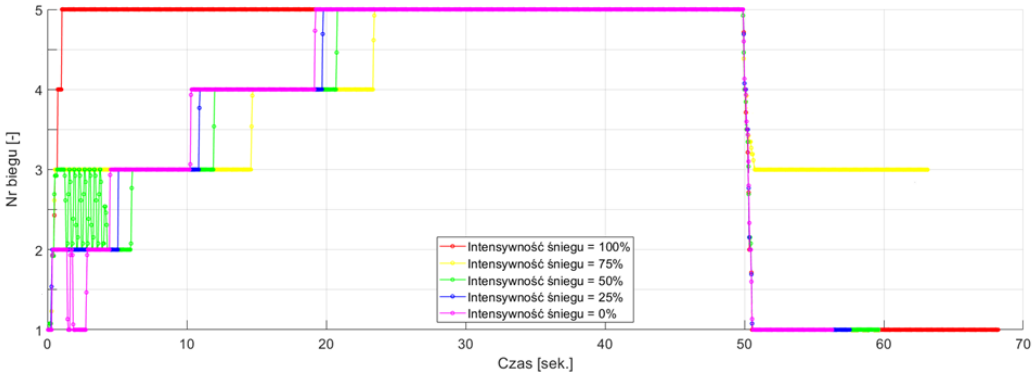
Na kolejnych widocznych charakterystykach odpowiedzialnych za obciążenie silnika (rys. 5.46), prędkość obrotową silnika (rys. 5.47) oraz sterowanie automatycznej skrzyni biegów (rys. 5.48) tłumaczy główne przyczyny uzyskiwanych prędkości oraz przyspieszeń pojazdu. Główne różnice polegają na wysterowaniu działaniu skrzyni biegów oraz prędkości obrotowej silnika, przy miej więcej ustabilizowanym zmiennym obciążeniu silnika, które mieści się w zakresie około od 120 Nm do 175 Nm. Wraz z zwiększeniem intensywności opadów śniegu można zaobserwować dłuższą stabilizację układu napędowego oraz odmienne wysterowanie skrzyni biegów, gdzie dla maksymalnego współczynnika intensywność uzyskuje się najwyższe przełożenie skrzyni biegów już w czasie 1,1 s. W czasie rozpoczęcia hamowania awaryjnego poszczególne charakterystyki posiadają zbliżone wartości, gdzie obciążenie silnika wynosi 140 Nm, prędkość obrotowa silnika stabilizuje się na około 5070 obr/min oraz skrzynia biegów jest wysterowana na najwyższy bieg. Natomiast podczas hamowania awaryjnego we wszystkich przypadkach zanika całkowicie obciążenie silnika, prędkość obrotowa silnika zmniejsza się do poziomu biegu jałowego (poza przypadkiem intensywności śniegu wynoszącego 75%, gdzie wynoszą 0 obr/min). Podczas gdy wysterowanie automatycznej skrzyni biegów powoduje przełączanie z najwyższego biegu na pierwszy bieg (poza przypadkiem wysterowania 75%, gdzie następuje redukcja biegu, ale zatrzymuje się na trzecim biegu).



Rys. 5.46. Przebiegi czasowe momentu obciążenia silnika pojazdu zależnie od intensywności opadów śniegu

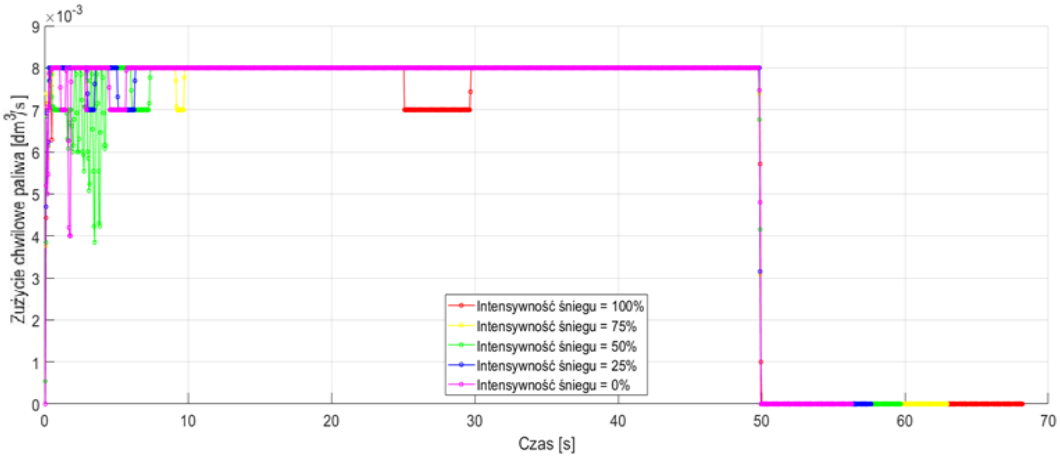


Rys. 5.47. Przebiegi czasowe prędkości obrotowej wału korbowego silnika pojazdu zależnie od intensywności śniegu

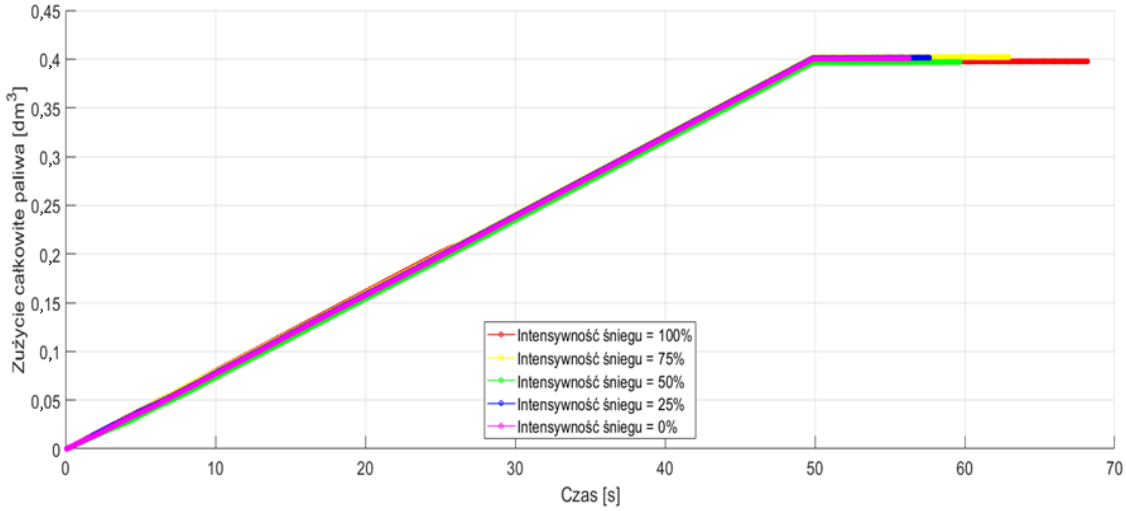


Rys. 5.48. Przebiegi czasowe działania skrzyni biegów pojazdu zależnie od intensywności opadów śniegu

Charakterystyki (rys. 5.49 i 5.50) przedstawiają chwilowe oraz całościowe zużycie paliwa, gdzie są widoczne jedynie szybkozmienne wartości do około 4,4 s, a następnie wartości stabilizują się początkowo w zakresie schodkowym w zakresie między 0,007 dm^3/s a 0,008 dm^3/s i końcowo uzyskuje wartość 0,008 dm^3/s. W chwili rozpoczęcia hamowania awaryjnego zanika zużycie paliwa, a ostatnia wartość całościowego zużycia paliwa jest wartością stałą.



Rys. 5.49. Przebiegi chwilowego zużycia paliwa przez pojazd zależnie od intensywności opadów śniegu



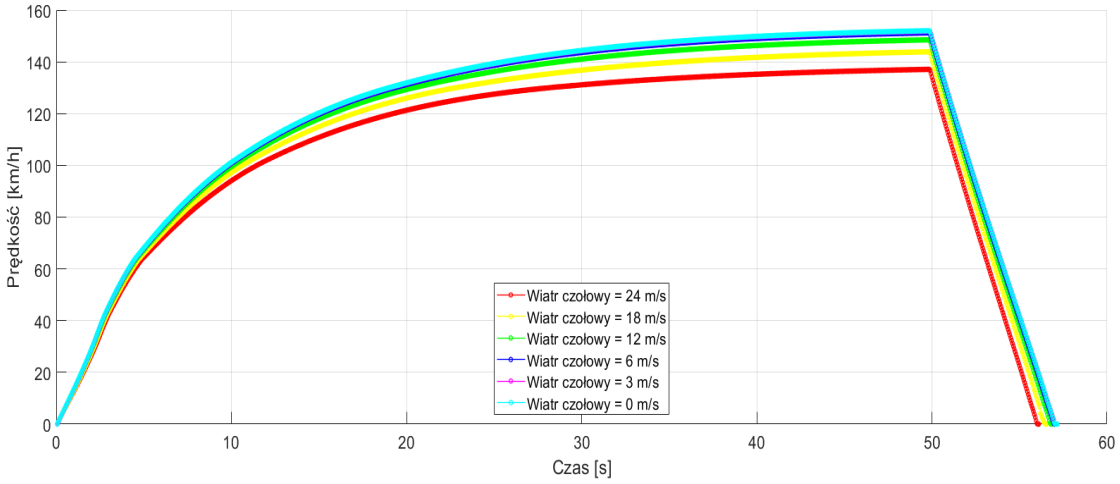
Rys. 5.50. Przebiegi czasowe całkowitego zużycia paliwa przez pojazd zależnie od intensywności opadów śniegu

Zgodnie z wynikami badań przedstawionymi na rys. 5.44–5.50 wyraźnie widoczna jest utrata trakcji (szczególnie dla przypadku wynoszącego 100%), zwłaszcza w przypadku od intensywności opadu śniegu równego lub większego niż 50%, gdzie pojazd miał problemy z przyczepnością przy maksymalnym wymuszeniu skokowym dla pedału przyspieszenia.

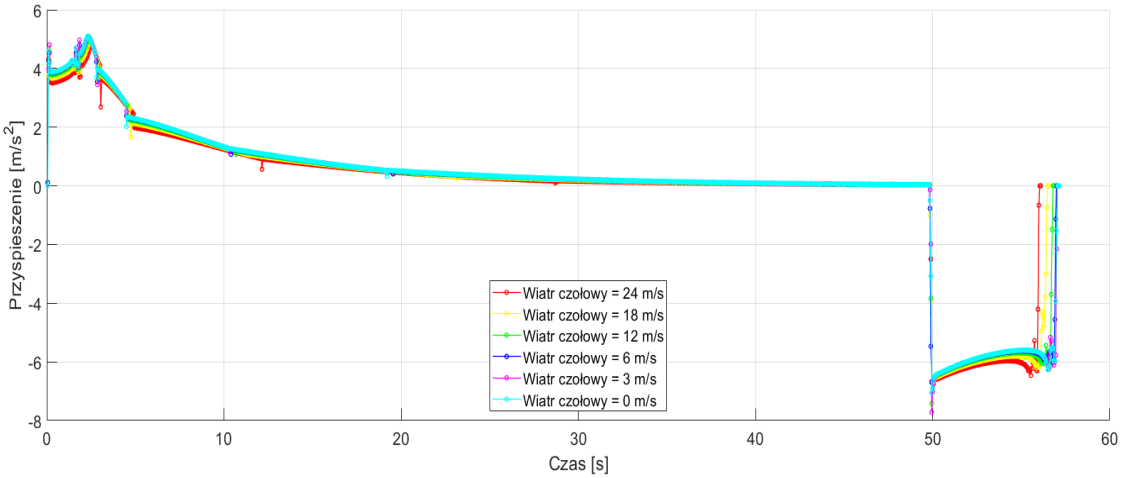
5.6.3. Wpływ czołowego wiatru

Ostatnim badanym przypadkiem wpływu warunków atmosferycznych na uzyskiwane wyniki badań była kwestia wiatru i jego stopnia oddziaływania. Regulacja tego parametru jest możliwa w zakresie prędkości stałego wiatru w sterowaniu ręcznym oraz kierunku wiania w osiach X i Y w układzie kartezjańskim, która została zaimplementowana przez twórców systemu symulacyjnego. Możliwe jest również zaprogramowanie zmiennej charakterystyki kierunku wiatru i jego wartości dla danego miejsca lub wywołania zdarzenia w programie symulacyjnym. Zmiana tego parametru może wpływać istotnie na prowadzony pojazd. W celu realizacji badania przyjęto założenie, iż badany będzie tylko i wyłącznie przypadek, gdzie wiatr wieje tylko od płaszczyzny czołowej pojazdu, dla następujących wartości prędkości: 0 m/s, 3 m/s, 6 m/s, 12 m/s, 18 m/s i 24 m/s.

Pierwsza analizowana charakterystyka prędkości (rys. 5.51), obrazuje, iż wraz z większym wiatrem czołowym zmniejsza się prędkość pojazdu oraz jego przyspieszenie (rys. 5.52). W chwili rozpoczęcia hamowania awaryjnego można zaobserwować różne wartości prędkości dla około 50 s, które wynoszą kolejno: 152,0 km/h, 151,9 km/h, 151,2 km/h, 148,5 km/h, 143,9 km/h oraz 137,1 km/h od najmniejszego wiatru do największego. W przypadku hamowania awaryjnego wszystkie przebiegi zachowują zbliżony charakter liniowy. Ustalając wspólnotą wartość prędkości hamowania na poziomie 120 km/h czas hamowania wynosi od tej wartości kolejno wynosi: 5,75 s, 5,73 s, 5,70 s, 5,65 s, 5,55s oraz 5,40 s, gdzie pierwsza wartość była dla wiatru czołowego równego 0 m/s, a ostatnia dla 24 m/s. Można również zaobserwować, iż przyspieszanie pojazdu posiadało pomniejszoną wartość maksymalną oraz delikatne przesuniecie w czasie zależnie od przyjętej wartości wiatru. Natomiast w czasie hamowania awaryjnego większy wiatr pomagał w szybszym zatrzymaniu wirtualnego pojazdu.

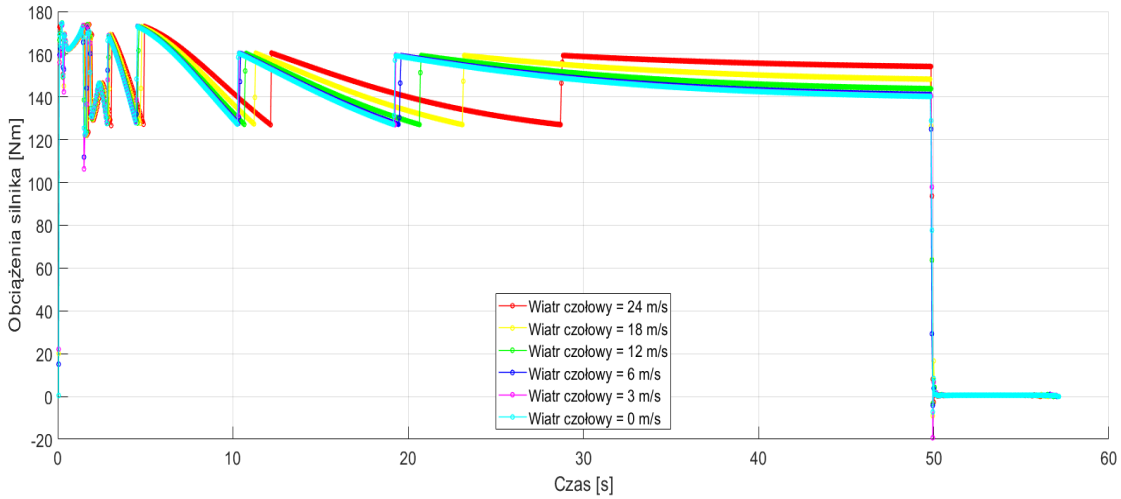


Rys. 5.51. Przebiegi czasowe prędkości pojazdu zależnie od prędkości wiatru w kierunku czołowym

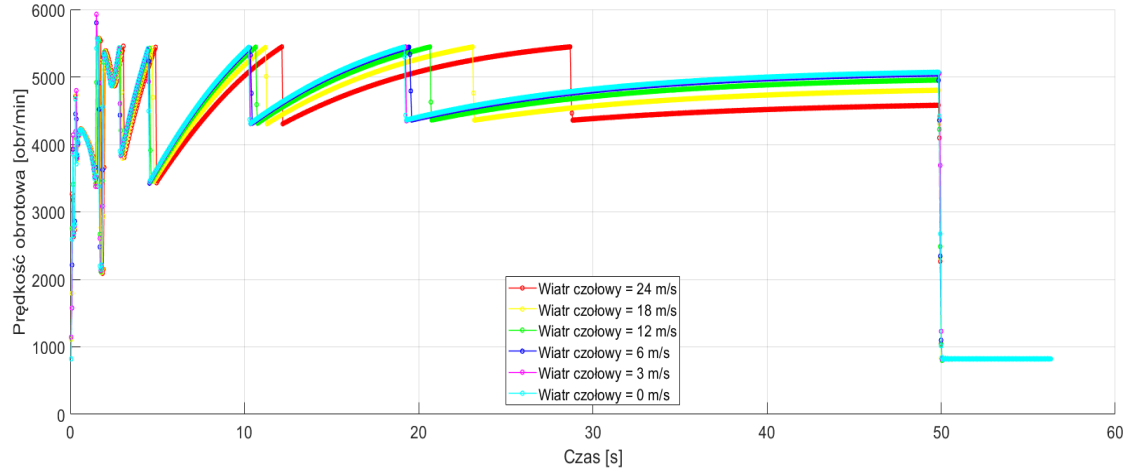


Rys. 5.52. Przebiegi czasowe przyspieszenia pojazdu zależnie od prędkości wiatru w kierunku czołowym

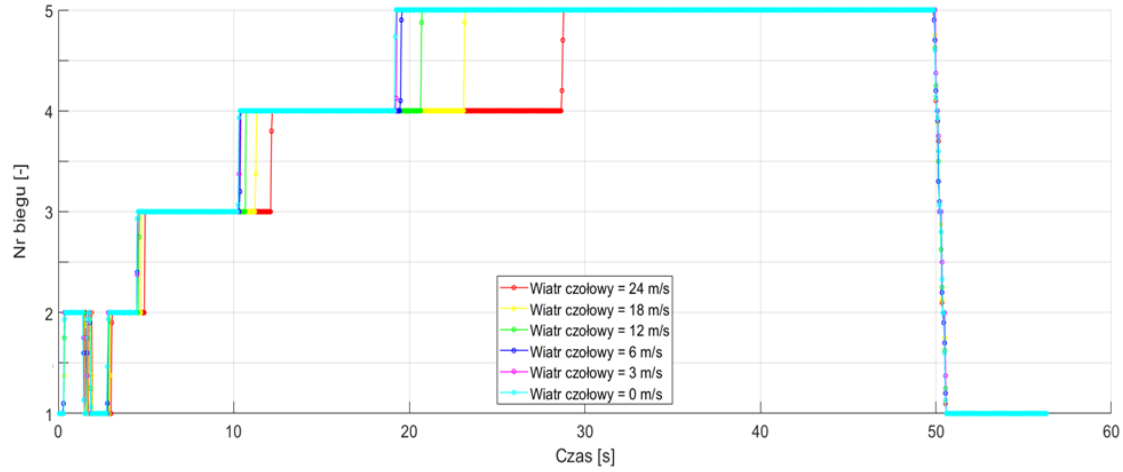
W przypadku analizy charakterystyk obciążenia silnika (rys. 5.53), prędkości obrotowej silnika (rys. 5.54) oraz w sposobie sterowania automatycznej skrzyni biegów (rys. 5.55), można zauważyć, iż początkowe działanie układów jest podobne, ale wraz ze wzrostem prędkości pojazdu od około 4,5 s rejestracji, czy też od prędkości wynoszącej około 60 km/h, można zauważyć wyraźnie przesunięcia w czasie trwania danego przełożenia biegu i prędkości obrotowej silnika. Sam układ sterujący układem napędowym zachowuje standardowe obciążenie silnika w przedziale od 120 Nm do 175 Nm, gdzie dla większych wartości prędkości wiatru można zaobserwować wyższe wartości obciążenia silnika na piątym biegu. Natomiast w czasie hamowania awaryjnego obserwuje się dla wszystkich przypadków podobne zachowanie, gdzie wartości obniżają się gwałtownie do 0 Nm dla obciążenia silnika, a prędkość obrotowa silnika stabilizuje się na około 820 obr/min oraz skrzynia biegów jest wysterowana na pierwszy bieg.



Rys. 5.53. Przebiegi czasowe momentu obciążenia silnika pojazdu zależnie od prędkości wiatru w kierunku czołowym

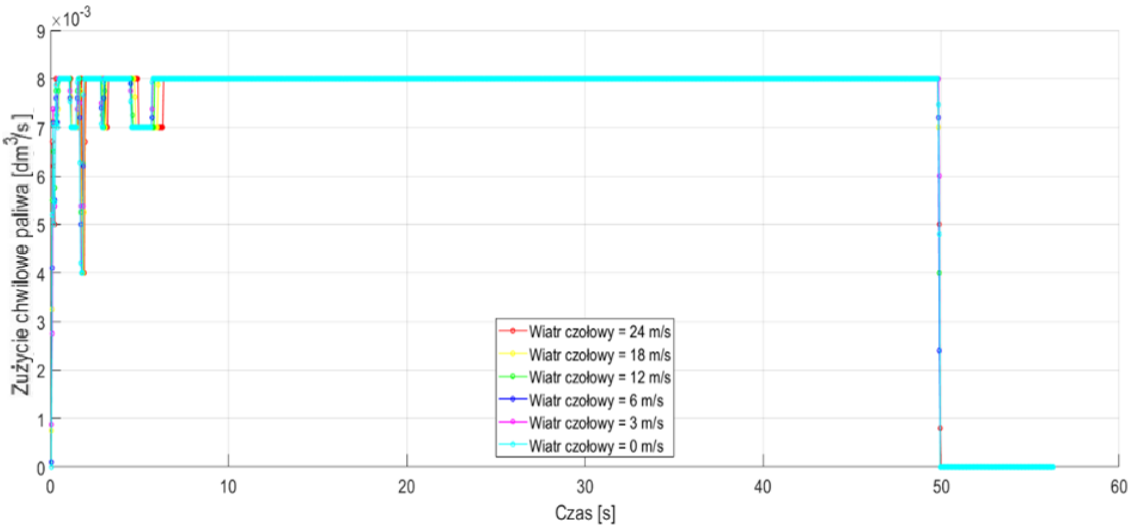


Rys. 5.54. Przebiegi czasowe prędkości obrotowej wału korbowego silnika pojazdu zależnie od prędkości wiatru w kierunku czołowym

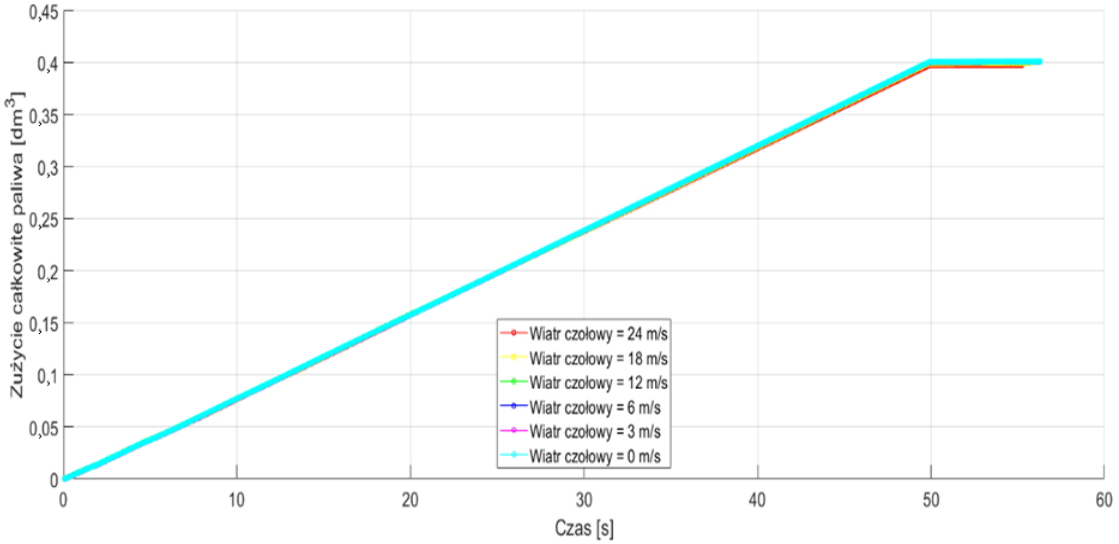


Rys. 5.55. Przebiegi czasowe działania skrzyni biegów pojazdu zależnie od prędkości wiatru w kierunku czołowym

Analizowane wykresy dla chwilowego i całościowego zużycia paliwa są bardzo podobne. Obserwuje się różnice w przesunięciu czasowym, wynikającym z innych okresów dla przełożeń kolejnych wyższych biegów. W chwili rozpoczęcia hamowania awaryjnego zużycie paliwa osiąga wartość 0 dm^3/s, a ostatnia wartość całościowego zużycia paliwa staje się stałą.



Rys. 5.56. Przebiegi chwilowego zużycia paliwa przez pojazd zależnie od prędkości wiatru w kierunku czołowym



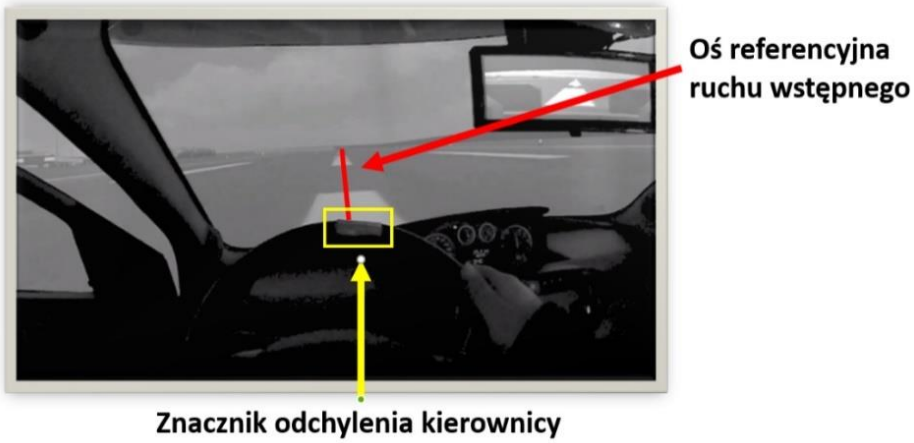
Rys. 5.57. Przebiegi czasowe całkowitego zużycia paliwa przez pojazd zależnie od prędkości wiatru w kierunku czołowym

Wyniki uzyskane na rys. 5.51–5.57 stanowią potwierdzenie, iż czołowy wiatr działa jak wektor siły skierowanej przeciwstawnie do kierunku jazdy pojazdu (lub do kierunku jazdy pojazdu w przypadku innego kierunku wektora wiatru). Tym samym pojazd z zerowym wektorem wiatru uzyskuje najlepsze przyspieszenie oraz najwyższą prędkość maksymalną, ale uzyskuje delikatnie gorsze wyniki podczas hamowania awaryjnego. Zauważalna jest intensyfikacja różnic około prędkości 60 km/h w czasie zmiany z drugiego na trzeci bieg w około 4,5 s rejestracji. Od tej chwili stają się widoczniejsze powolniejsze zmiany kolejnych biegów oraz większe obciążenie silnika dla większych wartości prędkości wiatru.

5.7. Opóźnienia systemu antropotechnicznego

Kolejne badanie miało na celu zweryfikowanie opóźniepomiędzy elementami sterującymi, a światem wirtualnym. Jest to jeden z kluczowych elementów wpływających na czas reakcji kierowcy i zachowanie systemu antropotechnicznego w układach symulacyjnych. Elementami poddanym analizie były: układ kierowniczy, pedał sprzęgła i hamulec postojowy. Opóźnienia były wyliczane na podstawie obserwacji skokowej zmiany stanu rzeczywistego elementu względem pierwszej odpowiedzi układu wirtualnego świata.

Na rysunku 5.58 przedstawiono wizualizację badania, którego celem było zweryfikowanie opóźnienia efektu skrętu kierownicy o około 90^{o} w prawo, względem odpowiedzi osi referencyjnej w wirtualnym świecie (linie pasa na drodze) przy maksymalnej prędkości około 100 km/h (dla piętnastu prób).



Rys. 5.58. Widok procedury badawczej wyznaczającej opóźnienie zmiany ustawienia kierownicy pojazdu wraz z odpowiedzią wizualnego świata

Następnie weryfikowano opóźnienie dla hamulca ręcznego/postojowego/awaryjnego, gdzie do zadawania odpowiedniego wymuszenia wykorzystano syntetycznego kierowcę, który na zmianę przekazywał zmienny sygnał skokowy, który można było obserwować na wirtualnej desce rozdzielczej umieszczonej na tle wirtualnego świata, uwidoczniony przez piktogram stanu działania hamulca ręcznego (rys. 5.59).



Rys. 5.59. Badanie opóźnienia hamulca awaryjnego z uwzględnieniem odpowiedzi wizualnego świata

Ostatnim badanym opóźnieniem była skokowa zmiana ustawienia pedału sprzęgła pojazdu między wartościami: minimalną a maksymalną. Próby były realizowane podobnie, jak w poprzednim przypadku, z zastosowaniem syntetycznego kierowcy. Zmiana stanu była obserwowana na wirtualnej desce rozdzielczej i diodzie sygnalizacyjnej od syntetycznego kierowcy, wskazującej stan oraz zmianę stanu sygnału sterującego (rys. 5.60).



Rys. 5.60. Badanie opóźnienia zmiany ustawienia pedału sprzęgła z uwzględnieniem odpowiedzi wizualnego świata

Z przeprowadzonych prób badawczych wyznaczono, iż opóźnienie między rzeczywistym wymuszeniem a pierwszą reakcją względem punktów referencyjnych świata wirtualnego wyniosło około 0,25 s ±0,15 s.

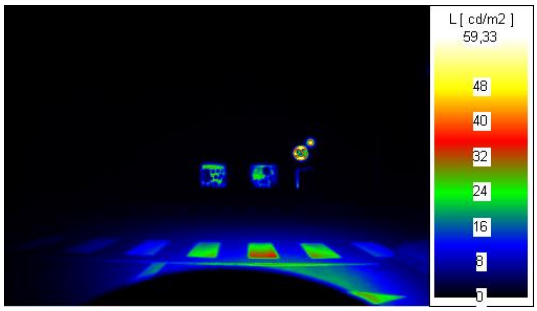
5.8. Pomiary wybranych parametrów świetlnych

W celu sprawdzenia zmian poziomu luminancji, wartości maksymalnych i minimalnych zrealizowano badania rozkładu luminancji, aby zweryfikować stopień odwzorowania sztucznych przestrzeni wirtualnego świata zastosowanych na stanowisku symulacyjnym. W pierwszym etapie badań zweryfikowano wpływ pory dnia na luminancję widoczną przez kierowcę symulatora dla wybranych wirtualnych elementów takich jak: droga asfaltowa, pasy drogowe, znak drogowy, budynki, zieleń i niebo. Zaobserwowano zachodzące zmiany parametrów dla wybranych obiektów względem pory dnia, ale różnice były niewielkie dla wartości maksymalnej. Wyniki uzyskane z powyższych pomiarów zebrano w tab. 5.1 i na rys. 5.61–5.67 (ze wskazań z przyrządu pomiarowego). Uzyskane wyniki wskazują, iż maksymalny poziom luminancji wynosi około 71 cd/m^2, a minimalny poziom był przeważnie bardzo bliski wartości 0 cd/m^2.

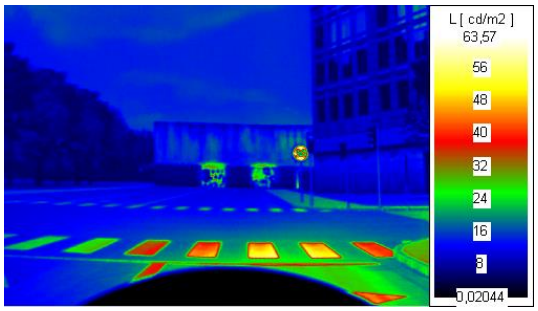
Tabela 5.1

Zestawienie zmian poziomów luminancji [cd/m^2] dla punktów charakterystycznych

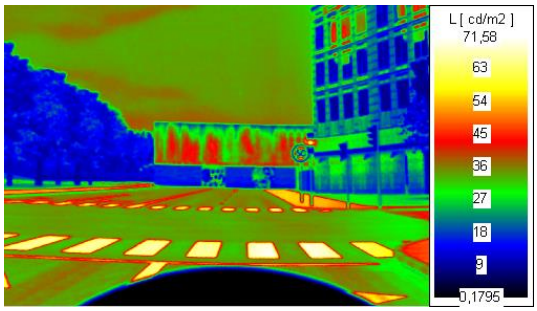
Symulacja pory dnia	**5:00**	**6:00**	**7:00**	**12:00**	**17:00**	**18:00**	**19:00**
Droga asfaltowa	0–24	8–30	27–36	27–36	9–27	8–32	0–24
Pasy drogowe	0–40	14–56	45–71	45–71	27–64	8–48	0–40
Znak drogowy	0–59	8–63	18–45	18–45	9–63	0–60	0–59
Budynki	0	0–16	18–45	18–45	9–18	0–16	0
Drzewa i zieleń	0	0–16	9–18	9–18	9–18	0–8	0
Niebo	0	8–16	27–36	27–45	18–27	0–8	0



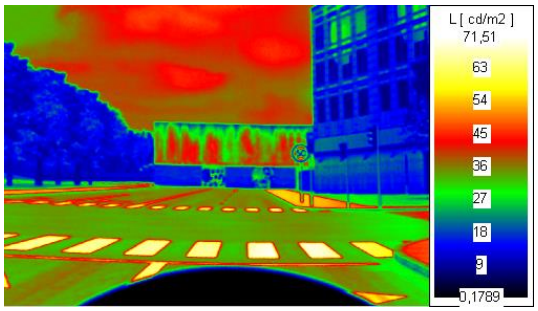
Rys. 5.61. Widok rozkładu luminancji o godz. 5:00



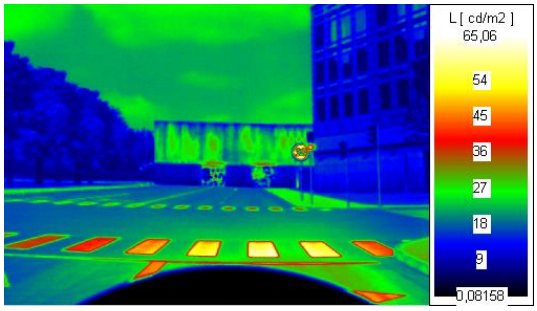
Rys. 5.62. Widok rozkładu luminancji o godz. 6:00



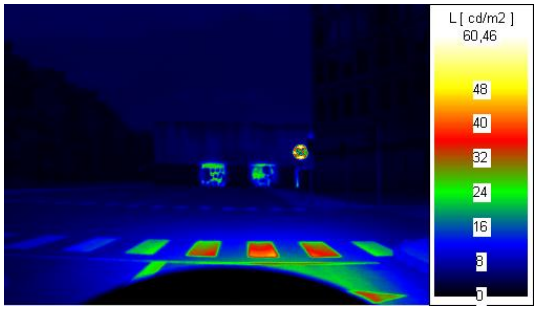
Rys. 5.63. Widok rozkładu luminancji o godz. 7:00



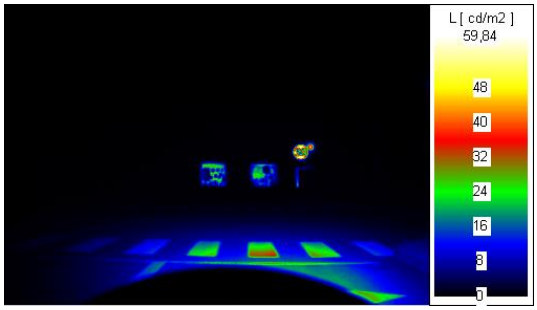
Rys. 5.64. Widok rozkładu luminancji o godz. 12:00



Rys. 5.65. Widok rozkładu luminancji o godz. 17:00



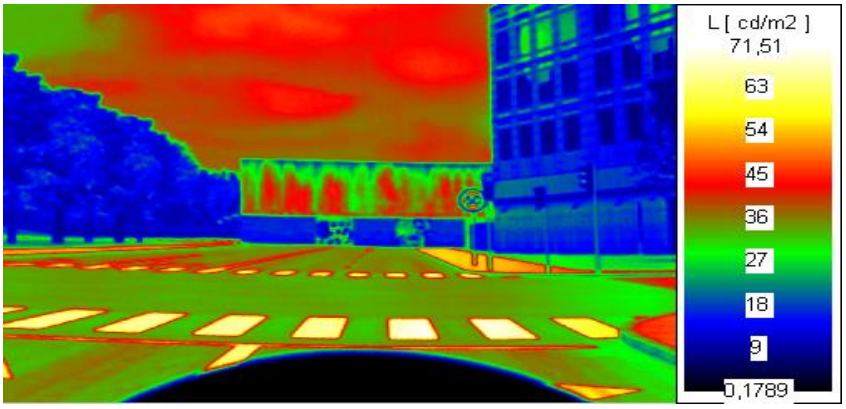
Rys. 5.66. Widok rozkładu luminancji o godz. 18:00



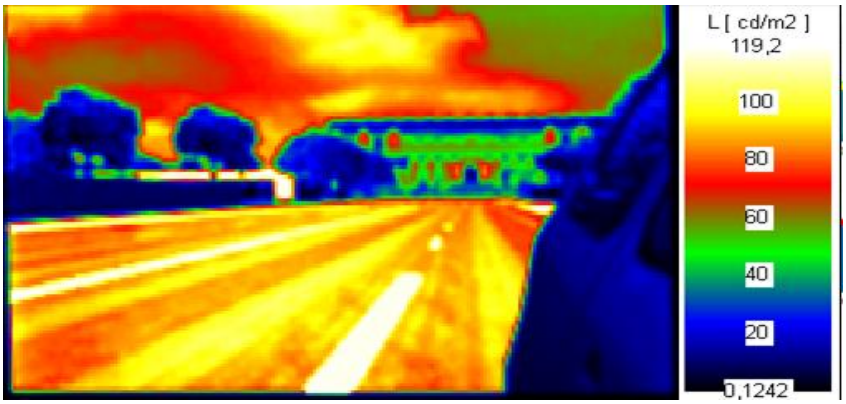
Rys. 5.67. Widok `rozkładu luminancji o godz. 19:00

Następnie porównano różnice w luminancji względem źródła realizacji wyświetlania obrazu za pomocą rzutników obrazu i ekranów LCD występujących w postaci lusterek pojazdu. Główną zauważalną różnicą jest zmierzony zakres maksymalny, który był zdecydowanie większy dla ekranu LCD (rys. 5.69), względem widocznego obrazu na ekranie panoramicznym (rys. 5.68). Warto jednak zauważyć, iż obie symulowane meto-

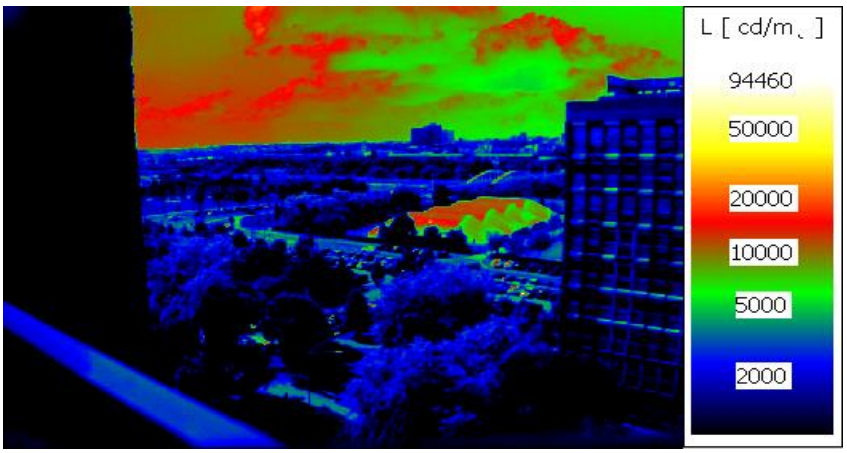
dy, przedstawiające wirtualny świat, posiadają bardzo mała wartość luminancji maksymalnej względem warunków rzeczywistych. Posiadają one o wiele mniejszy zakres mogący wynosić 1/1000 odpowiednika rzeczywistego (rys. 5.70).



Rys. 5.68. Obraz widziany przez kierowcę symulatora z rzutników



Rys. 5.69. Obraz widziany przez kierowcę symulatora z ekranów LCD umieszczonych w lusterkach



Rys. 5.70. Przykład obrazu uzyskanego z referencyjnego pomiaru dla świata rzeczywistego

6. Cechy związane ze stylem jazdy kierowcy

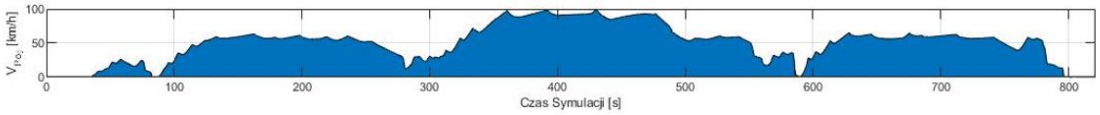
6.1. Podstawowe dane do analizy stylu jazdy

Podczas wykonywania prób badawczych i analizy tematycznej wybrano najbardziej „użyteczne" dane, z punktu widzenia analizy stylu jazdy badanych kierowców na symulatorze pojazdu osobowego. Głównymi kryteriami było wykorzystanie danych występujących powszechnie w innych rozwiązaniach symulacyjnych o podobnym poziomie realizmu, przeznaczonych do szkoleń kierowców. Uzyskiwane dane musiały obejmować rejestrację całego zakresu doświadczenia symulacyjnego i umożliwiać analizę w zakresie makro- i mikroskopowym.

Dla celów realizacji podstawowej analizy stylu jazdy wybrano następujące wartości z rejestrowanego systemu symulacyjnego, które najlepiej obrazują charakterystykę prowadzenia pojazdu przez badanego kierowcę, bazując na podstawowych danych z symulacji:

- ***czas testu lub symulacji*** – wartość konieczna do zobrazowania przebiegu doświadczenia symulacyjnego i powiązania innych wartości w kryterium czasu (rys. 6.1–6.12),
- ***prędkość pojazdu*** – prędkość poruszania się pojazdu z poziomu wskazań zegarów kierowcy i stanowiąca jeden z istotniejszych elementów w zakresie bezpieczeństwa (rys. 6.1),
- ***przyspieszenie pojazdu*** – wartość będąca pochodną prędkości pojazdu w celu zobrazowania sposobu przyspieszania pojazdu przez kierowcę, czy też kolizji (rys. 6.2),
- ***ustawienie kierownicy pojazdu*** – obrazujące kierunek i sposób wykonywanych manewrów (rys. 6.3),
- ***ustawienie pedału przyspieszenia*** – odzwierciedlenie operowania pedałem przyspieszenia przez kierowcę, które jest jednym z głównych elementów w zakresie bezpieczeństwa i tzw. ekojazdy (rys. 6.4),
- ***ustawienie pedału hamulca*** – przedstawiające operowanie pedałem hamulca przez kierowcę, które jest jednym z głównych elementów w zakresie bezpieczeństwa i tzw. ekojazdy (rys. 6.5),
- ***ustawienie pedału sprzęgła*** – przedstawiające operowanie pedałem sprzęgła przez kierowcę (rys. 6.6),
- ***ustawienie hamulca ręcznego*** – przedstawiające operowanie hamulcem ręcznym przez kierowcę (rys. 6.7),
- ***aktualne ustawienie skrzyni biegów*** – przedstawiające operowanie skrzynią biegów przez kierowcę (rys. 6.8),
- ***prędkość obrotowa wału silnika*** – przedstawia, jak kierowca operował przyspieszeniem pojazdu w ujęciu kontroli prędkości obrotowej wału korbowego silnika w przypadku analizy w ujęciu zasad tzw. ekojazdy (rys. 6.9),
- ***moment obrotowy wału silnika*** – przedstawiający, jak kierowca operował przyspieszeniem pojazdu w ujęciu hamowania silnikiem w przypadku analizy w ujęciu zasad ekojazdy (rys. 6.10),
- ***chwilowe zużycie paliwa*** – jest to uproszczone zużycie paliwa w danej chwili przez silnik pojazdu w przypadku analizy w ujęciu zasad tzw. ekojazdy (rys. 6.11),
- ***całkowite zużycie paliwa*** – jest to całkowite sumaryczne zużycie paliwa przez silnik, będące przydatne w przypadku analizy w ujęciu zasad tzw. ekojazdy (rys. 6.12),

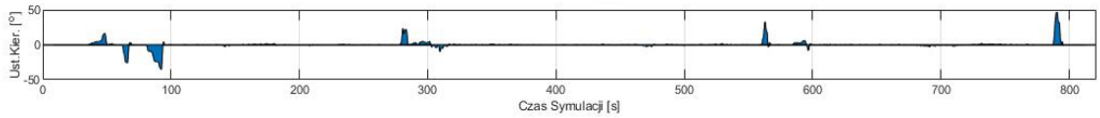
- ***położenie pojazdu w układzie kartezjańskim*** – jest to trasa przejazdu w przypadku na rys. 6.13 przestawiona wyłącznie w układzie X i Y z pominięciem wysokości Z.



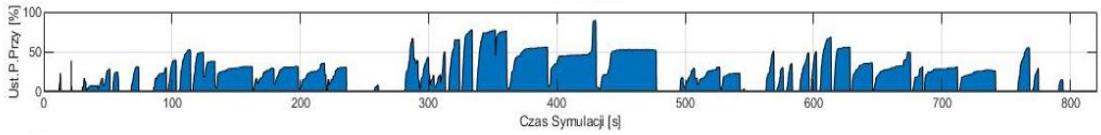
Rys. 6.1. Przebiegi czasowe prędkości pojazdu w trakcie badania symulacyjnego



Rys. 6.2. Przebiegi czasowe przyspieszenia pojazdu w trakcie badania symulacyjnego



Rys. 6.3. Przebiegi czasowe ustawienia pozycji kierownicy pojazdu w trakcie badania symulacyjnego



Rys. 6.4. Przebiegi czasowe ustawienia pedału przyspieszenia pojazdu w trakcie badania symulacyjnego



Rys. 6.5. Przebiegi czasowe ustawienia pedału hamulca pojazdu w trakcie badania symulacyjnego



Rys. 6.6. Przebiegi czasowe ustawienia pedału sprzęgła pojazdu w trakcie badania symulacyjnego



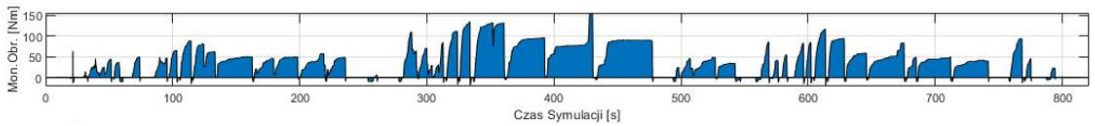
Rys. 6.7. Przebiegi czasowe ustawienia hamulca ręcznego pojazdu w trakcie badania symulacyjnego



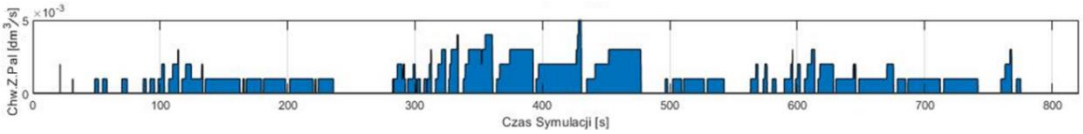
Rys. 6.8. Przebiegi czasowe operowania biegami pojazdu w trakcie badania symulacyjnego



Rys. 6.9. Przebiegi czasowe prędkości obrotowej wału silnika pojazdu w trakcie badania symulacyjnego



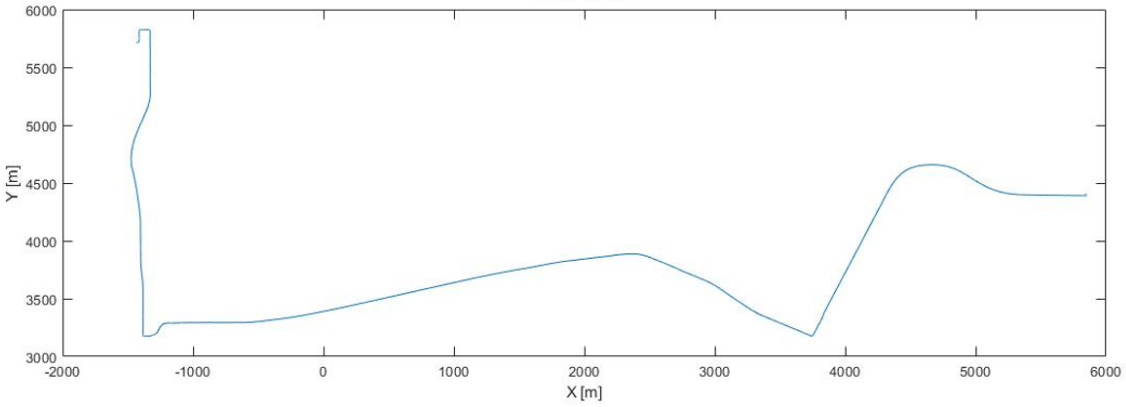
Rys. 6.10. Przebiegi czasowe momentu obrotowego silnika pojazdu w trakcie badania symulacyjnego



Rys. 6.11. Przebiegi chwilowego zużycia paliwa przez pojazd w trakcie badania symulacyjnego



Rys. 6.12. Przebiegi czasowe całkowitego zużycia paliwa przez pojazd w trakcie badania symulacyjnego



Rys. 6.13. Przebieg przemieszczania pojazdu w układzie X i Y

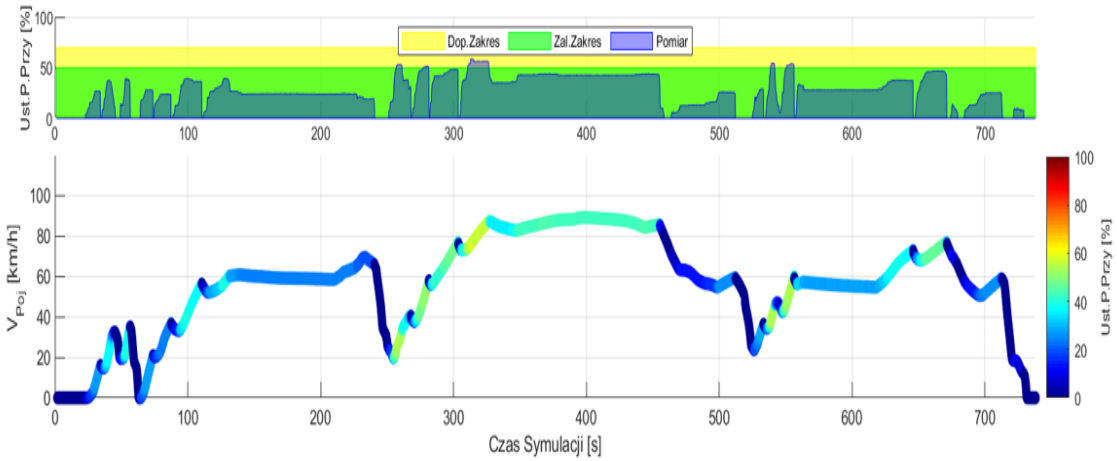
Na podstawie przedstawionych powyżej podstawowych charakterystyk jest możliwe przeanalizowanie stylu jazdy badanego kierowcy w dziedzinie czasu. Analiza ukierunkowana na przeanalizowaniu zarejestrowanego przejazdu w ujęciu bezpieczeństwa głównie powinna bazować na charakterystyce prędkości i przyspieszenia pojazdu oraz elementów odpowiedzialnych za kontrolowanie pojazdu (ustawienia: kierownicy, pedałów, hamulca ręcznego, trasa przejazdu). Natomiast w przypadku tzw. ekojazdy, w ujęciu podstawowym ocena będzie koncentrować się na operowaniu przyspieszeniem pojazdu, kontroli zakresu pracy obrotowej wału korbowego silnika i operowania skrzynią biegów, które w efekcie będzie wpływało na zużycie chwilowe oraz całkowite paliwa.

Powyższe rozwiązanie nadaje się do ogólnego przedstawienia kierowcom podstawowych zagadnień związanych z tematyką bezpieczeństwa i tzw. ekojazdy. Natomiast, takie rozwiązania mogą być niezrozumiałe do celów przedstawienia oraz wytłumaczenia specyficznych problemów u badanego kierowcy. Osoba prowadząca analizę może

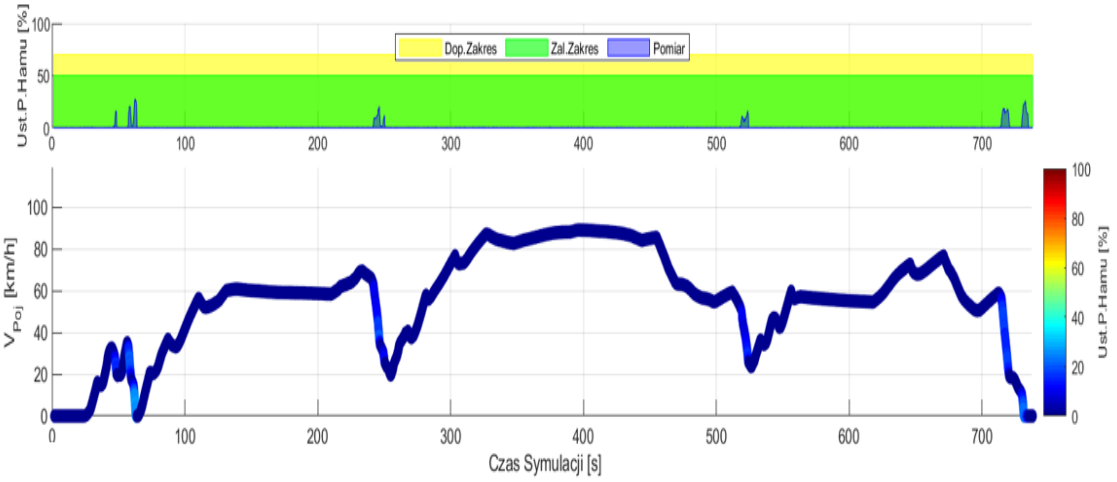
nie być w stanie łatwo przedstawić, które elementy są krytyczne dla danej chwili i odcinka trasy w danym symulowanym przejeździe testowym. Ma to istotne znaczenie dla korygowania złych nawyków lub uzupełniania wiedzy u kierowcy.

6.2. Ocena stylu jazdy w ujęciu bezpieczeństwa

Analiza danego przejazdu w ujęciu bezpieczeństwa oparta na charakterystykach prędkości pojazdu, ustawienia pedałów, trasy przejazdu i ograniczenia prędkości na danym odcinku mogą stanowić bazę do określenia charakterystyki oraz oceny prowadzenia pojazdu czy też zdarzeń niepożądanych w danym przejeździe. Elementem wyjściowym była charakterystyka prędkości połączona z charakterystyką sterowania pedału przyspieszenia (rys. 6.14) i hamulca (rys. 6.15) w czasie trwania symulacji. Sam przebieg wykresu prędkości jest ważnym źródłem informacji ze względu na efekt sterowania pojazdu przez kierowcę. Dzięki nim można zaobserwować czy badana osoba sterowała pojazdem w sposób szybki/agresywny czy też wolny/spokojny.

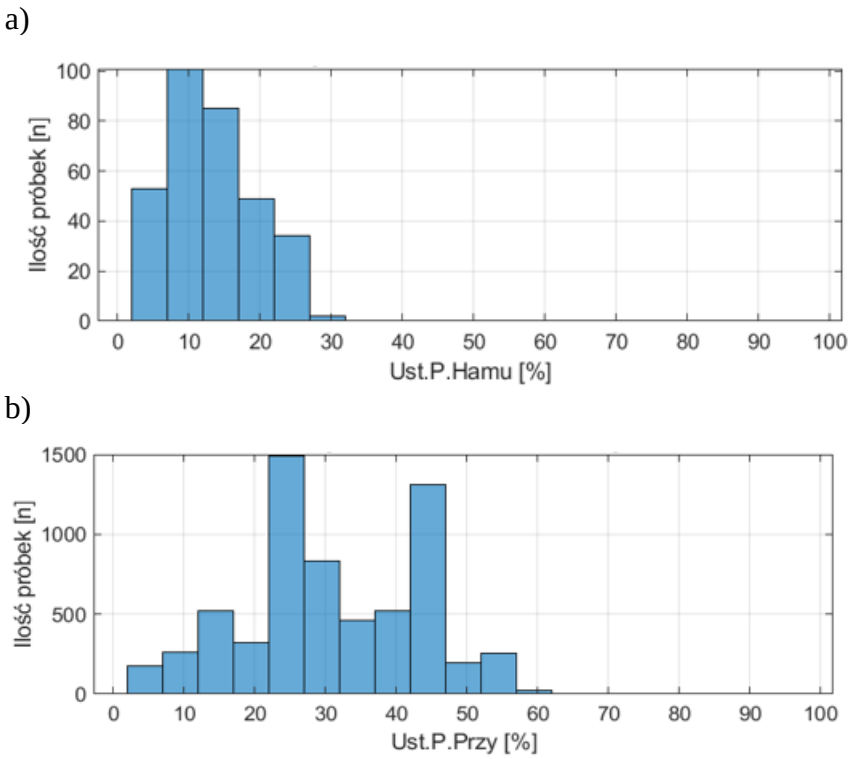


Rys. 6.14. Przebiegi czasowe sterowania pedałem przyspieszenia z naniesionymi zakresami bezpieczeństwa i profilu prędkości pojazdu z wartością wysterowania ustawienia pedału przyspieszenia



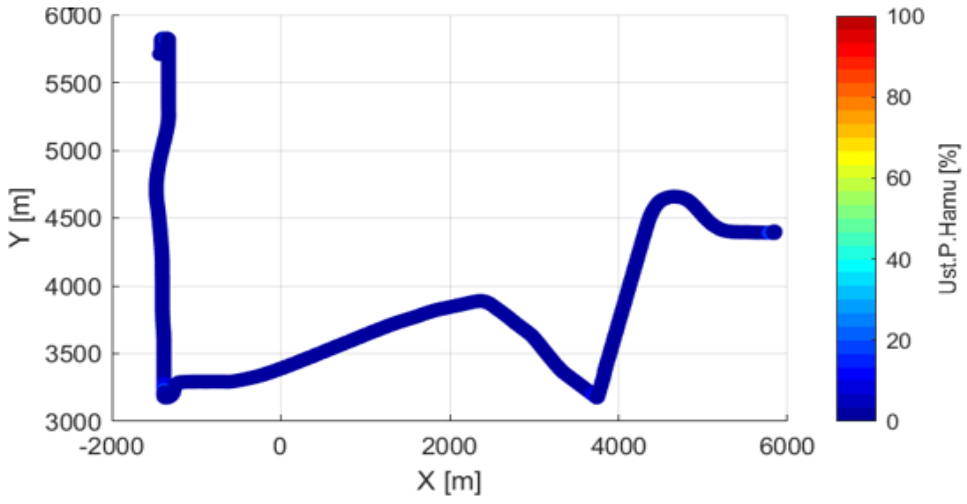
Rys. 6.15. Przebiegi czasowe sterowania pedałem hamulca z naniesionymi zakresami bezpieczeństwa i profilu prędkości pojazdu z wartością wysterowania ustawienia pedału hamulca

Istotnym uproszczeniem dla celu zrozumienia, jak badany kierowca operował danym pedałem przyspieszenia i hamulca podczas całego przejazdu testowego, jest przedstawienie rozkładu ustawienia danego pedału na histogramie z pominięciem pozycji zerowej w dziedzinie próbki pomiarowej (rys. 6.16). W zależności od rozkładu próbek można ustalić sposób sterowania pojazdem przez daną osobę.

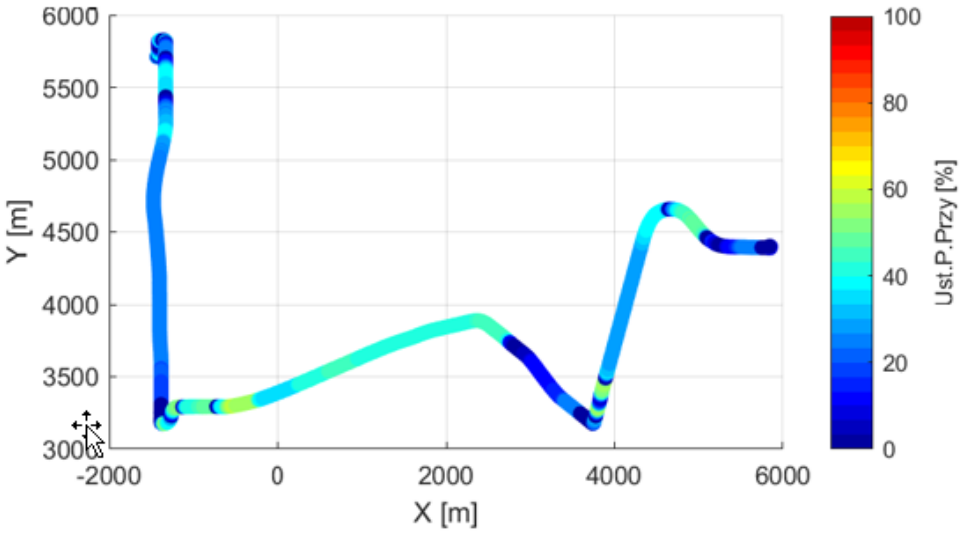


Rys. 6.16. Histogramy wysterowania pedału hamulca (a) i przyspieszenia (b)

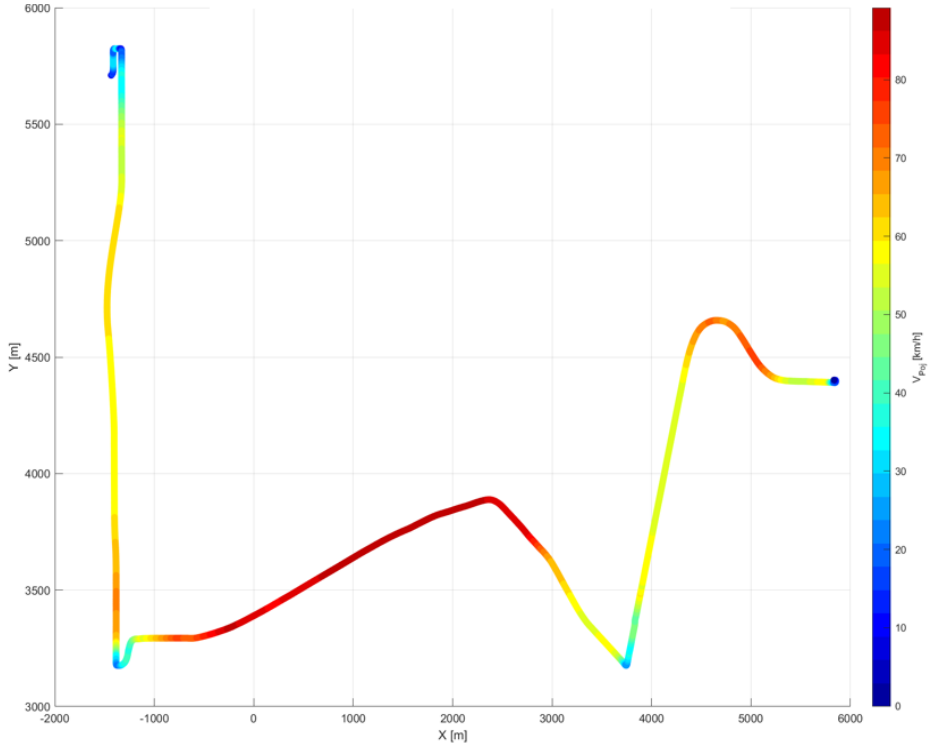
Innym bardzo przydatnym zobrazowaniem operowania pedałami przyspieszenia i hamulca jest ich połączenie w charakterystyki z przebiegiem trasy 2D lub 3D. Dzięki czemu można globalnie i lokalnie prześledzić sterowanie pojazdem na trasie z uwzględnieniem przebiegu trasy testowej dla danego sygnału sterującego (rys. 6.17 i 6.18), czy też prędkości pojazdu (rys. 6.19).



Rys. 6.17. Trasa przejazdu z naniesionym ustawieniem pedału hamulca

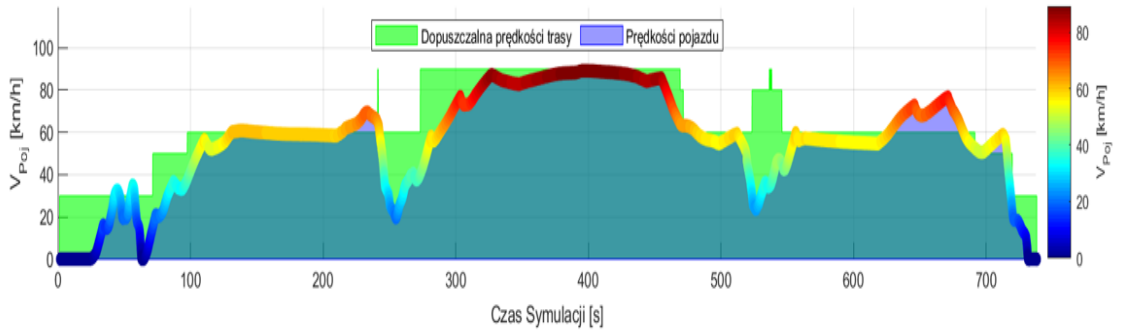


Rys. 6.18. Trasa przejazdu z naniesionym ustawieniem pedału przyspieszenia

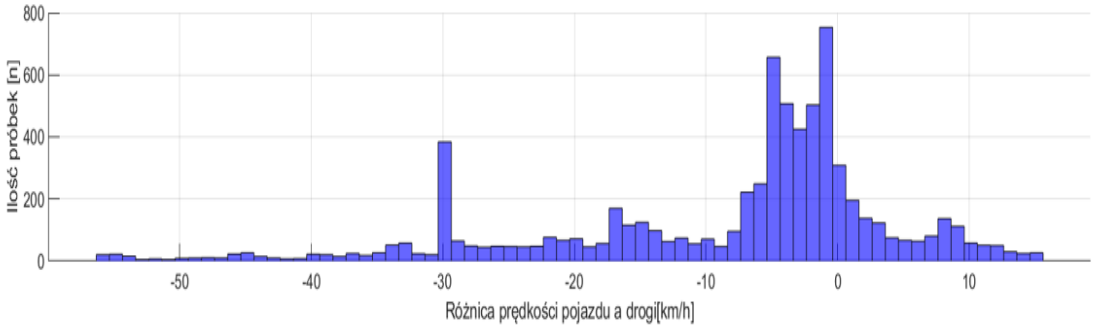


Rys. 6.19. Wykres trasy przejazdu z naniesioną prędkością pojazdu

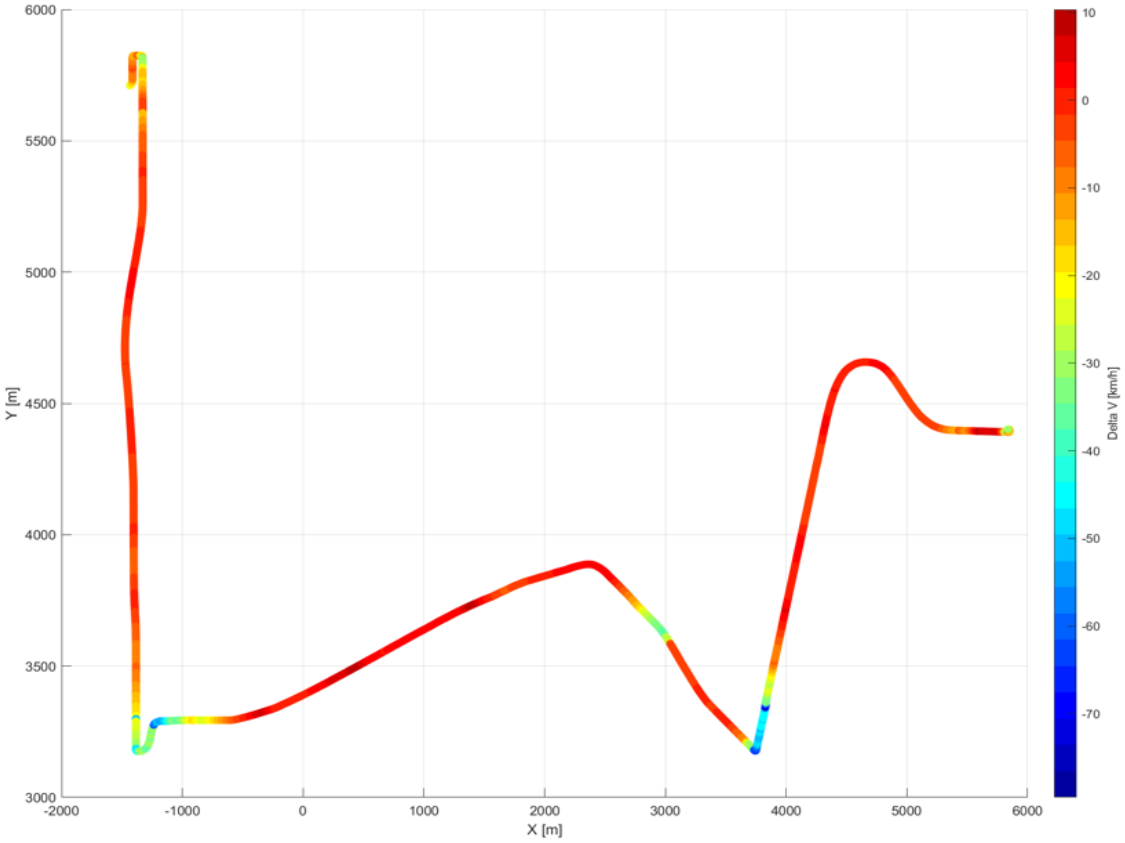
Natomiast charakterystyka prędkości pojazdu połączona z dozwoloną prędkością na danym odcinku (rys. 6.20) obrazuje, jak kierowca utrzymywał oraz jak dostosowywał swoją prędkość w trakcie przejazdu testowego na kolejnych etapach trasy. W przypadku prezentacji różnicy prędkości na histogramie jest możliwe określenie, jak badany kierowca podchodził do zagadnienia utrzymywania właściwej prędkości pojazdu i jest możliwe wyznaczenie postojów oraz zatrzymań pojazdu na danej drodze (rys. 6.21). Przydatne może być również przedstawienie trasy przejazdu z naniesioną różnicą prędkości, w celu zobrazowania lokalizacji przyczyn (rys. 6.22).



Rys. 6.20. Przebiegi czasowe prędkości pojazdu z ograniczeniami prędkości na danym odcinku drogi

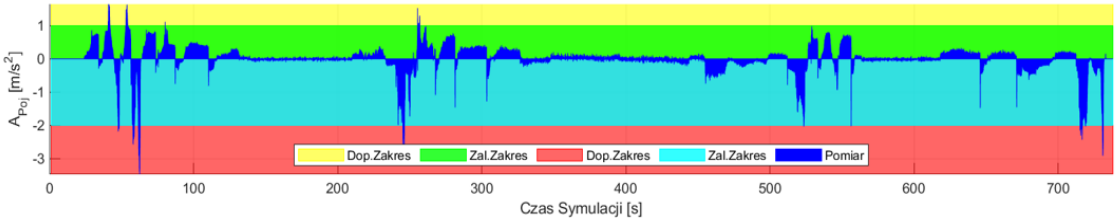


Rys. 6.21. Histogram różnicy prędkości pojazdu względem ograniczenia prędkości na danym odcinku drogi



Rys. 6.22. Wykres trasy przejazdu 2D z naniesioną różnicą prędkości pojazdu względem ograniczenia prędkości na danym odcinku drogi

Kolejnym elementem składowym dla dokładniejszej analizy bezpieczeństwa jest ocena charakterystyki przyspieszenia pojazdu. Stanowi ona istotne źródło informacji, jak dany kierowca steruje symulowanym pojazdem. Dzięki niej można, przy odpowiednim skalibrowaniu wirtualnego pojazdu, określić granice dla zalecanego, dopuszczalnego i niebezpiecznego przyspieszenia pojazdu podczas rozpędzania oraz hamowania (rys. 6.23). Ma to szczególne znaczenie dla większości systemów symulacyjnych, gdzie realizuje się odtworzenia zbliżonych lub częściowych przyspieszeń dla badanego kierowcy.

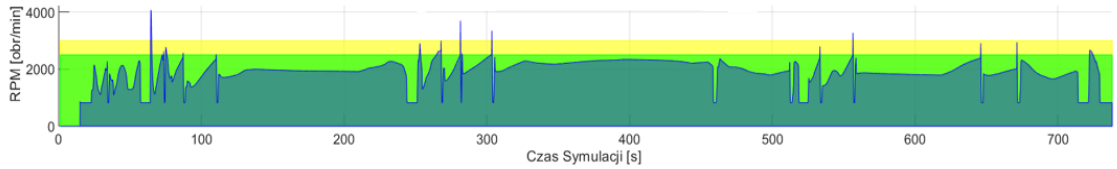


Rys. 6.23. Przebieg czasowy przyspieszenia pojazdu i zakresów zalecanych oraz dopuszczalnych zmian przyspieszenia

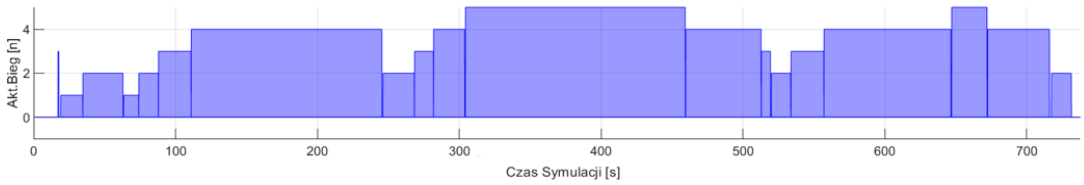
6.3. Ocena stylu jazdy w ujęciu ekologii

Analiza przejazdu w ujęciu ekologii do oceny stylu jazdy wykorzystuje, podobnie jak w uprzednim punkcie, połączone charakterystyki wysterowania pedałów przedstawionych na rys. 6.14 i 6.15, histogramy (rys. 6.16) oraz trasy przejazdu (rys. 6.17 i rys. 6.18). Dzięki nim można określić, jak dany badany kierowca stosował się do wytycznych tzw. ekojazdy w ujęciu operowania pedałami. Na podstawie wytycznych oznaczono na wykresach strefę zieloną, czyli wartość zalecaną, żółtą oznaczająca strefę dopuszczalną wysterowania pedału, a każda powyżej wartość była odstępstwem od zasad ekojazdy. W dalszej części pracy podobne oznaczenie będzie wykorzystywane do określenia pożądanych zakresów dla danych zarejestrowanych wartości.

Kolejnymi ważnym elementami oceny realizacji zasad tzw. ekojazdy jest zagadnienie, jak kierowca kontrolował prędkość obrotową wału korbowodowego silnika w ujęciach utrzymywania danej prędkości oraz podczas zmiany biegów dla pojazdów wyposażonych w skrzynię automatyczną. Na rysunku 6.24 można zaobserwować, iż przykładowy badany kierowca utrzymywał prędkość obrotową silnika przez zdecydowaną większość czasu na zadanym poziomie za wyjątkiem zmiany przełożenia biegów (rys. 6.25).

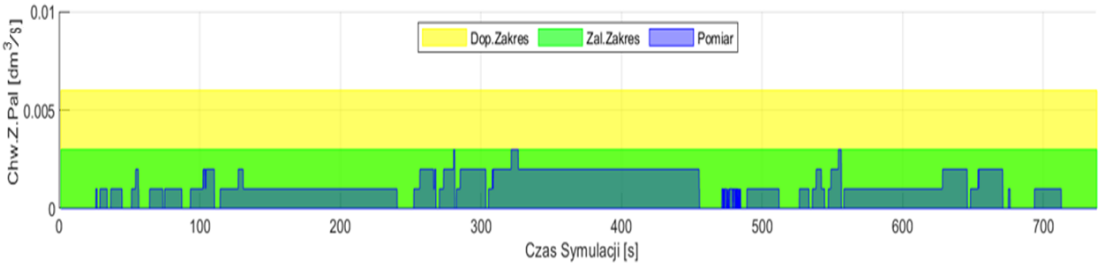


Rys. 6.24. Przebieg czasowy prędkości obrotowej wału korbowego silnika z zalecanymi limitami dla tzw. ekojazdy

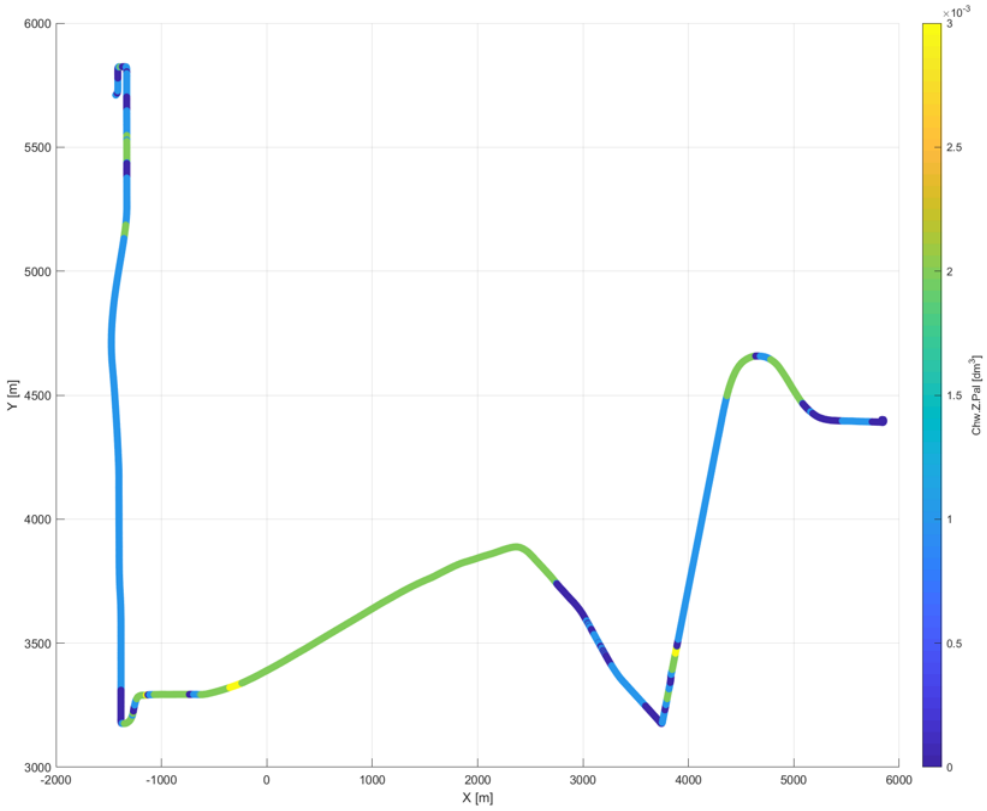


Rys. 6.25. Przebieg czasowy sterowania skrzynią biegów

Następnym elementem oceny może być chwilowe zużycie paliwa, jeśli dany system symulacyjny posiada możliwość zarejestrowania powyższej wartości. Dzięki niej jest możliwe określenie maksymalnego zużycia paliwa i stref pożądanych oraz dopuszczalnych względem zasad tzw. ekojazdy (rys. 6.26). Dodatkowym przydatnym połączeniem zużycia chwilowego paliwa może być skorelowanie go z trasą przejazdu, dzięki czemu można dokładniej przedstawić, kiedy kierowca stosował poprawnie zasady tzw. ekojazdy – unikał zbyt gwałtownego przyspieszania lub wykorzystywał hamowanie silnikiem (rys. 6.27).

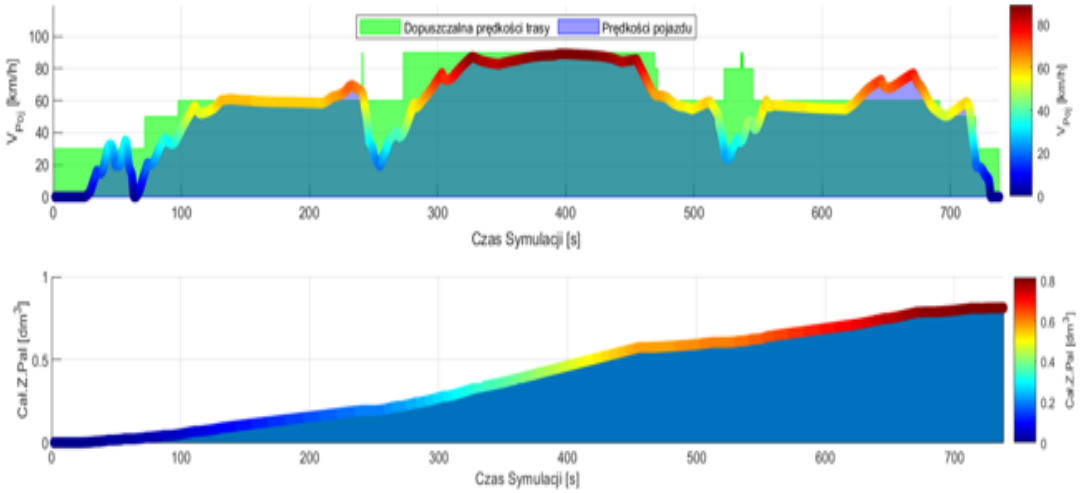


Rys. 6.26. Przebieg czasowy chwilowego zużycia paliwa z zalecanymi zakresami dla wybranego symulowanego pojazdu



Rys. 6.27. Wykres trasy przejazdu z naniesionym chwilowym zużyciem paliwa przez pojazd

Interesująca jest też charakterystyka całkowitego zużycia paliwa przez silnik pojazdu zestawiona z profilem prędkości pojazdu, dzięki której można wskazać istotne miejsca na osi czasu różniące się znacznie od poprzedniego stylu jazdy. Jest to widoczne poprzez załamania krzywej oznaczające zwiększenie lub zmniejszenie chwilowego zużycia paliwa przez silnik pojazdu (rys. 6.28).



Rys. 6.28. Przebiegi czasowe profilu pojazdu z dopuszczalną prędkością i całkowitego zużycia paliwa

6.4. Ankieta doświadczeń, samooceny i wiedzy kierowców

Podczas prowadzenia badań przeprowadzono ankietę (tab. 6.1) na 91 studentach, w celu ustalenia, jak postrzegają samych siebie jako kierowców i jaki stosunek mają do zachowań zależnych oraz niezależnych od nich na drogach. Z wyników przeprowadzonej ankiety wynika, iż zdecydowana większość lubi podróżować samochodami (94%) i uważa się za dobrych kierowców (72%), którzy starają się przestrzegać przepisów oraz kultury drogowej w swojej ocenie. Irytują ich niewłaściwe i niebezpieczne zachowania na drodze. Niestety około 20% ankietowanych ma w zwyczaju niewłaściwe zachowania związane z korzystaniem z telefonu komórkowego, 11% do kontynuowania prowadzenia niesprawnego pojazdu (przy czym kolejne 18% było niezdecydowane, gdzie 95% ankietowanych określiło, iż stan techniczny pojazdu jest dla nich ważny) oraz 33% są skłonni do przekraczania prędkości na drodze krajowej w warunkach nocnych, jadąc przez las (niewielka widoczność czy też występowanie zwierzyny leśnej).

Istotną częścią ankiety okazały się ostatnie trzy pytania otwarte. W przypadku pierwszego pytania, dotyczącego działania kierowcy w przypadku awarii silnika pojazdu na drodze ekspresowej, który zatrzymał się na pasie rozbiegowym, zaledwie dwie osoby wiedziały, jakie prawidłowe postępowanie powinny wykonać. Większość ankietowanych zapominało w pierwszej kolejności o prawidłowym zabezpieczeniu i oznakowaniu uszkodzonego pojazdu, a zdecydowana większość pozostawała w pojeździe, oczekując na pomoc drogową lub osoby bliskie mające im pomóc. Podczas późniejszych analiz wyników z osobami zainteresowanymi okazało się, iż nie wiedzą, jak wezwać pomoc z udziałem towarzystwa ubezpieczeniowego oraz jakie usługi przysługują im w przypadku wypadku lub awarii pojazdu. Na drugie pytanie dotyczące oznak zmęczenia, które wymagają zatrzymania pojazdu, wszyscy kierowcy byli w stanie wymienić po co najmniej trzy czynniki. Ostatnie zadanie stawiało pytanie ankietowanym o dalszą kon-

tynuację prowadzenia pojazdu przy wystąpieniu objawów z pytania drugiego, gdy odległość od celu nie przekracza 5 km. Blisko 75% osób odpowiedziało, iż prowadziłoby dalej pojazd, podejmując tym samym świadome bardzo duże ryzyko kolizji lub wypadku.

Tabela 6.1

Wyniki ankiety przeprowadzonej na studentach

Lp.	Pytania:	Tak	Raczej tak	Nie wiem	Raczej nie	Nie
1	Czy lubię jeździć samochodem?	82,4%	12,1%	2,2%	1,1%	2,2%
2	Czy uważasz się za dobrego kierowcę?	28,6%	44,0%	22,0%	3,3%	2,2%
3	Czy spotykam szybszych od siebie?	79,1%	5,5%	11,0%	4,4%	0,0%
4	Czy często podejmuje ryzykowne manewry?	2,2%	12,1%	18,7%	53,8%	13,2%
5	Czy używasz kierunkowskazów?	78,0%	13,2%	7,7%	0,0%	1,1%
6	Czy przestrzegasz ograniczeń prędkości?	18,7%	53,8%	11,0%	14,3%	2,2%
7	Czy kłócisz się w samochodzie?	6,6%	13,2%	7,7%	40,7%	31,9%
8a	Czy czytasz SMS/MMS/maile w trakcie prowadzenia pojazdu?	6,6%	13,2%	5,5%	46,2%	28,6%
8b	Czy odpisujesz na SMS/MMS/maile w trakcie prowadzenia pojazdu?	5,5%	7,7%	5,5%	35,2%	46,2%
8c	Czy rozmawiasz przez komórkę bezpośrednio w trakcie prowadzenia pojazdu?	8,8%	9,9%	5,5%	38,5%	37,4%
8d	Czy rozmawiasz przez komórkę używając zestawu głośno mówiącego w trakcie prowadzenia?	8,8%	12,1%	4,4%	18,7%	56,0%
9	Czy czekasz na pierwszy śnieg ze zmianą opon na zimowe?	0,0%	6,6%	33,0%	16,5%	44,0%
10	Czy długo zwlekasz z wymianą wycieraczek, kiedy zaczynają gorzej oczyszczać szybę	7,7%	12,1%	36,3%	27,5%	16,5%
11	Czy lubisz jeździć w nocy?	39,6%	25,3%	9,9%	15,4%	9,9%
12	Czy denerwujesz się, kiedy ktoś wyprzedza slalomem bez używania kierunkowskazów?	51,6%	33,0%	4,4%	5,5%	5,5%
13	Czy denerwujesz się, kiedy ktoś przed Tobą ślamazarnie rusza spod świateł?	41,8%	18,7%	13,2%	22,0%	4,4%
14	Czy często musisz hamować, bo inne auto wystaje przodem na Twój pas ruchu?	6,6%	5,5%	34,1%	40,7%	13,2%
15	Czy zdarzyło Ci się awaryjnie hamować przed pieszym, który wtargnął na jezdnię?	56,0%	12,1%	5,5%	12,1%	14,3%
16	Czy gestykulujesz w trakcie jazdy samochodem?	15,4%	17,6%	13,2%	26,4%	27,5%
17	Czy często spotykasz kierowców wyprzedzających niebezpiecznie?	46,2%	36,3%	7,7%	9,9%	0,0%
18	Czy zdarza się Tobie rywalizować na drodze?	6,6%	3,3%	9,9%	41,8%	38,5%
19	Czy przepuszczasz pieszych?	35,2%	51,6%	7,7%	5,5%	0,0%
20	Czy jadąc w nocy przez las na drodze krajowej jeżdżę szybciej niż 90 km/h?	16,5%	16,5%	15,4%	34,1%	17,6%
21	Czy na przejazdach kolejowych jesteś ostrożny?	65,9%	25,3%	4,4%	3,3%	1,1%
22	Czy popędzasz innych użytkowników niebezpiecznie zbliżając się (najazd)?	4,4%	0,0%	17,6%	29,7%	48,4%
23	Czy potrzeba bardziej rygorystycznych kar w przypadku przekraczania prędkości?	15,4%	25,3%	20,9%	13,2%	25,3%
24	A może powinno być więcej kontroli prędkości?	5,5%	11,0%	17,6%	28,6%	37,4%
25	Czy szkoda Tobie pieniędzy na paliwo?	18,7%	27,5%	26,4%	14,3%	13,2%

26	Czy przestrzeganie przepisów ruchu drogowego jest właściwe?	49,5%	35,2%	5,5%	6,6%	3,3%
27a	Czy w Polsce łatwo jest jeździć przepisowo?	6,6%	16,5%	20,9%	38,5%	17,6%
27b	Czy podzielasz pogląd, że w Polsce jest zbyt dużo znaków drogowych?	23,1%	23,1%	22,0%	19,8%	12,1%
27c	Czy duża ilość znaków drogowych dezorientuję Cię?	20,9%	16,5%	12,1%	35,2%	15,4%
28	Czy stan techniczny pojazdu jest dla mnie ważny?	68,1%	27,5%	2,2%	1,1%	1,1%
29	Czy podejmujesz się prowadzenia niesprawnego pojazdu?	2,2%	8,8%	18,7%	37,4%	33,0%
30	Czy dokonujesz na bieżąco wymiany części eksplo-atacyjnych?	29,7%	35,2%	20,9%	9,9%	4,4%
Pyt.3	5 km do celu	29,7%	45,1%	12,1%	11,0%	2,2%

7. Ocena cech stanowiska symulacyjnego

7.1. Ocena dokumentacji i szkoleń od dostawcy

Pierwszym elementem składowym oceny ogólnej stanowiska symulacyjnego jest ocena związana z dokumentacją stanowiska i szkoleniami od dostawcy. Jest to jeden z ważniejszych etapów oceny, ze względu na zapoznanie ze stanowiskiem odbiorcy/ użytkowników/operatorów, co ma bezpośredni wpływ na całościowe zaplanowanie i dalsze użytkowanie stanowiska symulacyjnego. Osobą realizującą ocenę powinna być ta, która zamawia i wspiera się tymi, którzy mogą wspomóc ją w zakresie wiedzy i doświadczenia oraz stanowiącymi przyszłą kadrę obsługującą nowe stanowisko.

Punkty oceny dokumentacji i szkoleń dla zaawansowanych stanowisk symulacyjnych muszą bazować na: dyrektywie maszynowej (dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r.), dyrektywie 2003/59/WE, rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 10 października 2019 r. oraz aktualnie obowiązujących wymaganiach prawnych w czasie odbioru stanowiska do wcześniej określonych celów przy zamówieniu stanowiska. Istotnymi elementami oceny jest uwzględnienie wymagań dodatkowych od zamawiającego, które powinny również być umieszczone w dokumentacji stanowiska [91].

Szkolenia realizowane przez dostawcę dla przyszłej kadry obsługującej oddawane stanowisko symulacyjne powinny być realizowane po wcześniejszym zapoznaniu się z dokumentacją, w celu potwierdzenia spisania wszystkich istotnych informacji dla późniejszego szkolenia praktycznego i ewentualnego uzupełniania brakujących informacji.

7.2. Ocena bezpieczeństwa i ergonomii stanowiska

Powyższa ocena powinna być wykonana głównie przez specjalistę od spraw BHP i przyszłą kadrę obsługującą stanowisko symulacyjne. Wynika to z konieczności posiadania wiedzy z zakresu bezpieczeństwa, prawa i weryfikacji ergonomii stanowiska w zakresie potrzeb obsługi oraz potencjalnych użytkowników.

Podobnie jak w podrozdziale 7.1, powyższa i kolejne listy punktów ocen muszą bazować na wcześniej wymienionych przepisach. Przykładową skróconą listę punktów do weryfikacji bezpieczeństwa i ergonomii stanowiska można sformułować w następujący sposób:

- Czy system posiada zrozumiałą dokumentację (zalecane jest posiadanie dokumentacji w języku eksploatacyjnym)?
- Czy dokumentacja jest zgodna z dyrektywą LVD lub maszynową?
- Czy producent dostarczył deklarację zgodności CE?
- Czy stanowisko posiada właściwe oznaczenie CE?
- Czy występują potencjalne zagrożenia dla użytkowników, a jeśli tak czy środki zaradcze są wystarczające?
- Czy występują potencjalne zagrożenia dla obsługi, a jeśli tak czy środki zaradcze są wystarczające?
- Czy są zrealizowane przeszkolenia dla obsługi stanowiska?
- Czy są realizowane procedury zapoznawcze ze stanowiskiem dla użytkowników?
- Czy wyłączniki awaryjne są umieszczone w miejscach odpowiednich z właściwymi opisami?
- Czy systemy bezpieczeństwa działają poprawnie?
- Czy instrukcje posiadają wymagany dział o bezpieczeństwie?

- Czy stanowiska są dostosowane ergonomicznie do potencjalnych użytkowników?
- Czy budowa i elementy składowe stanowiska zapewniają odpowiednie warunki środowiskowe dla poprawnej obsługi oraz eksploatacji?

7.3. Ocena eksploatacyjno-utrzymaniowa

Kolejnym ważnym punktem są kwestie eksploatacyjno-utrzymaniowe stanowiska, które stanowią o niezawodności i opłacalności. Pominięcie lub poświęcenie im zbyt małej ilości czasu może spowodować konieczność częstego (czy też ciągłego) korzystania z serwisu dostawcy zestawu symulacyjnego oraz być tym samym skazanym na opóźnienia wynikające z dostępności serwisantów.

Weryfikacja i ocena ta powinna być zrealizowana przez osoby będące w przyszłości odpowiedzialne za utrzymanie i eksploatację stanowiska symulacyjnego. Prawdopodobnie będą musiały posiadać kopię lub oryginalną dokumentacje stanowiska.

Przykładowa skrócona lista punktów została przedstawiona poniżej:

- Czy instrukcje posiadają opis czynności eksploatacyjno-utrzymaniowych?
- Czy instrukcje posiadają opis czynności diagnostycznych dla stanowiska?
- Czy stanowisko posiada autodiagnostykę lub system wspierający diagnostykę systemu?
- Czy system posiada zestaw koniecznych części eksploatacyjnych?
- Czy stanowisko posiada pełną i zgodną dokumentację mechaniczną, elektryczną itp.?
- Czy jest możliwa łatwa identyfikacja poszczególnych elementów systemu?
- Czy system posiada ujednoliconą dokumentację?
- Czy system posiada zrozumiałą dokumentację (zalecane w języku eksploatacyjnym)?
- Czy dokumentacja jest zgodna z dyrektywą LVD lub maszynową?
- Czy producent dostarczył deklarację CE?
- Czy stanowisko posiada właściwe oznaczenia?
- Czy system symulacyjny jest stabilny i działa bez istotnych problemów?
- Czy system symulacyjny posiada wsparcie producenta i możliwości aktualizacji?
- Czy jest możliwość wykonania kopii zapasowej systemów informatycznych?

7.4. Ocena użytkowników

Powyższy punkt powinien bazować na powtarzanych okresowo ocenach wynikowych ankiet odczuć użytkowników stanowiska symulacyjnego i ankiet choroby symulacyjnej. Zebrane wyniki mogą pomóc w opracowaniu lepszych scenariuszy zadań i efektywniejszych programów szkoleniowych. Takie podejście ma na celu zminimalizować i ograniczyć występowanie choroby symulacyjnej. Ocena użytkowników powinna stanowić wartość reprezentacyjną odczuć użytkowników, przygotowaną przez kadrę obsługującą stanowisko symulacyjne.

Przykładowa ankieta odczuć użytkownika powinna zawierać następujące pytania:

- Czy w trakcie treningu symulacyjnego odczuwałeś dyskomfort lub znużenie?
- Czy czas trwania treningu symulacyjnego był odpowiedni?
- Czy jakieś elementy kabiny powodowały dyskomfort?
- Czy jakieś elementy wirtualnego świata powodowały dyskomfort?
- Czy temperatura w kabinie symulatora była odpowiednia?
- Czy zadania symulacyjne realizowano w odpowiednio dobrany sposób?

- Czy komunikaty oraz polecenie były w pełni zrozumiałe?
- Czy komunikaty oraz polecenie były podawane w odpowiednim czasie, aby móc odpowiednio zareagować?
- Czy byłeś wstanie „wyczuć" pojazd?
- Czy w przypadku błędów kierowcy zadanie powtarzano?
- Czy w przypadku błędów kierowcy wyjaśniano przyczynę błędu?

7.5. Ocena realizacji założonych celów dla stanowiska

Ostatnim kryterium oceny jest punkt spełniania celów i zadań podstawowych dla stanowisk symulacyjnych tego rodzaju oraz wymagań dodatkowych zamawiającego, jeśli takowe były zapisane w zamówieniu dla stanowiska. Podobnie jak poprzednie punkty musi on bazować na wcześniej przedstawionych aktach prawnych. Bardzo ułatwiającym dokumentem jest załącznik do rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 8 kwietnia 2011 r. (poz. 444), dotyczący wymagań techniczno-organizacyjnych i w zakresie funkcjonalności realizowanej przez symulator, który można potraktować jak listę weryfikacyjną. Ocena powinna być realizowana przez zamawiającego i kadrę odpowiedzialną za obsługę, eksploatację oraz utrzymanie stanowiska.

7.6. Zestawienie ocen stanowiska

Zestawienie ocen można przedstawić na wiele sposobów, ale najważniejsze jest obiektywne ocenienie stanowiska, które ma na celu zobrazowanie krytycznych aspektów eksploatacyjno-utrzymaniowych symulatora, które muszą być spełnione do bezpiecznego i opłacalnego użytkowania stanowiska. Reprezentacja danych może być wyskalowana w skali od 0 do 5 punktów, gdzie nota 0 oznacza niespełnienie żadnego elementu, natomiast 5 oznacza spełnienie wszystkich wymagań. Warto również, przy ogólnej ocenie, wypisać najbardziej istotne krytyczne elementy ją warunkujące.

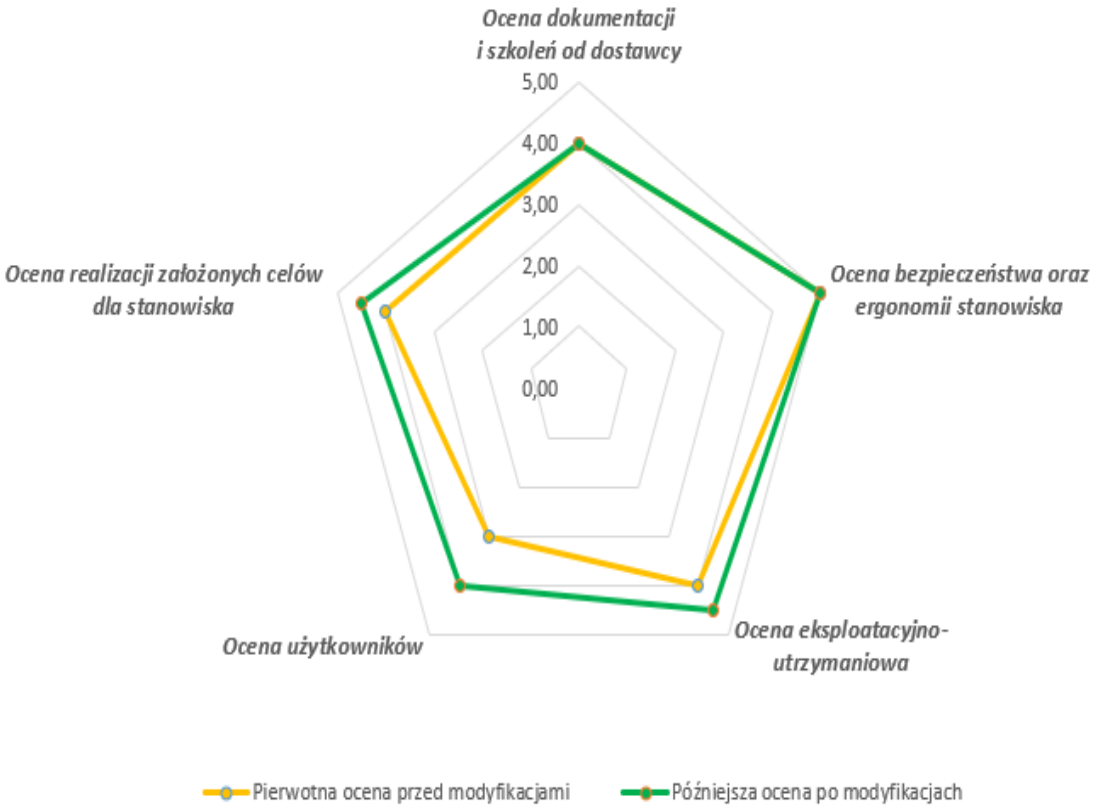
Przykładowa ogólna realizacja oceny stanowiska według wyżej wymienionych kryteriów może w podsumowaniu wyglądać następująco:

- **Ocena dokumentacji i szkoleń od dostawcy: 4,0** – stanowisko posiada dokumentację zgodną z normami i szkolenia od dostawcy pokrywające podstawowe zakresy obsługi, niestety nie wszystkie elementy z szkoleń były w formie pisemnej, a jedynie zapoznawczej.
- **Ocena bezpieczeństwa i ergonomii stanowiska: 5,0** – stanowisko jest bezpieczne w obsłudze, producent wspiera dalszy jego rozwój i współpracuje w jego ulepszaniu, w celu poprawy stanowiska.
- **Ocena eksploatacyjno-utrzymaniowa: 4,5** – stanowisko posiada w wielu miejscach osobne wytyczne donośnie do utrzymania danego elementu stanowiska, niestety w dokumentacji brakowało jednego skonkretyzowanego rozdziału z opisem wszystkich czynności serwisowych. Ważnym pozytywnym walorem stanowiska było ciągłe wsparcie producenta przy aktualizacjach systemu symulacyjnego, pomoc przy problemach eksploatacyjnych czy też pomoc poza okresem gwarancyjnym.
- **Ocena użytkowników: 4,0** – głównym problemem w ocenie użytkowników jest sposób prowadzenia treningu symulacyjnego przez trenera i odpowiednie dostosowanie zadań wykonywanych przez wirtualnego kierowcę, które mają istotny wpływ na odbiór tego rodzaju doświadczenia. Warto również zaznaczyć, iż tego rodzaju oceny są w głównej mierze subiektywne, ale należy zwracać na nie

szczególną uwagę, w celu określenia mocnych i słabych stron stanowiska, ale też realizowanego na nim programu szkoleniowego.

- **Ocena realizacji założonych celów dla stanowiska: 4,5** – stanowisko spełnia wszystkie zakładane podstawowe założenia, ale pewne elementy systemowe, stwarzają istotne trudności do dalszej jego rozbudowy lub modyfikacji w ujęciu badawczym. Jest to spowodowane przez częściowo otwarte środowisko systemowe, przez producenta.

Przedstawione powyżej oceny są zestawieniem ogólnym aktualnych zadań i wymagań, które musi spełniać stanowisko. Wraz z rozwojem technologicznym, aktualizacji użytkowania i rozwoju prawa, oceny te mogą ulec modyfikacji. Ponowne całościowe lub częściowe ocenianie stanowiska może być istotną pomocą podczas weryfikacji zastosowanych zmian, np. w programie szkoleniowym, czy też ergonomii stanowiska. Przykładowo dostosowanie programu szkoleniowego w ujęciu choroby symulatorowej i dostosowanie względem jego ograniczeń do realizowanych celów szkoleniowych może istotnie poprawić nie tylko ocenę użytkowników, ale też sposób eksploatacji i zadań realizowanych w wirtualnym świecie przez badanego kierowcę (rys. 7.1).



Rys. 7.1. Przykład zestawienia ocen przed i po modyfikacji programu szkolenia

8. Zakończenie

8.1. Podsumowanie

W pracy wykonano szereg prób badawczych, analiz i opracowano autorskie metody badawcze, które polegały na:

- Opracowaniu metodyki identyfikacji symulatora które wymagało na zdefiniowaniu krytycznych i uniwersalnych parametrów symulacji, jakie mogą występować na różnego typu symulatorach pojazdów drogowych.
- Istotnym zweryfikowanym parametrem dla systemu symulatora była częstotliwość rejestracji danych umożliwiająca również na obserwację działania oraz reagowania na wymuszone zdarzenia przez kierowcę. Na podstawie zrealizowanych prac badawczych wykazano stabilność i powtarzalność w zakresie pracy pomiarowej na bazie, której opierano dalsze pomiary.
- Wykazaniu, iż przebadane stanowisko symulacyjne jest powtarzalne i stabilne w swoim zasadniczym działaniu. Potwierdziły to zrealizowane badania dla wymuszeń skokowych pedałami sterującymi wirtualnym pojazdem, a jego odpowiedzią wieloparametryczną oraz zmodyfikowane doświadczenia dla różnych prędkości maksymalnych.
- Sprawdzono również działanie modelu jazdy wirtualnego pojazdu przy załączonych i wyłączonych systemach bezpieczeństwa (ABS i ESB), gdzie odnotowano zdecydowane różnice podczas przyspieszania oraz hamowania awaryjnego.
- Przeprowadzono badania wpływu dociążenia wirtualnego nadwozia pojazdu na model jazdy, w wyniku których wykazano stopniowe zmiany w charakterystykach różnych parametrów, wynikające z większej całkowitej masy pojazdu podczas przyspieszania i hamowania awaryjnego.
- Sprawdzono również wpływ parametrycznych warunków atmosferycznych dla opadów deszczu i śniegu, które, zależnie od zadanej wartości w symulacji, powodowały zmiany wizualne i przede wszystkim współczynnika przyczepności pojazdu względem podłoża, a tym samym ograniczały przyspieszenie oraz hamowanie maksymalne wirtualnego pojazdu.
- Wykonano badania wpływu dla jednej konfiguracji kierunku wiatru od strony przedniej dla wirtualnego pojazdu z różnymi prędkościami wiatru. Próby przyspieszania i hamowania potwierdziły działanie wiatru jako siły przeciwnej, które ograniczały przyspieszanie pojazdu, ale skracały czas oraz drogę hamowania.
- Na potrzeby badań stylu jazdy określono najbardziej użyteczne i uniwersalne dane, które można zastosować do zobrazowania analizy stylu jazdy badanego kierowcy.
- Przeprowadzono przykładowe analizy oceny stylu jazdy w ujęciu bezpieczeństwa i ekologii, które bazowały na przebiegach wykresów dla różnych powiązanych zmiennych. Istotnym uproszczeniem w analizie charakteru przejazdu okazywały się histogramy aktywnego operowania pedałami pojazdu, które zależnie od rozkładu obrazowały styl przejazdu. Również ważnym elementem przedstawiającym sposób kierowania wirtualnym pojazdem były parametry wyrażone w dziedzinie czasu lub trasy przejazdu z naniesionymi powiązanymi wartościami, takimi jak: prędkości pojazdu, wartość wysterowania danego elementu w kabinie pojazdu czy wyliczenie różnicy prędkości pojazdu względem ograniczenia prędkości na danym odcinku drogi.
- Testy związane z próbami identyfikacji wpływu danego czynnika środowiskowego lub konfiguracji wirtualnego pojazdu na gwałtowne przyspieszanie oraz ha-

mowanie awaryjne określiło jedynie wybrane przypadki odpowiedzi symulatora podczas jazdy na wprost;.
- Opracowano ogólną metodę oceny stanowiska symulacyjnego składającą się z pięciu składowych ocen, podzielonych ze względu na zakres odpowiedzialności zamawiającego i kadry obsługującej odbierane stanowisko symulacyjne.

8.2. Wnioski ogólne

Dzięki wieloaspektowemu podejściu było możliwe zidentyfikowanie oraz zrozumienie działania poszczególnych parametrów i właściwości przebadanego symulatora pojazdu osobowego. Kolejne, dalsze doświadczenia umożliwiły również przebadanie zależności i przydatności stanowiska symulacyjnego w kontekście badań w zakresie wiedzy oraz posiadanych umiejętności przebadanych kierowców w aspektach: oceny bezpieczeństwa i stylu prowadzenia wirtualnego pojazdu w wirtualnym świecie. Dzięki czemu było możliwe ocenienie stanowiska i opracowanie ogólnych zaleceń w kwestii planowania, zamawiania, odbierania oraz wykorzystywania eksploatacyjnego. Na podstawie zrealizowanych analiz, badań oraz ocen zrealizowanych w ramach niniejszej pracy doktorskiej spełniono cele główne:

Dokonano identyfikacji cech systemu antropotechnicznego będącego połączeniem symulatora pojazdu i kierowcy w ujęciu bezpieczeństwa i ekologii transportu

Zrealizowano w ramach pracy wieloaspektowe i interdyscyplinarne podejście do przedstawionych tematyk, w których udało się przedstawić wybrane elementy dla przebadanego systemu antropotechnicznego potwierdzające jego przydatność oraz funkcjonalność tego typu stanowisk symulacyjnych.

Główne cechy zidentyfikowane dla oceny symulatora to:
- powtarzalności częstotliwości rejestracji,
- powtarzalność systemu symulacyjnego,
- poziom zmian wartości luminancji wyświetlaczy,
- styl jazdy kierowcy,
- dociążenie nadwozia,
- warunki atmosferyczne,
- opóźnienia w systemie,
- dokumentacja i szkolenia dostarczone przez dostawcę,
- ergonomia stanowiska.

8.3. Wnioski szczegółowe

Na podstawie zrealizowanych badań wyciągnięto następujące wnioski szczegółowe:
- Realizacja przeprowadzonych prób badawczych umożliwiła zidentyfikowanie stabilności i powtarzalność rejestrowanych danych na poziomie około 20 Hz, które było wystarczające do realizacji celów pracy. Pomimo chwilowych spadków częstotliwości rejestracji danych i różnic były one wiernym zapisem działania symulatora oraz obrazowały współdziałanie antropotechnicznego systemu jakim jest człowiek w pojeździe osobowym w wirtualnym symulacyjnym świecie.
- Badane stanowisko symulacyjne pomimo bycia system dyskretnym, potrafiło działać w odczuciu przebadanych kierowców w sposób ciągły, dzięki czemu poziom imersji był wiarygodny, a nawet w przypadku zdarzeń gwałtownych w czasie na przykład kolizji było one do pewnego poziomu zbieżne z rzeczywistością.

- Wykonano obserwacje występujących opóźnień systemu antropotechnicznego pomiędzy rzeczywistymi elementami sterującymi a wirtualnym światem, które wykazały opóźnienia na poziomie 0,25 s ±0,15 s.
- Sprawdzono poziom zmiany wartości luminancji na charakterystycznych powierzchniach, zależnie od pory dnia, widoczne przez kierowcę w czasie prowadzenia pojazdu i różnice w luminancji, zależnie od źródła światła dla podobnej pory dnia. Badanie wykazało zmiany w wartości luminancji, ale odnotowane zmiany dla maksymalnej wartości luminancji wyniosły maksymalnie około 71 cd/m^2 dla obrazu widocznego z rzutników. W przypadku obrazu widocznego w lusterkach wartość luminancji wyniosła maksymalnie około 119 cd/m^2. Uzyskane wyniki potwierdzają o wiele niższy poziom luminancji obrazujący wirtualną przestrzeń względem warunków rzeczywistych, które mogą być co najmniej 1000-krotnie większe w rzeczywistych warunkach.
- Pomiary opóźnień w symulatorze mogą posiadać różnice wynikające z typu przetwarzanego rzeczywistego sygnału z czujnika na postać cyfrową oraz jego dalszą dystrybucje w systemie informatycznym. Może to mieć istotny wpływ na szybkość przetwarzanych danych oraz dalszych jego akcji.
- Badania stylu jazdy muszą bazować na zrozumiałych parametrach stosowanych w rzeczywistości przez kierowców. Ważną funkcjonalnością jest możliwość odtworzenia danego zdarzenia w konkretnym przedziale czasowym do jego wskazania i omówienia. Również zobrazowanie danej cechy w czasie lub przestrzeni przejazdu mogą stanowić istotną pomoc dydaktyczną. Ostatnim istotnym czynnikiem odnotowanym podczas realizacji badań było ograniczenie lub pominięcie nieistotnych parametrów.
- Zrealizowana ankieta samooceny i wiedzy u przebadanej grupy studentów wskazała na zawyżoną ocenę oraz tendencję do podejmowania świadomego zwiększonego ryzyka w trakcie prowadzenia pojazdu.
- Opracowano i wykonano ankietyzację doświadczeń, samooceny oraz wiedzy kierowców na grupie 91 studentów, którzy reprezentowali populację młodych kierowców. Uzyskane wyniki obrazują, iż zdecydowana większość ocenia siebie jako dobrych kierowców i ważne jest dla nich bezpieczeństwo drogowe oraz kultura zachowania w ruchu drogowym. Niestety 33% ankietowanych wykazało również, iż są skłonni do przekraczania prędkości, prowadzenia niesprawnego pojazdu (11%) czy korzystania z telefonu komórkowego (20%). W pytaniu otwartym dotyczącym postepowania kierowcy w przypadku awarii silnika na drodze ekspresowej, zaledwie 2 osoby wiedziały co trzeba zrobić. Interesująca okazała się odpowiedź na pytanie odnośnie do kontynuacji jazdy w przypadku wystąpienia objawów zmęczenia w bliskiej odległości od celu podróży. Blisko 75% ankietowany odpowiedziało, iż prowadziło pojazd, podejmując tym samym świadome ryzyko kolizji lub wypadku drogowego.

8.4. Wnioski metodyczne

Przyjęte i zastosowane metody badawcze umożliwiły zrealizowanie celów pracy badawczej oraz opracowanie poniższych wniosków metodycznych:

- Rejestracja zmiennych systemu symulacyjnego musi być poddana weryfikacji co do stabilności rejestracji danych i powtarzalności systemu wirtualnego. Aspekt ten stanowi główną zaletę podczas stosowania symulatorów w szkoleniach dla złożonych systemów antropotechnicznych.

- Automatyzacja rejestracji i przetwarzania danych jest konieczna dla wieloparametrycznych procesów szybkozmiennych, w wyniku czego będzie możliwe łatwiejsze wykrywanie błędów oraz nieprawidłowości, czy też łatwa zmiana dokładności i miejsca analizowanego fragmentu.
- Sprawdzenie poziomu luminancji i jej regulacja powinno być obowiązkowym elementem pod względem właściwej eksploatacji stanowiska symulacyjnego, gdzie występuje więcej niż jedno urządzenie obrazujące dla kursanta lub osoby badanej. Ma to istotne znaczenie dla zapewnienia lepszej imersji symulacji oraz ograniczenia występowania choroby symulacyjnej.
- Przeprowadzenie sprawdzenie i oceny wiedzy oraz umiejętności kierowców drogowych w warunkach wirtualnej rzeczywistości może stanowić w przyszłości istotny element egzaminacyjny i weryfikacyjny kierowców. Takie rozwiązania z dostosowanymi możliwościami danego rozwiązania symulacyjnego mogą stanowić bardzo skuteczne narzędziem sprawdzające wiedzę teoretyczną oraz praktyczną w bezpiecznych warunkach, gdzie istnieje możliwość zasymulowania mało prawdopodobnych, ale skrajnie niebezpiecznych zdarzeń, z którymi każdy kierowca musi się liczyć jako uczestnik ruchu drogowego.
- Ocena zrealizowane zadania symulacyjnego z prezentacja wyników i omówieniem przebiegu, a w szczególności błędów popełnionych podczas szkolenia symulacyjnego musi być zrozumiała oraz przystępna dla każdego kursanta w celu udoskonalenia wiedzy oraz techniki jazdy.
- Weryfikacja stanowiska symulacyjnego oraz audyty okresowe powinien być przeprowadzony w celu ciągłego ulepszania i doskonalenia możliwości technicznych i metodycznych.
- Kierowcy badani oraz weryfikowani w wirtualnym świecie muszą posiadać odpowiedni poziom immersji w trakcie badania, który powinien być jak najbardziej zbieżny do rzeczywistości.
- Czas trwania i prawdopodobieństwo wystąpienia choroby symulacyjnej u osób nowo rozpoczynających trening symulacyjnych można przewidzieć oraz kontrolować. Jest to możliwe poprzez dokładne zapoznaniu się możliwości zestawu symulacyjnego i wykonaniu analizy przy wykorzystaniu ankiet SSQ.
- Zamawianie i odbioru stanowiska symulacyjnego powinien być przeprowadzony przez dedykowany zespół zamawiającego oraz należy wymagać od realizatora zamówienia, aby projekt był w pełni udokumentowany i zgodny z wymaganiami UE. Tyczy się to w szczególności zawartości instrukcji maszyn w ujęciach: bezpieczeństwa, transportu, eksploatacji użytkowej, obsługi serwisowej oraz wszelkich szkoleń przez realizowanych przez dostawcę.

8.5. Wnioski perspektywiczne

Ze względu na złożoność problematyki naukowej, zrealizowana praca nie wyczerpała w pełni przedstawionych problemów badawczych, ale stanowi pracę interdyscyplinarną, w której przedstawiono wybrane zagadnienia naukowe z uwzględnieniem możliwości ich dalszej aplikacji i rozwoju. W związku powyższym, kolejnymi kierunkami w dalszych pracach naukowo-badawczych mogą być poniższe tematy:

- Badania identyfikacyjne i weryfikacyjne rzeczywistego obiektu drogowego oraz jego symulowanego odpowiednika w wirtualnym świecie.
- Dalszy rozwój badań identyfikacyjnych stanowisk symulacyjnych, z ich optymalizacją i automatyzacją krytycznych parametrów dla różnych typów symulatorów.

- Badania parametrów świetlnych dla różnych metod wizualizacji symulacji i ich odbioru przez kierowców.
- Opracowanie systemu działającego w czasie rzeczywistym, wspomagającego osobę uczącą się i szkolącą przy wykorzystaniu stanowiska symulacyjnego w zakresie ekologii oraz bezpieczeństwa ruchu drogowego.
- Badania nad dostosowaniem wirtualnego środowiska symulacyjnego w zakresie ciągów czasoprzestrzennych i możliwych do realizacji zadań symulacyjnych przez kierowcę, z szczególnym naciskiem na ograniczenie występowania choroby symulacyjnej.
- Badania nad dostosowania rzeczywistego środowiska symulacyjnego w zakresie optymalizacji obsługi i użytkowania, z szczególnym naciskiem na ograniczenie występowania choroby symulacyjnej.
- Badania nad podzielnością uwagi przy wielozadaniowości kierowcy w trakcie przejazdu symulacyjnego, w ujęciach bezpieczeństwa oraz ekonomii przejazdu.
- Badania okulograficzne dla kierowców, z zakresu możliwości przyswajania informacji drogowych.
- Badania kierowców w symulatorze ich zdolności psychofizycznych w szczególnych stanach np. znacznego zmęczenia lub sztucznego pobudzenia.
- Badania adaptacyjne i ergonomii sterowania pojazdem drogowym przez kierowcę w modyfikowanej przestrzeni symulacyjnej i kabiny symulatora.

Literatura

[1] Andrachiewicz M.: Systemy prawa lotniczego. Wybrane zagadnienia. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2015.

[2] Andrzejewski M.: Telematyka w służbie ekologii. Samochody Specjalne, 9, 2012, 94–96.

[3] Augustowicz A.: Modelowanie typu kierowcy samochodu. Oficyna Wydawnicza Studia i Monografie, 232, Opole 2009.

[4] AutoPW – wirtualne środowisko badań kierowców (Chodnicki P., Guzek M., Lozia Z., Mackiewicz W., Stegienka I.), Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2008.

[5] AVL Micro Soot Sensor, Transient High Sensitive Soot Measurement, AVL, 2010.

[6] Bagiński A., Żurek J.: Problems of safety in aviation. Journal of KONBiN, 3(6), Wyd. ITWL, Warszawa 2008.

[7] Bąk J., Bąk-Gajda D.: Wybrane czynniki psychologiczne wpływające na czas reakcji kierowcy. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, 5(96), Warszawa 2013.

[8] Bergasa L.M., Nuevo J., Sotelo M.A., Vazquez M.: Real-Time System for Monitoring Driver Vigilance. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Parma 2004.

[9] Best C., Galanis G., Kerry J., Sottilare R.: Fundamental /issues in Defense Training and Simulation. Ashgate Publishing Limited, Farnham 2013.

[10] Białek I., Buchała K., Gubała W., Kała M., Krzywicki W., Pieniążek W., Reza A., Unarski J., Wach W., Wielgosz R., Wójcicki B., Wierciński J., Zoll F., Żaba C.: Problematyka prawna i techniczna wypadków drogowych. Instytut Ekspertyz Sądowych, Kraków 1995.

[11] Bielaczyc P., Szczotka A., Kłak W.: Emisja związków szkodliwych spalin i zużycie paliwa samochodu z silnikiem o zapłonie iskrowym w zależności od sposobu jazdy kierowców na hamowni podwoziowej. Zeszyty Naukowe OBR SM BOSMAL, Bielsko-Biała 2005.

[12] Blady W., Borowiecka A., Dęga K., Drogosiewcz M., Filipek B., Gałązkowski R., Klukowski K. S., Kłos R., Konarski M., Kowalski W. G., Marek G., Marek J., Mazurek K. L., Olszański R., Piątkiewcz J. A., Siermontowski P., Truszczyński O. E., Wielgołaski W.E., Żebrowski M.: Medycyna wypadków w transporcie. Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 2005.

[13] Bokarea P.S., Maurya A.K.; Acceleration-Deceleration Behaviour of Various Vehicle Types, World Conference on Transport Research – WCTR, Shanghai 2016.

[14] Bugdol M., Górska N.: Metoda oceny stanu psychofizycznego kierowców na podstawie sygnałów biomedycznych. Logistyka, 6, 2014, 2430–2438.

[15] Caban J., Sopoćko M., Ignaciuk P.; Eco-driving, przegląd stanu zagadnienia. Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 18, 2017.

[16] Cristea M., Paran F., Delhomme P.: The role of motivations for eco-driving and social norms on behavioural intentions regarding speed limits and time headway. World Academy of Science, Engineering and Technology 66, 2012.

[17] Deklaracja sztokholmska z 2020 roku, www.roadsafetysweden.com/about-the-conference/stockholm-declaration/, dostęp z dnia 2020-04-12.

[18] Dokument roboczy służb komisji ramy polityki bezpieczeństwa ruchu drogowego UE na lata 2021-2030, Kolejne kroki w kierunku realizacji „wizji zero", www.ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/move-2019-01178-01-00-pl-tra-00.pdf, dostęp z dnia 2019-09-20.

[19] Encyklopedia Powszechna PWN, Warszawa 1976.

[20] Galant M., Merkisz J.: Badania zmian koncentracji kierowcy w czasie treningu symulatorowego. Logistyka, 3, 2015.

[21] Gillespie T.D.: Fundamentals of Vehicle Dynamics. Society of Automotive Engineers, Warrendale 1992.

[22] Grabiński J., Waluś K.J.: Układ akwizycji i archiwizacji parametrów ruchu układów mobilnych – metody matematyczne, filtry cyfrowe. Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 20, 2019.

[23] Grabiński J., Waluś K. J.; Układ akwizycji i archiwizacji parametrów ruchu układów mobilnych – przegląd czujników pomiarowych. Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 20, 2019.

[24] Grabiński J., Waluś K.J.: Układ akwizycji i archiwizacji parametrów ruchu układów mobilnych: przegląd czujników pomiarowych, Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, Radom 2019.

[25] Grabiński J., Waluś K.J.: Układ akwizycji i archiwizacji parametrów ruchu układów mobilnych: metody matematyczne, filtry cyfrowe. Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, Radom 2019.

[26] Guzek M.: Przykłady zastosowanie środowiska wirtualnego AUTOPW w badaniach kierowców pojazdów samochodowych, Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management, 46, 2011.

[27] Iwanow W.N., Lalin W.A.: Bierne bezpieczeństwo samochodu. WKŁ, Warszawa 1984.

[28] Jukiewicz M., Merkisz J., Orszulak B.: Wykorzystanie urządzenia Mindwave do biopomiarów wskaźnika koncentracji w pracy badawczej związanej z symulatorem pojazdu osobowego. Logistyka, 3, 2013.

[29] Kadziński A., Juszczak J., Kobaszyńska-Twardowska A., Źródła zagrożeń na przejazdach kolejowych. Pojazdy Szynowe, 3, 2010, 44–49.

[30] Kierunki polityki bezpieczeństwa ruchu drogowego na lata 2011-2020, www.ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/road_safety_citizen/road_safety_citizen_100924_pl.pdf, dostęp z dnia 2019-09-20.

[31] Kirwan J.E.: CO_2 reduction for spark-ignition engines – two paths to success. SAE International, 2009.

[32] Kornacki A., Wawrzosek J., Bochniak A., Szymanek A., Pawlak H., Critical values of driver response time and its impact on reducting reliability and safety in road traffic. Eksploatacja i niezawodność – Maintenance and Reliability, 19(1), 2014, 142–148.

[33] Koźlak A.: Inteligentne systemy transportowe jako instrument poprawy efektywności transportu. Logistyka, 2, 2008.

[34] Lee T., Son J.: Relationships between driving style and fuel consumption in highway driving. SAE Technical Paper Series, 2010252, 2010.

[35] Lehman G., Reynolds T.: The contribution of onboard recording system to road safety and accident reconstruction. Proceedings of the NTSB International Symposium of Transportation Recorders, 1999.

[36] Leksykon naukowo-techniczny WNT, Warszawa 1984.

[37] Leksykon PWN, Warszawa 1972.

[38] Lozia Z.: Symulator jazdy samochodem. WKiŁ, Warszawa 2008.

[39] Lozia Z.; Can anything optimistic be found in the statistics of road accidents in Poland in 1975-2018?, XII International Science-Technical Conference Automotive Safety. Kielce 2020.

[40] Łazowska E., Niezgoda M., Kruszewski M.: Obciążenie poznawcze kierowców. Transport Samochodowy, 2, 2014, 73–82.

[41] Markiewicz F., Waluś K. J., Polasik J.: Badanie doświadczalne cech kinematycznych ruchu pojazdu z wykorzystaniem opon zimowych i letnich. Logistyka, 5, 2014.

[42] Merkisz J., Andrzejewski M., Lijewski P.: Wpływ stylu jazdy na emisję substancji szkodliwych z pojazdu hybrydowego. Technika Transportu Szynowego, 9, 2012, 3353–3361.

[43] Merkisz J., Andrzejewski M., Pielecha J.: Rozpędzanie pojazdu dostawczego a emisja gazowych składników spalin. Logistyka, 4, 2012, 531–538.

[44] Merkisz J., Andrzejewski M., Pielecha J.: Wpływ wybranego przełożenia skrzyni biegów na emisję dwutlenku węgla przez pojazd podczas jego rozpędzania. Combustion Engines, 3, 2013, 324–331.

[45] Merkisz J., Andrzejewski M.: Wpływ eco-drivingu na emisję dwutlenku węgla z samochodu dostawczego. Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 3, 2013, 193–202.

[46] Merkisz J., Galant M., Orszulak B.: Możliwości wykorzystania symulatora pojazdu osobowego do prac badawczych i zajęć dydaktycznych. Technika Transportu Szynowego, 10, 2013.

[47] Merkisz J., Galant M., Zalewski M.: Research on the influence of weather conditions on the pilot's psychophysical condition. Journal of Mechanical and Transport Engineering, 68(4), 2016, 43–53.

[48] Merkisz J., Kozak M., Andrzejewski M.: Wpływ sposobu rozpędzania samochodu ciężarowego na emisję dwutlenku węgla. Combustion Engines, 3, 2013, 453–458.

[49] Merkisz J., Markowski J., Fuć P., Galant M.: Przegląd metod pomiaru obciążenia zadaniowego operatora w badaniach z wykorzystaniem symulatorów. Logistyka, 3, 2015, 3188–3195.

[50] Merkisz J., Mazurek S.: Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych. WKiŁ, Warszawa 2007

[51] Merkisz J., Orszulak B., Niezgoda M., Kamiński T., Kruszewski M.: Potrzeba kreacji i modelowania dla symulatorów kabinowych. Logistyka, 5, 2014.

[52] Merkisz J., Orszulak B.: Wstępna analiza dla rejestracji parametrów stylu jazdy kierowcy. Logistyka, 3, 2015.

[53] Merkisz J., Pielecha J., Andrzejewski M.: Wpływ dynamiki rozpędzania samochodu na emisję zanieczyszczeń. Logistyka, 3, 2012, 1517–1523.

[54] Merkisz J., Pielecha J., Tarkowski S.: Pokładowe rejestratory parametrów ruchu i ich zastosowanie do oceny komfortu w autobusach miejskich. Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 5, 2012, 300–305.

[55] Merkisz J., Tarkowski S.: Wybrane aspekty wykorzystania pokładowych urządzeń rejestrujących w pojazdach samochodowych. Kwartalnik „Eksploatacja i niezawodność" – PNTTE, 2 (50), 2011, 50–58.

[56] Mitas A., Czapla Z., Bugdol M., Ryguła A.: Rejestracja i ocena parametrów biomedycznych kierowcy dla poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Transport, 66, 2010, 71–79.

[57] Obraz widziany przez kierowcę, generowany w czasie rzeczywistym (Chodnicki P., Stegienka I.), Wyd. Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.

[58] Omar N., Prasetijo J., Daniel B.D., Abdullah M.A.E., Ismail I.: Study of Car Acceleration and Deceleration Characteristics at Dangerous Route FT050, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 140, 2018.

[59] Parchański J.: Miernictwo elektryczne i elektroniczne. Wyd. Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1998.

[60] Patten C.J.: Cognitive workload and the driver. Understanding the effects of cognitive workload on driving from a human information processing perspective. Department of Psychology Stockholm University, Sweden 2007.

[61] Planning a modern transport system. A guide to Intelligent Transport System architecture. European Communities, 2004.

[62] Polasik J., Waluś K.J.; Analysis of the force during overcoming the roadblock – the preliminary experimental tests. Transport Problems, 11, 2016.

[63] Raport Komisji Europejskiej - ROAD SAFETY 2018 How is your country doing?, www.ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/scoreboard_2018_en.pdf, dostęp z dnia 2019-09-20.

[64] Raport Komisji Europejskiej – ROAD SAFETY IN THE EUROPEAN UNION Trends, statistics and main challenges, www.ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/vademecum_2018.pdf, dostęp z dnia 2019-09-20.

[65] Raport komisji odnośnie zatonięcia Titanic – British Wreck Commissioner's Inquiry Report on the Loss of the "Titanic." (s.s.), MERSEY 1912.

[66] Raporty roczne z statystyk Policyjnych, www.statystyka.policja.pl/st/ruch-drogowy/76562,Wypadki-drogowe-raporty-roczne.html, dostęp z dnia 2019-09-20.

[67] Regan M.A., Lee J.D., Victor T.W.: Driver Distraction and Inattention. Ashgate Publishing Limited, Farnham 2013.

[68] Rokosch U.: Układy oczyszczania spalin i pokładowe systemy diagnostyczne samochodów. WKiŁ, Warszawa 2007.

[69] Rolfe J.M., Staples K.J.: Flight simulation. Cambridge Aerospace Series, Cambridge 1986.

[70] Rubino L., Bonnel P., Hummel R., Krasenbrink A., Manfredi U., De Santi G.: On-road emissions and fuel economy of light duty vehicles using PEMS: Chase-testing experiment. SAE Technical Paper Series 2008-01-1824.

[71] Szczepański C.: Antropocentryczne systemy sterowania ruchem symulatorów. Wyd. Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, 19, 2005.

[72] Talarczyk T.: Kierowca z wyobraźnią – Podręcznik doskonalenia techniki jazdy. Wyd. Replika, Zakrzewo 2011.

[73] Tarkowski S.: Wykorzystanie pokładowych rejestratorów parametrów ruchu pojazdów do oceny komfortu jazdy. Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 2013.

[74] Thompson M.H.: A vision of future crash survivable recording systems. Proceedings of the NTSB International Symposium of Transportation Recorders, 1999.

[75] Unarski J., Zębala J.: Zbiór podstawowych wzorów i równań stosowanych w analizie wypadków drogowych. Wyd. Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2012.

[76] Van de Burgwal H.C., Gense N.L.: Interruption of driving style tips. TNO Automotive Report 02.OR.VM.004.1/HVD.

[77] Waluś K.J., Polasik J., Krawiec P., Warguła Ł.: The Research on the Intensity of Sports Car Acceleration with the Use of Launch Control System, Proceedings of 21st International Scientific Conference. Transport Means, 2017.

[78] Waluś K.J., Polasik J.: Comparative analysis of the acceleration and intensive braking of loaded delivery truck on asphalt and concrete surface. Logistyka, 4, 2015.

[79] Waluś K.J., Polasik J.: Impact Analysis of Load Variations on Driving Processes of Towing Vehicle. Proceedings of 20th International Scientific Conference. Transport Means, 2016.

[80] Waluś K.J., Warszczyński J.: Wpływ cech nawierzchni drogowych na parametry ruchu pojazdu w okresie zimowym. Logistyka, 5, 2014.

[81] Waluś K.J.: Driver's Strategy and Braking Distance in Winter, Proceedings of 21st International Scientific Conference. Transport Means, 2017.

[82] Waluś K.J.: The intensity of the acceleration and deceleration of a passenger car on a road surface covered with fresh snow. Procedia Engineering, 136, 2016.

[83] Waluś K.J.: Wpływ zmian temperatury otoczenia na przyspieszanie i hamowanie samochodu osobowego na suchej i czystej nawierzchni bitumicznej w okresie zimowym – część druga. Logistyka, 3, 2014.

[84] Waluś K.J.; Wpływ zmian temperatury otoczenia na przyspieszanie i hamowanie samochodu osobowego na suchej i czystej nawierzchni bitumicznej w okresie zimowym – część pierwsza. Logistyka, 3, 2014.

[85] Żak J.: Wielokryterialne wspomaganie decyzji w transporcie drogowym. Politechnika Poznańska, Poznań, 2005.

Źródła internetowe

[86] www.astor.com.pl/industry4/, dostęp z dnia 2020.10.12.
[87] www.automatykab2b.pl/gospodarka/49961-kim-powinien-byc-inzynier-w-przemysle-4-0, dostęp z dnia 2019.10.10.
[88] www.brd24.pl/, data uzyskania dostępu: 15.02.2017.
[89] www.ejectionsite.com/stapp.htm, dostęp z dnia 2020.10.13.
[90] www.eu.elpasotimes.com/story/archives/2019/07/16/moon-landing-anniversary-rocket-speed-effects-body-studied-nm/1719594001/, dostęp z dnia 2019-09-20.
[91] www.eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar%3A0e8b694e-59b5-11e8-ab41-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_2&format=PDF, dostęp z dnia 2019-09-20.
[92] www.gopro.com, dostęp z dnia 2019.12.06.
[93] www.greenmot.com/en/products/robot-driver/, dostęp z dnia 2019.09.24.
[94] www.kolejnictwo-polskie.pl/default_295.html, dostęp z dnia 2019.11.16.
[95] www.krbrd.gov.pl/pl/test.html, dostęp z dnia 2019.11.16.
[96] www.kurierkolejowy.eu/aktualnosci/24290/symulator-jazdy-lokomotywa-pkp-ic-juz-gotowy.html, dostęp z dnia 2019.11.12.
[97] www.nik.gov.pl/aktualnosci/nik-o-bezpieczenstwie-na-drogach.html, dostęp z dnia 2019.11.16.
[98] www.nik.gov.pl/aktualnosci/nik-o-nadawaniu-uprawnien-kierowcom.html, dostęp z dnia 2019.11.16.
[99] www.nik.gov.pl/aktualnosci/nik-o-przyczynach-wypadkow-drogowych.html, dostęp z dnia 2019.11.16.
[100] www.polska-zbrojna.pl/home/articleshow/6412?t=Symulator-Snieznik-strzelanie-na-ekranie, dostęp z dnia 2019.08.12.
[101] www.prawo-jazdy-360.pl/nowe-przepisy-prawo-jazdy, dostęp z dnia 2020.04.09.
[102] www.przemysl-40.pl/index.php/category/40/, dostęp z dnia 2020.06.23.
[103] www.psitj.pl/2018/07/09/wadliwy-system-szkolenia-slabi-instruktorzy/, dostęp z dnia 2020.01.07.
[104] www.pzm.pl/pliki/zg/brd/2020/deklaracja_sztokholmska_2020.pdf, dostęp z dnia 2020.07.10.
[105] www.raes-fsg.org.uk/, dostęp z dnia 2019.11.16.
[106] www.ridiculouslyinteresting.com/2012/11/01/wwii-parachute-crash-test-dummies/, dostęp z dnia 2019.11.16.
[107] www.skodaautolab.pl, dostęp z dnia 2018.10.05.
[108] www.snieznik.info/pl/sim-pl, dostęp z dnia 2019.04.22.
[109] www.statystyka.policja.pl/st/ruch-drogowy/76562,Wypadki-drogowe-raporty-roczne.html, dostęp z dnia 2019.11.16.
[110] www.titanicinquiry.org, dostęp z dnia 2019.11.16.
[111] www.twitter.com/EdwardsAFB/status/674961032180174848, dostęp z dnia 2019.11.16.

[112] www.wikipedia.org/wiki/RMS_Titanic#Spu%C5%9Bcizna_obydwu_komisji, dostęp z dnia 2019.11.16.
[113] www.word.poznan.pl/przepisy-prawa/akty-prawne/, dostęp z dnia 2019.10.17.
[114] www.youtube.com – dokument filmowy Crash Test Dummies – A Smashing History produkcji BBC, dostęp z dnia 2020.01.12.